

ი. შ. პოღაკი

ზოგადი ასვკონომიის კუხსი

(თარგმანი მემკვსე გაღამუშავებული რუსული გამოცემიდან)

ღაშვებულია ხსრ კავშირის უშაღლესი განათლების სამინისტროს
მიერ სახელმწიფო უნივერსიტეტებსა და პეღაგოგიურ
ინსტიტუტებში სახელმძღვანელოდ

თბილისის უნივერსიტატის
გამომცემლობა

თბილისი — 1961

წინამდებარე წიგნი ძირითადად წარმოადგენს პროფ. ი. პოლაკის „ზოგადი ასტრონომიის კურსის“ მეექვსე რუსული გამოცემის თარგმანს. რუსულ ენაზე არსებობს ამ კურსის მეშვიდე გამოცემაც. ამ უკანასკნელიდან წინამდებარე თარგმანში შეტანილია ის სიახლენი, რაც მოაუვებელია ასტრონომიაში რადიოასტრონომიის განვითარებასთან დაკავშირებით.

პროფ. ი. პოლაკის ზოგადი ასტრონომიის კურსში შეკუმშულად, მაგრამ აკმაოდ კარგადაა გადმოცემული ზოგადი ასტრონომიის საკითხები.

ეს წიგნი დიდ დახმარებას გაუწევს უნივერსიტეტებისა და პედაგოგიური ინსტიტუტების სტუდენტებს.

მეჩვესა გამოცემის წინასიტყვაობა

მეექვსე გამოცემისათვის სახელმძღვანელოს გადამუშავებამ მოითხოვა შედარებით მეტი შრომის დახარჯვა, რადგანაც ამ დროს მიხდებოდა მთელი რიგი სხვადასხვა ხასიათის ამოცანების გადაწყვეტა. უპირველეს ყოვლისა წამოიჭრა ერთიმეორის საწინააღმდეგო ტექნიკური ხასიათის მოთხოვნილებები: ერთის მხრივ, საჭირო იყო წიგნის მოცულობის დაახლოებით სამი ფურცლით შემცირება, მეორეს მხრივ — აუცილებელი იყო სახელმძღვანელოს შევსება უკანასკნელი თერთმეტი წლის განმავლობაში ასტრონომიის მიღწევების გადმოცემით (მეხუთე გამოცემა გამოვიდა 1939 წ.). ამიტომ მომიხდა რიგი განყოფილებების არა მარტო ამოღება ან ძლიერ შეკვეცა (კებლერის კანონებიდან მიზიდულობის კანონის გამოყვანა, ორი სხეულის ამოცანა, ასტრონომიული დაკვირვებები და სხვა), არამედ მთელი ტექსტის დაწვრილებით გადასინჯვა, მასალის უფრო მეტად შეკუმშვის მიზნით. დამატებების შეტანის დროს განსაკუთრებული კმაყოფილებით აღვნიშნავდი საბჭოთა ასტრონომიის დიდ მიღწევებს ამ ხნის განმავლობაში. უფრო მეტად დამატებები შეტანილია იმ თავებში, რომელნიც მიძღვნილია ასტროფიზიკისა და ვარსკვლავთ ასტრონომიის მეთოდებისა და შედეგებისადმი. ახალ გამოცემაში ასევე ყურადღება ექცევა და ადგილი აქვს დათმობილი ფილოსოფიური და მეთოდურ საკითხებს.

გულითად მადლობას ვუხდი რეცენზენტებს ს. კ. ვსენსიატსკის და კ. ა. კულიკოვს, რედაქტორებს — ი. ე. რახლინს და მ. მ. დაგაევს, რომლებმაც ტექსტში შეიტანეს რიგი შესწორება და გაუმჯობესება, ამას გარდა მ. მ. დაგაევმა დიდი მუშაობა ჩაატარა სურათების შერჩევაში.

სექტემბერი, 1950 წ.

პ.

პირველი გამოსვლის წინასიტყვაობიდან

წინამდებარე წიგნში ვითვალისწინებთ უწინარეს ყოვლისა სტუდენტებს უმაღლესი პედაგოგიური სასწავლებლებისას, სადაც ასტრონომიისათვის გამოყოფილია შედარებით მცირე საათები. ძირითადად წიგნში გადმოცემულია შეკუმშულად ზოგადი ასტრონომიის კურსი და შეიცავს სფერული, პრაქტიკული და თეორიული ასტრონომიის ზოგიერთ განყოფილებას, რომლებიც მნიშვნელოვანია პედაგოგიური და ზოგად საგანმანათლებლო თვალსაზრისით.

წიგნი შეიძლება გამოსადეგი აღმოჩნდეს ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვისაც, და ეს მიზანიც ასევე მხედველობაში იყო მიღებული. თუ გამოვრიცხავეთ ზევით ჩამოთვლილ განყოფილებებს, მაშინ დარჩენილი ნაწილი მოგვეცემს შეკუმშულ, მაგრამ საკმარისად სრულ დამხმარე სახელმძღვანელოს „ასტრონომიის შესწავლისათვის“ ან „აღწერილობითი ასტრონომიისათვის“.

განსაკუთრებული ყურადღება მიექცა კითხვებს და სავარჯიშოებს. ზოგიერთი მათგანი ჩემთვის ხელმისაწვდომ ლიტერატურაში არ შემხვედრია.

მოსკოვი, მაისი, 1929 წ.

შ მ ს ა ვ ა ლ ი

§ 1. ასტრონომიის საგანი. ასტრონომია, ე. ი. მეცნიერება ციური მნათობების შესახებ, ბევრად უფრო ძველია, ვიდრე სხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი. უძველესი დროის ყველა კულტურულმა ხალხმა თავისი ისტორიის პირველსავე საფეხურებზე იმდენად შეისწავლა ცის მოვლენები, რომ შეეძლო კარგად ეწინასწარმეტყველებინა არა მარტო წლის დროები და მთვარის ფაზები, არამედ დაბნელებები და ცთომილთა გამოჩენაც კი. ამასთანავე, იმ ხანებში მათ სხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებიდან ძლიერ ცოტა რამ იცოდნენ.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ასტრონომებს შეეძლოთ შეესწავლათ მხოლოდ მნათობთა მოძრაობა. ამჟამად კი მათ საშუალება აქვთ განსაზღვრონ ცის სხეულებამდე მანძილები და მათი ზომები, გამოიკვლიონ მათი ფიზიკური პირობები, ქიმიური შემადგენლობა და მათი განვითარების პროცესები. ამრიგად, ასტრონომია — ეს არის მეცნიერება ცის სხეულებისა და მათი სისტემების აგებულებისა და განვითარების შესახებ.

სხვა მეცნიერებათა წარმომადგენლებისაგან განსხვავებით, ასტრონომები, როგორც წესი, მოკლებული არიან ცის სხეულებზე ექსპერიმენტის წარმოების საშუალებას; ამის გამო ასტრონომია წარმოადგენს დამზერით მეცნიერებას და ასტრონომები იძულებულნი არიან ყველა დასკვნა ცის სხეულების ბუნების შესახებ გამოიტანონ მხოლოდ დამზერის საფუძველზე.

გამონაკლისს წარმოადგენს ცთომილთშორისი სივრციდან დედამიწაზე დაცემული ქვისა და რკინის მასების — მეტეორიტების გამოკვლევა და ცის სხეულებზე რადიოტალღების იმპულსების გაგზავნა და არეკვლილი რადიოსიგნალების მიღება (რაც ჯერ მხოლოდ მთვარის მიმართ არის განხორციელებული).

§ 2. სამყაროს ზოგადი სურათი. ათასეული წლების განმავლობაში წარმოებული ინტენსიური მუშაობის შედეგად, ძირითად მონახაზებში გამოკვეთულ იქნა სამყაროს იმ ნაწილის აგებულება, რომელიც მისაწვდომია თანამედროვე იარაღებისათვის. XIX საუკუნემდე ძირითადად მზის სისტემა შეისწავლებოდა, XIX საუკუნის დასაწყისიდან და განსაკუთრებით მის მეორე ნახევარში დაიწყო გალაქტიკის ანუ ვარსკვლავთ იმ სისტემის აგებულების

წარმატებითი შესწავლა, რომელსაც ჩვენი მზე ეკუთვნის, XX საუკუნის დასაწყისიდან კი — არაგალაქტიკური ობიექტების, ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი სხვა ვარსკვლავთ სისტემების შესწავლა.

მზის სისტემა. მზის სისტემაში მთავარ სხეულს წარმოადგენს მზე — გავრვარებული გაზოვანი სფერო, რომლის დიამეტრი 100-ჯერ და უფრო მეტად აღემატება დედამიწის დიამეტრს. მზის ირგვლივ სხვადასხვა მანძილზე გარემოიქცევა ცხრა დიდი ცთომილი — მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი — და დიდი რაოდენობის მცირე ცთომილები ანუ ასტეროიდები. გარდა მერკურის, ვენერასი და პლუტონისა ყველა დანარჩენ დიდ ცთომილს ჰყავს მასზე ბევრად მცირე ზომის თანამგზავრები. ყველა ცთომილი — დიდიც და მცირეც და მათი თანამგზავრები — წარმოადგენენ ბნელ, არათვითმნათ სხეულებს და ანათებენ მხოლოდ მზის არეკვლილი სინათლით.

მზის სისტემას მიეკუთვნებიან კომეტებიც, რომლებიც აგრეთვე მზის ირგვლივ გარემოიქცევიან, მაგრამ თავიანთი გზების დიდ ნაწილს გადიან მზიდან და დედამიწიდან შორს და ამიტომ იშვიათად დაიმზირებიათ. გარდა ამისა, მთელი მზის სისტემა ავსებულია მეტეორული მატერიით: მტვეროვანი ნაწილაკებითა და კენჭებით, რომლებიც დედამიწის ატმოსფეროში შემთხვევითი შემოჭრით იწვევენ „ვარდნილი ვარსკვლავების“ — მეტეორების მოვლენას.

ჩვენი გალაქტიკა¹. ვარსკვლავები, როგორც მზე, უზარმაზარი გავრვარებული გაზოვანი სფეროებია, რომლებიც მზის მსგავსად დიდი რაოდენობის სინათლესა და სითბოს გამოასხივებენ. ყველაზე ახლობლები ჩვენგან იმყოფებიან ტრილიონობით კილომეტრების მანძილზე.

ჩვენი მზე, როგორც რიგითი წევრი, შედის ვარსკვლავთ გიგანტური სისტემის — ჩვენი გალაქტიკის შემადგენლობაში. ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავთა ძირითადი მასა განლაგებულია შედარებით შეკუმშული სფეროიდის სახის სივრცეში, რომლის შიგნით იმყოფება ჩვენი მზეც. ამ სფეროიდის ეკვატორულ სიბრტყეში ვარსკვლავთ თავმოყრას ჩვენ ცაზე ირმის ნახტომის სახით ვხედავთ — ეს არის ძალიან დიდი რაოდენობის, შეუიარაღებელი თვალისათვის ცალ-ცალკე უხილავ ვარსკვლავთა ციალი.

ჩვენ გალაქტიკაში შეწავალი ყველა ვარსკვლავი და მათ შორის მზეც მოძრაობს. გალაქტიკაში ვარსკვლავთ მოძრაობა ფრიად რთულია, მაგრამ საერთოდ ის შეიძლება აღეწეროდ, როგორც ვარსკვლავთ გარემოიქცევა ცენტრალური ნაწილის — ჩვენი გალაქტიკის ბირთვის ირგვლივ. თვითონ ჩვენი გალაქტიკაც მოძრაობს სივრცეში.

ჩვენი მზე გარშემორტყმულია ცთომილებით, რომელთა მასები ათასეულზე-ჯერ და ათეულ ათასეულზე-ჯერ ნაკლებია მზის მასაზე. უზუსტესმა დაკვირვებებმა გვიჩვენეს, რომ ვარსკვლავთა მნიშვნელოვან ნაწილს ბნელი თანამგზავრები ჰყავს, რომელთა მასები შეადგენენ მზის მასის არაუმეტეს რამდენიმე მესამედსა. შესაძლოა, რომ მრავალ ვარსკვლავს ახლავს არა ერთეული

¹ იხ. შენიშვნა, გვ. 348.

არათვითმნათი თანამგზავრი, არამედ მზის სისტემის მსგავსი მთელი ცთომილთა სისტემა.

ვარსკვლავთა გარდა ჩვენს გალაქტიკაში შედის კიდევ უზარმაზარი სიდიდის მტვეროვანი და გაზოვანი ღრუბლები, რომლებიც მოჩანან როგორც ნისლეულები, მათ შორის სივრცეს კი ავსებს არაჩვეულებრივად გაიშვიათებული ვარსკვლავთშორისეთის გაზოვანი არე.

სხვა გალაქტიკები და გალაქტიკათა სისტემები. ჩვენი გალაქტიკა სამყაროში ერთადერთ ვარსკვლავთ სისტემას არ წარმოადგენს. ამჟამად უკვე ცნობილია დიდი რაოდენობით ვარსკვლავთ სისტემები — სხვა გალაქტიკები, რომელთაგან თითოეული შეიცავს მრავალ მილიონ ვარსკვლავს, მათ შორის ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი გალაქტიკებიც არის, გვხვდება აგრეთვე მისგან განსხვავებულებიც. ამჟამად მოგვეპოვება მტკიცე საფუძველი ვთქვათ, რომ როგორც ჩვენი მზე შედის უზარმაზარ ვარსკვლავთ სისტემაში — გალაქტიკაში, ჩვენი გალაქტიკაც შედის გალაქტიკების უზარმაზარი სისტემის — „ზეგალაქტიკის“ შემადგენლობაში.

ჩვენ რომ გადავიდეთ ამჟამად ცნობილ ვარსკვლავთ სისტემებიდან ყველაზე უფრო შორეულზე, ჩვენი გალაქტიკა გამოჩნდებოდა პაწაწინა ნისლოვან ლაქად, რომელიც უძლიერეს ტელესკოპშიც კი ძლივს გამოჩნდებოდა. ამით ჩვენ ოდნავადაც ვერ მივუახლოვდებოდით „სამყაროს საზღვარს“. სამყაროს არა აქვს რაიმე „საზღვარი“ ან „კიდე“:

სამყარო უსასრულოა, როგორც სივრცეში, ისე დროშიც.

§ 3. **ასტრონომიის დაყოფა.** ასტრონომია იყოფა (რამდენადმე პირობითად) მთელ რიგ დარგებად; ჩამოვთვალოთ უმთავრესი მათთაგანი.

პრაქტიკული ასტრონომია განიხილავს მნათობთა ხილული მდებარეობის განსაზღვრის მეთოდებს, დედამიწის ზედაპირზე დამკვირვებლის მდებარეობის განსაზღვრის მეთოდებს, აგრეთვე შესაბამი ასტრონომიული იარაღების თეორიას. პრაქტიკული ასტრონომიის ცალკეული ნაწილები გამოიყო საველე, საზღვაო და სააეიაციო ასტრონომიად.

სფერული ასტრონომია კოორდინატთა სხვადასხვა სისტემების დახმარებით შეიმუშავებს მათემატიკურ მეთოდებს წარმოსახვით ცის სფეროზე მნათობთა ხილული მდებარეობის განსაზღვრისათვის, აგრეთვე განიხილავს სხვადასხვა მიზეზებით გამოწვეულ კოორდინატთა ცვლილებებს (მაგალიტად, რეფრაქციით, პრეცესიით და ა. შ.).

ზოჯერ სფერულ და პრაქტიკულ ასტრონომიას აერთიანებენ ერთ დისციპლინაში — ასტრომეტრიაში. ასტრომეტრიის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს შედგენა ვარსკვლავთ კატალოგებისა, რომლებიც შეიცავენ ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სისტემების მოძრაობების შემდგომი შესწავლისათვის აუცილებელ ვარსკვლავთ მდებარეობათა უზუსტეს განსაზღვრებს.

თეორიული ასტრონომია შეისწავლის კომეტების, ცთომილებისა და ცის სხვა სხეულების ორბიტების განსაზღვრის მეთოდებს და ცის სფეროზე მათი მდებარეობის წინასწარ განსაზღვრის მეთოდებს (ეფემერიდების გამოთვლა).

ცის მექანიკა შეისწავლის მსოფლიო მიზიდულობის ძალის მოქმედებით ცის სხეულების მოძრაობის კანონებს, აგრეთვე აწარმოებს ცის სხეუ-

ლების მასების განსაზღვრას და მათი ფიგურების მათემატიკურ შესწავლას.

ასტროფიზიკა შეისწავლის ცის სხეულების შინაგან აღნაგობასა და ფიზიკურ თვისებებს, ვარსკვლავებისა და მზის ენერჯის წყაროებს, დიფუზურ მატერიას ვარსკვლავთშორისეთის სივრცეში. პრაქტიკული ასტროფიზიკა განიხილავს სხვადასხვაგვარ ასტროფიზიკურ დაკვირვებათა ტექნიკას და შენაბამი იარაღების თეორიას. თეორიული ასტროფიზიკა დაკვირვებებისა და ფიზიკის კანონების საფუძველზე შეისწავლის ვარსკვლავთ შინაგან აღნაგობას და მათი ენერჯის წყაროებს, მათი ატმოსფეროების აგებულებას, ვარსკვლავთ ევოლუციას.

რადიოასტრონომია შეისწავლის ცის მნათობების: მზის, მთვარის, ვარსკვლავთშორისეთის გაზისა და შორეული გალაქტიკების რადიოგამოსხივებას. რადიოლოკაციური ასტრონომია გაგზავნილი და არეკვლის შემდეგ უკან მიღებული რადიოსიგნალების დახმარებით შეისწავლის მეტეორებსა და მთვარეს.

ვარსკვლავთ ასტრონომია სტატისტიკური მეთოდების დახმარებით შეისწავლის ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სისტემების განაწილებასა და მოძრაობას გალაქტიკაში. გალაქტიკის აგებულებას, სხვა გალაქტიკებისა და გალაქტიკათა სისტემების აგებულებას.

კოსმოგონია განიხილავს ცის სხეულების: ცთომილების, მათ შორის დედაძიწის, მზის, ვარსკვლავებისა და ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობისა და განვითარების საკითხებს.

ასტრონომიის ზემოწამოთვლილი ყველა დარგი მკიდრო კავშირში იმყოფება როგორც ერთმანეთთან, ისე სხვა მეცნიერებებთანაც. ასე, მაგალითად, თეორიული ასტრონომია და ცის მექანიკა ერთმანეთთან მკიდროდ არიან დაკავშირებული; ვარსკვლავთ ასტრონომია მკიდროდ უკავშირდება ასტროფიზიკასა და ასტრომეტრიას; თეორიული ასტროფიზიკა მკიდროდ არის დაკავშირებული ატომურ ფიზიკასთან; რადიოასტრონომია — რადიოფიზიკასთან.

§ 4. ასტრონომიის მნიშვნელობა. 1. ზუსტი დროის ცოდნა აუცილებელია ნებისმიერი თანამედროვე სახელმწიფოს საქმიანობისათვის. კონვეიერებითა და მანქანა-ავტომატებით აღჭურვილი თანამედროვე მსხვილი ქარხნები, მძლავრი ელექტროსადგურები, ტელეფონისა და ტელეგრაფიჰ ქსელი, რადიო, ტრანსპორტი, სამეცნიერო ლაბორატორიები — ყველა ესენი წესიერი და განუწყვეტელი მუშაობისათვის მოითხოვენ ზუსტი დროის ცოდნას და მის აღრიცხვას სუკუნდებითა და მისი ნაწილებითაც კი.

2. რკინიგზების, გზატკეცილებისა და წყალსავალი გზების მშენებლობა, ახალი კაშხალებისა და არხების, ახალი სარწყავი სისტემების შექმნა — ყველაფერი ეს მოითხოვს ქვეყნის ტერიტორიის მრავალი პუნქტის გეოგრაფიული კოორდინატების ზუსტ ცოდნას.

განსაკუთრებით ეს საჭიროა საბჭოთა კავშირისათვის, რომლის ტერიტორია შეადგენს მთელი ხმელეთის მეექვსედ ნაწილს.

მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა დარგის მრავალრიცხოვანმა ექსპედიციამ და საძიებო პარტიამ თავიანთი სამუშაოების წარმატებით შესრულებისათვის ყოველთვის უნდა იცოდნენ ზუსტი გეოგრაფიული კოორდინატები და, აგრეთვე, უნდა შეეძლოთ ცის სხეულებზე დაკვირვებით მხარეების მიმართულებების ზუსტად განსაზღვრა.

ანალოგიურადვე, მებღვაურებს ღია ზღვაში და მფრინავებს შორეული გადაფრენებისას მუდმივად უზღებათ თავიანთი გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრა მნათობების მდებარეობის მიხედვით.

გეოგრაფიული და ტოპოგრაფიული რუკების შედგენა აგრეთვე მოითხოვს დედამიწის ზედაპირის წერტილების განედისა და გრძედის ცოდნას. დედამიწის ფორმისა და ზომების შემსწავლელი მეცნიერება — გეოდეზია მკიდროდ არის დაკავშირებული პრაქტიკულ ასტრონომიასთან.

3. ცის სხვადასხვა სხეულზე დამზერილი პროცესების გამოკვლევა საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ მატერიალი პეროცესების გამოკვლევა საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ მატერიალი ისეთ მდგომარეობაში, რომელიც ჯერ კიდევ არ არის მიღწეული დედამიწისეული ლაბორატორიების პირობებში. ეს უდიდეს დახმარებას უწევს ფიზიკას, მექანიკას, ქიმიას, რომელთა ბაზაზე ვითარდება თანამედროვე ტექნიკა.

4. არაჩვეულებრივად დიდია ასტრონომიის მსოფლმხედველობითი და შემეცნებითი როლი. ასტრონომია ხელს უწყობს მატერიალური სამყაროს აგებულებისა და განვითარების საკითხებზე სწორი შეხედულებების შემუშავებასა და გავრცელებას.

სოციალისტურ საზოგადოებას ესაჭიროება მარქსისტულ-ლენინურ თეორიასა და თავის სპეციალობას დაუფლებული, ბუნების მოვლენებში კარგად გარკვეული, სამყაროში ადამიანის ადგილის მკოდნე და ყოველგვარი ცრუმორწმუნეობისაგან თავისუფალი ხალხი.

ბნის რა მატერიალური სამყაროს აგებულებისა და განვითარების კანონებს, ასტრონომია ამტკიცებს, რომ ცის სხეულთა უსასრულო სამყაროში მატერიის განვითარება წარმოებს ბუნების კანონებით, ყოველგვარი ზებუნებრივი ძალების ჩარევის გარეშე.

როგორც ყოველი მეცნიერება, ასტრონომიაც იყო და რჩება მატერიალისტური და იდეალისტური მსოფლმხედველობის გააფთრებელი ბრძოლის ასპარეზად. ამ ბრძოლამ განსაკუთრებით მწვავე ფორმები მიიღო ამჟამად, როდესაც მომაკვდავი კაპიტალიზმი ცდილობს ყოველგვარი საშუალებებით გაიგრძელოს თავისი არსებობა.

თანამედროვე რეაქციული ბურჟუაზიული მეცნიერები ცდილობენ გამოიყენონ ყოველი დროებითი სიძნელე ასტრონომიულ მეცნიერებაში, რათა კიდევ და კიდევ გაათრიონ უაზრო „თეორიები“ სამყაროს შეუცნობადობის შესახებ, მისი არამატერიალურიების შესახებ, სივრცესა და დროში სამყაროს სასრულობის შესახებ და ა. შ.

მათ საპირისპიროდ საბჭოთა ასტრონომები და საზღვარგარეთის ქვეყნების პროგრესული ასტრონომები იყენებენ ყოველ ახალ აღმოჩენას მატერიალური სამყაროს აგებულებისა და განვითარების შესახებ ჩვენი ცოდნის გაღრმავებისა და განმტკიცებისათვის.

§ 5. ასტრონომიის ისტორიის მოკლე მიმოხილვა. ასტრონომია, ისევე როგორც სხვა მეცნიერებანი, აღმოცენდა საზოგადოების პრაქტიკული მოთხოვნილებებიდან. მომთაბარე ტომებს მოგზაურობის დროს აუცილებლად ესაჭიროებოდათ ორიენტირება და მათ ისწავლეს მიმართულებების განსაზღვრა მზისა და ვარსკვლავების მიხედვით. პირველყოფილ მიწათმოქმედს მინდვრის სამუშაოებისას წინასწარ უნდა გაეთვალისწინებინა ცივი და თბილი ამინდების დადგომა; ის დააკვირდა მზის მოძრაობას და შენიშნა, რომ დროთა ეკვა დაკავშირებულია განსაზღვრული თანავარსკვლავედების გამოჩენასთან.

„პირველად ასტრონომია, რომელიც უკვე წელიწადის დროთა გამო აბსოლუტურად საჭიროა ნეჯოგე და მიწათმოქმედი ხალხებისათვის“ — წერს ფ. ენგელსი „ბუნების დიალექტიკაში“ (ფ. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 187).

ადამიანთა საზოგადოების განვითარებამ მოითხოვა წელთაღრიცხვისა და კალენდრის შემოღება, აგრეთვე ცის თაღის მიხედვით ორიენტირების ხერხების შემუშავება, რომლებიც განვითარების გზაზე მდგომი სავაჭრო ურთიერთობის პირობებში ფრიალ აუცილებელი იყო უდაბნოებში ქარავენებისა და ღია ზღვაში გემების ტარებისათვის. ყოველივე ამის მოცემა მხოლოდ ასტრონომიის შეეძლო. ამიტომ ყველა ხალხში ისტორიული ცხოვრების ადრეულ საფეხურებზე ჩვენ ვხვდებით ცოტად თუ ბევრად ჩამოყალიბებულ ასტრონომიულ ცოდნის სფეროს.

ასე, მაგალითად, ძველ მონათმფლობელურ სახელმწიფოებში — ბაბილონის სამეფოში, ეგვიპტეში — ასტრონომიული ცოდნა უკვე საკმარისად მაღალ დონეზე იყო. ბაბილონელები უკვე იცნობდნენ შეუიარაღებელი თვალით ხილულ ხუთივე ცთომილს, იცოდნენ მზისა და მთვარის მოძრაობის შესახებ და დაბნელებების წინასწარმეტყველებაც კი შეეძლოთ. ძველი ეგვიპტელები ჯერ კიდევ სამი ათასი წლის წინ ჩვენს ერამდე წელიწადს 360 დღე-ღამედ ყოფდნენ და შენიშნეს, რომ ნილოსის ადიდება, რომელსაც წყალი და ნოყიერი ღამი მოჰქონდა ეგვიპტის ველებზე, იწყება ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავის—სირიუსის აღმოსავლეთით პირველ გამოჩენასთან ერთად.

ეს ცოდნა ეგვიპტელ ქურუმებს ნილოსის ადიდების წინასწარმეტყველების საშუალებას აძლევდა. „ნილოსის წყალიდობის პერიოდების გამოანგარიშების აუცილებლობამ შექმნა ეგვიპტური ასტრონომია და მასთან ერთად ქურუმთა კასტის, როგორც მიწათმოქმედების ხელმძღვანელის, ბატონობა“ (კ. მარქსი, კაპიტალი, ტ. I, გვ. 648). ძველ ეგვიპტეში, ისევე როგორც ძველ ბაბილონში, ასტრონომიულ დაკვირვებებს აწარმოებდნენ განსაკუთრებული პირები სპეციალურად მოწყობილი შენობებიდან.

ასტრონომიამ დიდ განვითარებას მიაღწია ძველ ჩინეთში. ჯერ კიდევ ჩვენს ერამდე 1200—1300 წლის წინ ჩინელი სწავლულები წელიწადში 360 დღეს ანგარიშობდნენ. ჩინური კალენდარი მთვარისა და მზის კალენდარს წარმოადგენდა, ე. ი. ემყარებოდა მზის მოძრაობასაც (წელიწადი) და მთვარის მოძრაობასაც (თვე). მთვარის თევებისა და მზის წლების თანაშეფარდება (235 მთვარის თვე ტოლია 19 წლის), რომელიც „მეტონის ციკლის“ სახელით

არის ცნობილი, ჩინელი ასტრონომებისათვის მეტონის აღმოჩენამდე 160 წლით ადრე იყო ცნობილი.

ჩინელმა ასტრონომებმა ცა თანავარსკვლავედებად დაყვეს და ცის სისტემატურ და გულმოდგინე დაკვირვებებს აწარმოებდნენ, აღრიცხავდნენ რა-ყოველ მნიშვნელოვან მოვლენას: მზისა და მთვარის დაბნელებებს, ახალი ვარსკვლავების (რომლებსაც ისინი „სტუმარ-ვარსკვლავებს“ უწოდებდნენ) და კონეტების გამოჩენას. ჩინური მათიანეების მიხედვით შესაძლებელი გახდა ჰალეის კომეტის მზესთან დაბრუნებისათვის თვალყურის მიდევნება დაწყებული ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 240 წლიდან. მზის ლაქებზე პირველი დაკვირვებები მოხდენილ იქნა ჩინეთში 28 წელს ჩვენს ერამდე და შემდეგ სისტემატურად წარმოებდა მრავალი საუკუნის განმავლობაში. ჩინეთშივე იყო პირველად განსაზღვრული ეკლიპტიკის დახრა ეკვატორის მიმართ (ჩუ კონგი, დაახლოებით 1100 წელი, ჩვენს ერამდე) და იქვე იქნა შედგენილი ვარსკვლავთ პირველი კატალოგი, რომელიც 800 ვარსკვლავს შეიცავდა (ში შენი, დაახლოებით 350—360 წლები ჩვენს ერამდე).

წარმატებით ვითარდებოდა ასტრონომია ძველ ინდოეთშიც. ასე, მაგალითად, გუპტების პერიოდში (ჩვენი წელთაღრიცხვის IV—V საუკუნეები) ინდოეთში უკვე იყო სპეციალური ობსერვატორიები უზარმაზარი კუთმბზომი იარაღებით. ინდოელებს მზის მოძრაობაზე დაფუძნებული კარგად დამუშავებული კალენდარი ჰქონდათ.

ასტრონომიამ ძალად განვითარებას მიაღწია ძველ საბერძნეთში. ევრდნობოდნენ რა მათ წინამორბედთა — ბაბილონელებისა და ეგვიპტელი ასტრონომების მიერ დაგროვილ დაკვირვებით მასალასა და მეთოდებს. ბერძენმა სწავლულებმა დიდი ყურადღება მიაქციეს მოვლენების მიზეზებას გამორკვევას.

ბერძენმა სწავლულებმა წამოაყენეს და დაასაბუთეს დედამიწის სფერულობის ჰიპოთეზი, მათ მოახდინეს დედამიწის რადიუსის პირველი გაზომვა (ერატოსთენე, III საუკუნე ჩვენს ერამდე) და გამოთქვეს აზრი დედამიწის მოძრაობის შესახებ (ფილოლაი, V საუკუნე ჩვენს ერამდე, არისტარქე საპოსელი, III საუკუნე ჩვენს ერამდე). ძველ საბერძნეთში შეადგინეს ვარსკვლავთ კატალოგი, რომელიც 1000-მდე ვარსკვლავს შეიცავდა (ჰიპარქე, II საუკუნე ჩვენს ერამდე).

არსებითად იქნა გაუმჯობესებული ასტრონომიული იარაღები და ცის სხეულების დაკვირვების მეთოდები. სისტემატური დაკვირვებებით აღმოჩენილ იქნა მრავალი თავისებურებანი ცის სხეულების ხილულ მოძრაობებში (პრეცესიის აღმოჩენა, მთვარის მოძრაობაში „უთანაბრობათა“ აღმოჩენა).

ეთომილების ხილული მოძრაობის ასახსნელად ევდოქს კნიდელმა (IV საუკუნე ჩვენს ერამდე) წამოაყენა სამყაროს სისტემის სქემა, რომლის თანახმად მის ცენტრში დედამიწა იმყოფება; დედამიწას ირგვლივ აკრავს ბროლის სფეროები, რომლებზედაც გადადგდილდებიან ეთომილები. შემდგომში სფეროების ეს სისტემა განვითარებულ იქნა არისტოტელეს მიერ. მაგრამ სფეროების სისტემას არ შეეძლო დაექმაყოფილებინა ის მოთხოვნილებები, რასაც უყენებდა მას პრაქტიკა; მის საფუძველზე არ შეიძლებოდა ცაზე ეთო-

მიღების მდებარეობის წინასწარ გამოთვლა; ამის გამო კლავდიუს პტოლემემ (ჩვენი წელთაღრიცხვის II საუკუნე), ეყრდნობოდა რა თავისი წინამორბედის — ჰიპარქეს შრომებს, სფეროების სისტემა შეცვალა ეპიცელეების სისტემით, რომლის თანახმად ცთომილები, მზე და მთვარე გარემოქცეოდნენ უძრავი დედამიწის ირგვლივ წრიულ გზებზე. ცთომილების ხილული მარყუჟისებრი მოძრაობა პტოლემემ ასხნა იმ ორი წრიული მოძრაობის შეკრებით, რომლებშიც ცთომილი მონაწილეობს.

პტოლემეს სისტემა, მიუხედავად იმისა, რომ პრინციპულად მცდარი იყო (ის ემყარებოდა დედამიწის უძრაობას), მაინც იძლეოდა საშუალებას ცთომილების მდებარეობის წინასწარგამოთვლისა და ამიტომ რამდენადმე მაინც აკმაყოფილებდა პრაქტიკულ მოთხოვნილებებს.

ასეთია წარმატებები, რასაც მიიღწია ძველი ხალხების ასტრონომიამ ჩვენი წელთაღრიცხვის დაახლოებით III—V საუკუნეებისათვის.

მონათმფლობელური წყობილების დამსხვრევამ კულტურის მნიშვნელოვანი დაცემა გამოიწვია. VI—XII საუკუნეების დაქუცმაცებული ფეოდალური ევროპა თავისი ნატურალური მეურნეობით და განუვითარებელი სავაჭრო ურთიერთობებით თითქმის არ სავაჭროებდა ასტრონომიულ ცოდნას. გაბატონებულმა ქრისტიანულმა რელიგიამ აკურთხა სამყაროში დედამიწის ცენტრალური მდებარეობის მოძღვრება და მკაცრად უსწორდებოდა ყველას, ვინც უარყოფდა ეკლესიის ამ დოგმატს.

მაგრამ არაბების ბატონობის ქვეშ მყოფ ქვეყნებსა და შუა აზიის სახელმწიფოებში მეცნიერებისა და კერძოდ ასტრონომიის განვითარება მაინც წარმოებდა. დიდი საქარაგნო გზები, საზღვაო გადასვლები, მთვარის რთული მაჰმადიანური კალენდარი — ყველაფერი ეს მოითხოვდა სისტემატურ დაკვირვებებსაც და ასტრონომიულ ცოდნასაც. ამიტომ ბევრ ქალაქში — არაბებისა და შუა აზიის სახელმწიფოთა დედაქალაქებში — შეიქმნა სპეციალური ობსერვატორიები, რომლებშიც მუდმივი დაკვირვებები წარმოებდა.

შუა აღმოსავლეთის ქვეყნებში ასტრონომიამ დიდ აყვავებას მიაღწია. ბატანმა (850—929) თავისი დაკვირვებების შედარებით ჰიპარქესა და პტოლემეს დაკვირვებებთან აღმოაჩინა მთვარის ორბიტის აფსიდების ხაზის მოძრაობა, აბუ-ალ-ვაფამ (940—998) აღმოაჩინა მთვარის მოძრაობაში სიდიდით მესამე უთანაბრობა — ე. წ. ვარიაცია. სახელმწიფოებში მეცნიერმა ბირუნიმ (973—1048), წარმოშობით ხორეზმელმა, შექმნა მთელი რიგი ასტრონომიული ტრაქტატები, რომელთაგან ერთ-ერთში ის წერდა, რომ „დედამიწის ბრუნვა სრულიად არ აფერხებს ასტრონომიულ გამოთვლებს“. აღმოსავლეთის უდიდეს ობსერვატორიად დიდი ხნის განმავლობაში ითვლებოდა ობსერვატორია ანერბაიჯანის ძველ დედაქალაქში — მარაგში, რომელიც შესანიშნავი ასტრონომის ნასირედინ ტუსის (1201—1274) ხელმძღვანელობით აშენდა. ამ ობსერვატორიის დაკვირვებათა საფუძველზე შეიქმნა „ოილხანის ცხრილები“, რომლებიც მრავალი წლის განმავლობაში გამოიყენებოდა ცთომილების მდებარეობის წინასწარგამოთვლად.

ასტრონომიამ თვალსაჩინო წარმატებას მიაღწია სამარყანდში, სადაც ულუგბეკის მიერ აშენებულ ობსერვატორიაში მუშაობდნენ გამოჩენილი

ასტრონომები: კაზი-ზადე-რუმი, მუინადინი, ალი-კუშჩი. სამარყანდის ობსერვატორიაში იდგა იმ დროისათვის უდიდესი კუთხმზომი იარაღები. სამარყანდის სკოლის ასტრონომთა შრომების წყალობით შედგენილ იქნა ცთომილების ახალი ცხრილები და ხელახლა იქნა შედგენილი ჰიპარქეს შემდეგ ვარსკვლავთა პირველი კატალოგი, რომელიც შეიცავდა 1019 ვარსკვლავის მდებარეობას.

ასეთია შუა საუკუნეების პერიოდში ასტრონომიაში მოპოვებული წარმატებები. მაგრამ დაუსრულებელი ომები, ფეოდალური შინაბრძოლები და ფეოდალური მაღალი წრეების მიერ სასტიკად ექსპლუატირებული სახალხო მასების აჯანყებები ასუსტებდნენ არაბულ და შუა აზიის სახელმწიფოებს, არყევდნენ მათ ეკონომიურ და პოლიტიკურ მდგომარეობას. ყველაფერ ამას მოსდევდა კულტურისა და მეცნიერების, კერძოდ კი ასტრონომიის დაცემა.

ამ პერიოდში (XIII—XV საუკუნეები) ევროპაში, საწარმოო ძალთა განვითარებასთან დაკავშირებით, ახლადწარმოშობილ ბურჟუაზიას ესაჭიროებოდა ახალი მეცნიერება, რომელიც დაეყრდნობოდა არა არისტოტელეს ნაწარმოებთა განმარტებებს, არამედ ცდებდა და დაკვირვებებს და რომელიც დაფუძნებული იქნებოდა უფრო მოწინავე მსოფლმხედველობაზე. ვაჭრობისა და ზღვაოსნობის განვითარება, კალენდრის პრობლემა დაეინებით მოითხოვდნენ ასტრონომიული ცოდნის და კერძოდ ცთომილთ ცხრილების სრულყოფას.

ასე, საწარმოო ძალთა განვითარებამ და პრაქტიკის მოთხოვნილებებმა, ერთი მხრივ, და დაგროვილმა დაკვირვებითმა მასალამ, მეორე მხრივ, მოამზადეს ასტრონომიაში რევოლუცია, რომელიც მოახდინა დიდმა პოლონელმა მეცნიერმა კოპერნიკმა (1473—1543) თავისი წიგნით „ციური სფეროების გარემოქცევათა შესახებ“.

ეყრდნობოდა რა დაკვირვებათა დაგროვილ მარაგსა და პტოლემეს სისტემის ღრმა ანალიზს, კოპერნიკმა დაამტკიცა, რომ ცთომილთა ნოდრაობები აიხსნება ბევრად უფრო მარტივად და ბუნებრივად, თუკი მივიღებთ, რომ ცთომილთ სისტემის ცენტრში იმყოფება მზე, რომლის ირგვლივ გარემოიქცევიან ცთომილები, მათ შორის დედამიწაც. თუმცა კოპერნიკმა ვერ შესძლო მოეყვანა დედამიწის მოძრაობის დაკვირვებებიდან მიღებული მტკიცებანი, ის მაინც ღრმად იყო დარწმუნებული თავისი დასკვნების სისწორეში და თავისი ჰელიოცენტრული სისტემის საფუძველზე შეადგინა ცთომილთ მოძრაობის წინანდლზე უფრო ზუსტი და მარტივი ახალი ცხრილები.

კოპერნიკის შრომის მნიშვნელობა შორს სცილდება საკუთრივ ასტრონომიის ფარგლებს. პირველად კოპერნიკმა დააყენა საკითხი იმის შესახებ, რომ მეცნიერული თეორიები „საგნების ქეშმარიტ ბუნებას“ უნდა შეეფარდებოდეს და არა „სამიღვთო წერილსა“ და საეკლესიო დოგმატებს. დედამიწის მოძრაობის შესახებ კოპერნიკის მოძღვრება, რომ დედამიწა მხოლოდ ერთ-ერთი ცთომილთაგანია, ძირშივე არყევდა რელიგიური მსოფლმხედველობას სამყაროში დედამიწისა და ადამიანის ცენტრალურ მდგომარეობაზე. „ამ

ვლიდან ბუნების კვლევა არსებითად განთავისუფლდა რელიგიისაგან“ (ფ. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 197).

ჭელიოცენტრული სისტემის დასადასტურებლად უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა კეპლერისა (1571—1630) და გალილეის (1564—1642) შრომებს. აუარბებელა გამოთვლის შედეგად კეპლერმა დაადგინა ცთომილების მოძრაობის კანონები, გალილემ კი, მექანიკის ერთ-ერთმა დამაარსებელმა, გვიჩვენა დედამიწის მოძრაობის საწინააღმდეგო მოსაზრებების უსუსურობა. მათმა შრომებმა მოაზაადეს ნიადაგი ნიუტონის (1643—1727) მიერ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოსაჩენად. მსოფლიო მიზიდულობის კანონმა ახსნა მზის ირგვლივ ცთომილების გარემოქცევის მიზეზები და ამით განამტკიცა ჰელიოცენტრული სისტემა.

ასტრონომიის შემდგომი სწრაფი განვითარება განისაზღვრებოდა კაპიტალიზმის ჩამოყალიბების პერიოდში საწარმოო ძალთა მძაფრი ზრდით. ასტრონომიის პრაქტიკულ მნიშვნელობას ადასტურებს ზღვაოსნობისა და კარტოგრაფიის საჭიროებისათვის ობსერვატორიების დაარსების ფაქტი. 1667 წელს დაარსდა პარიზის ობსერვატორია, 1675 წელს—გრინიჩის ობსერვატორია (ლონდონის მიხლობლად), 1692 წელს— ობსერვატორია ხოლომოგორებში (ჩრდილოეთის დენინზე).

დიდი წარმატებები იქნა მოპოვებული ასტრონომიული ხელსაწყობების სრულყოფაში. ასტრონომიისათვის უდიდესი როლი შეასრულა ტელესკოპის გამოგონებამ. უკვე გალილემ, რომელმაც პირველმა მიმართა ცისკენ ტელესკოპი, მრავალი აღმოჩენა მოახდინა. მან აღმოაჩინა მთები მთვარეზე, ვენერას ფაზები და დამტკიცა რომ ირმის ნახტომი შედგება ვარსკვლავებისაგან.

ტელესკოპთმშენებლობის წარმატებები ხელს უწყობდნენ ასტრონომიის ახალ წარმატებებს და ყოველი ახალი, უფრო დიდი ტელესკოპი ახალ აღმოჩენას ნიშნავდა. დაკვირვებებში მიღწეულმა სიზუსტემ მიგვიყვანა ვარსკვლავთ საყუთარი მოძრაობებისა (პალეი, 1656--1742) და სინათლის აბერაციისა და დედამიწის ღერძის ნუტაციის აღმოჩენამდე (ბრადლიე, 1693—1762).

XVIII საუკუნე და XIX საუკუნის პირველი ნახევარი ცის მექანიკის უდიდესი წარმატებების პერიოდი იყო. ეილერმა (1707--1783), კლერომ (1713--1765), ლაგრანჟმა (1736--1813) და ლაპლასმა (1749--1827) მსოფლიო მიზიდულობის კანონზე დაყრდნობით ბრწყინვალედ ახსნეს მზის სისტემის სხეულთა მოძრაობის მიზეზი.

ციის მექანიკის განვითარება დაგვირგვინდა XIX საუკუნის შუა წლებისთვის სირიუსისა და პროციონის თანამგზავრების (ბესელი) და ცთომილი ნებტუნის (ლევერიე, 1811--1877 და ადამსი, 1819--1892) აღმოჩენით; ეს აღმოჩენები მოხდენილ იქნა პირდაპირ „კალმის წვერზე“.

ვარსკვლავთ ასტრონომია იწყება XVIII საუკუნის ბოლოდან ვ. ჰერშელის (1738--1822) შრომებით ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის აგებულების შესახებ. უდიდეს წარმატებას წარმოადგენდა XIX საუკუნის 30-იან წლებში ვარსკვლავთა პარალაქსების აღმოჩენა (ვ. სტრუვე, ბესელი, ჰენდერსონი), რის შედეგად კაცობრიობის ისტორიაში პირველად იქნა ვაზომილი ვარსკვლავთმდე მანძილები.

XVIII საუკუნის ბოლო შესანიშნავი იყო კიდევ იმით, რომ მეცნიერებანი პირველად იქნა შემოტანილი ბუნებაში ევოლუციის იდეა: კანტმა და ლაპლასმა, ეყრდნობოდნენ რა მექანიკის კანონებსა და მზის სისტემის აგებულების კანონზომიერებებს, შექმნეს ჰიპოთეზები ცთომილთ წარმოშობის შესახებ.

XIX საუკუნის შუა წლებიდან, ასტრონომიაში ფოტოგრაფიის გამოყენების დაწყებასთან და სპექტრული ანალიზის აღმოჩენასთან (ბუნზენისა და კირხჰოფის მიერ) ერთად იწყება ცის სხეულების ფიზიკური ბუნების შესწავლა. სეკის (1818 — 1878), ვ. ზეგინსისა და ა. ბელოპოლსკის (1854—1934) შრომებით დაიწყო ვარსკვლავთ ასტროსპექტროსკოპია; ეანსენისა (1824—1907) და ლოკიერის (1836—1920) შრომებით—მზის ფიზიკა. თ. ბრედინინის (1831—1904) შრომებით საფუძველი ჩაეყარა კომეტების ფორმების თეორიას, ა. ბელოპოლსკის მიერ დობლერის პრინციპის სინათლის მიმართ ლაბორატორიულმა შემოწნებამ კი ფართო გზა გაუხსნა დობლერის პრინციპის გამოყენებას ცის სხეულების მოძრაობებისა და მათზე ფიზიკური პირობების შესწავლაში.

XX საუკუნეში ცის სხეულების ფიზიკური ბუნების შესახებ ჩვენი ცოდნის განვითარება კიდევ უფრო დიდი ნაბიჯებით წავიდა წინ. სპეციალურად ასტროფიზიკური კვლევისათვის დანიშნული უდიდესი ტელესკოპების აგება. მძლავრი სპექტროგრაფების შექმნა, მზის გამოკვლევისათვის სპეციალური ხელსაწყოების შექმნა (სპექტროპელიოგრაფები, სპექტროპელიოსკოპები, დაბნელების გარეშე კორნოგრაფები)—ყველაფერმა ამათ საშუალება მოგვცა დაგვეგროვებინა დიდი რაოდენობის დაკვირვებითი მასალა და ვარსკვლავთ შინაგანი აღნაგობისა და მათი ენერჯიის წყაროების შესწავლისათვის წარმატებითი თეორიული სამუშაოებისათვის აუცილებელი წინაპირობები შექმნა.

XX საუკუნის 40-იან წლებში დაიწყო რადიოასტრონომიის ძლიერი განვითარება, რამაც საშუალება მოგვცა ცის სხეულების ბუნების შესწავლისათვის გამოვეყენებინა კვლევის ახალი ხერხები და მეთოდები.

XX საუკუნის ასტრონომიის უდიდეს მიღწევებიდან უნდა აღვნიშნოთ ვარსკვლავთა სპექტრებისა და მათ აბსოლუტურ სიდიდების შორის დამოკიდებულების აღმოჩენა და ცეფეიდებისათვის „პერიოდი — ბრწყინვალეობის“ დამოკიდებულების აღმოჩენა, რამაც საშუალება მოგვცა განვესაზღვრა მანძილები არა მარტო გალაქტიკაში, არამედ შორს, მის საზღვრებს იქითაც; წარმატებითი სამუშაოები ვარსკვლავთ შინაგანი აღნაგობის თეორიულ გამოკვლევებში, რომლებმაც მიგვიყვანეს ვარსკვლავთ ენერჯიის წყაროების—თერმობირთვული რეაქციების აღმოჩენამდე; გალაქტიკაში სინათლის ვარსკვლავთშორისეთული შთანთქმის დამტკიცება, რომლის არსებობას ჯერ კიდევ ვ. სტრუვე ვარაუდობდა; გალაქტიკის ბრუნვის აღმოჩენა (გალაქტიკის ბრუნვის თეორია მათემატიკურად ჯერ კიდევ მ. კოვალსკიმ დაამუშავა 1859 წ.); სპირალური და ელიფსური ნისლეულების ვარსკვლავური შემადგენლობის დამტკიცება; შორეულ გალაქტიკათა სპექტრებში წითელი გადაადგილების აღმოჩენა; ვარსკვლავთ ბრუნვის აღმოჩენა; ბ. შმიდტისა და დ. მაკსუტოვის მიერ ტელესკოპების ახალი სისტემების გამოგონება; დედამიწის ბრუნვის უთანაბრობის

აღმოჩენა; ვარსკვლავთ ასოციაციების აღმოჩენა; მთვარის რადიოლოკაცია; ცის სხეულების რადიოგამოსხივებისა და ვარსკვლავთშორისეთული წყალბადის 21 სმ ტალღის სიგრძის და ვარსკვლავთშორისეთული დეიტერიის 91,5 სმ ტალღის სიგრძის რადიოხაზების აღმოჩენა.

ცალკეული მიღწევების შესახებ უფრო დეტალურად მოთხრობილი იქნება სახელმძღვანელოს სათანადო თავებში.

ასტრონომიის ისტორია გვიჩვენებს, რომ ეს მეცნიერება მკიდროდ ყოფილა დაკავშირებული პრაქტიკის უშუალო მოთხოვნილებებთანაც და ბევრ სხვა მეცნიერებასთან.

ასე, მაგალითად, ზღვაზე გრძედის განსაზღვრის პრობლემა ასტრონომიის წინაშე დიდი ხნის განმავლობაში აყენებდა მთვარის მოძრაობის დამაკმაყოფილებელი ცხრილების შექმნის ამოცანას—და მთვარის თეორიაზე მუშაობდნენ თავისი დროის საუკეთესო მათემატიკოსები და მექანიკოსები. ნებისმიერი მუდმივების ვარაიაციის მეთოდი, მდგრადობის თეორია, დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის რიცხვითი მეთოდები, დიფერენციალურ განტოლებათა თვისობრივი თეორია—მათემატიკის ყველა ეს მძლავრი მეთოდი ასტრონომიის ხელშეწყობით ჩაისახა და მნიშვნელოვანწილად ასტრონომიისავე ხელშეწყობით განვითარდა; თავის მხრივ ისინიც ეხმარებოდნენ ასტრონომიას წარმატებების მოპოვებაში. ასტრონომიის თანამედროვე მდგომარეობის დამახასიათებელია მეცნიერების სხვა დარგებთან კავშირის განსაკუთრებით სწრაფი განვითარება. მზისა და ვარსკვლავების ენერჯის წყაროების აღმოჩენამ პირველად მიუთითა კაცობრიობას ატომური ენერჯის წყაროებზე; რადიოასტრონომიის განვითარებამ დააკავშირა ასტრონომია რადიოფიზიკასა და კოსმოსური სხივების ფიზიკასთან. ასტრონომიაში დამუშავებული სპექტრული ანალიზის თვისობრივი და რაოდენობრივი მეთოდები წარმატებით გამოიყენება მეტალურგიაში და ა. შ.

§ 6. ასტრონომია რუსეთში. რუსი მემატიანეები, ისტორიკოს კარამზინის სიტყვებით, „იყვნენ მყარი ცის პირველი დამკვირვებლები რუსეთში, რომელნიც დიდი სიზუსტით ამჩნევდნენ კომეტების გამოჩენას, მზისა და მთვარის დაბნელებებს“. მათ მიერ ციურ მოვლენათა შესახებ შესრულებული ჩანაწერების შესწავლა ნამდვილად ამტკიცებს რუსების დაკვირვების დიდ სიზუსტეს, დასავლეთი ევროპის ქრონიკოსების ცნობებთან შედარებით. ზოგიერთ ამ დაკვირვებას ახლაც აქვს მეცნიერული ღირებულება (დაბნელებებზე დაკვირვება, ჰალეის კომეტის გამოჩენა XIII საუკუნეში და სხვ.). ნოვგოროდის 1371 წლის მათიანეში აღნიშნულია ევროპაში პირველი დაკვირვება მის ლაქებზე.

რუსეთში მეცნიერული ასტრონომიის განვითარება პეტრე I-ის დროიდან დაიწყო. უკვე აღნიშნეთ, რომ 1692 წელს ხოლმოგორებში პირველი ობსერვატორია იქნა აგებული. რადგანაც ასტრონომიული დაკვირვებები ფრიად აუცილებელი იყო კარტოგრაფიისა და განვითარებაში მყოფ საზღვაო ფლოტისათვის, პეტრე I-მა ბრძანა, შექმნილიყო მოსკოვის „სანავიგაციო სკოლასთან“ ასტრონომიული ობსერვატორია (ის იმყოფებოდა „სუხარეის“

კოშკში). 1726 წ. გაიხსნა ასტრონომიული ობსერვატორია მეცნიერებათა ახლად დაარსებულ აკადემიასთან.

პირველი რუსი აკადემიკოსი მ. ლომონოსოვი (1711—1765) იყო არა მარტო ფიზიკოსი, ქიმიკოსი, ფილოლოგი და პოეტი, არამედ ასტრონომიც. მან წამოაყენა განსაკუთრებული სისტემის რეჟულეტორის კონსტრუქცია (ლომონოსოვ-პერშელის სისტემა), ამზადებდა ასტრონომიულ იარაღებს. 1761 წელს მზის დისკოზე ვენერას გაჯლის დაკვირვებისას ლომონოსოვმა ვენერაზე ატმოსფეროს არსებობა აღმოაჩინა, რითაც დასაწყისი მისცა ცთომილთ ასტრონომიას. XIX საუკუნის დასაწყისისათვის რუსეთში უკვე იყო მთელი რიგი ასტრონომებისა, რომელთაგან აუცილებელია აღინიშნოს ა. ლეჟელი (1740—1784), რომელმაც პირველად გამოთვალა ურანის ორბიტი, ს. რუმოვსკი (1734—1812), რომელიც განაგებდა აკადემიურ ობსერვატორიას, და ვ. ვიშნევსკი (1781—1855), XIX საუკუნის დასაწყისის ერთ-ერთი ყველაზე გამოჩენილი დამკვირვებელთაგანი.

XIX საუკუნის დასაწყისში შეიქმნა ობსერვატორიები მთელ რიგ უნივერსიტეტებში: იურიევის (ახლა ტარტუს), ყაზანის, ხარკოვისა და სხვ. მოსკოვის უნივერსიტეტთან ობსერვატორია გაიხსნა 1830 წელს. მისი პირველი დირექტორი იყო დ. პერეგოშჩიკოვი (1788—1880), თავისი დროის ერთ-ერთი გამოჩენილი მეცნიერი და საზოგადო მოღვაწე (იგი იყო ნეკრასოვის „სოვრენენიკის“ ერთ-ერთი თანამშრომელი). 60-იან წლებში გამოვიდა მისი ნაშრომი „შვიდი დიდი ცთომილის საუკუნეებრივი შეშფოთებების შესახებ“.

1839 წელს მოხდა პულკოვოს ობსერვატორიის გახსნა. მისი ორგანიზატორი და პირველი დირექტორი იყო მსოფლიოს ერთ-ერთი დიდი ასტრონომი ვ. სტრუვე (1793—1864). პულკოვოს ობსერვატორიის შრომებმა დიდი გავლენა მოახდინეს ვარსკვლავთ მდებარეობების უზუსტესი განსაზღვრის მეთოდების განვითარებაზე. პულკოვოს ობსერვატორია იყო რუსეთის რუკების შედგენის მრავალრიცხოვანი სამუშაოების ორგანიზატორი და იქცა რუსი ასტრონომებისათვის შესანიშნავ სკოლად: მასში მუშაობდნენ ხ. პეტერსი (1806—1880), ა. ვანსკი (1870—1908), ს. კოსტინსკი (1867—1936), თ. ბრედისინი, ა. ბელოპოლსკი. პულკოვოს ობსერვატორია აღჭურვილი იყო იმ დროისათვის უდიდესი იარაღებით: ჯერ 15 გოჯიანი, შემდეგ კი 30 გოჯიანი რეფრაქტორებით. ასტროფიზიკის განვითარებასთან ერთად პულკოვოს ასტრონომებმა წარმატებით დაიწყეს მუშაობა ასტრონომიის ამ ახალ დარგშიც.

XIX საუკუნესა და XX საუკუნის დასაწყისში რუსული ასტრონომიის უმნიშვნელოვანესი მიღწევებიდან უნდა აღინიშნოს ვ. სტრუვეს ნაშრომი „ვარსკვლავთ ასტრონომიის ეტიუდები“, რომელშიც მან მიუთითა სინათლის ვარსკვლავთშორისეთული შთანთქმის არსებობაზე, ბრედისინის მიერ შექმნილი კომეტების ფორმების თეორია, ვანსკის მიერ მზის კორონის ფოტოგრაფიული გამოკვლევები, ბელოპოლსკის მიერ ცვალებად და ორმაგ ვარსკვლავთა სპექტრების პიონერული გამოკვლევები, გ. ტიხონის მიერ ცთომილების გამოკვლევებისათვის შექტილტრების გამოყენება, ს. ბლაჟკოს მიერ მეტეორების სპექტრების მიღება და მათი ახსნა.

მაგრამ მიუხედავად ამ დიდი სამუშაოებისა, რუსეთში ასტრონომიის განვითარება ბრკოლდებოდა რეაქციული მეფურ-მემამულური წყობილებით. მეფის მთავრობა ცოტას ზრუნავდა ახალი ობსერვატორიების მშენებლობასა და მოწყობაზე, მეცნიერული კადრების მომზადებაზე, საკუთარ ოპტიკურ-მექანიკურ მრეწველობაზე (თუმცა მეტწილ აუცილებელ ხელსაწყოებს საზღვარგარეთ ყიდულობდნენ).

§ 7. ასტრონომია საბჭოთა კავშირში. ოქტომბრის დიდმა სოციალისტურმა რევოლუციამ საფუძვლიანად შეცვალა ჩვენს ქვეყანაში მეცნიერებისა და ნათ შორის ასტრონომიის მდგომარეობა. რევოლუციამ პოლიტიკურ, სამეურნეო და სამეცნიერო მოღვაწეობაში ჩააბა მშრომელთა მრავალმილიონიანი მასები. მეცნიერებაში მოვიდნენ ახალი კადრები — ყოფილი მუშები და გლეხები.

საბჭოთა კავშირის სახალხო მეურნეობისა და კულტურული მშენებლობის ყოველმხრივი განვითარების ამოცანა მოითხოვდა ობსერვატორიების ფართო ქსელის შექმნას აუცილებელი მოწყობილობით, მეცნიერ მუშაკთა და მონსახურე პერსონალის საკმარის რაოდენობას. ამ ამოცანის გადასაჭრელად აუცილებელი იყო ასტრონომიული კადრების რიცხვის მკვეთრი გაზრდა და სამამულო ოპტიკურ-მექანიკური მრეწველობის შექმნა.

ეს ამოცანები წარმატებით იქნა გადაჭრილი.

ამჟამად არა მარტო ძველ ასტრონომიულ ცენტრებში — პულკოვოში, მოსკოვში, ყაზანში, არამედ ნაციონალურ რესპუბლიკებშიც არსებობენ საუკეთესო ობსერვატორიები, სადაც მუშაობს ადრე დაჩაგრული ნაციონალური უმცირესობის წარმომადგენელი მრავალი გამოჩენილი ასტრონომი.

შექმნილია სამამულო ოპტიკურ-მექანიკური მრეწველობა; თუ რევოლუციამდე მკირე გადასატანი იარაღებიც კი საზღვარგარეთიდან შემოჰქონდათ, ამჟამად ჩვენი ოპტიკური ქარხნები და ინსტიტუტები უშვებენ ურთულეს ხელსაწყოებს. საბჭოთა ოპტიკურ-მექანიკური მრეწველობის მიერ უკვე შექმნილია საბჭოთა კავშირის მთელ რიგ ობსერვატორიებში დადგმული მაკსუტოვის სისტემის რამდენიმე საუკეთესო ტელესკოპი.

მეფის რუსეთში მხოლოდ ერთი, პულკოვოს კარგად მოწყობილი ობსერვატორია იყო. ამჟამად საბჭოთა კავშირში მთელი რიგი მსხვილი ობსერვატორიებია. ომის დროს დანგრეული პულკოვოსა და სიმეიზის ობსერვატორიები ფაქტიურად ახლად აიგო და აღიჭურვა პირველხარისხოვანი ახალი იარაღებით. ჯერ კიდევ შემდეგ შეიქმნა აბასთუმნისა და ბიურაკანის მაღალმთიანი ობსერვატორიები. ომის შემდეგ მათ მიემატა ალმა-ატის ობსერვატორია და სამთო სადგური კისლოვოდსკთან. აგებულია მოსკოვის ობსერვატორიის ახალი შენობა ლენინის მთებზე; მნიშვნელოვნად გაიზარდა საუნივერსიტეტო ობსერვატორიების რიცხვი.

საბჭოთა ასტრონომები მუშაობენ მეგობრულ სამეცნიერო კოლექტივებად, ეყრდნობიან რა მარქსისტულ-ლენინურ ფილოსოფიას; ისინი შრომობენ საბჭოთა კავშირის სახალხო მეურნეობის პრაქტიკულ მოთხოვნილებებთან მჭიდრო კავშირში; მათი მოღვაწეობა წარიმართება და კოორდინირდება

საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ასტრონომიული საბჭოს მიერ შემუშავებული საერთო გეგმათ.

საბჭოთა ასტრონომები მუშაობენ ზალხისათვის, აქტიურად მონაწილეობენ ქვეყნის საზოგადოებრივ ცხოვრებაში, ეწევიან რა ასტრონომიული ცოდნის ფართო პროპაგანდას მასებში. მეცნიერული ცოდნის პროპაგანდისა და ასტრონომიის დარგში ფართო მასების სამეცნიერო მუშაობაში ჩაბმის მიზნებს ემსახურება საკავშირო ასტრონომიულ-გეოდეზიური საზოგადოება, რომელსაც თავისი განყოფილებები საბჭოთა კავშირის მრავალ ქალაქში აქვს.

საბჭოთა ასტრონომები მჭიდროდ არიან დაკავშირებულნი საზღვარგარეთის ქვეყნების და განსაკუთრებით სახალხო დემოკრატიის ქვეყნების ასტრონომებთან. ისინი აქტიურად მონაწილეობენ! საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირის მუშაობაში.

თავი პირველი

ცის სფერო და მისი გრუნვა

§ 8. ცის თალი და ცის სფერო. დედამიწის ზედაპირის რომელ ადგილზედაც არ უნდა ვიმყოფებოდეთ, ჩვენს ზევით მუდამ ვხედავთ ცას ვეებერთელა თალის სახით, რომლის შიგნითა ზედაპირზე განლაგებულია მზე, მთვარე და ვარსკვლავები. ეს თალი წარმოგვიდგება როგორც ნახევარი სფერო და საითაც არ უნდა გადავინაცვლოთ, ყოველთვის გვეჩვენება, რომ ჩვენ მის ცენტრში ვრჩებით. შეიძლება ვიფიქროთ, რომ დედამიწის ზევით, თითქოს სინამდვილეში, აღმართულია რაღაც გიგანტური ცისფერი თალი, რომლის შიგნითა ზედაპირზე მდებარეობენ მნათობები. ყველა ძველი ხალხი ასეც ფიქრობდა.

მაგრამ ეს არ არის სწორი. სფერული ზედაპირის შთაბეჭდილება იმის გამო იქმნება, რომ ჩვენს თვალს არ შეუძლია გაარჩიოს ციური მნათობებიდან რომელია ჩვენთან უფრო ახლოს და რომელი შორს; ამიტომ ჩვენ ყველა მნათობი ჩვენგან ერთსა და იმავე მანძილზე გვეჩვენება და წარმოვიდგენთ, რომ ყველა ისინი განლაგებულია რომელიღაც სფეროს ზედაპირზე, რომლის ცენტრშიც ყოველთვის იმყოფება დამკვირვებელი. იგივე შეიძლება ითქვას დღის ცის წერტილების მიმართაც. უკვე დიდი ხანია ცნობილია, რომ მნათობები ჩვენგან სულ სხვადასხვა მანძილზე მდებარეობენ და სინამდვილეში არავითარი მყარი სფერო არ არსებობს; მიუხედავად ამისა, მეცნიერებამ მაინც შეინარჩუნა წარმოსახვითი სფერო, როგორც ხილულ ციურ მოძრაობათა გამოსახვის დამხმარე საშუალება. ამ სფეროზე აღინიშნება წარმოსახვითი წერტილები და წირები და მათ მიმართ განისაზღვრება მნათობთა ხილული მდებარეობანი.

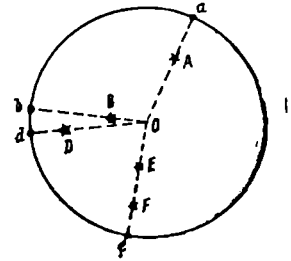
§ 9. ცის თალის ფერი. ე. წ. ცა სინამდვილეში არ არსებობს; არსებობენ მხოლოდ ცალკეული მნათობები, რომლებიც მოძრაობენ უსაზღვრო სივრცეში. ცისფერი თალი, რომელიც დღისით მოჩანს, არის დედამიწის ატმოსფერო. ის გარს აკრავს დედამიწის სფეროს შედარებით თხელ ფენად, სისქით დაახლოებით ათას კილომეტრამდე, რომლის იქით იშლება სამყაროს უჰაერო სივრცე.

ატმოსფერო საესებით გამჭვირვალე არ არის: ჰაერის მოლეკულები, აგრეთვე წყლის ორთქლის წვეთები და მტერის ნაწილაკები, განაბნევენ მათზე დაცემულ მზის სინათლეს, ე. ი. მიმოფანტავენ მას ყველა მიმართულებით. ამავე დროს სხვადასხვა ფერის სხივების გაბნევა არაერთნაირია და დამოკიდებულია გასანათებელი ნაწილაკის სიდიდეზე. იმ სიდიდეებისა-

თვის, რომლებიც ჰაერის მოლეკულებს აქვს უპირატესად ცისფერი სხივები გაიბნევიან. ამით გამოწვეული ატმოსფეროს განათება იმდენად ძლიერია, რომ ჩვენ დღისით ვარსკვლავებს ვეღარ ვხედავთ. ატმოსფერო რომ არ ყოფილიყო, ცა დღისითაც სახვებით შავი გამოჩნდებოდა და ვარსკვლავებს დღე-ღამის ნებისმიერ დროს დავინახავდით. ამგვარად, ცისფერი „ცა“—ეს უკანა „ფონი“ კი არ არის, რომელზედაც ციური მოვლენები მიმდინარეობენ, არამედ წინა ნახევრად გამჭვირვალე „ფარდას“ წარმოადგენს.

§ 10. ცის სფეროს თვისებები. ცის სფეროს წრეებისა და წერტილების აღნიშვნასა და მონახვაში საჭიროა კარგად ვერკვეოდეთ არა მარტო ნახაზებზე, არამედ ვარსკვლავიერ ცაზედაც. ამიტომ დამწყებისათვის ყველაზე უფრო მოხერხებულია ცის სფეროს შემდგენიანი წარმოდგენა.

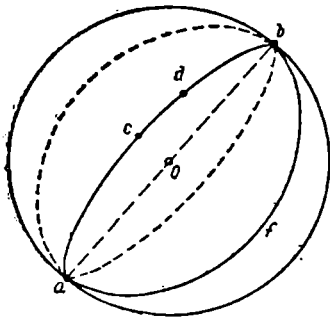
წარმოვიდგინოთ ჩვენს ირგვლივ სფერო, რომლის რადიუსი ნებისმიერია, მაგრამ გაცილებით მეტი ჩვენთვის ხილულ უშორეს ვარსკვლავის ნანძილზე; სიმოკლისათვის ასეთ რადიუსს ზოგჯერ რაგინდ დიდს უწოდებენ. ასეთი დიდი ზომის გამო დამკვირვებლის ყოველგვარი გადანაცვლება, ცის სფეროს რადიუსთან შედარებით, უმნიშვნელოა და დამკვირვებელი მუდამ მის (O) ცენტრში რჩება. ამ სფეროს ზედაპირზე მივიღებთ



ნახ. 1.

$A, B, D...$ მნათობების გეგმილებს, თუ დამკვირვებლის თვალისა და მნათობების შემაერთებელ სწორ ხაზებს გაავარძლებთ ცის სფეროს გადაკვეთამდე. მნათობების გეგმილები $a, b, d...$ სფეროს ზედაპირზე გვაძლევს მათ ხილულ მდებარეობას (ნახ. 1). იმ პირობიდან, რომ ჩვენთვის მისაწვდომი ყოველგვარი მანძილი გაცილებით უფრო მცირეა შედარებით ცის სფეროს სიდიდესთან, გამომდინარეობს ცის სფეროს მნიშვნელოვანი თვისება: რომელიმე ერთი მიმართულებით გავრძელებული პარალელურ ხაზთა სისტემა სფეროსთან ერთ წერტილში გადაიკვეთება.

გარდა ამისა, ცის სფეროს აქვს სფეროს ყველა თვისება, რომლებიც ცნობილია გეომეტრიიდან. ჩამოვთვალოთ ის თვისებები, რომლებიც შემდეგში დაგვკვირდება:



ნახ. 2.

1) სფეროს ცენტრზე გატარებული სიბრტყე მას ორ ნახევარსფეროდ ყოფს და სფეროს ზედაპირთან დიდ წრეზე¹ იკვეთება, რომლის რადიუსი სფეროს რადიუსს უდრის.

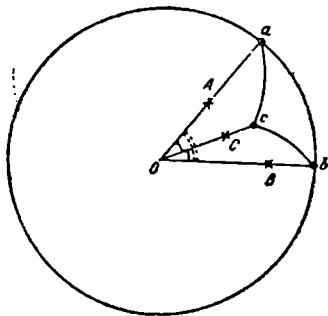
2) სფეროს ზედაპირის ორ წერტილზე (c და d , ნახ.2), რომლებიც ერთ დიამეტრზე არ მდებარეობს, შეიძლება მხოლოდ ერთი დიდი წრის ($acdb$) გატარება.

¹ სფეროს წრეების ქვეშ აქ და შემდგომ, თითქმის ყველგან, იგულისხმება წრეხაზები სფეროზე. ქართ. გამოც. რედ.

3) ორი დიდი წრე ყოველთვის კვეთს ერთმანეთს და ამასთანავე დია-მეტრალურად მოპირდაპირე წერტილებში (a და b , ნახ. 2). პარალელური დიდი წრეები არ არსებობს.

ციის სფეროს შემოღების ხელსაყრელობა. როცა ჩვენ გვსურს რიცხვებით გამოვსახოთ ორი მნათობის ფარდობითი მდებარეობა, რომელთა მანძილი უცნობია, მაშინ ერთადერთი, რაც შეგვიძლია გავზომოთ — ესაა ამ მნათობებისაკენ მიმართულებებს შორის შედგენილი კუთხე.

მაგრამ, გაცილებით უფრო მოსახერხებელია დაევაგემილოთ ეს მნათობები ციის სფეროზე და მიმართულებებს შორის კუთხის ნაცვლად განვიხილოთ



ნახ. 3.

გვეგილებს შორის დიდი წრის რკალი. თუ გვაქვს სამი მიმართულება (OA , OB და OC), მაშინ, მათ შორის მდებარე სამწახნაოვანი კუთხის განხილვის ნაცვლად, უმჯობესია დაევაგემილოთ ეს მიმართულებანი სფეროზე (a , b და c) და განვიხილოთ ამ სამი წერტილითა და მათი შემაერთებელი დიდი წრის რკალებით შექმნილი „სფერული“ სამკუთხედი abc (ნახ. 3).

შენიშვნა. ციის სფერო შეიძლება სხვანაირადაც განისაზღვროს. სივრცის რომელიმე წერტილიდან ნებისმიერი რადიუსით შემოწერილ სფეროს ციის სფერო ეწოდება. ამ სფეროს ცენტრიდან ატარებენ წრფეებს მნათობების მიმართულებათა ანდა საზოგადოდ იმ მიმართულებათა პარალელურად, რომლებიც განიხილება მოცემულ ამოცანაში. ყოველი ამ მიმართულების გადაკვეთა ციის სფეროს ზედაპირთან გვაძლევს საესებით გარკვეულ წერტილს. მაგრამ, უკეთესია ასეთ სფეროს ვუწოდოთ არა „ციური“, არამედ დამხმარე სფერო.

§ 11. ციის სფეროს ბრუნვა. დაკვირვებები გვიჩვენებენ, რომ ღამის ციის სურათი განუწყვეტლივ იცვლება: დასავლეთით მდებარე თანავარსკვლავედები თანდათანობით ეშვებიან ძირს და ზოგიერთი მათგანი საესებით ჩადის; პირიქით, აღმოსავლეთით მყოფი თანავარსკვლავედები ნელ-ნელა ზევით ამოდინდებიან და მათ ადგილებს იკაებენ ახლები, რომლებიც წინათ ცაზე არ ჩანდნენ.

ამავე დროს, ცალკეული ვარსკვლავები არ ჩამორჩებიან და არც უსწრებენ ერთმანეთს და თანავარსკვლავედის ფიგურებიც არ იცვლება. მოძრაობა ისე წარმოებს, თითქოს ვარსკვლავები ციის თალის განსაზღვრულ ადგილებში უძრავადაა მიმაგრებული და თვით თალი კი მთლიანად ბრუნავს, როგორც მთლიანი მყარი სფერო. რადგან ციის თალი ერთ სრულ შემობრუნებას ერთი დღე-ღამის (დღე-ღამის ზუსტი განსაზღვრა ქვევით იქნება მოცემული) განმავლობაში ასრულებს, ამიტომ ამ მოძრაობას დღეღამური ბრუნვა ეწოდება.

ყოველ მბრუნავ სფეროს უნდა ჰქონდეს ბრუნვის ღერძი, ე. ი. სწორი ხაზი, რომლის ყველა წერტილი უძრავი რჩება. ასეთი წარმოსახვითი ღერძი ცის თალსაც აქვს და მას სამყაროს ღერძი ეწოდება. ეს ღერძი გადის სფეროს ცენტრზე, ე. ი. დამკვირვებლის თვალზე. სამყაროს ღერძი ცის სფეროს კვეთს ორ დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილში, რომელთაც სამყაროს პოლუსები ეწოდება. დაკვირვებიდან ადვილია ცახე სამყაროს პოლუსის მდებარეობის განსაზღვრა. პოლუსში რომ რომელიმე ვარსკვლავი მდებარეობდეს, ის უძრავი იქნებოდა. ასეთი ვარსკვლავი არ არსებობს, მაგრამ ერთ-ერთ პოლუსთან (ჩრდილოეთის) ძალიან ახლოსაა პატარა დათვის თანავარსკვლავედის საკმაოდ კაშკაშა ვარსკვლავი. შეუიარაღებელი თვალით დაკვირვების დროს ის მუდამ ერთ ადგილზე გაჩერებული გვეჩვენება. ამ ვარსკვლავს, რომელიც მიახლოებით გვიჩვენებს სამყაროს ჩრდილო პოლუსის მდებარეობას, უწოდებენ პოლარულ ვარსკვლავს. ჩრდილო პოლუსის მოპირდაპირე სამყაროს სამხრეთი პოლუსი დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში არ ჩანს.

ვარსკვლავები, დღელამური მოძრაობის გამო, შემოწურენ სხვადასხვა რადიუსიან წრეებს: რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი სამყაროს პოლუსთან; მით უფრო მცირეა მისი დღელამური წრე. ყველა მნათობის დღელამური წრეები ერთმანეთის პარალელურია; ამიტომ მათ ჩვეულებრივად დღელამურ პარალელებს უწოდებენ. პოლუსის მახლობელი ვარსკვლავების დღელამური პარალელები მთლიანად ჰორიზონტს ზევით მდებარეობს და ეს ვარსკვლავები ამიტომ არასდროს არ ჩადაინ. მაგალითად, ჩვენს განედზე ასეთ ჩაუვალ თანავარსკვლავედს დიდი დათვის თანავარსკვლავედი წარმოადგენს (ნახ. 4). მზის ჩასვლის შემდეგ ცახე ნებისმიერ დღესა და საათზე შეიძლება დავინახოთ შეიდი ვარსკვლავისაგან შემდგარი „ციცხვის“ მსგავსი თავისებური ფიგურა. ის ხან დაბლა, ჩრდილოეთ ჰორიზონტის გაყოლებითაა განლაგებული, ხან კი პირიქით, ზენიტთანაა; „ციცხვის სახელური“ (დიდი დათვის „კული“) ხან ქვევითაა მიმართული და ხან ზევით. მაგრამ პოლარული ვარსკვლავი თითქმის უძრავი რჩება. მას ჩვენ ყოველთვის ვიპოვიოთ, თუ დიდი დათვის ორ კიდურ ვარსკვლავზე, რომლებიც α და β-თი აღინიშნება, გავატარებთ სწორ ხაზს.



ნახ. 4.

ყველასათვის ცნობილია დღელამური მოძრაობის მიმართულება. ამ მიმართულებით ყველა განსაზღვრა, როგორცაა, მაგალითად, „ბრუნვა საათის ისრის მიმართულებით“, „აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ“, „მარცხნიდან მარჯვნივ“, ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება არასწორი აღმოჩნდეს. ასე, მაგალითად, პოლუსის მახლობელი ვარსკვლავების ბრუნვა დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მყოფი დამკვირვებლისათვის საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით წარმოებს, როგორც ეს მე-4 ნახაზიდან

ჩანს. ამასთანავე, ვარსკვლავები პოლუსს ქვევით დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მოძრაობენ, ხოლო პოლუსს ზევით—მარჯვნიდან მარცხნივ. მიუხედავად ამისა, ყველა ზემოთ მოყვანილი განსაზღვრა შეიძლება ვიზმართ სათანადო შენიშვნებით.

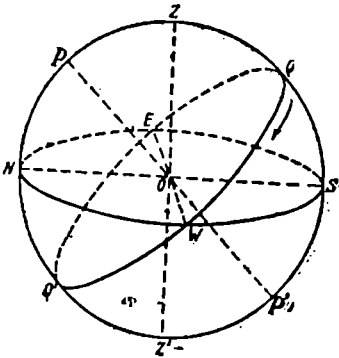
§ 12. ცის სფეროს ძირითადი წერტილები და წრეები¹. ძირითად მიმართულებას იძლევა ვერტიკალური ანუ შვეული ხაზი, რომლის გასწვრივ მოცემულ ადგილზე მიმართულია სიმძიმის ძალა. წერტილს, სადაც ცის სფეროსთან გადაიკვეთება ზევით გაგრძელებული შვეული ხაზი, ეწოდება ზენიტი. მის მოპირდაპირედ მდებარე წერტილს ეწოდება ნადირი (ორივე სახელწოდება არაბულია).

სიბრტყეს, რომელიც გადის დამკვირვებლის თვალზე (სფეროს ცენტრზე) შვეული ხაზის პერპენდიკულარულად, ჰორიზონტული სიბრტყე ეწოდება. გაეგრძელოთ ეს სიბრტყე ყველა მიმართულებით ცის სფეროსთან განედ-თანედ. სფეროს თვისების თანახმად, ეს სიბრტყე მასთან დიდ წრეზე გადაიკვეთება. დიდ წრეს, რომელიც წარმოადგენს ჰორიზონტული სიბრტყის ცის სფეროსთან გადაკვეთას, მათემატიკური ანუ ქემარითი ჰორიზონტი ეწოდება.

არ უნდა ავრიოთ ერთმანეთში ქემარითი ჰორიზონტი და ხილული ჰორიზონტი, ე. ი. ხაზი, რომლის გასწვრივაც „ცა დედამიწას უერთდება“.

ხილული ჰორიზონტი ხმელეთზე უსწორმასწორო ხაზს წარმოადგენს, რომლის წერტილები მათემატიკური ჰორიზონტის ზოგან ზევით და ზოგან ქვევით მდებარეობს. გაშლილ ზღვაზე ხილული ჰორიზონტი ყოველთვის წრეა, რომელიც მათემატიკური ჰორიზონტის პარალელურია და მის დაბლა მდებარეობს, ე. ი. ეს უკვე არ არის სფეროს დიდი წრე, არამედ მცირე წრეა.

ცის სფეროც ისევე შეიძლება გამოისახოს ნახაზზე, როგორც ყოველი სხვა სფერო. დამკვირვებლისათვის, რომელიც ყოველთვის სფეროს O ცენტრში იმყოფება, დიდი წრე $SWNE$ წარ-



ნახ. 5.

მოადგენს ჰორიზონტს, Z და Z' —ზენიტისა და ნადირის წერტილებს (ნახ. 5). დამკვირვებელი ხედავს ცის სფეროს მხოლოდ ზედა ნახევარს; ქვედა ნახევარი ჰორიზონტს ქვევითაა და მას დედამიწა ფარავს.

აუცილებლად უნდა გვახსოვდეს, რომ მე-5 და მისი მსგავსი ნახაზები ცის სფეროს ისე გამოისახავენ, როგორც ეს მის გარეთ მყოფ დამკვირვებელს წარმოუდგება. სინამდვილეში დამკვირვებელი ყოველთვის სფეროს ცენტრშია და უყურებს მას შიგნიდან.

¹ იხ. გვ. 21, შენიშვნა.

მეორე ძირითად წერტილს წარმოადგენს სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსი P (იხ. § 11). თუ P პოლუსსა და Z ზენიტზე გავატარებთ დიდ წრეს, მივიღებთ ცის მერიდიანს; ის ჰორიზონტთან იკვეთება წერტილებში, რომლებიც იწოდებიან ჩრდილოეთის (N) და სამხრეთის (S) წერტილებად.

მერიდიანის სიბრტყე ჰორიზონტის სიბრტყის პერპენდიკულარულია; ამ ორი სიბრტყის გადაკვეთის NOS ხაზს საშუადღეო ხაზი ეწოდება. მასზე მდებარეობს ჩრდილოეთისა და სამხრეთის წერტილები. ჰორიზონტის სიბრტყეში სფეროს ცენტრზე საშუადღეო ხაზის პერპენდიკულარულად გამავალი წრფე ჰორიზონტთან აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებში (E და W , ნახ. 5) იკვეთება.

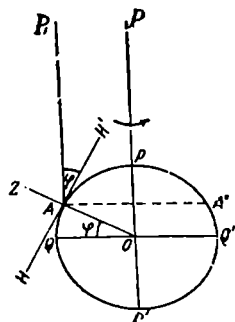
ყოველი მნათობი დღე-ღამის განმავლობაში მერიდიანზე ორჯერ გაივლის: 1) პოლუსიდან სამხრეთით, როდესაც მნათობს უმაღლესი მდებარეობა უკავია (ზედა კულმინაცია) და 2) პოლუსიდან ჩრდილოეთით, როდესაც მნათობი უდაბლეს მდებარეობაშია (ქვედა კულმინაცია).

ორივე პოლუსიდან თანაბრად დაშორებულ QQ' დიდ წრეს ცის ეკვატორი ეწოდება. ეკვატორის სიბრტყე სამყაროს ღერძის პერპენდიკულარულია. ჰორიზონტთან ეკვატორი აღმოსავლეთის E და დასავლეთის W (ნახ. 5) წერტილებში იკვეთება და ცის სფეროს ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროებად ყოფს.

ესადა, ვარსკვლავთ დღელამური პარალელები (§ 11) ცის ეკვატორის პარალელურია.

§ 12. ცის სფეროს ბრუნვა, როგორც დედამიწის ბრუნვის შედეგი. ცის სფეროს ბრუნვა მოჩვენებითია; სინამდვილეში მთელი სამყარო კი არ ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ, არამედ ჩვენი დედამიწა ბრუნავს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. ე. წ. „სამყაროს ღერძი“ პარალელურია დედამიწის ბრუნვის ღერძისა, ხოლო ცის ეკვატორის სიბრტყე პარალელურია დედამიწის ეკვატორის სიბრტყისა.

ამის გარკვევა შეიძლება მე-ნ ნახაზით, სადაც წრის სახით გამოსახულია დედამიწა. pQp' წრე დედამიწის ერთ-ერთ მერიდიანს წარმოადგენს, pp' —დედამიწის ღერძს, QQ' —დედამიწის ეკვატორს. ცის სფეროს გამოსახავად რაგინდ დიდი რადიუსის წრე დაგვჭირდებოდა. სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსი P ამ წრეზე pp' წრფის (ზევითა) გაგრძელებაზე მოექცეოდა.



ნახ. 6.

ვთქვათ, დამკვირვებელი იმყოფება დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსზე p წერტილში. მისთვის სამყაროს P პოლუსი ზენიტს ემთხვევა. OP ღერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვის გამო დამკვირვებელს ეჩვენება, რომ მთელი ცის თალი ბრუნავს P წერტილის, ე. ი. ზენიტის გარშემო შებრუნებული მიმართულებით.

ვთქვათ, ახლა დამკვირვებელი იმყოფება დედამიწის ზედაპირის A წერტილზე, რომლის განედია φ . ის ზენიტს AZ მიმართულებით ხედავს, ხოლო სამყაროს პოლუსს— AP_1 მიმართულებით, რომელიც OP -ს პარალელურია. დედამიწის ბრუნვის გამო დამკვირვებელი დღე-ღამის განმავლობაში შემოწერს ეკვატორის პარალელურ წრეს AA' დიამეტრით (ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარულად). გადატანითი ძრაობა ამ წრეზე, მაგალითად. ნახევარი დღე-ღამის განმავლობაში A წერტილიდან A' წერტილში გადასაცვლება, დამკვირვებლისათვის შეუძინეველი რჩება, რადგანაც დედამიწის სფეროს სიდიდე მნათობებამდე მანძილებთან შედარებით უმნიშვნელოა; ამიტომ მისთვის სამყაროს პოლუსი არ იცვლის მდებარეობას ვარსკვლავთა შორის ($OP||AP_1$). AA' წრეზე გადაადგილებას თან სდევს დამკვირვებლის განუწყვეტელი ბრუნვა; ასე, ნახევარი დღე-ღამის შემდეგ დამკვირვებელი სახით საწინააღმდეგო მიმართულებით, ე. ი. 180° -ით მობრუნდება. დამკვირვებელი მხოლოდ ამ ბრუნვით მოძრაობას ამჩნევს, რადგან ის თავის თავს უძრავად თვლის, მისთვის ბრუნვის ღერძი იქნება არა OP , არამედ მისი პარალელური AP_1 წრე, რომელიც დაკვირვების ადგილზე გადის. იგი ცის სფეროსთან იმავე წერტილში იკვეთება, სადაც დედამიწის ბრუნვის OP ღერძი. (§ 10). ამგვარად, ამ დამკვირვებლისათვისაც ცის მოჩვენებითი ბრუნვა სამყაროს პოლუსის გარშემო წარმოებს, მაგრამ ახლა სამყაროს პოლუსი უკვე ზენიტს აღარ დაემთხვევა. მისი წდებარეობა შემდეგი მნიშვნელოვანი თეორემით განისაზღვრება.

თეორემა: დედამიწის ზედაპირის ყოველ წერტილში ჰორიზონტიდან პოლუსის სიმაღლე ადგილის გეოგრაფიული განედის ტოლია. ეს ცხადად ჩანს მე-ნ ნახაზზე, სადაც HH' სწორი ხაზი φ განედზე მყოფი A დამკვირვებლის ჰორიზონტის სიბრტყის მდებარეობას უჩვენებს. კუთხე P_1AH' , რომელიც პოლუსის სიმაღლეს გამოსახავს, ტოლია AOQ კუთხისა, ე. ი. φ განედის, რადგანაც მათი გვერდები ურთიერთ პერპენდიკულარულია.

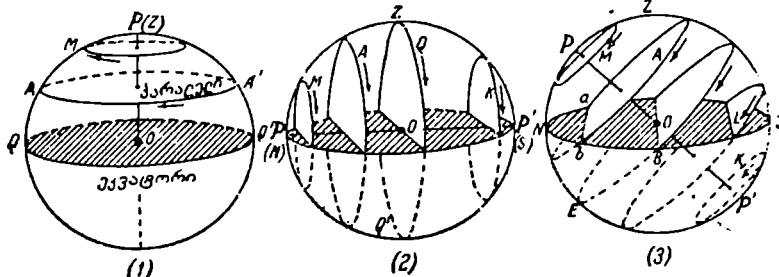
§ 14. ცის დღელამური ბრუნვა სხვადასხვა განედზე. ცის სფეროს ბრუნვის პირობები იცვლება ადგილის გეოგრაფიული განედის (φ) ცვლასთან ერთად, რადგან სხვადასხვა განედზე სამყაროს ღერძის დახრას სხვადასხვა სიდიდე აქვს.

ა) დედამიწის პოლუსზე [$\varphi=90$, ნახ. 7 (1)]. დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსი (P) ზენიტს (Z) ემთხვევა, ხოლო ცის ეკვატორი (QQ')—ჰორიზონტს. ჩრდილო ნახევარსფეროს ყველა ვარსკვლავი აღწერს დღელამურ პარალელებს, მაგალითად, AA' -ს, ჰორიზონტის პარალელურებს. არც ერთი მათგანი არა თუ არ ჩადის და ამოდის, სიმაღლესაც კი არ იცვლის. სამაგიეროდ, სამხრეთ ნახევარსფეროს არც ერთი ვარსკვლავი არ ჩანს.

ბ) დედამიწის ეკვატორზე [$\varphi=0^\circ$; ნახ. 7 (2)]. სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსი (P) აქ ჰორიზონტზე მდებარეობს ჩრდილოეთის წერტილში (N), ხოლო სამხრეთის პოლუსი (P')—სამხრეთის წერტილში (S). ცის ეკვატორი (QQ') ზენიტზე გადის; ვარსკვლავთ დღელამური პარალელები ჰორიზონ-

ტის სიბრტყის პერპენდიკულარულია, ამიტომ ყველა მნათობი ჰორიზონტის პერპენდიკულარულად ამოდის და ჩადის, 12 საათის განმავლობაში ჩანს და ზუსტად ამდენსავე ხანს არ ჩანს. ცხადია, დედამიწის ეკვატორზე შეიძლება დაეინახოთ ცის ორივე ნახევარსფეროს ყველა ვარსკვლავი (ცუდად ჩანს მხოლოდ ორივე პოლუსი).

გ) პოლუსისა და ეკვატორის შორის $[0 < \varphi < 90^\circ$; ნახ. 7 (3)] სამყაროს ღერძი ჰორიზონტის სიბრტყისადმი დახრილია φ კუთხით. ჩრდი-



ნახ. 7.

ლოეთ განედებში სამყაროს P პოლუსი ზენიტთან ახლოა; დამკვირვებლის უფრო სამხრეთი განედებისაკენ გადანაცვლებისას სამყაროს P პოლუსის სიმაღლე კლებულობს და დამკვირვებელი სამხრეთის ცის უფრო მეტსა და მეტ ვარსკვლავს ხედავს.

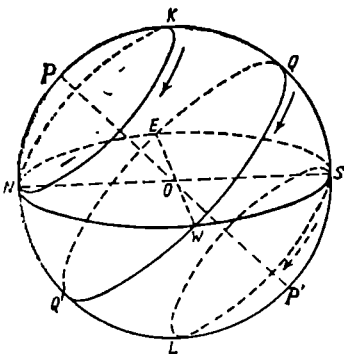
პოლუსის მახლობელ განედებში ვარსკვლავთ დღელამური წრეები ჰორიზონტთან ძლიერ მახვილ კუთხეებს შეადგენს. ამიტომ მნათობები ამოსვლისას მოძრაობენ ძლიერ დამრეცი გზებით, ძლიერ გადაიხრებიან რა სამხრეთისაკენ. მსგავსადვე წარმოებს მნათობების ჩასვლაც. დაბალ განედებზე ვარსკვლავთ დღელამური წრეების მიერ ჰორიზონტთან შედგენილი კუთხეები მეტად ახლოსაა სწორ კუთხესთან; ამომსვლელი მნათობები აღიმართებიან ციცაბოდ ზევით და უფრო მალე აღწევენ მნიშვნელოვან სიმაღლეს, ვიდრე მაღალ განედებზე.

§ 15. ჩაუსვლელი და ამოუსვლელი ვარსკვლავები. დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე მყოფი დამკვირვებელი თუ სამყაროს ჩრდილოეთის P პოლუსის, როგორც ცენტრის, გარშემო სფეროზე შემოაწერს (NK) წრეს, რომელიც ჰორიზონტს (N) ჩრდილოეთის წერტილში ეხება, მაშინ მის შიგნით მდებარე ყველა ვარსკვლავი ჩაუსვლელი იქნება¹ (ნახ. 8).

მნათობები, რომლებიც ცაზე ამ წრის გარეთაა, თავიანთი დღელამური გზის ნაწილს ჰორიზონტს ქვევით გადიან; რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავი პოლუსიდან, მით უფრო მეტია მისი დღელამური პარალელის უხილავი ნაწი-

¹ დამკვირვებლისათვის, რომელიც იმყოფება სამხრეთ ნახევარსფეროში, სათანადო წრეები აიწერება სამხრეთ პოლუსის გარშემო და ჩაუსვლელი ვარსკვლავთა წრე იქნება ჰორიზონტის სამხრეთის წერტილში შეხებით წრე.

ლი. ამასთანავე ვარსკვლავებისათვის, რომლებიც ეკვატორიდან ჩრდილოეთით მდებარეობენ (ე. ი. ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში), დღელამური გზის უბილაგი ნაწილი ნაკლებია ხილულზე და ვარსკვლავები პორიზონტს ზევით ნახევარ დღელამზე მეტ ხანს რჩებიან; ისინი ამოდიან აღმოსავლეთის წერტილის ჩრდილოეთით და ჩადიან დასავლეთის წერტილის ჩრდილოეთით. ეკვატორიდან სამხრეთით მდებარე ვარსკვლავები (ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში) კი, პირიქით, თავიანთი გზის უდიდეს ნაწილს პორიზონტს ქვევით გადიან; ისინი აღმოსავლეთის წერტილის სამხრეთით ამოდიან და დასავლეთის წერტილის სამხრეთით ჩადიან. ცის ეკვატორზე მდებარე



ნახ. 8.

პორიზონტს ქვევით აღწერენ. ამ ამოუსვლელ ვარსკვლავთ LS წრე, რომლის ცენტრში სამყაროს სამხრეთ პოლუსი მდებარეობს, ზუსტად უდრის ჩაუსვლელ ვარსკვლავთა წრეს (ნახ. 8). როგორც მე-8 ნახაზიდან ჩანს, ჩაუსვლელ (და ამოუსვლელი) ვარსკვლავების წრის რადიუსი პორიზონტიდან პოლუსის სინაღლის ტოლია.

ამგვარად, დღელამურის გეოგრაფიული პოლუსების მახლობელი ადგილებისათვის ჩაუსვლელი (ამოუსვლელი) ვარსკვლავების წრის რადიუსი ახლოსაა 90° -თან, ხოლო ეკვატორისაკენ გადაადგილებისას ის მცირდება ნულამდე.

§ 16. გაზომვები ცის სფეროზე. ცის სფეროზე მნათობის მდებარეობა ზუსტად რომ აღვნიშნოთ, საჭიროა ეს მდებარეობა გამოვსახოთ რიცხვებით. რომლებიც მიიღება გაზომვის შედეგად. უშუალო დაკვირვებები გვაძლევს მხოლოდ მნათობებისაკენ მიმართულებას ანუ ცის სფეროზე მათი გეგმილების მიმართულებას. სხვადასხვა მიმართულება ერთმანეთთან გარკვეულ კუთხეს ქნის. ამიტომ ყველა ასტრონომიული გაზომვა წარმოადგენს კუთხეების გაზომვას და ასტრონომიული იარაღების უმრავლესობა არსებითად კუთხეების ხელსაწყობებია.

ასტრონომიული გაზომვების დროს გვხვდება ასეთი ამოცანების გადაწყვეტა: 1) რომელიმე მნათობის ხილული დიამეტრის გაზომვა; 2) ცის სფეროს ორ წერტილს შორის ხილული მანძილის გაზომვა; მაგალითად: ორ

ვარსკვლავს შორის, ვარსკვლავსა და ზენიტს შორის, ვარსკვლავსა და პოლუსს შორის; 3) ვარსკვლავსა და ცის სფეროს რომელიმე წრეს შორის ბილუღი მანძილის გაზომვა, მაგალითად, ჰორიზონტიდან ვარსკვლავის მანძილისა.

ყველა ეს მანძილი უნდა გაიზომოს კუთხურ (ან რკალურ) ზომებში: გრადუსებში, მინუტებში და სექუნდებში, ვინაიდან ამ შემთხვევაში სიგრძე კი არ იზომება, არამედ კუთხე. სასარგებლოა დავიმახსოვროთ, რომ მთვარის ბილუღი კუთხური დიამეტრი საშუალოდ 31'-ს უდრის, ე. ი. დაახლოებით $\frac{1}{2}$ -ს. მზის კუთხური დიამეტრიც დაახლოებით ასეთია. კუთხური მანძილი დიდი დათვის α და β ვარსკვლავებს შორის (ნახ. 4) დაახლოებით 5°-ის ტოლია. მათგან პირველის პოლუსამდე მანძილი 27°-ს უდრის.

შენიშვნა: კუთხური მანძილები ხშირად გამოისახება აგრეთვე განყენებულ ზომაში, ე. წ. რადიანებში. რადიანი ეწოდება კუთხეს, რომელიც იზომება რკალით, რომლის სიგრძე რადიუსის ტოლია. რადიანი შეიცავს $\frac{360^\circ}{2\pi}$, ანუ დაახლოებით

$$\frac{360^\circ}{2 \cdot 3,1416} \approx 57^\circ 17' 45'' = 206265''$$

უკანასკნელი რიცხვი ხშირად შეგვხვდება. მასზე უნდა გამრავლდეს რადიანებში გამოსახული კუთხე, რომ გამოვსახოთ იგი სექუნდებში.

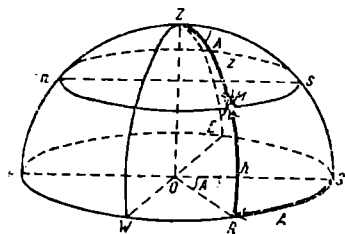
§ 17. ასტრონომიული კოორდინატები. წერტილის მდებარეობის განსაზღვრელ რიცხვებს კოორდინატები ეწოდება. ასე მაგალითად, გეოგრაფიული გრძელი და განედი გეოგრაფიულ კოორდინატებად იწოდება, ვინაიდან მათი საშუალებით განისაზღვრება წერტილის მდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე. ცის სფეროზე წერტილის მდებარეობის განსაზღვრავად არსებობს ასტრონომიული კოორდინატების რამდენიმე სისტემა, რომლებიც ერთმანეთისაგან ძირითადი სიბრტყის და ათვლის საწყისის შერჩევით განსხვავდებიან. ყოველი სისტემა შეიცავს ორ კოორდინატს, რომელთაგან ერთი საესვებით ანალოგიურია გეოგრაფიული განედის, მეორე კი—გრძედისა. ზოგ ამოცანაში მოსახერხებელია კოორდინატთა ერთი სისტემით სარგებლობა, ზოგში კი—სხვა სისტემით.

§ 18. ჰორიზონტული კოორდინატები. ძირითად სიბრტყედ მივიღოთ *SWNE* ჰორიზონტის სიბრტყე; მაშინ ძირითადი წერტილი იქნება *Z* ზენიტი (ნახ. 9). *Z* ზენიტსა და *M* ვარსკვლავზე გავატაროთ *ZR* დიდი წრე. ყველა დიდი წრე, რომლებიც ზენიტზე გადის, ჰორიზონტის სიბრტყის პერპენდიკულარულია. ისინი ვერტიკალურ წრეებად ანუ ვერტიკალებად იწოდებიან.

ცხადია, მერიდიანი ერთ-ერთ ვერტიკალს წარმოადგენს. აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებზე მერიდიანის პერპენდიკულარულად გაშავალ ვერტიკალს პირველი ვერტიკალი ეწოდება. მნათობის მდებარეობა განისაზღვრება ორი კოორდინატით: სიმალღითა და აზიმუტით.

მნათობის სიმაღლე h (რკალი RM) ეწოდება მის კუთხურ მანძილს ჰორიზონტიდან, რომელიც ვერტიკალის წრეზე იზომება. ხშირად სიმაღლის ნაცვლად იხმარება ზენიტური მანძილი z , ე. ი. მნათობის კუთხური მანძილი ზენიტიდან (რკალი ZM). ცხადია, რომ $h + z = 90^\circ$ -ს. ყველა წერტილს, რომლებიც მდებარეობს $SIVNE$ ჰორიზონტის პარალელურ ns წრეზე, აქვს ერთი და იგივე სიმაღლე.

აზიმუტი A არის კუთხე ზენიტიდან მერიდიანსა და მნათობის ვერტიკალს შორის, ე. ი. კუთხე SZM . მისი გაზომვა უფრო მოსახერხებელია ჰორიზონტის SR რკალით



ნახ. 9.

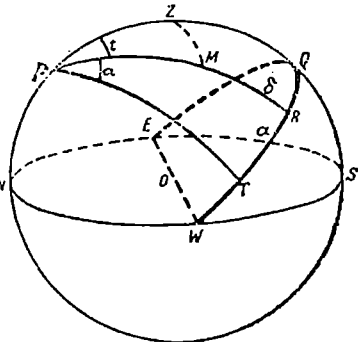
სამხრეთის წერტილიდან ვარსკვლავის ვერტიკალის ფუძემდე. აზიმუტი აითვლება სამხრეთის წერტილიდან დასავლეთით (სათის ისრის მიმართულებით) 0° -დან 360° -მდე¹. ზოგჯერ აზიმუტი სამხრეთის წერტილიდან ორივე მიმართულებით აითვლება: დასავლეთის აზიმუტი ითვლება დადებითად, 0° -დან $+180^\circ$ -მდე და აღმოსავლეთისა კი —

უარყოფითად, 0° -დან -180° -მდე. ერთსა და იმავე ZR ვერტიკალზე მდებარე ყველა წერტილს აქვს ერთი და იგივე აზიმუტი.

დღედამური ბრუნვის გამო ორივე ჰორიზონტული კოორდინატი იცვლება განწყვეტივ.

§ 19: ეკვატორული კოორდინატების პირველი სისტემა. ძირითად სიბრტყედ მიღებულია EQW (ნახ. 10) ეკვატორის სიბრტყე, რომელიც შეესაბამება წინა სისტემის ჰორიზონტის სიბრტყეს.

ვერტიკალის მაგივრობას დახრილობის წრე ანუ საათის წრე ასრულებს. ასე იწოდება დიდი წრე, რომელიც გადის M ვარსკვლავზე და P პოლუსზე; ცხადია, ის პერპენდიკულარულია ეკვატორისა, კოორდინატებს აქ დახრილობა და საათის კუთხე წარმოადგენს.



ნახ. 10.

მნათობის დახრილობად იწოდება მისი კუთხური დაშორება ეკვატორიდან (MR), რომელიც დახრილობის წრეზე აითვლება. დახრილობა ეკვატორიდან ჩრდილოეთით დადებითადაა მიღებული, სამხრეთით კი — უარყოფითად. სასარგებლოა შემდგომისათვის დავიმახსოვროთ, რომ მზეს, რომელიც ვარსკვლავების მიმართ მოძარავ მნათობებს მიეკუთვნება, ჩვენში გაზაფხულისა და ზაფხულის განმავ-

¹ გეოდეზიაში აზიმუტი აითვლება ჩრდილოეთის წერტილიდან აღმოსავლეთისაკენ, ე. ი. ისევ საათის ისრის მიმართულებით.

ლობაში აქვს დადებითი დახრილობა, ხოლო შემოდგომაზე და ზამთარში— უარყოფითი. დახრილობა, ჩვეულებრივად, ბერძნული ასო δ -თი (დელტა) აღინიშნება. დახრილობა, ცხადია, პორიზონტულ სისტემაში სიმაღლეს შეესაბამება.

საათის კუთხე t არის ZPM კუთხე პოლუსთან მერიდიანსა და ვარსკვლავის დახრილობის წრეს შორის. ის შეიძლება აგრეთვე გაიზომოს მერიდიანისა და მოცემული დახრილობის წრის სიბრტყეთა შორის ეკვატორის QR რკალით. საათის კუთხე, ჩვეულებრივად, აითვლება მერიდიანის სამხრეთი ნაწილიდან დასავლეთით 0° -დან 360° -მდე. თუ მნათობი აღმოსავლეთითაა, მისი საათის კუთხე 180° -ზე მეტი იქნება.

დღელამური ბრუნვის შედეგად ამ სისტემაში მხოლოდ ერთი კოორდინატი იცვლება: ის თანაბრად იზრდება და ერთი დღე-ღამის ანუ 24 საათის განმავლობაში იცვლება 0° -დან 360° -მდე. ამიტომ საათის კუთხეს, ჩვეულებრივად, გამოსახავენ არა გრადუსებში, არამედ საათებში (h), მინუტებში (m) და სექუნდებში (s). ამასთანავე 1^h შეესაბამება 15° -ს, $1^m = 15'$ -ს, $1^s = 15''$ -ს. მაგალითად, $265^\circ = 17^h 40^m$; $11^h 34^m = 173^\circ 30'$.

§ 20. ეკვატორული კოორდინატების მეორე სისტემა. ხელსაყრელი გეგმონდეს ისეთი სისტემა, რომელშიც დღელამური ბრუნვის დროს ორივე კოორდინატი უცვლელია. ამისათვის წინა სისტემას ისეთნაირად ცვლიან, რომ მეორე კოორდინატის ათვლის საწყისიც მონაწილეობდეს ცის დღელამურ ბრუნვაში. რადგან მეორე კოორდინატს ეკვატორის რკალით ვზომავთ, ამიტომ ათვლის საწყისად უნდა მივიღოთ ცის ეკვატორის რომელიმე წერტილი. ყველაზე უფრო მოსახერხებელია ამ მხრივ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი, ე. ი. ცის ეკვატორის ის წერტილი, რომელშიაც მზე 21 მარტს, გაზაფხულის დღელამტოლობის დღეს, გადაღის სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩრდილოეთში. ამჟამად ეს წერტილი თევზების თანავარსკვლავედში მდებარეობს და არც ერთი შესამჩნევი ვარსკვლავით არ არის წარმოდგენილი; მიუხედავად ამისა, მისი მდებარეობა ძალიან დიდი სიზუსტითაა ცნობილი. ეს წერტილი აღინიშნება Υ ნიშნით (და არა ასოთი). ის მონაწილეობს ცის დღელამურ ბრუნვაში ეკვატორის სხვა წერტილებთან ერთად (Υ ნიშნის განმარტება იხილეთ § 177).

ახალ სისტემაში პირველ კოორდინატად რჩება დახრილობა; მეორე კოორდინატს პირდაპირი აღვლენა ეწოდება და აღინიშნება α -თი. ის წარმოადგენს კუთხეს პოლუსთან ვარსკვლავის საათის წრესა და გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის საათის წრეს (ე. წ. „დღელამტოლობის კოლურს“ PR , ნახ. 10) შორის. საათის კუთხის მსგავსად, ისიც შეიძლება გაიზომოს ეკვატორის რკალით გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილიდან ვარსკვლავის საათის წრის ფუძემდებ კუთხე ΥPR ან ΥR რკალით).

პირდაპირი აღვლენა აითვლება გაზაფხულის დღელამტოლობის Υ წერტილიდან ცის თალის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ, ე. ი. აღმოსავლეთისა-

კენ 0° -დან 360° -მდე. საათის კუთხის მსგავსად, მას უმთავრესად დროის საათებში (*h*), მინუტებში (*m*) და სექუნდებში (*s*) გამოსახავენ.

§ 21. ვარსკვლავთმომიერი დრო და ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე. გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის საათის კუთხეს, გამოსახულს საათებში, მინუტებში და სექუნდებში, უწოდებენ ვარსკვლავთმომიერ დროს¹ (კუთხე QPY). როცა Y წერტილი ზედა კულმინაციაშია, ვარსკვლავთმომიერი დრო O -ის ტოლია; როცა ის გადაინაცვლებს მერიდიანიდან დასავლეთით 15° -ზე, ვარსკვლავთმომიერი დროის 1^h იქნება, შემდეგ 2^h , 3^h და ა. შ. 24^h -მდე.

დროის შუალედს, რომლის გავლის შემდეგ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი Y ბრუნდება ზედა კულმინაციაში, ეწოდება ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე. ის შეიცავს 24 ვარსკვლავთმომიერ საათს. სხვაწაირად, ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე არის დროის შუალედი, რომლის განმავლობაში დედამიწა ასრულებს ერთ სრულ შემობრუნებას თავისი ღერძის გარშემო.

ასტრონომიაში დროის საზომ ძირითად ერთეულად მიღებულია ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამის ხანგრძლიობა. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე, როგორც ამას შემდეგში დავინახავთ, ხანმოკლეა მზის, ანუ სამოქალაქო დღე-ღამეზე $3^m 56^s$ -ით; ამიტომ ვარსკვლავთმომიერი დროით მსვლელი საათი ძალიან შორდება ჩვენ ჩვეულებრივ საათს. თუ ვარსკვლავთმომიერ დროს აღენიშნავთ s -ით, მივიღებთ

$$s = t + \alpha,$$

ე. ი. მოცემულ მომენტში ვარსკვლავთმომიერი დრო ვარსკვლავის პირდაპირი აღდგენისა და მისი საათის კუთხის ჯამის ტოლია. როცა ვარსკვლავი ზედა კულმინაციაშია, $t = 0$ -ს და ფორმულა ღებულობს სახეს:

$$s = \alpha.$$

ამგვარად, ვარსკვლავთმომიერი დრო ყოველთვის ტოლია ზედა კულმინაციაში მყოფ ვარსკვლავთა პირდაპირი აღდგენისა.

ეს წესი ძალიან მნიშვნელოვანია. განესაზღვრავთ რა რომელიმე მომენტისათვის ვარსკვლავთმომიერ დროს, ამით ჩვენ შეგვიძლია ვიპოვოთ ის ვარსკვლავები, რომლებიც მერიდიანზეა, ხოლო ვარსკვლავთმომიერი რუკის საშუალებით შეიძლება წარმოდგენა ვიქონიოთ ცის სურათზე დროის ამ მომენტისათვის.

თუ როგორ განისაზღვრება ვარსკვლავთმომიერი დრო ნებისმიერი მომენტისათვის, იხ. § 32.

§ 22. მნათობის სიმაღლე მერიდიანზე. ვთქვათ, მე-11 ნახაზზე ნახე-

ვარი წრე მერიდიანს წარმოადგენს, P —სამყაროს ჩრდილო პოლუსს, OQ —ეკვატორის სიბრტყის კვალს. კუთხე PON , რომელიც ტოლია QOZ კუთხის-

¹ იხ. შენიშვნა, გვ. 43.

სა, უდრის ადგილის გეოგრაფიულ φ განედს (§ 13). ეს კუთხეები იზომება NP და QZ რკალებით, რომლებიც, მაშასადამე, ასევე φ -ის ტოლია. ზედა კულმინაციაში მყოფი M_1 მნათობის δ_1 დახრილობა იზომება QM_1 რკალით. აღენიშნავთ რა ზენიტურ მანძილს z_1 -ით, მნათობისათვის, რომელიც კულმინაციაშია ზენიტიდან სამხრეთით, გვექნება:

$$z_1 = \varphi - \delta_1. \quad (1)$$

ასეთი მნათობისათვის, ცხადია, $\delta < \varphi$.

თუ მნათობი მერიდიანზე ზენიტიდან ჩრდილოეთით გადის (წერტილი M'_1), მაშინ მისი დახრილობა δ'_1 იქნება QM'_1 და გვექნება:

$$z'_1 = \delta'_1 - \varphi. \quad (2)$$

ამ შემთხვევაში $\delta > \varphi$. თუ ავიღებთ 90° -მდე დამატებას, მივიღებთ მნათობის h სიმაღლეს ზედა კულმინაციის მომენტში.

ბოლოს, თუ $\delta = \varphi$, ვარსკვლავი ზედა კულმინაციაში ზენიტზე გადის.

ასევე მარტივად განისაზღვრება მნათობის (M_2) სიმაღლე ქვედა კულმინაციაში, ე. ი. მერიდიანზე მისი გავლის მომენტში სამყაროს პოლუსსა (P) და ჩრდილოეთის წერტილს (N) შორის.

მე-11 ნახაზიდან ჩანს, რომ მნათობის (M_2) სიმაღლე h_2 განისაზღვრება NM_2 რკალით და ტოლია $h_2 = NP - M_2P$. რკალი $NP = \varphi$; რკალი $M_2P = p_2$, ე. ი. მნათობიდან პოლუსამდე მანძილის ტოლია.

რადგანაც $p_2 = 90^\circ - \delta_2$, ამიტომ

$$h_2 = \varphi + \delta_2 - 90^\circ. \quad (3)$$

(1), (2) და (3) ფორმულებს ფართო გამოყენება აქვს.

სავარჯიშოები I თავისათვის

1. დაამტკიცეთ, რომ ეკვატორი პორიზონტთან გადაიკვეთება წერტილებში, რომლებიც დაშორებულია ჩრდილოეთისა და სამხრეთის წერტილებიდან 90° -ით (აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებში).
2. რას უდრის ზენიტის საათის კუთხე და აზიმიუტი?
3. რას უდრის დასავლეთის წერტილის დახრილობა და საათის კუთხე? აღმოსავლეთის წერტილის?
4. რას უდრის ეკვატორის მიერ პორიზონტთან შედგენილი კუთხე შემდეგ განედებზე $+55^\circ$? $+40^\circ$? $+10^\circ$ — 40° ?
5. არის თუ არა განსხვავება სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსსა და ჩრდილოეთის წერტილს შორის?
6. ჰეკატორის რომელი წერტილი მდებარეობს ყველაზე უფრო მაღლა პორიზონტიდან? რას უდრის ამ წერტილის ზენიტური მანძილი φ განედისათვის?
7. თუ ვარსკვლავი ამოვიდა სამხრეთ-აღმოსავლეთის წერტილში, მაშინ პორიზონტის რომელ წერტილში ჩავა ის? რას უდრის მისი ამოსვლის და ჩასვლის წერტილების აზიმიუტები?

8. რას უდრის ვარსკვლავის აზიმუტი ზედა კულმინაციის მომენტში φ განედზე? ერთნაირია თუ არა ის ყველა ვარსკვლავისათვის?

9. რას უდრის სამყაროს ჩრდილოეთი პოლუსის დახრილობა? სამხრეთი პოლუსის?

10. რას უდრის ზენიტის დახრილობა აფილისათვის, რომლის განედი φ -ის ტოლია? ჩრდილოეთის წერტილის დახრილობა? სამხრეთის წერტილის?

11. რა მიმართულებით მოძრაობს ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაში?

12. პოლარული ვარსკვლავი პოლუსიდან დაშორებულია 1° -ით. რას უდრის მისი დახრილობა?

13. რას უდრის პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლე ზედა კულმინაციაში φ განედისათვის? იგივე ქვედა კულმინაციისათვის?

14. რა პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს ვარსკვლავის δ დახრილობა, რომ ის φ განედზე ჩაუსვლელი იყოს? რომ ის ამოუსვლელი იყოს?

15. რას უდრის ჩაუსვლელი ვარსკვლავების წრის კუთხური რადიუსი ლენინგრადში ($\varphi = 59^\circ 57'$)? ტაშკენტში ($\varphi = 41^\circ 18'$)?

16. რას უდრის ლენინგრადსა და ტაშკენტში ზენიტზე გამავალი ვარსკვლავების დახრილობა? არიან თუ არა ისინი ამ ქალაქებისათვის ჩაუსვლენი?

17. რა ზენიტურ მანძილზე გაივლის ვარსკვლავი კაპელა ($\delta = +45^\circ 57'$) ზედა კულმინაციის დროს ლენინგრადში? ტაშკენტში?

18. რომელ დახრილობამდე ჩანს სამხრეთ ნახევარსფეროს ვარსკვლავები ამ ქალაქებში?

19. სამხრეთით მოგზაურობისას რა განედიდან შეიძლება დავინახოთ ვარსკვლავი კანოპუსი ($\delta = -53^\circ$)—ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავი სირიუსის შემდეგ? აუცილებელია თუ არა ამისათვის საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის დატოვება (ისარგებლეთ რუკით)? რომელ განედიდანაა კანოპუსი ჩაუსვლელი ვარსკვლავი?

20. რას უდრის კაპელას სიმაღლე ქვედა კულმინაციის დროს მოსკოვში ($\varphi = +55^\circ 45'$)? ტაშკენტში?

21. რატომ აითვლება პირდაპირი აღვლენა დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ და არა შებრუნებული მიმართულებით?

22. ჩრდილოეთის ცის ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებია—ვეგა ($\alpha = 18^\circ 35'$) და კაპელა ($\alpha = 5^\circ 13'$). ცის რომელ მხარეს იმყოფებიან ისინი (აღმოსავლეთით თუ დასავლეთით) და რას უდრის მათი საათის კუთხეები გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილის ზედა კულმინაციის მომენტში? იმავე წერტილის ქვედა კულმინაციის მომენტში?

23. ვარსკვლავთმიერი დროის რა შუალედი გადის კაპელას ქვედა კულმინაციიდან ვეგას ზედა კულმინაციაში?

24. რას უდრის კაპელას საათის კუთხე ვეგას ზედა კულმინაციის მომენტში? მის ქვედა კულმინაციის მომენტში?

25. რომელ საათზე ამოდის გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილი ვარსკვლავთმიერი დროით? ჩადის?

26. დავამტკიცოთ, რომ დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ვარსკვლავის აზიმუტი ამოსვლის მომენტში (A_E) და ჩასვლის მომენტში (A_W) ძალიან მარტივად დაკავშირებული ვარსკვლავის (δ) დახრილობასთან.

თავი მეორე

მზე და ღრო

I. მზის ხილული მოძრაობა

§ 23. მზის წლიური მოძრაობის დამამტკიცებელი ფაქტები. გარდა დღელამური მოძრაობისა, რომელშიც სხვა მნათობებთან ერთად მონაწილეობს მზეც, მას აქვს აგრეთვე ე. წ. წლიური მოძრაობა. ეს მტკიცდება შემდეგი მოვლენებით:

ა) ვარსკვლავიერი ცის სახეცვლილება. თუ დაეინიშნავთ თანავარსკვლავედების განლაგებას რომელიმე საღამოს, მაგალითად, მზის ჩასვლის 2 საათის შემდეგ და გავიმეორებთ ამ დაკვირვებას 1—2 თვის შემდეგ, მაშინ ვნახავთ, რომ ცის სურათი იცვლება: თანავარსკვლავედები, რომლებიც მალეა ცის სამხრეთ მხარეს (მერიდიანთან ახლოს) მდებარეობდნენ, მეორე დაკვირვებისას აღმოჩნდებიან დასავლეთით; ხოლო ვარსკვლავებს, რომლებიც პირველ საღამოს დასავლეთით, პორიზონტთან მოჩანდა, ახლა ჩვენ აღარ დავინახავთ, ისინი ჩაეიდნენ მზესთან ერთად. მაშასადამე, ამ ხნის განმავლობაში მზე გადაადგილებულა ამ თანავარსკვლავედების შემხვედრი მიმართულებით, ე. ი. დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ.

ვარსკვლავიერი ცის ასეთი სახეცვლილება განუწყვეტლივ წარმოებს; წლის ყოველ ღროს შეესაბამება საღამოს ცის თანავარსკვლავედთა გარკვეული სურათი (§ 356) და ყოველი ასეთი სურათი მეორდება ყოველწლიურად. მაშასადამე, ერთი წლის შემდეგ მზე უბრუნდება თავის უწინდელ ადგილს ვარსკვლავების მიმართ.

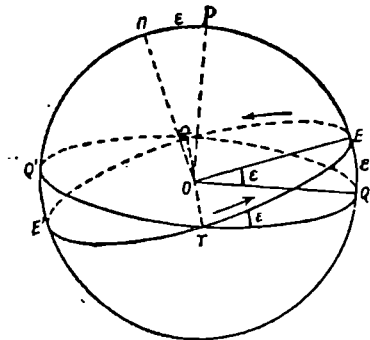
ბ) მზის საშუალო სიმაღლის ცვლილება. მზე აღმოსავლეთით მოძრაობისას გადაიხრება ხან ჩრდილოეთით და ხან სამხრეთით. ეს იქიდან ჩანს, რომ მისი საშუალო სიმაღლე დეკემბრიდან ივნისამდე მატულობს, დანარჩენი ნახევარი წლის განმავლობაში კლებულობს. მზე რომ ეკვატორზე ან პარალელზე მოძრაობდეს (§ 11), მაშინ მისი სიმაღლე შუაღლეზე უცვლელი დარჩებოდა.

§ 24. ეკლიპტიკა. ვარსკვლავთ მიმართ მზის გზის განსასაზღვრავად საჭიროა ყოველდღე მზის ზედა კულმინაციის მომენტისათვის გაიზომოს პორი-

ზონტიდან მისი ცენტრის სიმაღლე და აღინიშნოს ამ კულმინაციის მომენტი ვარსკვლავთმცირი დროით მსვლელი საათით, რომელიც დღელამის განმავლობაში წინ უსწრებს ჩვეულებრივ საათს 3 მინუტითა და 56 სეკუნდით (§ 21).

ამვე საათით აღნიშნავენ რომელიმე ვარსკვლავის კულმინაციის მომენტს. სიმაღლის საშუალებით განისაზღვრება მზის ცენტრის დახრილობა [ფორმულა (1), § 22], ხოლო მზისა და ვარსკვლავის კულმინაციათა მომენტების სხვაობა იძლევა მათ პირდაპირ აღვლენათა სხვაობას. ამ მონაცემებით შეიძლება მზის ცენტრის მდებარეობების შეტანა ვარსკვლავიერ რუკაზე.

შევაერთებთ რა მდოვრი ხაზით მთელი წლის განმავლობაში ასეთ მდებარეობათა რიგს, მივიღებთ მზის ცენტრის წლიურ გზას ვარსკვლავების მიმართ, რომელსაც ეკლიპტიკა ეწოდება. ეკლიპტიკა წარმოადგენს დიდ წრეს (§ 10), ამიტომ ის გადაკვეთს ეკვატორს ორ დიამეტრალურად მოპირდაპირე წერტილში. ეკლიპტიკის სიბრტყე შეადგენს ეკვატორის სიბრტყესთან $23^{\circ}27'$ კუთხეს.



ნახ. 12.

ამ კუთხეს ეწოდება ეკლიპტიკის დახრა და აღინიშნება ბერძნული ϵ (ეპსილონ) ასოთი. ეკლიპტიკის უფრო ზუსტი განმარტება მოცემული იქნება § 29-ში.

ეკლიპტიკის ეკვატორთან გადაკვეთის წერტილებს ეწოდება გაზაფხულის (Υ) და შემოდგომის (Ξ) დღე-ღამეების წერტილები. ეკლიპტიკაზე დღელამტოლობის წერტილებს შუა მდებარე წერტილებს ეწოდება ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობის წერტილები (წერტილები E და E' ნახ. 12-ზე). მზებუდობის წერტილების

მანძილი ეკვატორიდან, გამოსახული კუთხურ ერთეულებში, უდრის ეკლიპტიკის ϵ დახრას.

§ 23. მზის მოძრაობა ეკლიპტიკაზე. წლის დროები და კლიმატური სარტყლები. მზე სრულ გარემოქცევას ეკლიპტიკაზე ასრულებს დაახლოებით $365\frac{1}{4}$ დღე-ღამეში. ამგვარად, მზე დღე-ღამის განმავლობაში გადაინაცვლებს დაახლოებით 1° -ით, ე. ი. თავის დისკოს (ბადროს) გაორკეცებულ ხილულ დიამეტრზე. მზის წლიური მოძრაობის მთავარი მომენტები შემდეგია:

21 მარტს გაზაფხულის დღელამტოლობაა და მზე გადაკვეთს ეკვატორს Υ წერტილში, გადადის რა სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე „ასტრონომიული გაზაფხულის დასაწყისია“.

22 ივნისს ზაფხულის მზებუდობაა და ზაფხულის დასაწყისი (ჩრდილო ნახევარსფეროზე). მზე აღწევს უდიდეს ჩრდილო დახრილობას $\delta = +\epsilon$ და რამდენიმე დღის განმავლობაში მისი სიმაღლე შუადღეზე თითქ-

მის უცვლელი რჩება. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე ყველაზე ხანგრძლივი დღეებია, სამხრეთში—ყველაზე ხანმოკლე.

23 სექტემბერს შემოდგომის დღელამტოლობაა. მზე გადაკვეთს ეკვატორს შემოდგომის დღელამტოლობის წერტილში (\pm) და გადადის სამხრეთ ნახევარსფეროში. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე შემოდგომის დასაწყისია.

22 დეკემბერს ზამთრის მზებუდობაა და ზამთრის დასაწყისი. მზე აღწევს უდიდეს სამხრეთ დახრილობას $\delta = -\varepsilon$. ჩრდილო ნახევარსფეროზე ყველაზე ხანმოკლე დღეებია.

მზის დაახლოებითი კოორდინატებია:

	α	δ
21 მარტს	0 ^h ანუ 0°	0°,
22 ივნისს	6 ^h	+ 23 ¹ / ₂ °,
23 სექტემბერს	12 ^h	0°,
22 დეკემბერს	18 ^h	- 23 ¹ / ₂ °.

დროის შუალედი გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილზე მზის ცენტრის ორ თანმიმდევარ გავლის მომენტს შორის იწოდება ტროპიკულ წელიწადად. ტროპიკული წელიწადი შეიცავს 365, 24220 დღე-ღამეს ანუ 365^d 5^h 48^m 46^s.

მზის წლიური მოძრაობა სხვადასხვა განედზე.

ა) პოლუსზე მზე პორიზონტს ზევითაა იმ ხნის განმავლობაში, ვიდრე ის იმყოფება ეკვატორს ზემოთ. მაგალითად, ჩრდილოეთ პოლუსზე მზე ამოდის დაახლოებით 21 მარტს, 22 ივნისს აღწევს უდიდეს სიმაღლეს (23°27') და ჩადის დაახლოებით 23 სექტემბერს. ამასთანავე, ის ყოველთვის, დღელამური მოძრაობის გამო, პორიზონტისადმი თითქმის პარალელურ წრეებს შემოწერს, ისე რომ ნახევარი წლის განმავლობაში მზის ხილული მოძრაობის გზა ცაზე წარმოგვიდგება ხრახნისებურ წირად. ამრიგად, პოლუსზე დღე გრძელდება ნახევარ წელიწადს, დანარჩენი ნახევარი წელიწადი ღამეა.

ბ) ეკვატორზე ყველა მნათობი, მათ შორის მზეც, 12 საათი პორიზონტს მალა და 12 საათი პორიზონტს დაბლა იმყოფება. მაშასადამე, ეკვატორზე დღე ყოველთვის დამის ტოლია. წელიწადში ორჯერ, 21 მარტს და 23 სექტემბერს, შუალედზე მზე ზენიტზე გაივლის. მისი უმცირესი საშუალო სიმაღლე ტოლი იქნება $90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$; ამას ადგილი აქვს 22 ივნისს (ზენიტის ჩრდილოეთით) და 22 დეკემბერს (ზენიტის სამხრეთით).

გ) ჩრდილოეთ პოლარულ წრეზე (განედი $\varphi = +66^\circ 33'$) § 22-ის თანახმად, მნათობები, რომელთა დახრილობა $\delta = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 66^\circ 33' = +23^\circ 27'$, ამ განედისათვის ჩაუსვლელია; მნათობები, რომელთა დახრილობა $\delta = -23^\circ 27'$, იქნება ამოუსვლელი. ეს კი სწორედ მზის უდიდესი და უმცირესი დახრილობაა. მაშასადამე, პოლარულ წრეზე ზაფხულის მზე-

ბუდობის დღეს მზე არ ჩადის, შუალამეზე ის მხოლოდ "შეხება" პორიზონტს N წერტილში. ზამთრის მზებუდობის დღეს კი ის არ ამოდის და მხოლოდ შუადღეზე გამოჩნდება პორიზონტის S წერტილის მახლობლად.

პოლარული წრის ჩრდილოეთით მდებარე ადგილებში ზაფხულის მზე მით უფრო დიდხანს იქნება ჩაუსვლელი, რაც უფრო ახლოსაა ადგილი პოლუსთან. სამაგიეროდ პოლუსთან მიახლოებასთან ერთად, იზრდება ავრთვე პოლარული ლამეც, რომლის განმავლობაშიც მზე სრულიად არ ამოდის. სამხრეთ პოლარულ არეში მოვლენები მიმდინარეობს მსგავსადვე.

დ) ჩრდილოეთ ტროპიკზე (განელი $\varphi = +23^{\circ}27'$) ზაფხულის მზებუდობის დღეს მზე ზენიტზე გაივლის. ზამთრის მზებუდობის დღეს ის ზენიტზე გაივლის სამხრეთ ტროპიკზე.

ტროპიკებს შორის მდებარე ადგილებში მზე წელიწადში ორჯერ გაივლის ზენიტზე იმ დღეებში, როდესაც მისი დახრილობა ადგილის განედის ტოლია.

აქედან გეოგრაფიული სარტყლებისათვის შემდეგ ასტრონომიულ ნიშნებს მივიღებთ: ცივ სარტყელში არის დღეები, როდესაც მზე სრულიად არ ამოდის და დღეები, როდესაც ის სრულებით არ ჩადის; ცხელ სარტყელში მზე დროდადრო გაივლის ზენიტზე; ზომიერ სარტყლებში მზე ყოველდღე ამოდის და ჩადის და ზენიტზე არასოდეს არ გაივლის.

შენიშვნა: ყველა ამ მოვლენას ზუსტად ზემოთ აღწერილი სახით ექნებოდა ადგილი, რომ მზე წარმოვედგებოდეს არა დისკოს, არამედ მნათი წერტილის სახით და დედამიწის ატმოსფერო რომ არ გარდატეხდეს და არ განაზღვრდეს სინათლის სხივებს. სინამდვილეში კი ეს მოვლენები რამდენადმე სხვანაირად მიმდინარეობს.

ა) ატმოსფერული გარდატეხის ანუ რეფრაქციის (§§ 85, 86) შედეგად მნათობები, განსაკუთრებით პორიზონტთან ახლოს, მოჩანს არა იმ მიმართულებით, სადაც ისინი ნამდვილად იმყოფებიან, არამედ რამდენადმე მაღლა. ამ მიზეზის გამო პოლუსზე მზე რამდენიმე დღე-ღამე ჩანს 23 სექტემბრის შემდეგაც და გამოჩნდება 21 მარტზე რამდენიმე დღე-ღამით ადრე. ზუსტად ასევე, პოლარულ წრეებზე მზებუდობის დღეებში შუადღეზე და შუალანეზე მზის მთელი ბადრო ჩანს პორიზონტს მაღლა.

ბ) დედამიწის სფერულობის (§ 102) შედეგად, დედამიწის ზედაპირი გაშლილ ზოვაზედაც არ არის ბრტყელი, არამედ ამობურცულია. ამიტომ ხდება, რომ მზე ანათებს მთის მწვერვალს რამდენიმე მინუტის განმავლობაში მას შემდეგაც, რაც მის ძირში მყოფი დამკვირვებლისათვის იგი ჩასულია. კიდევ უფრო მეტ ხანს ანათებს მზე დედამიწის ატმოსფეროს მაღალ ფენებს და მზის ჩასვლის შემდეგ იწყება არა სრული ღამე, არამედ მხოლოდ ბინდი. სრული სინნელე იწყება მას შემდეგ, როდესაც მზე დაახლოებით 17° -ით ჩავა პორიზონტს დაბლა. ამრიგად, ბინდის მოვლენა კიდევ უფრო მეტად ახანგრძლივებს დღეს ღამის ხარჯზე, ვიდრე რეფრაქცია.

§ 26. კოორდინატების ეკლიპტიკური სისტემა. უძველესი დროიდან შემჩნეული იყო, რომ მთვარე და ცთომილები თანაეარსკვლავედებს შორის მოძ.

რაობისას მუდამ რჩებიან ეკლიპტიკის მახლობლად. ამიტომ ეკლიპტიკა აღმოჩნდა ყველაზე მოსახერხებელი წრე ამ მნათობების მდებარეობების განსაზღვრისათვის. ასე წარმოიშვა კოორდინატების ეკლიპტიკური სისტემა (ნახ. 13); ის ისტორიულად ეკვატორულზე უძველესია.

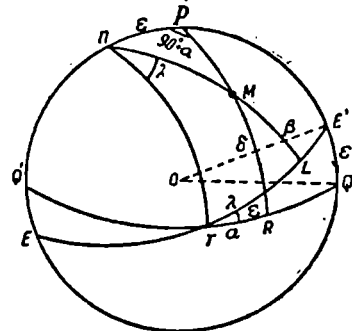
EE' ეკლიპტიკის ჩრდილოეთით და სამხრეთით მდებარე ორ წერტილს, რომლებიც მისგან დაშორებულია 90° -ით, ეწოდება ეკლიპტიკის პოლუსები. II ჩრდილოეთი პოლუსი მდებარეობს დრაკონის თანავარსკვლავედში, დაახლოებით პოლარულ ვარსკვლავსა და ჩრდილოეთის ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავ—ვეგას (ლირის α -ს) შორის. ეკლიპტიკის პოლუსების ზუსტი მდებარეობები განისაზღვრება კოორდინატებით:

ჩრდილოეთი პოლუსის $\alpha = 18^{\circ}$, $\delta = +66^{\circ}33'$;
სამხრეთი პოლუსის $\alpha = 6^{\circ}$, $\delta = -66^{\circ}33'$.

ეკლიპტიკის ორივე პოლუსზე გატარებულ წრეებს, რომლებიც, მაშასადამე, პერპენდიკულარულია ეკლიპტიკის სიბრტყის, ეწოდება განედის წრეები. ესენი შეესაბამებიან სხვა სისტემების ვერტიკალებისა და დახრილობათა წრეებს.

ეკლიპტიკური სისტემის კოორდინატებს ეწოდება განედი β და გრძედი λ . ვარსკვლავის განედი არის მისი ML კუთხური მანძილი (ნახ. 13) ეკლიპტიკის სიბრტყიდან, ათელილი განედის წრეზე. განედი ითვლება დადებითად ($\beta > 0$) ეკლიპტიკის ჩრდილოეთი პოლუსის მიმართულებით, უარყოფითად ($\beta < 0$)—ეკლიპტიკის სამხრეთი პოლუსის მიმართულებით. გრძედი არის კუთხე ეკლიპტიკის პოლუსთან გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილზე გამავალ განედის წრესა და ვარსკვლავის განედის წრეს შორის. გრძედი აგრეთვე შეიძლება გაიზომოს ეკლიპტიკის YL რკალით, გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილიდან ვარსკვლავის განედის წრემდე. ის აითვლება გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილიდან საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით (ჩრდილო ნახევარსფეროზე მყოფი დამკვირვებლისათვის), ე. ი. აღმოსავლეთისაკენ 0° -დან 360° -მდე. დროის ერთეულებით გრძედი არასოდეს არ იზომება.

§ 27. ზოდიაქო. ეკლიპტიკის გაყოფებით განლაგებული ვარსკვლავები ჯერ კიდევ ძველადვე დაყოფილი იყო 12 თანავარსკვლავედად, რომელთაც მეტწილად ცოცხალ არსებათა სახელები უწოდეს და ამას გარდა თითოეული აღნიშნეს განსაკუთრებული ნიშნით. ამ თანავარსკვლავედებით მოცულ ცის ზოლს ეწოდება ზოდიაქო („ცხოველთა წრე“). ზოდიაქოს თითოეულ თანავარსკვლავედში მზე დაახლოებით ერთ თვეს იმყოფება. ეს თანავარსკვლავედები შემდეგია:



ნახ. 13.

გ ა ს ა ფ ს უ ლ ი	ზ ა ა უ ს უ ლ ი	შ ე მ ო დ გ ო მ ა	ზ ა მ თ ა რ ი
თვეები II	მარჩბივი II	ქალწული III	მშვილდოსანი +
ვერძი V	კირჩხიბი III	სასწორი II	თხის რქა Z
კურო X	ლომი II	ღრიანკალი III	მერწყული III

ის თანავარსკვლავედები, რომელთა შორის მოცემულ დროს მზე იმყოფება, დაკვირვებისათვის მიუწოდებელია, ხოლო ყველაზე კარგად კი მოჩანს ზოდიაქოს მოპირდაპირე ნაწილი. ასე, იენისში, როდესაც მზე მარჩბივი იმყოფება, ჩვენ ვაკვირდებით ზამთრის მზებუდობის წერტილის მახლობლად მდებარე თანავარსკვლავედებს (ღრიანკალი, მშვილდოსანი). ამიტომ ზაფხულის ღამეებში ეკლიპტიკა დგას დაბლად პორიზონტს ზევით. ზამთრის ღამეებში კი, პირიქით, ეკლიპტიკა პორიზონტიდან მაღლა ადის. ამ დროს მოჩანს ზაფხულის მზებუდობის წერტილის მახლობლად მდებარე თანავარსკვლავედები (კურო, მარჩბივი).

§ 28. მზის მოძრაობის უთანაბრობა. გზა, რომელსაც მზე თავისი ხილული მოძრაობისას ნახევარი წლის განმავლობაში 21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე, გაზაფხულსა და ზაფხულში გადის, შეადგენს 180°-ს და ზუსტად უდრის შემოდგომისა და ზამთრის განმავლობაში განვლილ გზას. მიუხედავად ამისა, დღეების დათვლა გვიჩვენებს, რომ პირველი ნახევარი წელი (გაზაფხული, ზაფხული) 186 დღე-ღამეს შეადგენს, ხოლო მეორე (შემოდგომა, ზამთარი)—მხოლოდ 179-ს. ამგვარად, შემოდგომაზე და ზამთარში მზე მოძრაობს უფრო სწრაფად, ვიდრე გაზაფხულსა და ზაფხულში. ყველაზე სწრაფად მზე მოძრაობს 3 იანვრის მახლობლობაში (დღე-ღამეში 1°1'-ზე მეტად), ყველაზე ნელა—4 ივლისის მახლობლობაში (57' დღე-ღამეში).

აღმოჩნდა, რომ მზის დისკოს ხილული დიამეტრიც არ რჩება უცვლელი; ის ყველაზე დიდია სწორედ იმ დროს, როდესაც მზის სიჩქარე უდიდესია, ე. ი. იანვარში; ყველაზე მცირე—ივლისში. ეს იმას ნიშნავს, რომ მზე ზამთარში უფრო ახლოა ჩვენთან, ვიდრე ზაფხულში. მანძილის ცვლილება ისე მცირეა, რომ არ ახდენს გავლენას წლის დროთა ცვლაზე. ამიტომ მზის დისკოს ხილული ზომის ცვლილებაც უმნიშვნელოა და უბრალო თვალისათვის შეუშინებელი. უდიდესი დიამეტრია 32',5, უმცირესი—31',5.

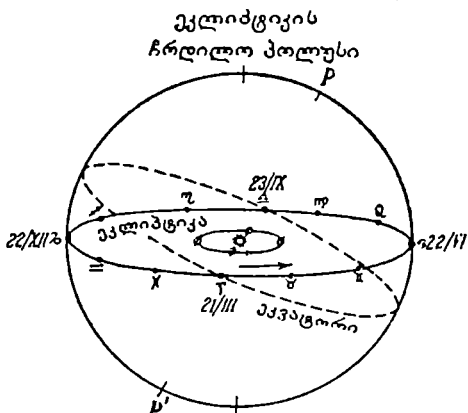
§ 29. მზის მოძრაობა, როგორც დედამიწის მოძრაობის ანარეკლი. მზის წლიური მოძრაობა გამოწვეულია იმით, რომ დედამიწა, გარდა თავის ღერძის ირგვლივ ბრუნვისა, გარემოიქცევა მზის ირგვლივ წლის განმავლობაში. ეს მოძრაობა წარმოებს ორბიტაზე, რომელიც ძვეს მზეზე გამავალ სიბრტყეში.

მსგავსად ცის ეკვატორისა, რომელიც წარმოადგენს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთას ცის სფეროსთან, ეკლიპტიკა არის დედამიწის ორბიტის სიბრტყის გადაკვეთა ამავე სფეროსთან. ამ სიბრტყეებს შორის კუთხე უდრის ეკლიპტიკის დახრას ეკვატორთან, ე. ი. 23°27'-ს.

მზეზე მყოფი წარმოსახვითი დამკვირვებლისათვის დედამიწის მოძრაობა იწარმოებს ისევე, როგორც ჩვენთვის მზის მოძრაობა. დედამიწა (რომელიც მზიდან გამოჩნდება, როგორც საკმაოდ კაშკაშა ვარსკვლავი) ეკლიპტი-

კახე იმოდრავეებს ისავე მიმარულებით და ისავე სიჩქარით, როგორც ჩვესთვის მზე მოძრაობს. მხოლოდ ეს დამკვირვებელი დაინახავს დედამიწას ეკლიპტიკის იმ წერტილში, რომელიც წარმოადგენს მოცემულ მონენტში ეკლიპტიკაზე მზის მდებარეობის დიამეტრალურად მოპირდაპირე წერტილს (ნახ. 14). ასე მაგალითად, იენისში, როდესაც მზე მარჩბივის თანავარსკვლავედში ჩანს ზაფხულის მზებუდობის წერტილის მახლობლად, დედამიწა მზიდან გამოჩნდება მშვილდოსნის თანავარსკვლავედში, ზამთრის მზებუდობის წერტილის მახლობლად, იელისში ის გადავა თხისჩქის თანავარსკვლავედში და ა. შ.

წლის განმავლობაში დედამიწიდან მზემდე მანძილის ცვლილება მიგვითითებს იმაზე, რომ მზე არ იმყოფება დედამიწის ორბიტის ცენტრში. დედამიწის ორბიტა სინამდვილეში წრეხაზი კი არ არის, არამედ ელიფსია და მზე იმყოფება მის ეგრეთ წოდებულ ფოკუსში. დედამიწის მოძრაობა ორბიტზე არათანაბარია, ის მით უფრო სწრაფია, რაც უფრო ახლოსაა დედამიწა მზესთან. წერტილს, რომელშიაც დედამიწა მზესთან ყველაზე უფრო ახლოსაა, ეწოდება პერიჰელიუმი. პერიჰელიუმში მზე იმყოფება ხოლმე 3 იანვარს. მოპირდაპირე წერტილს, სადაც დედამიწა მზიდან უდიდესადაა დაშორებული, ეწოდება აფელიუმი. აფელიუმზე დედამიწა 4 იელისს გაივლის.



ნახ. 14.

შენიშვნა 1. ამობენ ასეც: 3 იანვარს მზე იმყოფება პერიგეუმში, ე. ი. ყველაზე უმცირეს მანძილზე დედამიწიდან, ხოლო 4 იელისს—აპოგეუმში, ე. ი. უდიდეს მანძილზე. მაგრამ, ამასთანავე, არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ეკლიპტიკა, რომელზედაც თითქოს მზე გარემოიქცევა დედამიწის ირგვლივ, არის ელიფსი. ეკლიპტიკა არაა დედამიწის ორბიტა, არამედ ამ ორბიტის სიბრტყის გადაკვეთაა ცის სფეროსთან, ე. ი. დიდი წრეა. როდესაც მზის გრძედი არის 281° (მზის პერიგეუმის გრძედი), დედამიწა მასთან უახლოეს მანძილზეა.

შენიშვნა 2. დედამიწის პერიჰელიუმზე და აფელიუმზე გავლის აქ მოყვანილი თარიღები წარმოადგენს საშუალოს ჩვენი ეპოქისათვის. დედამიწის ორბიტა სხვადასხვა მიზეზით, რომლებსაც VIII თავში ავხსნით, ყოველთვის რამდენადმე იცვლება. ამიტომ მზიდან დედამიწის უმოკლესი მანძილის მომენტი სხვადასხვა წელიწადს ემთხვევა 2—5 იანვრამდე ყველა შესაძლო რიცხვს, ხოლო უდიდესი დაშორების მომენტი 1—5 იელისამდე.

§ 30. ეკლიპტიკის დახრის განსაზღვრა დაკვირვებებიდან. ეკლიპტიკის ეკვატორთან დახრის ზუსტად განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს მზის

ცენტრის უდიდესი და უმცირესი საშუალო სიმაღლე (ან მისი უდიდესი, ან უმცირესი ზენიტური მანძილი) წლის განმავლობაში.

ზაფხულის მზებუდობის დღეს იზის ცენტრის საშუალო ზენიტური მანძილი იქნება (§ 22)

$$z_1 = \varphi - \epsilon,$$

ხოლო ზამთრის მზებუდობის დღეს

$$z_2 = \varphi + \epsilon.$$

აქედან ვიღებთ

$$\epsilon = \frac{1}{2} (z_2 - z_1).$$

ასეთი მეთოდით ეკლიპტიკის დახრა განსაზღვრული იყო ჯერ კიდევ უძველეს დროში. ამ სიდიდის ერთ-ერთი უძველესი განსაზღვრა ჩატარებული იყო ჩინელი ასტრონომების მიერ. ეკლიპტიკის დახრა დროის მიხედვით იცვლება, მხოლოდ ძალიან ნელა. ამ დახრის სიდიდე მოცემული მომენტი-სათვის ყველთვის ზუსტადაა ცნობილი (იხ. მე-8 სავარჯიშო).

შევნიშნათ კიდევ, რომ სხვა ცის სხეულების მიზიდულობის გამო, უმთავრესად მთვარის, დედამიწა ზუსტად ერთ სიბრტყეში (ეკლიპტიკის სიბრტყეში) არ მოძრაობს, არამედ მისგან რამდენიმედ გადაიხრება ხან ჩრდილოეთით და ხან სამხრეთით. ამიტომ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მზის ცენტრი ყოველთვის არ მოჩანს ეკლიპტიკაზე (მზის ცენტრის განედით ყოველთვის არ უდრის ნულს), არამედ პერიოდულად გადაიხრება მისგან მცირე სიდიდით, რომელიც მხოლოდ იშვიათად აღწევს 1"-ს.

II. დროის გაზომვა

§ 31. ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე. დროის განსაზღვრა ასტრონომიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პრაქტიკულ ამოცანას წარმოადგენს. ძირითად საზომ ერთეულად მიღებულია დედამიწის ღერძის გარშემო ერთი სრული შემობრუნების დრო, ან, რაც იგივეა, ცის თალის ხილული გარემოქცევის დრო, რომელსაც ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე ეწოდება (§ 21). ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის ახსნისას ჩვენ დავუშვებთ, რომ დროის გაზომვა ჩვეულებრივი სამოქალაქო საათით ცნობილია.

დროის შუალედი რომელიმე მომენტიდან მეორე დღის იმავე მომენტამდე სწორი სვლის მქონე საათით შეადგენს ერთ დღე-ღამეს, ზუსტად 24 საათს. ჯერ განუზარტავად შევნიშნათ, რომ ამ დღე-ღამეს ეწოდება საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე, ხოლო მის ნაწილებს—საშუალო დროის საათები, მინუტები და სეკუნდები.

ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე 3⁵⁶·-ით ხანმოკლეა საშუალოზე, მაშასადამე, მისი ხანგრძლიობა შეადგენს 23⁵⁶·4-ს საშუალო დროით. ამაში შეიძლება დავრწმუნდეთ, თუ ერთი და იმავე ადგილიდან რამდენიმე საღამოს ზედიზედ დავუკვირდებით ერთი და იმავე ვარსკვლავის ამოფარებას რომელიმე განცალკევებული მაღალი, სახლის უკან. ვარსკვლავი ყოველ საღამოს ამოეფარება ჩვენი საათით 3⁵⁶·-ით ადრე, ვიდრე წინა დღით.

ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამეს, საშუალოს მსგავსად, ყოფენ 24 საათად, შემდეგ მინუტებად და სეკუნდებად. ვარსკვლავთმიერი დროის თითოეული საათი და აგრეთვე ვარსკვლავთმიერი მინუტი და სეკუნდი რამდენადმე მოკლეა საშუალო დროის შესაბამის ერთეულებზე.

ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისად იღებენ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის ზედა კულმინაციის მომენტს. ამიტომ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე შეიძლება განიმარტოს როგორც დროის შუალედი გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის ორ თანმიმდევარზედა კულმინაციის შორის.

§ 32. ვარსკვლავთმიერი დრო. ვარსკვლავთმიერი დრო (§ 21) არის გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის საათის კუთხე¹; ის განისაზღვრება ვარსკვლავთმიერი საათით, რომელიც ჩვეულებრივი საათისაგან მხოლოდ იმით განსხვავდება, რომ მასთან შედარებით ყოველდღე წინ მიდის 3^m56^s.-ით და ისეა დაყენებული, რომ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის მერიდიანზე ყოველ გავლისას უჩვენებს 0^h0^m0^s.-ს. ასტრონომიულ კალენდრებში მოცემულია წლის ყოველი დღის შუადღისათვის ან შუალამისათვის ვარსკვლავთმიერი დრო და ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ ვარსკვლავთმიერი დრო ნებისმიერი მომენტისათვის. ვარსკვლავთმიერი დრო შეიძლება ვიპოვოთ მიახლოებით შემდეგი მოსაზრების საფუძველზე:

1) 21 მარტს მზე გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილთან ერთად თითქმის ერთდროულად გადის მერიდიანზე. მაშასადამე, ამ დღის შუადღეს ვარსკვლავთმიერი დრო ნულთან ახლოს უნდა იყოს. შუალამეზე კი—12 საათთან; ეგრეთ წოდებული დროის განტოლების (§ 36) არსებობის შედეგად, სინამდვილეში ეს ხდება 23 და არა 21 მარტს. დავიმახსოვროთ, რომ ვარსკვლავთმიერი დრო შუალამეზე დაახლოებით ტოლია:

23 მარტს	12 ^h ,
22 ივნისს	18 ^h ,
22 სექტემბერს	0 ^h ,
22 დეკემბერს	6 ^h .

2) ყოველდღე ვარსკვლავთმიერი დრო შუალამეზე წინ მიდის თითქმის 4 მინუტით, ყოველ თვე—2 საათით.

3) საშუალო მზისმიერი დროის ყოველი 6^h შუალედი შეადგენს 6^h1^m.-ს ვარსკვლავთმიერი დროით.

მაგალითად, ვარსკვლავთმიერი დრო 7 ნოემბრის საღამოს 8 საათისათვის ასე მოიძებნება; 22 სექტემბერს შუალამეზე ვარსკვლავთმიერი დრო ტოლია ნულს; 22 სექტემბერიდან გავიდა 1 თვე და 16 დღე-ღამე; ვარსკვლავთმიერი დრო 7 ნოემბერს შუალამეზე (ე. ი. 6-დან 7-ის დამდეგს) იქნება:

¹ როდესაც დროს გამოსახვენ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის ნაწილებით—ვარსკვლავთმიერი საათებით, მინუტებით, სეკუნდებით, მაშინ მას სიმოკლისათვის ვარსკვლავთმიერი დროს უწოდებენ.

ვარსკვლავთმიერი დრო ყოველ მომენტში რიცხობრივ უდრის გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის საათის კუთხეს, გამოსახულს საათებით, მინუტებითა და სეკუნდებით; მსგავსადვე უნდა შევნიშნოთ კემპარიტი მზისმიერი დროისა და საშუალო მზისმიერი დროის განსაზღვრის დროს. ქართ. გამოც. რედ.

$$1 \text{ თვის შესწორება} = 2^{\wedge} 0^{\text{m}}$$

$$16 \text{ დღე-ღამის} \quad \quad \quad = 1^{\wedge} 4^{\text{m}}$$

$$7 \text{ ნოემბერს შუალამზე ვარსკვლავთმომიერი დრო} = 3^{\wedge} 4^{\text{m}}$$

1960 წლის ასტრონომიულ კალენდარში ვპოულობთ ზუსტ მნიშვნელობას: $3^{\wedge} 5^{\circ}$; ჩვენ შეგვცდით მხოლოდ 1 მინუტით. დარჩა ის, რომ მიღებულ სიდიდეს მიუხედავად შუალამიდან გასული დრო გამოსახული ვარსკვლავთმომიერი დროის ერთეულებში. მაშინვე ჩანს, რომ ასეთი გადასვლის დროს, ნაცვლად $8^{\wedge} + 12^{\wedge} = 20^{\wedge}$, დაახლოებით მიიღება ვარსკვლავთმომიერი დროით $20^{\wedge} 3^{\text{m}}$ (ვინაიდან 24 საათის შესწორება ეტოლებოდა მხოლოდ 4^{m} -ს). მაშასადამე:

$$\begin{array}{r} 3^{\wedge} 4^{\text{m}} \\ + 20^{\wedge} 3^{\text{m}} \\ \hline 23^{\wedge} 7^{\text{m}} \text{ ვარსკვლავთმომიერი დროით.} \end{array}$$

ვარსკვლავთმომიერი დროის ზუსტი გამოთვლა მოცემული იქნება III თავში. ვარსკვლავთმომიერ დროს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ასტრონომიისათვის. მისი მიახლოებითი განსაზღვრა დამკვირვებელს გადაუშლის ვარსკვლავიერი ცის სურათს (§ 21), ხოლო ვარსკვლავთმომიერი დროის ზუსტი ცოდნა აუცილებელია მნათობთა მდებარეობის, განსაკუთრებით მათ პირდაპირ აღვლენათა ზუსტად განსაზღვრისათვის (§ 78). ამიტომ ასტრონომიული დაკვირვებების მნიშვნელოვანი ნაწილი აღინიშნება ვარსკვლავთმომიერი დროით; მაგრამ საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის ვარსკვლავთმომიერი დრო მოუხერხებელია, ვინაიდან ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამის დასაწყისი თანმიმდევრობით ემთხვევა დღისა და ღამის ყოველ შესაძლო საათს. ის დრო, რომელიც ყოველდღიურ ცხოვრებაში გამოიყენება, არის მზისმომიერი დრო. მაგრამ ეს დრო გაცილებით რთულია ვარსკვლავთმომიერზე, რადგან მზე არ ინარჩუნებს უცვლელ მდებარეობას ვარსკვლავების მიმართ.

§ 33. **ჰემზარიტი მზისმომიერი დღე-ღამე.** ასე ეწოდება დროის შუალედს მზის ცენტრის ორ თანმიმდევარ ზედა კულმინაციას შორის. ეს დღე-ღამე, როგორც ჩვენ ვნახეთ (§ 31), ვარსკვლავთმომიერ დღე-ღამეზე თითქმის 4 მინუტით უფრო ხანგრძლივია.

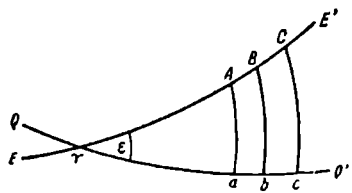
ეს მზის წლიური მოძრაობის გამო ხდება. დავეუშვათ, რომ მზემ მერიდიანიზე რომელიმე დღეს გაიარა გარკვეულ ვარსკვლავთან ერთად; ვარსკვლავის მომდევნო ზედა კულმინაციის დროს მზე აღმოჩნდება მისგან დაახლოებით 1° -ით აღმოსავლეთით და მერიდიანიზე გაივლის მასზე გვიან. დაგვიანების სიდიდე საშუალოდ დღე-ღამის $1/365$ ნაწილს შეადგენს, ე. ი. დაახლოებით $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ -ს და სწორედ ამ სიდიდით ჰემზარიტი მზის დღე-ღამეები უფრო ხანგრძლივი გამოდის ვარსკვლავთმომიერზე. მზის პირდაპირი აღვლენის ყოველდღიური ნაზრდი რომ მუდმივი იყოს, მაშინ მერიდიანზე მზე გავლას დაგვიანებდა ყოველთვის დროის ერთი და იმავე შუალედით და ჰემზარიტი მზისმომიერი დღე-ღამის ხანგრძლიობა იქნებოდა მუდმივი. მაგრამ ეს არ არის ორი მიზეზით:

ა) მზე მოძრაობს არათანაბრად (§ 28),

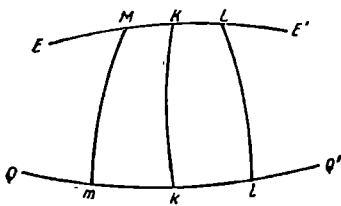
ბ) მზე მოძრაობს არა ეკვატორზე, არამედ ეკლიპტიკაზე, რომელიც დახრილია ეკვატორთან მნიშვნელოვანი კუთხით. ამიტომ ჰემსფეროები დღე-ღამის ხანგრძლიობა ცვალებადი იქნებოდა იმ შემთხვევაშიაც, თუ მზის დღელამური გადაადგილება (მისი გრძედის ნაზრი $\Delta\lambda$) ყოველთვის ერთი და იგივე იქნებოდა. გადავზომოთ ისინი ET' ეკლიპტიკაზე თანატოლი რკალების სახით (ნახ. 15 და 16):

$$\Delta\lambda = AB = BC.$$

მზის პირდაპირი აღვლენის დღელამური ნაზრდები $\Delta\alpha$ ტოლია ამ რკალების პროექციებისა QQ' ეკვატორზე. დღელამტოლობის მახლობლად (ნახ. 15) ეკვატორზე ამგვარად მიღებული მონაკვეთები (ab , bc) უფრო მოკლეა ეკლიპტიკის შესაბამის მონაკვეთებზე, $\Delta\alpha < \Delta\lambda$, და ამიტომ ჰემსფეროები დღე-ღამეებს აქვს უმცირესი ხანგრძლიობა. მზებუდობის მახლობლობაში კი, პირიქით, ეკვატორის მონაკვეთები (mk , kl) უფრო გრძელია ეკლიპტიკის მონაკვეთებზე (პოლუსიდან დაშორებისთან ერთად საათიერი წრეების ერთმანეთისაგან უფრო მეტად და მეტად დაცილების გამო). ამიტომ, თუ მაგალითად, MK შეადგენს 1° -ს, ე. ი. ეკლიპტიკის $1/360$ ნაწილს, მაშინ mk იქნება მეტი ეკვატორის $1/360$ ნაწილზე და, მაშასადამე, მეტი 1° -ზე. ამგვარად, ამ დროს $\Delta\alpha > \Delta\lambda$ და ჰემსფეროები დღე-ღამეების ხანგრძლიობა გამოდის უდიდესი (ნახ. 16).



ნახ. 15.



ნახ. 16.

ორივე მიზეზის ზეგავლენით, მაგალითად, 23 დეკემბერს ჰემსფეროები დღე-ღამე 51 სექუნდით ხანგრძლივია, ვიდრე 16 სექტემბერს.

§ 34. ჰემსფეროები მზისმიერი დრო.

ვარსკვლავთმეორ დროს ჩვენ განვსაზღვრავთ როგორც ვაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის საათის კუთხეს. ამის მსგავსად, მზის ცენტრის საათის კუთხეს ჩვენ ვუწოდებთ ჰემსფეროები მზისმიერი დროს¹. ამ დროს უჩვენებს მზის საათი; ის აღინიშნება λ -ით, სადაც \odot არის მზის ნიშანი.

რადგან ჰემსფეროები მზისმიერი დღე-ღამეების ხანგრძლიობა არათანაბარია, ამიტომ ჰემსფეროები მზისმიერი დროის სხვა ერთეულებიც (საათები, მიწუტები, სექუნდები) ასევე რამდენადმე იცვლება. თუ ჩვენ მოვისურვებდით აგვეგო ზუსტად მზისმიერი დროის მაჩვენებელი მექანიკური საათი, მაშინ მას მუდმივად უნდა ეცვალა სვლა—ხან ჩამორჩენილიყო და ხან წინ წასულიყო, ამასთანავე წლის სხვადასხვა დღეს ზუსტად გარკვეული სიდიდით. ეს მოუხერხებელიცაა და განუხორციელებელიც. ამიტომ ჰემსფეროები მზისმიერი დღე-ღამის

¹ იხ. შენიშვნა, გვ. 43.

მაგიერ იხმარება დღე-ღამე ყოველთვის ერთი და იმავე ხანგრძლიობით, რომელიც წლის განმავლობაში ქვეშარტი დღე-ღამეების საშუალო ხანგრძლიობის ტოლია. ასეთ დღე-ღამეს უწოდებენ საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს, ხოლო დროს, გაზომილს ამ დღე-ღამის ნაწილებით—საშუალო მზისმიერ დროს.

§ 35. საშუალო მზისმიერი დრო თვალსაჩინო გახდება, თუ დავუშვებთ, რომ ის, მსგავსად ქვეშარტი მზისმიერი დროისა, წარმოადგენს გარკვეული წერტილის საათის კუთხეს. ეს წერტილი ახლოა მზესთან, მაგრამ მას არ ემთხვევა და უფრო მარტივად მოძრაობს. ასეთ წერტილს ეწოდება საშუალო მზე. წარმოსახვითი საშუალო მზე სრულ შემოვლას ცაზე იმდენ ხანსვე უნდება, რამდენსაც ნამდვილი მზე, ე. ი. ერთ ტროპიკულ წელიწადს, მაგრამ მოძრაობს არა ეკლიპტიკაზე, არამედ ეკვატორზე და თანაბრად. მისი პირდაპირი აღვლენა დღე-ღამეში ყოველთვის ერთი და იმავე სიდიდით იზრდება, რომელსაც აღვნიშნავთ μ -თი

$$\mu = \frac{24^h}{365,2422} = 3^m 56^s,56 \text{ 1 საშ. მზისმიერ დღე-ღამეში.}$$

ეს არის წლის განმავლობაში აღმოსავლეთით მზის დღეღამური გადაადგილების საშუალო სიდიდე. ამ ფიქტიური მზის ზედა კულმინაციის მომენტი არის საშუალო შუადღე, ხოლო საშუალო მზის საათის კუთხე—საშუალო მზისმიერი დრო t_m . საშუალო შუადღეზე ის ნულის ტოლია, შუადღიდან ერთი საათის შემდეგ—1 საათის, შემდეგ—2 საათის და ა. შ. 24 საათამდე. თუ ათვლას დავიწყებთ შუაღამიდან, მივიღებთ ე. წ. სამოქალაქო ანუ ადგილობრივ T_c დროს. ცხადია,

$$T_c = t_m + 12^h.$$

არც საშუალო დრო, არც სამოქალაქო დრო (მიუხედავად მისი სახელწოდებისა) სამოქალაქო ცხოვრებაში არ გამოიყენება 1919 წლიდან. მაგრამ ისინი მეტად აუქილებელია ყველა ასტრონომიული გამოთვლის დროს.

§ 36. დროის განტოლება. წარმოსახვითმა საშუალო მზემ შეიძლება ქვეშარტი მზეზე ხან უფრო ადრე და ხან უფრო გვიან გაიაროს მერიდიანზე და საშუალო დრო შეიძლება ქვეშარტიზე ხან წინ და ხან უკან იყოს. საშუალო და ქვეშარტი დროთა შორის სხვაობას ეწოდება დროის განტოლება; სხვა სიტყვებით, ესაა შესწორება, რომელიც უნდა მიეცეს ქვეშარტი დროს, რომ მივიღოთ საშუალო დრო. დროის განტოლება აღინიშნება ბერძნული η ასოთი. ცხადია,

$$\eta = t_m - t_{\odot}$$

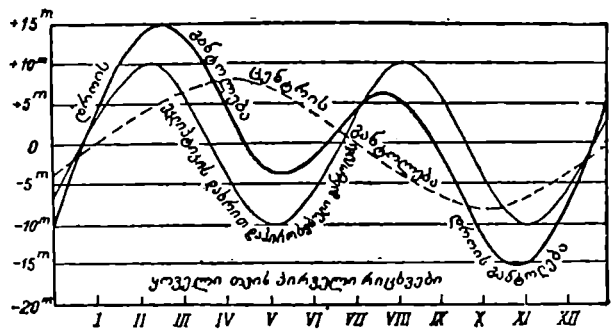
დროის განტოლების სიდიდე დღით დღე იცვლება შემდეგი მიზეზებით: ა) ეკლიპტიკაზე მზის არათანაბარი მოძრაობით და ბ) ეკლიპტიკის დახრის გამო.

ა) ქვეშარტი მზე ხამთრის თვეებში პირველი მიზეზის გამო ყოველდღიურად საშუალო არდიფიქტ მეტად გადაადგილდება აღმოსავლეთით და ქვეშარტი მზისმიერი დღე-ღამე

¹ იხ. შენიშვნა, გვ. 43.

მეები საშუალოზე ხანგრძლივი გამოდის. ეს სხვაობა მაქსიმუმს (+ 8 სექუნდს) აღწევს იანვარის დასაწყისში, რის შემდეგ იწყებს კლებას, მაგრამ პირველ დღეებში ძალიან ნელა მცირდება. შეეთანხმეთ, რომ ჩვენ წარმოსახვით საშუალო მზესა და კემშარიტ მზეს თანატოლი პირდაპირი აღლენა აქვს პერიოდიუმიზე გავლის დღეს, 3 იანვარს (§ 29). ამ დღეს საშუალო დრო დაემთხვევა კემშარიტს, მაგრამ უკვე მეორე დღეს ის წინ წავა მ-ით კემშარიტთან შედარებით, შემდეგ 16-ით და ა. შ. დროთა დაგროვილი სხვაობა სწორედ დროის განტოლებაა. ის იზრდება, ვიდრე კემშარიტი დღე-ღამე საშუალოზე ხანგრძლივი რჩება მხოლოდ სულ უფრო და უფრო ნელა და მიადრეებს მაქსიმუმს სამი თვის შემდეგ (აპრილში), როცა კემშარიტი დღე-ღამე გაუთანაბრდება საშუალოს. ამის შემდეგ დროის განტოლების დღელამური ნახრდი გახდება უარყოფითი და მისი სიდიდე, რჩება რა დადებითი, თანდათანობით მცირდება (წყვეტილი მრუდი, ნახ. 17-ზე).

ნულამდე დროის განტოლება მცირდება აფელიუმში, ე. ი. ივლისის დასაწყისში. მაშინ საშუალო დრო კვლავ თანხდება კემშარიტ დროს. ამგვარად, მხოლოდ პირველ მიზეხს



ნახ. 17.

რომ ჰქონოდა ადგილი (მზის უთანაბრო მოძრაობას ეკლიპტიკაზე), მაშინ მთელი პირველი ნახევარი წლის განმავლობაში დროის განტოლება დარჩებოდა დადებითი. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა (აპრილში) იქნებოდა + 8მ (საშუალო მზე დღელამური მოძრაობით წინაა კემშარიტ მზეზე).

მსგავსი მსჯელობით შეიძლება ვუჩვენოთ, რომ წლის მეორე ნახევარში დროის განტოლება უარყოფითი უნდა იყოს და რომ ოქტომბერში ის მიადრეებს უდიდეს მნიშვნელობას—8მ-ს (საშუალო მზე უკანაა კემშარიტ მზეზე). დროის განტოლების იმ ნაწილს, რომელიც გამოწვეულია მზის უთანაბრო მოძრაობით ეკლიპტიკაზე, ეწოდება კემშარის განტოლება. მისი გრაფიკი სინუსოიდაი ერთი წლის პერიოდით (ერთი სრული ტალღა წელიწადში, წყვეტილი მრუდი მე-17 ნახაზზე);

ბ) მეორე მიზეხის (ეკლიპტიკის დახრის) ზეგავლენა კიდევ უფრო მნიშვნელოვანია და ის უნდა ჩათვალოს მთავარ მიზეხად. რადგანაც დღელამტოლოგის მახლობლობაში მზის დღელამური გადაადგილება აღმოსავლეთით უფრო მცირეა, ვიდრე მზეზეუდობის მახლობლობაში (§ 33, ბ), ამიტომ მარტში და სექტემბერში კემშარიტი მზისმიერი დღე-ღამე 20 სეკუნდით ხანმოკლეა საშუალოზე, ივნისში და დეკემბერში კი ამდენითვე ხანგრძლივი. რომ მარტო ეს მიზეხი მოქმედებდეს, მაშინ დროის განტოლება 10 მიწუტამდე მიადრეედა როგორც ერთი, ისე მეორე მიმართულებით. დროის განტოლება ნული გახდებოდა აპრილში და ოქტომბერში: დღელამტოლოგისა და მზეზეუდობის დღეებში. ამ წევრის გრაფიკი (ნახ. 17) სინუსოიდაი ნახევარწლიანი პერიოდით (წელიწადში ორი სრული ტალღა).

საბოლოო ჯამში, აგრეთვე პირველი მიზეხის მოქმედების გამო, დროის განტოლება იქცევა ნულად მომენტებში, რომლებიც არ ემთხვევა წლის დროთა დასაწყისს, სახელდობრ: 15 აპრილს, 14 ივნისს, 1 სექტემბერს და 24 დეკემბერს. მაქსიმუმები აქვს აგრეთვე ოთხჯერ

წელიწადში; ყველაზე მნიშვნელოვანია 11 თებერვალს, როცა საშუალო დრო 14 მ-ნეტით წინა კემარტზე და 2 ნოემბერს—16 მინუტით უკანაა. ეს დიდი განსხვავებები, როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, წარმოადგენს თანდათანობით დაგროვილ ყოველდღიურ რამდენიმე სეკუნდიან გადახრათა შედეგს (მთლიანი სქელი მრუდი, ნახ. 17).

§ 37. ზუსტი დამოკიდებულება ვარსკვლავთმიერი და საშუალო მზის-მიერი დროის ერთეულებს შორის. ტროპიკული წელიწადი შეიცავს 365,24220 საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს, ე. ი. ხილულ ბრუნვათა ასეთ რიცხვს შეასრულებს დედამიწის ირგვლივ მზე ამ ხნის განმავლობაში. მაგრამ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი ასრულებს ზუსტად ერთი ბრუნვით მეტს, რადგან მზე მოძრაობს ცის სფეროს ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით და ამიტომ ის კარგავს ერთ ბრუნს. რომ მივიღოთ მზის ბრუნვათა რიცხვი ვარსკვლავთმიერი ცის რომელიმე წერტილის ბრუნვათა რიცხვიდან, საჭიროა უკანასკნელ რიცხვს გამოეკლოთ ერთი. მაშასადამე, 365,2422 საშუალო მზის-მიერი დღე-ღამე = 366,2422 ვარსკვლავთმიერ დღე-ღამეს, აქედან გამომდინარეობს, რომ

1 საშ. მზისმიერი დღე-ღამე = $\frac{366,2422}{365,2422} = 1,002738$ ვარსკვლ. დღე-ღამეს;

1 ვარსკვლ. დღე-ღამე = $\frac{365,2422}{366,2422} = 0,997270$ საშ. მზისმიერ დღე-ღამეს;

ან, თუ მოვახდენთ დღე-ღამის ნაწილების დაყოფას სეკუნდებად, მივიღებთ:

1 საშ. მზისმიერი დღე-ღამე = 1 ვარსკვლ. დღე-ღამე + 3^m56^s,56 ვარსკვლ. დროით.

1 ვარსკვლ. დღე-ღამე = 1 საშ. მზისმიერი დღე-ღამე — 3^m55^s,91 საშ. მზისმიერი დროით.

თუ i_m -ით აღვნიშნავთ დროის შუალედს გამოსახულს საშუალო დროის ერთეულებში, ხოლო i_s -ით—იმავე შუალედს ვარსკვლავთმიერი დროის ერთეულებში, მაშინ i_m და i_s რიცხვებს შორის კავშირი გამოისახება ფორმულით:

$$i_s = i_m(1 + \mu) = i_m + \mu i_m.$$

ვარსკვლავთმიერი დროის i_s შუალედის საშუალო დროის ერთეულებში გადასაყვანად ვიყენებთ ფორმულას

$$i_m = i_s(1 - \nu) = i_s - \nu i_s;$$

აქ

$$\mu = \frac{1}{365,2422} = 3^m56^s,56 \text{ დღე-ღამეში} = 9^s,856 \text{ საათში,}$$

$$\nu = \frac{1}{366,2422} = 3^m55^s,91 \text{ დღე-ღამეში} = 9^s,830 \text{ საათში.}$$

ამ ფორმულებით გამოთვლილია ცხრილები საშუალო დროის შუალედების ვარსკვლავთმიერი დროის შუალედებში გადასაყვანად და პირიქით (I და II ცხრ. წიგნის პოლოში).

§ 88. ვარსკვლავთმეორი დრო საშუალო შუადღეზე და საშუალო შუაღამეზე. ძირითად სიდიდეს ვარსკვლავთმეორ დროზე ამოცანების გადასაწყვეტად წარმოადგენს ვარსკვლავთმეორი დრო მოცემული დღის საშუალო შუადღეზე ან საშუალო შუაღამეზე. ეს სიდიდე იზრდება თანაბრად 3^h56^m,56-ით დღე-ღამეში, ანუ 9^h,856-ით საათში (§ 37). მისი მიახლოებითი განსაზღვრა ნაჩვენებია იყო § 32-ში, ხოლო ზუსტი მნიშვნელობა ყოველდღისათვის მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში (კალენდრებში). 1931 წლამდე ყოველწლიურებში მოცემული იყო ვარსკვლავთმეორი დრო გრინვიჩის საშუალო შუადღისათვის, ე. ი. იმ მომენტისათვის, როდესაც იწყება შუადღე; გრინვიჩის (ლონდონის გარეუბანი) ობსერვატორიის მერიდიანზე. 1931 წლიდან ყოველწლიურებში მოცემულია ვარსკვლავთმეორი დრო გრინვიჩის საშუალო შუაღამისათვის. ცხადია:

ვარსკვლავთმეორი დრო საშ. შუადღეზე = ვარსკვლავთმეორ დროს საშ. შუაღამეზე + 12^h1^m58^s,28.

რადგან დედამიწის სხვადასხვა მერიდიანზე შუაღამე ერთდროულად არ იწყება, ამიტომ ვარსკვლავთმეორი დრო რომელიმე სხვა მერიდიანის შუაღამეზე გრძელის მიხედვით რამდენადმე განსხვავებული იქნება გრინვიჩისაზე. ამ განსხვავების გამოთვლა შემდეგ იქნება ახსნილი.

ბევრ შემთხვევაში მაინც რამდენადმე უფრო მოხერხებულია ვარსკვლავთმეორი დრო საშუალო შუადღეზე, მით უმეტეს, რომ ადგილი აქვს მნიშვნელოვან დამოკიდებულებას, რომელიც გამომდინარეობს § 21-ის ფორმულიდან: საშუალო შუადღეზე ვარსკვლავთმეორი დრო ტოლია საშუალო მზის პირდაპირი აღვლენისა.

გავიხსენებთ რა დროის განტოლების განმარტებას, მივიღებთ კიდევ ერთ წესს: საშუალო შუადღეზე ჭეშმარიტი მზის პირდაპირი აღვლენა ტოლია ვარსკვლავთმეორი დრო პლუს დროის განტოლება.

ბოლოს, ჭეშმარიტი მზის პირდაპირი აღვლენა საშუალო შუაღამეზე ტოლია ვარსკვლავთმეორი დრო + დროის განტოლება + 12 საათი.

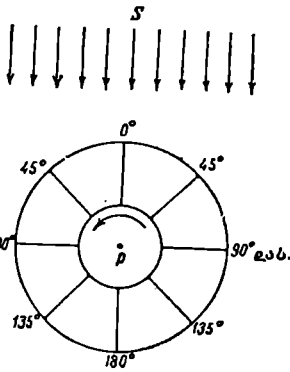
§ 39. დროის სამოქალაქო და ასტრონომიული ანგარიში. სამოქალაქო ცხოვრებაში დღე-ღამის დასაწყისად მიღებულია შუაღამე; დროის აღრიცხვა წარმოებს ან ორ სერიად თითოეული თორმეტი საათით, ან უწყვეტად, 0-დან 24 საათამდე. მეორე ხერხში არ გვიხდება საათის რიცხვთან დამატებითი მითითება „დ“ (დილის) და „ს“ (საღამოს) ან „ნაშუადღეის“ და „ნაშუაღამეის“.

1925 წლამდე ასტრონომიული დღე-ღამე იწყებოდა შუადღეზე, სამოქალაქოზე 12 საათით გვიან; ამავე დროს საათებს ითვლიდნენ უწყვეტად, 0-დან 24 საათამდე. მაგალითად, როდესაც სამოქალაქო ანგარიშით ითვლებოდა ორშაბათი 25 იანვარი, დილის 10 საათი, ასტრონომიული ანგარიშით ჯერ კიდევ კვირა იყო, 24 იანვრის 22 საათი. იმის შესახებ, რომ ასეთი ანგარიში არსებობდა, უნდა გვახსოვდეს ძველი ასტრონომიული დაკ-

ვირევებების გარჩევას, წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება შევცდეთ ნახევარი დღე-ღამით.

§ 40. ადგილობრივი დრო და გრძელი. მე-18 ნახაზზე გამოსახულია დედამიწის ჩრდილო ნახევარსფერო; ცენტრში მოთავსებულია ჩრდილოეთი პოლუსი, დედამიწის მერიდიანები წარმოდგენილია სწორი ხაზებით. მერიდიანი, რომლის გრძელი ნულია, არის საწყისი, ანუ „ნულოვანი“ მერიდიანი.

ვთქვათ, რომ მოცემულ მომენტში \mathcal{S} მზე იმყოფება ნულოვანი მერიდიანის სიბრტყეში. ამ მერიდიანის ყოველ წერტილში, ცხადია, იქნება შუალედ (12 საათი). 15° -ით დასავლეთით მდებარე მერიდიანზე კი შუალედ ჯერ



ნახ. 18.

არ დამდგარა; ის მაშინ დადგება, როდესაც ეს მერიდიანი დედამიწის ბრუნვის გამო 15° -ით შემობრუნდება და დაიჭერს ადგილს, სადაც მოცემულ მომენტში ნულოვანი მერიდიანი მდებარეობს, ეს იქნება ერთი საათის შემდეგ. ამგვარად, დასავლეთით 15° გრძელზე მდებარე წერტილებში მოცემულ მომენტში იქნება 11 საათი. ცხადია, რომ დასავლეთით მდებარე 30° გრძელის მერიდიანზე ამ დროს იქნება 10 საათი, 15° აღმოსავლეთის გრძელის მქონე მერიდიანზე — უკვე 13 საათი და ა. შ.

აქედან გამომდინარეობს, რომ დედამიწის ერთსა და იმავე მერიდიანზე მდებარე ყველა ადგილს აქვს ერთი და იგივე დრო, ხოლო სხვადასხვა მერიდიანზე მდებარე წერტილების ადგილობრივი დროთა სხვაობა უდრის მათ გრძელთა სხვაობას გამოსახულს დროის ერთეულებში. ასე, მაგალითად, ვლადივოსტოკში საათი 6 ს. და 46 მინ. წინაა, ვიდრე ლენინგრადში (ვლადივოსტოკის გრძელი არის $101^{\circ}30'$. იგი ლენინგრადის აღმოსავლეთითაა).

აღვნიშნავთ რა ორი პუნქტის გეოგრაფიულ გრძელებს λ_1 და λ_2 -ით და ამ პუნქტების ადგილობრივ დროებს T_{λ_1} და T_{λ_2} -ით, მივიღებთ:

$$T_{\lambda_2} - T_{\lambda_1} = \lambda_2 - \lambda_1.$$

§ 41. ზოლური დრო. წინათ თითოეული დიდი ქალაქი თავისი დროით ცხოვრობდა. ნაკლებად განვითარებულ პოლიტიკურ, ეკონომიურ და კულტურულ ურთიერთობაში ეს არ ქმნიდა დიდ უხერხულობას. მაგრამ საზოგადოების განვითარებასთან ერთად სიძნელებები სხვადასხვა ადგილას დროის განსხვავებულ ანგარიშისაგან სულ უფრო შესამჩნევი ხდებოდა.

ამიტომ ბევრ შემთხვევაში მრავალი ადგილობრივი დროის სისტემიდან იწყეს გადასვლა დროის ერთ სისტემაზე, ასე, მაგალითად, უკვე დიდი ხნის წინათ რუსეთის ყველა რკინიგზაზე ანგარიში პეტერბურგის დროით იყო შემოღებული. გამოითქვა აზრიც, რომ მთელ დედამიწაზე შემოღებულიყო ერთიანი დრო, მაგალითად, მთელ დედამიწაზე ყველა საათი დაეყენებიათ გრინვიჩის

ობსერვატორიის დროზე. მაგრამ ეს გამოიწვევდა ახალ უხერხულობას. მაგალითად, საბჭოთა კავშირში შუადღე 12 საათზე კი არ დადგებოდა, არამედ გრძელის მიხედვით ყველა შესაძლო საათზე 2-დან 10-მდე. ამიტომ მთელ დედამიწაზე ერთიანი დროის გეგმა გატარებული იყო ცხოვრებაში სხვა სახით, ეგრეთ წოდებული ზოლური დროის (T_n) სახით.

ზოლური დრო შემდეგში მდგომარეობს: მთელი დედამიწის სფერო დაყოფილია 24 ნაწილად ანუ 24 ზოლად მერიდიანებით, რომლებიც ერთი მეორისაგან 15° -ითაა (ე. ი. ერთი საათით) დაშორებული. თითოეული ზოლის შიგნით ყველა საათი დაყენებულია ერთ დროზე, სახელდობრ, ზოლის შუა მერიდიანის დროზე. ეს „ზოლური დრო“ ზოლის შიგნით მდებარე რომელიმე წერტილის ადგილობრივი დროისაგან განსხვავდება მაქსიმუმ ნახევარი საათით (ზოლის საზღვარზე). ამგვარად, მოგზაურს უხდება საათის გადაწევა მხოლოდ სხვა ზოლში გადასვლისას და ამასთანავე ყოველთვის საათების მთელი რიცხვით.

ნულოვან ზოლად ითვლება ის ზოლი, რომლის ცენტრალური მერიდიანი გადის გრინვიჩზე.

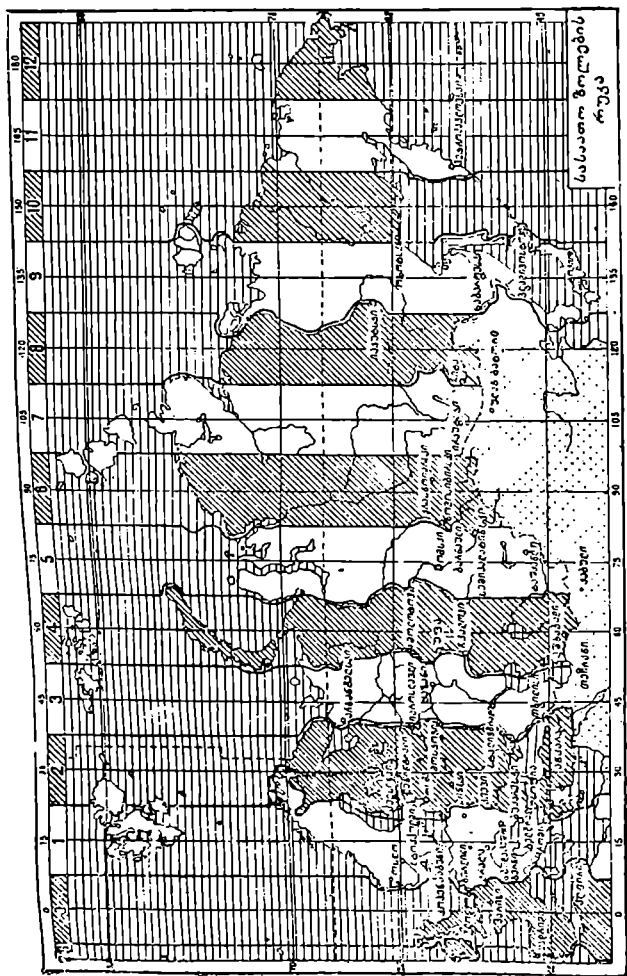
გრინვიჩის სამოქალაქო დროს, რომელიც ათვლილია გრინვიჩის საშუალო შუალამიდან (0-დან 24^h -მდე), ეწოდება საერთაშორისო ანუ მსოფლიო დრო (T_0). მოცემული n -ური ზოლის ზოლური დრო დაკავშირებულია გრინვიჩის დროსთან შემდეგი ცხადი ტოლობით:

$$T_n = T_0 + n.$$

სინამდვილეში ზოლის საზღვრები ხმელეთზე ტარდება ჩვეულებრივად არა მერიდიანების გასწვრივ, არამედ პოლიტიკური და ბუნებრივი საზღვრების მიხედვით. ასე, 1911 წლიდან პორტუგალიიდან პოლანდიამდე ყველა საათი დაყენებულ იქნა ერთნაირად გრინვიჩის მერიდიანის დროზე („ნულოვანი ზოლი“ ანუ დასავლეთ ევროპის დრო); გერმანიაში, იტალიაში და სხვ. (ნახ. 19) ხმარებაშია „შუა ევროპის დრო“ ანუ I ზოლის დრო, რომელიც 1 საათით წინაა გრინვიჩისაზე. II ზოლი—„აღმოსავლეთ ევროპის დრო“ (საერთაშორისო დრო + 2 საათი), მოიცავს ბალკანეთის სახელმწიფოებს და აგრეთვე ფინეთსაც.

1919 წლიდან ზოლური დრო შემოღებულ იქნა საბჭოთა კავშირშიც. რადგანაც II ზოლის დრო 1 მინ. და 19 სექ. უქანაა ლენინგრადისაზე, ამიტომ ზოლურ დროზე გადასასვლელად ძველი „სარკინიგზო“ დრო დაწეულ იქნა უკან მხოლოდ 1 მინ. და 19 სექ. ამ II ზოლის დროზე იქნა დაყენებული ყველა საათი სსრ კავშირის დასავლეთ საზღვრებიდან არხანგელსკი—რიიხანი—დონის-როსტოვის ხაზამდე ჩათვლით. მოსკოვში, მაგალითად, საჭირო შეიქნა საათების 30 მინ. და 17 სექ. უკან გადაწევა. შემდეგ მოდის III ზოლი (მსოფლიო დრო + 3 საათი), შემდეგ IV, V და ა. შ. XII-მდე (ბერინგის სრუტესთან). ზოლური T_n დროის გადაყვანა T_e ადგილობრივ „სამოქალაქო“ დროზე (§ 35) და პირიქით, ხდება შემდეგი ცხადი ფორმულით:

$$T_e - T_n = \lambda - n,$$



ნახ. 19

სადაც λ არის აღმოსავლეთი გრძედი, ხოლო n —საათების რიცხვი, რომელიც ზოლის ნომრის ტოლია. მაგალითად, მოსკოვისათვის:

$$(n=2^h, \lambda=2^h 30^m 17^s)$$

$$T_e = T_g + 30^m 17^s.$$

თბილისისათვის:¹

$$(n=3^h, \lambda=2^h 59^m 18^s)$$

$$T_e = T_g - 42^s.$$

§ 42. დეკრეტული დრო. ელექტროენერგიის, რომელიც დაწესებულ-ბებისა და საცხოვრებელი სახლების განათებას ხმარდება, დაზოგვისა და დღის სინათლის მაქსიმალურად გამოყენების მიზნით, განსაკუთრებით წლის ზაფხულის თვეებში, ბევრ ქვეყანაში ზაფხულის პერიოდში შემოდებულია ე. წ. დეკრეტული დრო. დეკრეტული დრო განსხვავდება ზოლური დროისაგან იმით, რომ მთელ სახელმწიფოში საათები გადაწეულია ერთი საათით წინ და ამგვარად, თითოეული ზოლის მცხოვრებნი სარგებლობენ აღმოსავლეთით მდებარე მეზობელი ზოლის დროით.

ზამთრის თვეებში კვლავ შემოაქვთ ზოლური დრო. წლის განმავლობაში დროის ანგარიშის ასეთი ორპაგი შეცვლა იწვევს მნიშვნელოვან არეველადრებას ქვეყნის სამეურნეო ცხოვრებაში. ამიტომ საბჭოთა კავშირში საათის ისრის სეზონური გადაწევა არაა მიღებული პრაქტიკაში და 1930 წლის ზაფხულიდან ჩვენი ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე მუდმივ ხმარებაში შემოდებულია დეკრეტული დრო, რომლითაც ამჟამად სარგებლობს საბჭოთა კავშირის ყველა ხალხი.

ამრიგად, დეკრეტული დრო

$$T_e = T_n + 1^h.$$

დეკრეტული T_e დროის გადაყვანა ადგილობრივ „სამოქალაქო“ T_g დროში ხდება ფორმულით

$$T_e - T_g = \lambda - n - 1.$$

მაგალითად, მოსკოვისათვის (§ 41)

$$T_e = T_g - 29^m 43^s.$$

თბილისისათვის

$$T_e = T_g - 1^h 42^s.$$

§ 43. თარღის ცვლის ხაზი. წარმოვიდგინოთ დედამიწის ირგვლივ მოგზაური, რომელიც გაემგზავრა 1 იანვარს და გადაადგილდება ყოველდღე 15° -ით აღმოსავლეთისაკენ, ისე რომ ის მთელ მოგზაურობას 24 დღე-ღამეში დაასრულებს, მას მოუხდება ყოველდღე საათის წინ წაწევა ერთი საათით, რომ ის შეთანხმებული იყოს მზესთან. მისი დაბრუნების მომენტისათვის ეს შეადგენს განსხვავებას 24 საათს, ე. ი. სრულ დღე-ღამეს. მოგზაური ჩათვ-

¹ თბილისისათვის მონაცემები ჩვენს მიერაა ჩამატებული (ქართ. გამოც. რედ.).

ლის, რომ ის დაბრუნდა 26 იანვარს—მაშინ, როდესაც სინამდვილეში 25 იანვარი იქნება. ის რომ დასავლეთით გამგზავრებულიყო, მაშინ დაკარგავდა ერთ დღე-ღამეს და მას ეგონებოდა, რომ ის დაბრუნდა 24 იანვარს, სინამდვილეში სწორედ ასეთი შემთხვევა ჰქონდა მაგელანის ექსპედიციას (1521 წ.), რომელმაც პირველმა შენოუარა გარს დედამიწას.

შეცდომის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ მოგზაური, რომელიც დედამიწას გარშემო უვლის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, ე. ი. დედამიწის ბრუნვის მიმართულებით, ასრულებს ერთ ზედმეტ სრულ ბრუნვას დედამიწის ღერძის ირგვლივ. მისთვის მზე ამოვა არა 24-ჯერ, არამედ 25-ჯერ. დასავლეთით, ე. ი. დედამიწის ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით მოგზაურობისას ის, პირიქით, ერთი სრული შემობრუნებით ნაკლებს შეასრულებს.

ასეთი შეცდომები რომ არ განმეორდეს, დადგენილია „თარიღის ცვლის ხაზი“, რომელიც თითქმის ემთხვევა გრინვიჩიდან 180°-ზე მდებარე მერიდიანს. ის გადის ბერინგის სრუტიდან წყნარი ოკეანის გასწვრივ, ახალი ზელანდიის რამდენადმე აღმოსავლეთით და არსად არ შეეხება ხმელეთს (გარდა დაუსახლებელი ანტარქტიდისა). გემი, რომელიც გადაკვეთს ამ ხაზს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, ერთსა და იმავე დღეს ანგარიშობს ორჯერ, მაგალითად, თუ მან გადაკვეთა ეს ხაზი 1 იანვარს, მაშინ მეორე დღეც იქნება 1 იანვარი. მოპირდაპირე მიმართულებით გადასვლისას, პირიქით, ერთი დღე ამოვარდება ანგარიშიდან და მეორე დღე იქნება 3 იანვარი.

თარიღის ცვლის ხაზზე იწყება დღე. ასე, მაგალითად, ახალი წელი ყველაზე ადრე ჩუკოტკის ნახევარკუნძულზე და ვრანგელის კუნძულზე დგება, ერთი საათის შემდეგ—კამჩატკაზე, ავსტრალიაში და ა. შ. მოსკოვში ის იწყება 10 საათით გვიან, ხოლო ალიასკაზე და სანდვიჩის კუნძულებზე 23 საათით გვიან, ე. ი. თითქმის ერთი დღე-ღამით გვიან.

III. კალენდარი

კალენდარი ეწოდება დროის დიდი შუალედების აღრიცხვის სისტემას. ძველად კალენდრის შედგენა წარმოადგენდა ასტრონომიის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას.

§ 44. დროის ერთეულები. ძირითადი „დროის ერთეულები“ მოკემული გვაქვს ცის მოვლენების პერიოდულ ცვლილებებში. ამასთანავე ჩვენ განკარგულებაშია სხვადასხვა ხანგრძლიობის მზა ერთეულები; არის უფრო ხანმოკლე ერთეულები, მოხერხებული მხოლოდ დროის მცირე შუალედების გასაზომად; არის უფრო ხანგრძლივი, თითქოს დიდი პერიოდების გასაზომად განკუთვნილი.

დროის ძირითადი საზომი—საშუალო მზის მიერ დღე-ღამე—ძალიან მოკლეა, მაგალითად, ადამიანის ხნოვანების გამოსასახავად. ამიტომ საჭირო შეიქნა, მიგვემართა ორი სხვა ერთეულისათვის—ტროპიკული წლისათვის (§ 25) და თვისათვის, ე. ი. მთვარის გარემოქცევის დროისათვის.

დროის ეს სამი ერთეული სრულიად დამოუკიდებელია ერთმანეთისაგან და ამიტომ ყველა ეს ურთიერთ უთანაზომოა. სხვანაირად, არც წელიწადი, არც მთვარისმიერი თვე არ შეიძლება გამოისახოს დღე-ღამეების რომელიმე პერიოდული წილადებით. ამ სიდიდეების გამოსახულებანი დღე-ღამეებში და ასევე მის ნაწილებში წარმოადგენენ ირაციონალურ რიცხვებს, რომელთაც მიახლოებით შემდეგი მნიშვნელობა აქვთ:

ტროპიკული წელიწადი = $365^{\circ}5^{\prime}48^{\prime\prime}46^{\circ},045 = 365,24220\dots$ დღე-ღამეს.

მთვარისმიერი თვე = $29^{\circ}12^{\prime}44^{\prime\prime}2^{\circ},9 = 29,53059\dots$ დღე-ღამეს.

კალენდრის საკითხის მთელი სირთულე და ის არევედარევა, რომელიც წინათ ყოველთვის თან ახლდა წელთაღრიცხვას, აიხსნება დროის საზომი ამ ძირითადი ერთეულების ურთიერთ შეთანხმების შეუძლებლობით.

§ 45. მთვარის და მზე-მთვარის კალენდრები. უძველესი დროის რელიგიებში მთვარე თელსაჩინო როლს ასრულებდა. ამიტომ იმდროინდელი კალენდარი, რომელიც ქურუმებს ჰქონდათ, იყო მთვარის. მთვარის ასეთი კალენდრის მაგალითს წარმოადგენს მაჰმადიანური კალენდარი, რომელიც ხმარებაშია დღემდე. მას საფუძვლად უდევს მთვარისმიერი წელიწადი, რომელიც შედგება 12 მთვარისმიერი თვისაგან; ამ თვეების ხანგრძლიობა თანმიმდევრობით უდრის 29 და 30 დღე-ღამეს, საშუალოდ კი $29\frac{1}{2}$ დღე-ღამეს. რადგანაც სინამდვილეში მთვარისმიერი თვე 44 მინუტით უფრო გრძელია, ამისათვის კეშმარიტ ახალმთვარეობასთან და სრულმთვარეობასთან შესათანხმებლად ჩაემატება დამატებითი დღე-ღამეები განსაზღვრული წესის მიხედვით, ამიტომ მთვარისმიერი წელიწადი შეიცავს ხან 354, ხან 355 დღე-ღამეს.

რადგანაც მთვარისმიერი წელიწადი უფრო ხანმოკლეა მზისმიერ წელიწადზე, ამიტომ მაჰმადიანური ახალი წელიწადი დგება ჩვენი კალენდრით ყოველთვის 11 დღე-ღამით ადრე, ვიდრე წინა წელიწადში და 33 ჩვენი წელიწადის განმავლობაში იგი შემოივლის წლის ყველა დროს. ამისათვის მაჰმადიანური ანგარიში მუდამ უსწრებს ჩვენსას, თაველი ჩვენი 33 წელიწადი ითვლება მაჰმადიანურ 34 წელიწადად.

მთვარის კალენდარში წლის დროები სწრაფად გადაადგილდება ყველა შესაძლო კალენდარულ თვეზე. ამ მოუხერხებლობის თავიდან ასაცილებლად გამოყენებული იყო მთვარის კალენდრები, რომლებიც დროის მთვარით ანგარიშის მხესთან შეთანხმების ცდას წარმოადგენდა.

მზე-მთვარის კალენდრის მაგალითს წარმოადგენს ებრაული კალენდარი. თვეები და წლები მასში კვლავ მთვარისაა. მხოლოდ წლები ანგარიშის მხესთან შესათანხმებლად ხოგიერთ წელიწადს უმატებენ ზედმეტ მე-13 თვეს. ეს კალენდარი ძალიან რთულია; როგორც 12-თვიან, ისე 13-თვიან წლებს აქვს სხვადასხვა ხანგრძლიობა; 12-თვიანი წლის ხანგრძლიობა იცვლება 353-დან 355 დღე-ღამემდე, 13-თვიანის—383-დან 385-მდე, ამ სირთულის ფასად მიღწეულია ის, რომ ყოველი თვის პირველი რიცხვი თითქმის ზუსტად ემთხვევა ახალმთვარეობას, ხოლო ახალი წელი ყოველთვის დგება შემოდგომაზე, სექტემბერში ან ოქტომბრის დასაწყისში.

§ 46. მზის კალენდრები. რადგან მზისმიერი წელიწადი უთანაზომოა მთვარისმიერ თვესთან, ამიტომ ჯერ კიდევ ძველად შემოღებული იყო კალენდრები, დაფუძნებული მხოლოდ და მხოლოდ მზის მოძრაობაზე. ასეთი იყო, მაგალითად, ძველი ეგვიპტის კალენდარი. თუმაც ეგვიპტელები ადრე დარწმუნდნენ, რომ წელიწადი 365 $\frac{1}{4}$ დღე-ღამეს შეიცავს, მიუხედავად ამისა, დროის ანგარიშისათვის ისინი სარგებლობდნენ წელიწადით, რომელიც ყოველთვის 365 დღე-ღამეს შეიცავდა. ამას შემდეგი შედეგი მოჰყვა. რადგან კეშმარიტი წელიწადი თითქმის 6 საათით ხანგრძლივია, ამიტომ მზის ყოვე-

ლი გარკვეული მდებარეობა, მაგალითად, გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილზე გავლა (გაზაფხულის დასაწყისი), ყოველ შემდეგ წელიწადს ხდებოდა 6 საათით გვიან, 4 წლის შემდეგ ის იწყებოდა სრული დღე-ღამით გვიან, ე. ი. მოვიდოდა შემდგომ კალენდარულ რიცხვზე, ხოლო 120 წლის შემდეგ იგვიანებდა ერთი თვით. დაახლოებით 1460 წლის შემდეგ დღელამტოლობა, გაივლიდა რა თანმიმდევრობით წლის ყველა დღესა და თვეს, უბრუნდებოდა საწყის თარიღს.

§ 47. იულიუსის კალენდარი (ძველი სტილი). თანამედროვე კალენდარი მომდინარეობს რომაული კალენდრიდან. რომაელები თავდაპირველად მთვარისმიერი წელიწადით სარგებლობდნენ 354 დღე-ღამის ხანგრძლიობით (§ 45). რადგან ის 11 დღე-ღამით ხანმოკლე იყო ტროიკულ წელიწადზე, ამიტომ კალენდარული რიცხვების წელიწადის დროებთან შესათანხმებლად, ყოველი ორი წლის შემდეგ უმატებდნენ დამატებით თვეს 22 ან 23 დღე-ღამის ხანგრძლიობით. ეს ჩამატება იწყებდა კიდევ მეტ არეულობას, რადგან იგი წარმოებდა უმაღლესი ქურუმის შეხედულებისამებრ ყოველგვარი წესის გარეშე.

ეს უწყესრიგობა შეწყდა დიკტატორ იულიუს ცეზარის რეფორმის შედეგად, რომელიც ჩატარდა ეგვიპტელი ასტრონომის სოზიგენის მონაწილეობით. ცეზარმა უარყო დროის ანგარიშის მთვარის მოძრაობასთან შეთანხმების ცდები და თავისი კალენდარი ააგო მხოლოდ და მხოლოდ მზის მოძრაობაზე. ჩვენს ერამდე 46 წ. ბრძანებულებით წლის ხანგრძლიობად მიღებულ იქნა 365 დღე-ღამე, ხოლო ყოველ მეოთხე წელიწადს ერთი ზედმეტი დღე ემატებოდა, სახელდობრ, ეგრეთ წოდებული „მეექვსე დღე მარტის კალენდის“¹ წინ“ (ე. ი. 1 მარტის წინ, ჩვენი ანგარიშით 24 თებერვალი) ამ წელიწადს ითვლებოდა ორჯერ: გარდა „მეექვსე დღისა“ (მეექვსე — ლათინურად sextus) მის წინ ჩასვამდნენ დღეს, რომელსაც „კიდევ ერთხელ მეექვსეს“ (bis sextus) უწოდებდნენ. აქედან წარმოიშვა ამ წლის სახელწოდება „bissextilis“. ქართულად ასეთ წელიწადს ნაკიანი ეწოდება. ამგვარად, ნაკიან წელიწადში თებერვალი შეიცავს 29 დღე-ღამეს. ცხადია, რომ თითოეული სამი ჩვეულებრივი წელიწადი ერთ ნაკიანთან ერთად ჯამში შეადგენს იმდენსავე დღე-ღამეს, რამდენსაც 4 წელიწადი, თითოეული 365 $\frac{1}{4}$ დღე-ღამის ხანგრძლიობით. ამიტომ იულიუსის წელიწადი ტოლია 365 დღე-ღამის და 6 საათის.

მას შემდეგ, რაც შემოღებულ იქნა წელთაღრიცხვა „ქრისტეს დაბადებიდან“, ნაკიან წლებად ითვლებოდა ყველა წელიწადი, რომელთა რიცხვი 4-ზე იყოფა უნაშთოდ, მაგალითად, 1944, 1948, 1952 და ა. შ.

§ 48. გრიგორიუსის კალენდარი (ახალი სტილი). იულიუსის წელი 11 მინ. და 14 სექ. ხანგრძლივია ტროიკულზე (§ 25). თანდათანობით დაგროვილი ეს განსხვავება 400 წლის განმავლობაში უკვე 3 დღე-ღამეზე მეტს შეადგენს (11 $\frac{1}{4}$ × 400 = 4493 $\frac{1}{4}$ = 3 $\frac{3}{4}$ 2 $\frac{1}{2}$ 53 $\frac{1}{4}$). ამიტომ დღელამტოლობა და მზებულობა თანდათანობით გადადის სულ უფრო ადრინდელ რიცხვებზე, ყოველ

¹ თვის პირველი რიცხვის (calendas) ამ ლათინური სახელწოდებიდან წარმოიშვა სწორედ სიტყვა „კალენდარი“.

400 წელიწადში 3 დღე-ღამით (სხვა მხარეს, ვიდრე ეგვიპტურ კალენდარში, § 46). ასე, ნიკეის კრების წელს (325 წ. ჩვენი წელთაღრიცხვით), როდესაც დადგინდა ქრისტიანული წელთაღრიცხვის წესები, გაზაფხული იწყებოდა 21 მარტს, ხოლო XVI საუკუნის შუა ხანებში დღელამტოლობამ უკვე 11 მარტისათვის გადაიწია. ამიტომ პაპი გრიგორი XIII-მ გადაწყვიტა მოეხდინა ახალი რეფორმა და 1582 წ. 1 მარტის ბულით გაატარა ცხოვრებაში პროექტი, რომელიც წარმოდგენილი იყო 1576 წ. იტალიელი ეპიმის ლილიოს მიერ. რეფორმა შემდეგში მდგომარეობდა:

1. ნაბრძანები იყო, რომ 1582 წ. 4 ოქტომბრის შემდეგ ეანგარიშათ არა 5 ოქტომბერი, არამედ 15 ოქტომბერი. ამით შესწორებულ იქნა 1200 წლის განმავლობაში დაგროვილი შეცდომა და შემდეგ წელს გაზაფხულის დასაწყისი კვლავ 21 მარტს დაუბრუნდა.

2. მომავალში შეცდომის დაგროვების თავიდან ასაცილებლად გადაწყდა, რომ ყოველ 400 წელიწადში უკუეგდოთ ის 3 დღე-ღამე, რომლითაც ამ დროის განმავლობაში იულიუსის კალენდარი დაშორდება მზეს. ამისათვის საჭირო შეიქნა ნაკიანი წლების მიმდევრობის წესი რამდენადმე შეეცვალოთ და მან მიიღო ასეთი სახე: ნაკიანად ითვლება ის წელიწადი, რომლის გამომსახველი რიცხვი იყოფა უნაშთოდ 4-ზე, გარდა იმ წლებისა, რომლებიც შეიცავენ მთელ საუკუნეებს (1700, 1800 და ა. შ.); ეს უკანასკნელნი ითვლებიან ნაკიანებად მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ საუკუნეთა რიცხვი უნაშთოდ იყოფა 4-ზე. მაშასადამე, 1600 და 2000 წლები რჩება ნაკიანად, ხოლო 1700, 1800, 1900 წლები იქნება ჩვეულებრივი. განსხვავება ახალსა და ძველ სტილს შორის XVI საუკუნეში შეადგენდა 10 დღე-ღამეს. 1600 წ. ის არ შეცვლილა, ვინაიდან ეს წელიწადი ორივე კალენდრით ნაკიანი იყო; მაგრამ 1700 წ. განსხვავებამ მიაღწია 11 დღე-ღამეს, რადგანაც ამ წელიწადის თებერვალი ძველი ანგარიშით 29 დღე-ღამეს შეიცავდა, ახლით კი—28-ს. იმავე მიზეზის გამო 1800 წ. განსხვავება გაიზარდა 12 დღე-ღამემდე, ხოლო 1900 წლიდან შეადგენს 13 დღე-ღამეს.

გრიგორიუსის კალენდარი მაშინვე მიიღო ყველა კათოლიკურმა სახელმწიფომ; პროტესტანტულ ქვეყნებში ეს რეფორმა გაცილებით გვიან გატარდა. რევოლუციის წინაპრობის დროს რუსეთში ახალი სტილის შემოღების საკითხი რამდენჯერმე დაისვა, მაგრამ ყოველთვის მას ეკლესიის ჯიუტობა ამსხერვედა. ოქტომბრის დიდი რევოლუციის შემდეგ, 1918 წ. 1 თებერვლიდან ის თითქმის დაუყოვნებლივ იქნა შემოღებული.

§ 49. ორივე კალენდრის ღირსება-ნაკლოვანებანი. რადგანაც წელიწადი და დღე-ღამე უთანაზომონი არიან (§ 44), ამიტომ აბსოლუტურად ზუსტი კალენდარი შეუძლებელია. არც გრიგორიუსის კალენდარია ზუსტი. მისი შემოღებისას მიღებული იყო, რომ ძველი სტილის შეცდომა 400 წ. განმავლობაში შეადგენს 3 დღე-ღამეს, სინამდვილეში კი ის 2 ს. და 53 მინ. მეტია (§ 48). შეცდომის ეს ნაწილი დარჩა შეუსწორებელი, მაგრამ მას შეუძლია მიაღწიოს მთელ დღე-ღამეს მხოლოდ 3000 წ. შემდეგ (იულიუსის კალენდარში ასეთი შეცდომა გროვდება უკვე ყოველ 128 წელიწადში). ამგვარად, დღელამტოლობა და მზებულობა მრავალი საუკუნის განმავლობაში

ყოველთვის ერთსა და იმავე რიცხვში მოხდება. ამაშია ახალი სტილის უდავო უპირატესობა; მაგრამ სამაგიეროდ ძველი სტილი მარტივია. ამის გამო დროის დიდი შუალედების ანგარიში ასტრონომიაში ამგვამადაც მიღებულია იულიუსის წლებით, რომლებიც წარმოადგენენ დროის მოხერხებულ ერთეულს. თვეების რიცხვებს მთელი მსოფლიოს ასტრონომები უკვე დიდი ხანია ანგარიშობენ ახალი სტილით.

§ 50. კალენდრის საკითხის თანამედროვე მდგომარეობა. გრიგორი XIII-ის კალენდარული რეფორმა გამოწვეული იყო არა მეცნიერული, არამედ საეკლესიო მოსაზრებებით: საჭირო იყო, რომ გაზაფხულის დღელამტობა აუცილებლად 21 მარტს დამდგარიყო, წინააღმდეგ შემთხვევაში ირღვეოდა აღდგომის სადღესასწაულო დღეზე საეკლესიო დადგენილება. რეფორმა რომ გადადებული ყოფილიყო ჩვენს დრომდე, მაშინ ის ალბათ როგორღაც სხვანაირად გატარდებოდა, რადგანაც შეიძლება გამოგონება უფრო ზუსტი სისტემებისა, ვიდრე გრიგორიუსისაა. შესაძლებელია აგრეთვე, მეცნიერებს გამოეთქვათ აზრი იულიუსის კალენდრის შენარჩუნების შესახებ, რადგან ის ყველაზე მარტივია, როგორც კი შეიძლება მოფიქრებულ იქნეს, ხოლო წლის დროების სხვა რიცხვებზე გადასვლა მასში თითქმის შეუძმჩნეველია 3—4 თაობისათვისაც, რაც სრულიად საკმარისია სამოქალაქო ცხოვრების მიზნებისათვის. ამგვარად, როდესაც ჩვენს ქვეყანაში 1918 წ. გატარდა კალენდარული რეფორმა, ის იმაშიც არ გამოიხატა, რომ დღეების „არაზუსტი“ ანგარიშის ნაცვლად შემოღებულ იქნა „ზუსტი“. ჩვენ უბრალოდ შეგუერთდით იმ აღრიცხვას, რომელიც უკვე მიღებული ჰქონდა ყველა სხვა ქვეყანას.

მოფიქრებულ იქნა რამდენიმე უფრო ზუსტი კალენდარული სისტემა, ვიდრე გრიგორიუსისა, მაგრამ ყველა მათ მხოლოდ თეორიული ინტერესი აქვთ, რადგანაც გრიგორიუსის კალენდრის სიზუსტე უფრო მეტია, ვიდრე ეს ყოველდღიური ცხოვრებისათვისაა საჭირო. ამიტომ ნაკიანი წლების მიმდევრობის წესის შეცვლა (ე. ი. კალენდარული წელიწადის საშუალო ხანგრძლიობის შეცვლა) არაა აუცილებელი. სასურველია მხოლოდ რეფორმა თვეებისა, რომლებიც მთვარის კალენდრის უკანასკნელ კვალს წარმოადგენენ. თვეები მოუხერხებელია იმით, რომ მათ აქვთ სხვადასხვა ხანგრძლიობა 28-დან 31 დღე-ღამემდე. ასევე მოუხერხებელია წელიწადის კვარტალები. ამ ნაკლოვანებათა აღმოსაფხვრელად ან შესასუსტებლად წარმოდგენილია რამდენიმე პროექტი. როგორც ჩანს ყველაზე უკეთესია შემდეგი პროექტი.

ყველა კვარტალს აქვს ერთი და იგივე ხანგრძლიობა, 13 კვირა თითოეულს, ე. ი. 91 დღე-ღამე. ყოველი კვარტალის პირველი თვე შეიცავს 31 დღე-ღამეს, დანარჩენები თითოეული 30-ს. ყოველი კვარტალი (და წელიწადი) ყოველთვის იწყება კვირის ერთი და იმავე დღით, რადგან $91 \times 4 = 364$, ამიტომ 30 დღეებერსა და 1 იანვარს შუაში ჩაემატება უთარილო დღე; ეს საერთაშორისო ახალი წლის არასამუშაო დღეა. ნაკიან წელიწადს ასეთივე არასამუშაო დღე ჩაემატება 30 ივნისის შემდეგ.

ამ კალენდრის (ან მისი მსგავსის) შემოღების საკითხი, რასაკვირველია, უნდა გადაწყდეს საერთაშორისო მასშტაბით.

§ 51. ერა „ქრისტეს დაბადებიდან“. ძველ რომში, ჩვეულებრივად წლები იანვარიშებოდა იმპერატორების მიხედვით. ამიტომ თითოეული ახალი იმპერატორის მმართველობის დასაწყისი ითვლებოდა ახალი აღრიცხვის დასაწყისად (ახალ ერად). იმპერებოდა სხვა ერაც, მაგალითად, ლეგენდარული ერა „რომის დაარსებიდან“. ეს აღრიცხვა გრძელდებოდა რომის იმპერიის დანგრევის შემდეგაც. მხოლოდ „რომის დაარსებიდან“ 1284 წლის შემდეგ ბერმა დიონისემ, რომელიც კალენდრის შედგენაზე მუშაობდა, მიუთითა, რომ ქრისტიანებისათვის უხერხულია მიჰყვნენ „წარმართულ“ აღრიცხვას, ამიტომ საჭიროა მათ ანგარიში აწარმოონ ქრისტეს დაბადებიდან. ყოველგვარი მტკიცების გარეშე მან განაცხადა, რომ ეს მოეუენა მოხდა 532 წლის წინათ და, რომ ამიტომ, შემდეგი წელიწადი უნდა დაინომროს როგორც 533 წელი „ქრისტეს დაბადებიდან“. მხოლოდ ამ წლიდან დაიწყო ჩვენი წელთაღრიცხვა და არა პირველი წლიდან. ეს ანგარიში სრულიად არ ადასტურებს, რომ ქრისტე ნამდვილად არსებობდა. ამგვარად, ჩვენი ერა ისევე ფანტასტიურია, როგორც, მაგალითად, ძველი ებრაული ერა „სამყაროს შექმნიდან“ და ის მომდინარეობს ასევე არასოდეს არარსებული მოვლენიდან.

სინამდვილეში დიონისემ 532 რიცხვი აიღო მხოლოდ იმიტომ, რომ ის მოხერხებულია ზოგიერთი კალენდარული გამოანგარიშების დროს. მართლაც, $532 = 4 \times 7 \times 19$, სადაც 7 არის კვირაში დღეების რიცხვი, 4—ნაკიანობის პერიოდი, ხოლო 19—ეგრეთ წოდებული მთვარის წრე. 19 წლის შემდეგ მთვარის ფაზები ერთსა და იმავე კალენდარულ რიცხვებს უბრუნდება. ამიტომ, მაგალითად, აღდგომის დღესასწაულის მოძრავე დღე, რომელიც მთვარის მიხედვით გამოითვლება, 532 წლის შემდეგ მეორდება იმავე თანამიმდევრობით.

სავარჯიშოები II თავისათვის

1. როდესაც მზე 17° -ით ჰორიზონტს ქვემოთ ჩადის, იწყება სრული ღამე (მთავრდება ასტრონომიული ბინდი). მზის ჩასვლის რამდენი ხნის შემდეგ (დაახლოებით) დაიწყება ღამე დღელამტოლობის დღეს დედამიწის ეკვატორზე? 45° განედზე? 60° განედზე?

2. რა სიდიდის კუთხეს შეადგენს ეკლიპტიკა ჰორიზონტთან გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის ამოსვლის მომენტში $+55^{\circ}$ განედზე? ამ წერტილის ჩასვლის მომენტში? იგივე $+66\frac{1}{2}^{\circ}$ განედისათვის?

3. დედამიწის რომელ წერტილებზე და როდის შეიძლება ეკლიპტიკა დაემთხვეს ჰორიზონტს?

4. რას უდრის ეკლიპტიკის ჩრდილო პოლუსის პირდაპირი ალფენა და დახრილობა?

5. რას უდრის სამყაროს ჩრდილო პოლუსის გრძედი და განედი?

6. რას უდრის (დაახლოებით) მზის გრძედი 23 სექტემბერს? 1 ოქტომბერს? 1 იანვარს?

7. რას უდრის ზაფხულის მზებუდობის დღეს მზის სიმაღლე მერიდიანზე ლენინგრადში ($\varphi = 59^{\circ}57'$)? თბილისში ($41^{\circ}42'$)? $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ განედზე? $+66\frac{1}{2}^{\circ}$

განედლებ? იგივე—ზამთრის მზებუდობის დღისათვის? რითაა შესანიშნავი და რა ეწოდება ორ უკანასკნელ განედს?

8. 1100 წ. წინათ ჩვენს ერამდე ჩინელმა ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ ზაფხულის მზებუდობის დღეს შუადღეზე მზის სიმაღლე უდრიდა $79^{\circ}7'$ -ს, ზამთრის მზებუდობის დღეს $31^{\circ}19'$ -ს (ზენიტის სამხრეთით). რომელ განედზე იყო წარმოებული დაკვირვება? რას უდრიდა მაშინ ეკლიპტიკის დახრა? პასუხი: განედი $+34^{\circ}47'$, დახრა $23^{\circ}54'$

9. რა დროში მიდის წინ ვარსკვლავიერი საათი საშუალოსთან შედარებით 1^ა-ით?

10. 1953 წ. 29 იანვარს მთვარის დაბნელება დაიწყო $23^{\circ}09''$ -ზე მსოფლიო დროით. ზოლური დროით რომელ საათზე დაიწყებოდა ის მოსკოვში და თბილისში? დეკრეტული დროით? საშუალო სამოქალაქო დროით? მითითება: მოსკოვის აღმოსავლეთ გრძედი ტოლია $2^{\circ}30''$ -ის, თბილისის კი $2^{\circ}59''$, 3-ის, ნახეთ აგრეთვე ზოლური რუკა ნახ. 19-ზე.

11. დაახლოებით რომელ საათზე გადის კაპელა ($\alpha=5^{\circ}13''$) ზედა კულმინაციაში 1 თებერვალს მოსკოვში: ა) ადგილობრივი დროით? ბ) III ზოლის დროით? გ) ვლადივოსტოკში X ზოლის დროით? მითითება: მოსკოვის გრძედი $2^{\circ}30''$, ვლადივოსტოკისა $8^{\circ}47''$.

12. ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი სირიუსი ($\alpha=6^{\circ}43''$) წლის რომელ დღეს იქნება შუალამეზე ზედა კულმინაციაში? პასუხი: 1 იანვარს, ე. ი. „ახალი წლის“ დაწყების მომენტში.

13. ორიონის 8 ვარსკვლავი ამოდის 14 ნოემბერს საღამოს 8 საათზე. რომელ დღეს ამოვა ის საღამოს 5 საათსა და 30 მინუტზე? რას უდრის დაახლოებით მისი პირდაპირი აღვლენა, თუ დახრილობა ნულის ტოლია?

14. სად იმყოფება ცაზე სირიუსი (ამოც. 12) 21 მარტს მზის ჩასვლის 1 საათის შემდეგ? 23 სექტემბერს 1 საათით ადრე მზის ამოსვლამდე?

15. $14^{\circ}57'38'',6$ საშუალო დროის ინტერვალს გამოსახეთ ვარსკვლავთმომერი დროის ერთეულებში (წიგნის დასასრულს II ცხრილით).

16. $22^{\circ}44'55'',1$ ვარსკვლავთმომერი დროის ინტერვალს გამოსახეთ საშუალო დროის ერთეულებში.

17. მ. ვ. ლომონოსოვი დაიბადა 1711 წ. 1 სექტემბერს (ვარაუდით) ძველი სტილით. რომელი რიცხვი იყო ახალი სტილით?

18. რა რიცხვი იყო ახალი სტილით, როდესაც ძველი სტილით ითვლებოდა 1900 წ. 15 თებერვალი? 1900 წ. 25 თებერვალი?

19. მოხდება თუ არა ზაფხულის დღელამტოლობა ყოველთვის ერთსა და იმავე რიცხვში და, თუ გადაინაცვლებს, როგორ?

20. რას უდრის გრაიგორიუსის წლის ხანგრძლიობა და როგორია მისი ცდომილება? პასუხი: 365,2425 დღე-ღამე.

21. წარმოდგენილი იყო კალენდარის პროექტი, სადაც ყოველ 128 წელიწადში უნდა ყოფილიყო არა 32 ნაკიანი წელიწადი, როგორც ეს იულიუსის კალენდარშია, არამედ 31 ნაკიანი და 97 ჩვეულებრივი. დაამტკიცეთ, რომ ასეთი კალენდარის კალენდრული წლის ცდომილება მხოლოდ 0,00001 დღე-ღამეა.

22. 26 სექტემბერს მოსკოვში მზე ამოდის დილის 5^h51^m-ზე ადგილობრივი დროით და ჩადის საღამოს 5^h51^m-ზე. რას უდრის ამ დღეს დროის განტოლება?

23. 11 თებერვალს დეკრეტული დროით მზე ამოვიდა 8^h6^m-ზე, ჩავიდა 17^h26^m-ზე. რას უდრის მოცემულ ადგილას დეკრეტულ და ადგილობრივ დროთა სხვაობა? მითითება: 11 თებერვალს დროის განტოლება მაქსიმალურია (§ 36). პასუხი: + 31 მინ.

24. პოლარულ წრეზე ($\varphi = +66^{\circ}33'$) ნახევარი წლის განმავლობაში ყოველდღე მზე ამოდის ვარსკვლავთმიერი დროით ერთსა და იმავე მომენტში; წლის მეორე ნახევრის განმავლობაში ამასვე აქვს ადგილი მზის ჩასვლის მომენტისათვის. დაამტკიცეთ ეს ტრიგონომეტრიული გამოთვლების გარეშე და ახსენით ამ მოვლენის დეტალები. რას უდრის მზის ამოსვლის (ჩასვლის) ეს უცვლელი ვარსკვლავთმიერი დრო? როგორ მდებარეობას ღებულობს ეკლიპტიკა ამ მომენტში? წლის რომელ დღესა და როგორ შეიცვლება მზის ამოსვლის მუდმივი ვარსკვლავთმიერი დრო მზის ჩასვლის ვარსკვლავთმიერი დროის მუდმივობით? როგორ იცვლება წლის განმავლობაში დღისა და ღამის ხანგრძლიობა პოლარულ წრეზე?

25. რომელ განედზე უნდა გაატაროს ზამთარი პოლარულმა ექსპედიციამ, რომ ერთი დღე-ღამის განმავლობაში მაინც ნახოს, შუადღეზეც კი, სრული ღამე ბინდის გარეშე (§ 25).

26. კალენდარული დროის რა მონაკვეთში შეუძლია პოლუსზე მოზამთრე ექსპედიციამ ნახოს სრული უბინდო ღამე? მითითება: უნდა განვიხილოთ ასტრონომიულ კალენდარში მზის დახრილობის ცვლილება წელიწადის განმავლობაში.



ამოცანები დროსა და კოორდინატებში

I. ამოცანები ვარსკვლავთმეორ დროზე

§ 52. ამოცანა 1. ვარსკვლავთმეორი დრო ადგილობრივ საშუალო შუალაშეზე. ვთქვათ რომელიმე ადგილის გრძედი λ საათითა გრინვიჩიდან აღმოსავლეთით; ეს იმას ნიშნავს, რომ შუალამე იქ λ საათით ადრე დადგება, ვიდრე გრინვიჩში. ამიტომ შუალამეზე ვარსკვლავთმეორი დრო, რომელიც საათში 9,856-ით იზრდება (§ 38), ადგილობრივი შუალამისათვის იქნება $9,856 \cdot \lambda$ სექ. ნაკლები, ვიდრე გრინვიჩის შუალამისათვის, რაც კალენდარშია მოცემული. ყოველი ადგილისათვის ეს შესწორება მუდმივია. მაგალითად, მოსკოვისათვის ($\lambda = 2^{\text{h}}30^{\text{m}}17^{\text{s}} = 2^{\text{h}},505$) ის შეადგენს— $9,856 \cdot 2,505 = -24,69$ სექ. თბილისისათვის ¹ ($\lambda = 2^{\text{h}}59^{\text{m}}18^{\text{s}} = 2^{\text{h}},988$) კი— $9,856 \cdot 2,988 = -29,45$ სექ. შესაბამისად, ასეთი სიდიდებით უნდა შევასწოროთ ყოველთვის გრინვიჩის საშუალო შუალამისთვის ასტრონომიულ კალენდარში მოცემული ვარსკვლავთმეორი დრო, როდესაც ვსაზღვრავთ ვარსკვლავთმეორ დროს მოსკოვისა და თბილისის საშუალო შუალამისათვის.

§ 53. ამოცანა 2. საშუალო დროის გადაყვანა ვარსკვლავთმეორში. საერთო წესისა და ფორმულების მაგიერ მივმართოთ მაგალითს.

ვთქვათ, გვინდა განვსაზღვროთ ვარსკვლავთმეორი დრო, რომელიც შეესაბამება თბილისის ადგილობრივი დროის 22 ს. 45 მინ. და 48,3 სექ. 1960 წლის 31 ოქტომბერს. ამოცანის გადასაწყვეტად ვისარგებლოთ მოცემული წლის ასტრონომიული ყოველწლიურით და საშუალო დროის ვარსკვლავთმეორ დროში გადასაყვანი ცხრილებით.

ვარსკვლავთმეორი დრო გრინვიჩის საშუალო შუალამეზე	. $2^{\text{h}}37^{\text{m}}10^{\text{s}},7$
შესწორება თბილისისათვის (1 ამოცანა)	. —29,4
ვარსკვლავთმეორი დრო თბილისის საშუალო შუალამეზე	. $2\ 36\ 41,3$
შუალამიდან გასული საშუალო დროის ინტერვალი	22 45 48,3
რედუქცია ვარსკვლ. ერთეულებში (ცხრილი II)	+3 44,4

¹ თბილისისათვის აქ და შემდგომი ამოცანები ჩვენ მიერაა შეტანილი (ქართ. გამოც. რედ.).

§ 54. ამოცანა 8. ვარსკვლავთმეიერი დროის გადაყვანა საშუალოში. შევებრუნოთ წინა ამოცანა: ვიპოვოთ თბილისის ადგილობრივი დროით რომელ საათზეა 1960 წ. 31 ოქტომბერს ვარსკვლავთმეიერი დრო 1^h26^m14^s,0-ის ტოლი. ამისათვის საჭიროა ვიპოვოთ საშუალო შუალამიდან მოცემულ მომენტამდე გავლილი დროის შუალედი და ის გამოვხატოთ საშუალო დროის ერთეულებში.

მოცემული ვარსკვლავთმეიერი დრო + 24 ^h	25 ^h 26 ^m 14 ^s ,0
ვარსკვლავთმეიერი დრო თბილისის საშუალო-შუალამზე	- 2 36 41,3
ვარსკვლავთმეიერი დროის შუალედი შუალამიდან	<u>22 49 32,7</u>
რედუქცია საშუალო დროის ერთეულებში	. - 3 44,4
თბილისის დრო (საშუალო შუალამიდან)	<u>. 22^h45^m48^s,3</u>

§ 55. ამოცანა 4. ზედა კულმინაციის საშუალო დროის განსაზღვრა ვარსკვლავისა, რომლის პირდაპირი აღვლენა α მოცემულია. ეს ამოცანა § 21-ის თანახმად წარმოადგენს წინა ამოცანის განმეორებას. უნდა განვსაზღვროთ, საშუალო ადგილობრივი დროის რომელ მომენტში იქნება α ვარსკვლავთმეიერი დრო α -ს ტოლი. ეს იქნება ვარსკვლავის კულმინაციის მომენტი.

§ 56. ამოცანა 5. საათის კუთხის განსაზღვრა საშუალო დროის მოცემულ T_c მომენტისათვის ვარსკვლავისა, რომლის პირდაპირი აღვლენა α მოცემულია. გადავიყვანოთ T_c საშუალო დრო α ვარსკვლავთმეიერ დროში (მე-2 ამოცანა); საათის კუთხე t მოიძებნება § 21-ში გამოყვანილი ფორმულით $t = \alpha - \alpha$.

თუ $t < 12^h$ — ვარსკვლავი მერიდიანის დასავლეთითაა, ხოლო, თუ $t > 12^h$, მაშინ აღმოსავლეთით. თუ $2-5$ ამოცანებში შედის არა საშუალო, არამედ ზოლური დრო, მაშინ გადაყვანა ხდება § 41-ის ფორმულით.

შემდეგი განყოფილება შეიცავს გამოყვანას სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულებისას, რომლებიც აუცილებელია შემდგომი ამოცანების გადასაწყვეტად.

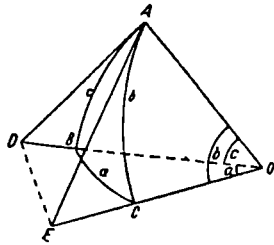
II. ძირითადი ცნობები სფერული ტრიგონომეტრიიდან

§ 57. სფერული სამკუთხედი. მრავალი ასტრონომიული ამოცანის გადაწყვეტა დამყარებულია ე. წ. სფერული სამკუთხედის თვისებებზე. თუ სფეროს ზედაპირზე მდებარე სამ A, B, C წერტილს შევავერთებთ დიდი წრეების რკალებით, მივიღებთ სფერულ სამკუთხედს. ამრიგად, სფერული სამკუთხედის გვერდები BC, AC, AB წარმოადგენენ დიდი წრის რკალებს; ამიტომ მათ ჩვეულებრივ გამოსახავენ კუთხურ ერთეულებში — გრადუსებში, მინუტებში და სეკუნდებში.

ჩვენ აღვნიშნავთ, როგორც ეს სწორხაზოვან ტრიგონომეტრიაშია, სამკუთხედის კუთხეებს A, B, C ასოებით, ხოლო მათ პირდაპირ მდებარე გვერდებს — შესაბამისად a, b, c -თი. შევნიშნოთ, რომ სფერულ სამკუთხედში კუთხეების ჯამი ყოველთვის მეტია 180° -ზე და პროპორციულია მისი ფართობის.

სა. სფერული სამკუთხედის კუთხეებსა და გვერდებს შორის არსებობს მრავალი დამოკიდებულება, რომლებიც შეისწავლება სფერულ ტრიგონომეტრიაში. მათგან უფრო მნიშვნელოვანთ ქვემოთ გამოიყვანთ.

§ 58. ძირითადი ფორმულები ირიბკუთხა სფერული სამკუთხედის ამოსახსნელად. გვერდის კოსინუსის ფორმულა. დავუშვათ, რომ ABC სფერულ სამკუთხედში (ნახ. 20) გვერდები b და c ნაკლებია 90° -ზე. A წერტილზე გავატაროთ ამ გვერდების მხებები სფეროს OB და OC რადიუსების გაგრძელების გადაკვეთამდე D და E წერტილებში. მივიღოთ სფეროს რადიუსი ერთეულად. ამ შემთხვევაში



$$AD = \operatorname{tg} c, \quad OD = \operatorname{sec} c, \quad (ა)$$

$$AE = \operatorname{tg} b, \quad OE = \operatorname{sec} b.$$

DE მონაკვეთის განსაზღვრისათვის ADE და ODE სამკუთხედებიდან გვექნება ტოლობები:

$$DE^2 = AD^2 + AE^2 - 2 AD \cdot AE \cos A,$$

$$DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2 OD \cdot OE \cos \alpha,$$

ნახ. 20.

რადგანაც კუთხე AD და AE მხებებს შორის A -ს ტოლია, კუთხე OB და OC რადიუსებს შორის არის α .

უქანასკნელი ტოლობების მარჯვენა მხარეების გატოლებით და წევრების გადასმით მივიღებთ:

$$2 OD \cdot OE \cos \alpha = (OD^2 - AD^2) + (OE^2 - AE^2) + 2 AD \cdot AE \cos A \quad (ბ)$$

ფრჩხილებში ჩასმული გამოსახულებანი. ტოლია ერთისა; თუ შევცვლით (ბ) გამოსახულებაში ყველა მონაკვეთს (ა) ტოლობებიდან და შევკვეცავთ 2-ზე, მივიღებთ:

$$\sec b \sec c \cos \alpha = 1 + \operatorname{tg} b \operatorname{tg} c \cos A. \quad (გ)$$

თუ (გ)-ს გავამრავლებთ $\cos b \cos c$ -ზე, მივიღებთ საბოლოო ფორმულას (1), რომელიც α გვერდს გამოსახავს დანარჩენი ორი გვერდით და პირდაპირ მდებარე კუთხით:

$$\cos \alpha = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A. \quad (1)$$

ანალოგიურად დავწეროთ გამოსახულებებს დანარჩენი ორი გვერდისათვის:

$$\cos b = \cos \alpha \cos c + \sin \alpha \sin c \cos B. \quad (1')$$

$$\cos c = \cos \alpha \cos b + \sin \alpha \sin b \cos C.$$

სამი (1) და (1') ფორმულიდან მხოლოდ ალგებრული და ტრიგონომეტრიული გარდაქმნების შედეგად შეიძლება მივიღოთ შემდეგი (2) და (3) ფორმულები:

სინუსების ფორმულა:

$$\sin \alpha \sin B = \sin b \sin A \quad (2)$$

ხუთი ელემენტის პირველი ფორმულა:

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A. \quad (3)$$

მსგავსი ტოლობები შეიძლება გამოვიყვანოთ სფერული სამკუთხედის კუთხეებისთვისაც. ამისათვის განვიხილოთ ე. წ. პოლარული სამკუთხედი.

სფეროზე გავატაროთ დიდი წრეხაზები, რომელთათვის მოცემული ABC სამკუთხედის A , B და C წვეროები წარმოადგენენ პოლუსებს. ასეთ წრეებს შეიძლება ვუწოდოთ A , B და C წერტილის ეკვატორები. ურთიერთ გადაკვეთისას ეს წრეები მოგვცემს ახალ სამკუთხედს, რომელსაც ეწოდება პოლარულიან დამატებითი სამკუთხედი მოცემული ABC სამკუთხედის მიმართ. პოლარული სამკუთხედის გვერდები a' , b' და c' სათანადოდ ტოლია მოცემული ABC სამკუთხედის A , B და C კუთხეების 180° -მდე დამატებებისა, ე. ი.

$$a' = 180^\circ - A,$$

$$b' = 180^\circ - B,$$

$$c' = 180^\circ - C.$$

პოლარული სამკუთხედის A' , B' და C' კუთხეები დაკავშირებულია მოცემული ABC სამკუთხედის გვერდებთან შემდეგი ტოლობებით:

$$A' = 180 - a,$$

$$B' = 180 - b,$$

$$C' = 180 - c.$$

თუ გამოვიყენებთ პოლარული სამკუთხედის მიმართ (1) და (3) ფორმულას, მივიღებთ (4) და (5) ტოლობას.

კუთხის კოსინუსის ფორმულა:

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a. \quad (4)$$

ხუთი ელემენტის მეორე ფორმულა:

$$\sin A \cos b = \cos B \sin C + \sin B \cos C \cos a. \quad (5)$$

ასობის შენაცვლებით შეიძლება დაიწეროს კიდევ ერთი ფორმულა (2), ორი ფორმულა (4) და ხუთ-ხუთი ფორმულა (3) და (5) (გააკეთეთ ეს).

§ 59. სწორკუთხა სფერული სამკუთხედი. დავუშვათ $C=90^\circ$, c გვერდს ვუწოდებთ ჰიპოტენუსას. ჩავსვათ $C=90^\circ$ წინა ფორმულებში და, თუ მოვახდენთ ზოგიერთ გარდაქმნებს, მივიღებთ სწორკუთხა სფერულ სამკუთხედისათვის შემდეგ ფორმულებს:

$$\cos c = \cos a \cos b, \quad (6) \quad \left. \begin{array}{l} \operatorname{tg} b = \sin a \operatorname{tg} B, \\ \operatorname{tg} a = \sin b \operatorname{tg} A, \end{array} \right\} \quad (9)$$

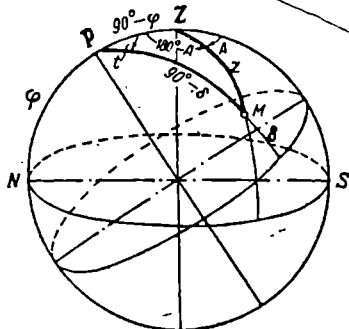
$$\left. \begin{array}{l} \sin b = \sin c \sin B, \\ \sin a = \sin c \sin A, \end{array} \right\} \quad (7) \quad \cos c = \operatorname{ctg} A \operatorname{ctg} B \quad (10)$$

$$\left. \begin{array}{l} \operatorname{tg} b = \operatorname{tg} c \cos A, \\ \operatorname{tg} a = \operatorname{tg} c \cos B, \end{array} \right\} \quad (8) \quad \left. \begin{array}{l} \cos B = \cos b \sin A, \\ \cos A = \cos a \sin B. \end{array} \right\} \quad (11)$$

ნეპერის წესი. (6—11) ათი ფორმულის დამახსოვრების ნაცვლად ნეპერმა მოგვცა ნებისმიერი მათგანის შედგენის დამახსოვრების შემდეგი წესი. უგულვებელყოთ სწორი კუთხე, კათეტები შევცვალოთ მათი დამატებებით $90^\circ - a$ და $90^\circ - b$ და დაეღაგოთ (წარმოდგენაში) წრეზე მიღებული 5 „ელემენტი“, თითოეულს ექნება ორი მიმდებარე და ორი პირდაპირ მდებარე ელემენტი. მაშინ თითოეული ელემენტის კოსინუსი ტოლია მიმდებარე ელემენტების კოტანგენტების ნაწარგლის ან პირდაპირ მდებარეთა სინუსების ნამრავლისა.

III. ამოცანები სფერული ტრიგონომეტრიის გამოყენებაზე

§ 60. ახტრონომიული სამკუთხედი. განვიხილოთ სფერული სამკუთხედი პოლუსი — ზენიტი — ვარსკვლავი (სამკუთხედი PZM , ნახ. 21), რომელსაც „ახტრონომიულ“ ან „პარალაქტურ“ სამკუთხედს უწოდებენ.



ნახ. 21.

ამ სამკუთხედის გვერდები შესაბამისად ტოლია δ ზენიტური მანძილის, დახრილობის დამატებისა 90° -მდე (ე. ი. პოლარული მანძილის $\rho = 90^\circ - \delta$) და ადგილის განედის დამატებისა 90° -მდე ($90^\circ - \varphi$). კუთხე პოლუსთან ტოლია t საათის კუთხის, ზენიტთან მდებარე კუთხე შეადგენს აზიმუტის დამატებას 180° -მდე, რადგან აზიმუტი აითვლება მერიდიანის სამხრეთ ნაწილიდან (§ 18); ვარსკვლავთან მდებარე კუთხე ჩვენ არ დაგვიჩრდება. თუ ვი-

ცით ამ სამკუთხედის სამი ელემენტი, სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულებით შეიძლება გამოეთვალათ სამი დანარჩენი.

§ 61. ამოცანა 6. (α , δ) კოორდინატთა სისტემის გარდაქმნა (A , ζ)-ში. მოცემულია ვარსკვლავის პირდაპირი ალენა α , დახრილობა δ და ადგილის განედი φ . საჭიროა გამოვიტვალოთ ზენიტური მანძილი (ζ) და აზიმუტი (A) საშუალო დროის მოცემულ T_c ნომენტისათვის.

უპირველეს ყოვლისა, T_c საშუალო დროს გადავიყვანოთ s ვარსკვლავთმეორ დროში (§ 53), შემდეგ, ფორმულით $t = s - \alpha$ (§ 56) ვპოულობთ ვარსკვლავის საათის t კუთხეს. დაბოლოს, (t , δ) სისტემიდან გადავიღვართ (A , ζ)-ზე პარალაქტური სამკუთხედის საშუალებით. სახელობრ, თუ მისთვის გამოვიყენებთ (§ 58) (1)—(3) ფორმულებს და ჩავთვლით მოცემულად $90^\circ - \varphi$, $90^\circ - \delta$ და t -ს, A და ζ უცნობებისათვის ვღებულობთ განტოლებებს:

$$\cos \zeta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (12)$$

$$\sin \zeta \cos A = -\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos t, \quad (13)$$

$$\sin \zeta \sin A = \cos \delta \sin t. \quad (14)$$

თუ მხოლოდ γ -ის პოვნაა საჭირო, მაშინ საკმარისია მხოლოდ პირველი ფორმულა.

სრული გამოთვლების დროს მესამე ფორმულას ყოფენ მეორეზე და A -ს ტანგენსით განსაზღვრავენ. ცხადია, აზიმუტისათვის მივიღებთ ორ მნიშვნელობას $A_1 < 180^\circ$ და $A_2 > 180^\circ$, მათგან პირველს ავიღებთ, თუ საათის კუთხე $t < 180^\circ$ და მეორეს, თუ $t > 180^\circ$. ვიპოვიოთ რა A -ს, მეორე ან მესამე ფორმულას ვყოფთ პირველზე. რომ γ ასევე ტანგენსით განისაზღვროს.

§ 62. ამოცანა 7. მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა. როდესაც მნათობი ჰორიზონტზეა, მისი $\gamma = 90^\circ$, $\cos \gamma = 0$ და (12) ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$0 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

საიდანაც მივიღებთ:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \quad (15)$$

t კუთხეს ზოგჯერ მნათობის ნახევარდღიურ რკალს უწოდებენ (მერიდიანიდან ჰორიზონტამდე). მისი განსაზღვრისას კოსინუსით ვღებულობთ ორ მნიშვნელობას $+t$ და $-t$ -ს. პირველი შეესაბამება ჩასვლას, მეორე—ამოსვლას. ჩასვლის ვარსკვლავთმერი დრო იქნება $t_1 = \alpha + t$, ხოლო ამოსვლის $t_2 = \alpha - t$.

მზის შემთხვევაში ნახევარდღიური t რკალი მოგვეცემს მზის ჩასვლის მომენტს ჰემარიათი მზისმერი დროით (§ 34); რომ ჩასვლის მომენტი მივიღოთ ადგილობრივი დროით, კიდევ უნდა მიუვშატოთ 12^h და კალენდრიდან აღებული დროის განტოლება (§ 36). ამოსვლის მომენტისათვის 12^h -ს ვაკლებთ ნახევარდღიურ რკალს და კვლავ ეუშატებთ დროის განტოლებას. ბოლოს, ადგილობრივი დროიდან ზოლურ ან დეკრეტულ დროზე (§ 42) ვად.სასვლელად საჭიროა მიკმატოს შესაბამისი შესწორება; მაგალითად, მოსკოვისათვის $+29^m 43^s$ (დეკრეტული დროისათვის).

საჭიროა შევნიშნათ, რომ (15) ფორმულა იძლევა ამოსვლისა და ჩასვლის მხოლოდ მიახლოებით მომენტებს, რადგან მხედველობაში არ არის მიღებული რეფრაქცია (ხოლო მზისა და მთვარისათვის—კუთხური რადიუსი). უფრო ზუსტი ამოსხნა იხ. § 86-ში.

§ 63. ამოცანა 8. დროის განსაზღვრა მნათობის სიმაღლით. დაეუშვათ, რომ ცნობილია ადგილის φ განედი და მნათობის (α , δ) კოორდინატები; მნათობის ზენიტურ მანძილს ვაგზომავთ რამელიმე ხელსაწყოთი. მაშინ გაზომვის მომენტისათვის მისი საათის კუთხე განისაზღვრება (12) ტოლობიდან

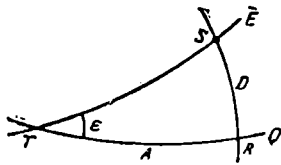
$$\cos t = \frac{\cos \gamma - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \quad (16)$$

ვარსკვლავთმერი დრო დაკვირვების მომენტისათვის იქნება

$$t = \alpha + t.$$

საჭიროების შემთხვევაში მისი გადაყვანა შეიძლება საშუალო დროში (§ 54), ეს ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა: ის გვაძლევს ზუსტ დროის განსაზღვრის საშუალებას.

§ 64. ამოცანა 9. გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა. გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი Υ ცაზე არაფრით არაა აღნიშნული. მისი მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს მზის დახრილობა, რაც ყველაზე მარტივია მისი ზენიტური მანძილის მიხედვით ქვეშაირიტ შუადღეზე. მზის დახრილობის საშუალებით უნდა გამოთვალოთ მისი პირდაპირი აღვლენა (ნახ. 22).



ნახ. 22.

(ΥQ) ეკვატორით, (ΥE) ეკლიპტიკით და მზის (SR)-დახრილობის წრით შედგენილ სწორკუთხა სფერულ სამკუთხედში დახრის კუთხე ε ცნობილია (§ 30), SR გვერდი არის მზის ცენტრის დახრილობა D , გვერდი ΥR —მისი პირდაპირი აღვლენა A . § 59-ის (9) ფორმულა გვაძლევს

$$\sin A = \operatorname{tg} D \operatorname{ctg} \varepsilon.$$

წერტილი Υ ძვეს ეკვატორზე A საათით მზის დასავლეთით.

სავარჯიშოები III თავისათვის

1. გამოთვალეთ არქტურის ზენიტური მანძილი და აზიმუტი სარატოვისათვის ($\varphi = 51^{\circ}32'0''$) ვარსკვლავთმიერი დროის $13^{\text{h}}34^{\text{m}}54^{\text{s}}$ -ზე; $\alpha = 14^{\text{h}}13^{\text{m}}22^{\text{s}}$, $\delta = +19^{\circ}26'28''$.

პასუხი: $z = 32^{\circ}58'17''$; $A = -16^{\circ}49'33''$.

2. გამოითვალეთ მოსკოვისათვის ფომალჰაუტის (α სამხრეთის თევზისა, $\alpha = 22^{\text{h}}54^{\text{m}}53^{\text{s}}$) ზედა კულმინაციის მომენტი ადგილობრივი დროით 1950 წ. 19 ოქტომბრისათვის. პასუხი: $21^{\text{h}}04^{\text{m}}14^{\text{s}}$ ადგილობრივი დროით. მითითება: ვარსკვლავთმიერი დრო შუალაშეზე ამ ამოცანისათვის, ასევე შემდგომისათვის გამოიანგარიშეთ § 52 და § 38-ის ამოცანების მიხედვით, სადაც მოცემულია შუალაშეზე ვარსკვლავთმიერი დროის ნაზრდი დღე-ღამეში.

3. გამოითვალეთ სირიუსის ($\alpha = 6^{\text{h}}42^{\text{m}}56^{\text{s}}$, $\delta = -16^{\circ}39'$) ამოსვლის მომენტი მოსკოვისათვის 1950 წ. 22 ოქტომბერს ზოლური და დეკრეტული დროით; განედი $\varphi = 55^{\circ}45'$. პასუხი: $T_n = 23^{\text{h}}53^{\text{m}}51^{\text{s}}$; $T_r = 24^{\text{h}}53^{\text{m}}51^{\text{s}}$, ე. ი. $0^{\text{h}}53^{\text{m}}51^{\text{s}}$.

4. როგორი α და δ უნდა ჰქონდეს ისეთ ორ ვარსკვლავს, რომლებიც ვარსკვლავთმიერი დროით $7^{\text{h}}35^{\text{m}}$ -ზე კულმინაციაში იქნებოდნენ მოსკოვში ($\varphi = 55^{\circ}45'$) ზენიტურ მანძილზე $z = 40^{\circ}$, ერთი ზენიტის სამხრეთით, მეორე კი ჩრდილოეთით?

5. გამოითვალეთ ვარსკვლავის α და δ , რომელსაც მოსკოვში ვარსკვლავთმიერი დროის $t = 11^{\text{h}}11^{\text{m}}36^{\text{s}}$ მომენტში ჰქონდა კოორდინატები: $z = 49^{\circ}15'10''$ და $A = 298^{\circ}28'50''$ პასუხი: $\alpha = 14^{\text{h}}11^{\text{m}}35^{\text{s}}$, $\delta = +19^{\circ}38',7$.

6. გამოითვალეთ, ყველაზე უგრძესი და ყველაზე უმოკლესი დღის ხანგრძლიობა ლენინგრადში, ($\varphi = 59^{\circ}57'$), მოსკოვში ($\varphi = 55^{\circ}45'$), სამარყანდში ($\varphi = 38^{\circ}39'$), თბილისში ($\varphi = 41^{\circ}42'$). როგორია დამოკიდებულება ყველაზე უგრძესი და ყველაზე უმოკლესი დღეების ხანგრძლიობებს შორის მოცემულ ადგილებზე? პასუხი: ყველაზე უმოკლესი დღე მოსკოვში არის $6^{\text{h}}43^{\text{m}}$, ლენინგრადში— $5^{\text{h}}31^{\text{m}}$, სამარყანდში— $9^{\text{h}}18^{\text{m}}$, თბილისში— $9^{\text{h}}7^{\text{m}}$,

ასტრონომიული იარაღები და დაკვირვებები

I. ტელესკოპი (კოგრი)

§ 65. ასტრონომიული დაკვირვებები. დამზერითი ასტრონომიის ორ დიდ—ასტრომეტრიულ და ასტროფიზიკურ დარგად დაყოფის შესაბამისად ყველა ასტრონომიული დაკვირვება შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

ა) ცის სფეროზე მნათობთა მდებარეობების განსაზღვრა. ის საშუალებას გვაძლევს, ჯერ შევისწავლოთ ცის სხეულების ხილული მოძრაობა, შემდეგ კი გავიგოთ მათი ქეშმარიტი მოძრაობა სივრცეში, მანძილი და სიდიდე. მნათობთა ხილული მდებარეობები განისაზღვრება მათი კოორდინატების გაზომვის საშუალებით, უფრო ხშირად კი ეკვატორულისა. ამიტომ პირდაპირ აღვლენათა და დახრილობათა გაზომვა უმნიშვნელოვანეს ასტრომეტრიულ დაკვირვებების მიზანს წარმოადგენს, ხოლო ამ სიდიდეების საზომი ხელსაწყოები შეიძლება ჩაითვალოს უმთავრეს ასტრომეტრიულ ხელსაწყოებად.

ბ) ცის სხეულების ფიზიკური თვისებების შესწავლა. ამას ეკუთვნის: მნათობთა ზედაპირების შესწავლა, მათი სიკაშკაშის გაზომვა, ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრა და ა. შ. ამ ასტროფიზიკურ დაკვირვებებში განსაკუთრებით მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სპექტრული ანალიზი და ფოტომეტრია.

ერთ-ერთ უმთავრეს ასტრონომიულ იარაღს წარმოადგენს ტელესკოპი. ტელესკოპებს ჰყოფენ ორ ჯგუფად: რეფრაქტორებად და რეფლექტორებად.



ნახ. 23.

§ 66. რეფრაქტორები (საზხერი მილები). ასტრონომიული მილი, რომელსაც რეფრაქტორი ეწოდება, თავისი უმარტივესი ფორმით (ნახ. 23) შედგება ორი ამოხეჩილი მინისაგან, დიდი O ობიექტივისაგან, გრძელი საფო-

კუსო მანძილით და პატარა მოკლეფოკუსიანი o ოკულარისაგან. სხივები წამოსული AB მნათობიდან, მაგალითად, მთვარიდან, ობიექტივის მიერ იკრიბება ე. წ. ფოკალურ სიბრტყეში და გვადლევს მნათობის ნამდვილ და შებრუნებულ ha გამოსახულებას. ეს გამოსახულება განიხილება o ოკულარის საშუალებით, რომელიც ლუბის როლს ასრულებს. ამგვარად, ასტრონომიული მილი იძლევა საგნების შებრუნებულ გამოსახულებას; ცის სხეულებზე დაკვირვებისას ეს არაერთარ უხერხულობას არ იწვევს.

§ 67. ტელესკოპის გამადიდებლობა. COA და FOa კუთხეები (ნახ. 23) ტოლია; ამიტომ, თუ თვალს მოვითავსებთ მილის COF ოპტიკური ღერძის გაგრძელებაზე, ობიექტივის OF საფოკუსო მანძილის ტოლ მანძილზე და შევხედავთ მთვარის ab გამოსახულებას, მაშინ ის გამოჩნდება იმავე მხედველობის კუთხით, როგორც თვით მთვარე. რადგან o ოკულარს (და, მაშასადამე, თვალსაც) ვაყენებთ გამოსახულებიდან დაახლოებით ოკულარის საფოკუსო მანძილზე, ამიტომ აქედან გამომდინარეობს:

1) თუ ოკულარის საფოკუსო მანძილი (f) ტოლია ობიექტივის საფოკუსო მანძილისა (F), მაშინ მილი არ იძლევა არც გადიდებას და არც შემცირებას, ანუ იძლევა ერთჯერ გადიდებას: როგორც საგანს განხილულს ტელესკოპის გარეშე, ისე მის გამოსახულებას ტელესკოპში აქვს ერთი და იგივე კუთხური დიამეტრი.

2) თუ ოკულარის საფოკუსო f მანძილი m -ჯერ ნაკლებია ობიექტივის F საფოკუსო მანძილზე, მაშინ თვალი გამოსახულებიდან m -ჯერ ნაკლებ მანძილზე მოთავსდება და, მაშასადამე, გამოსახულების კუთხური დიამეტრი m -ჯერ მეტი მოგვეჩვენება, ვიდრე ერთჯერ გადიდებას. ეს ნიშნავს, რომ ტელესკოპი m -ჯერ ადიდებს. ამგვარად, ტელესკოპის გამადიდებლობა m გამოისახება ფორმულით:

$$m = F : f,$$

ე. ი. გამადიდებლობა ობიექტივისა და ოკულარის საფოკუსო მანძილების შეფარდების ტოლია. თითოეულ დიდ ტელესკოპს ყოველთვის აქვს რამდენიმე ოკულარი სხვადასხვა საფოკუსო მანძილით. მათი ცვლით ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ სხვადასხვა გამადიდებლობა.

სინათლის რაოდენობა, რომელსაც კრებს ჩარჩოსა და დიაფრაგმისაგან დაუფარავი ობიექტივი, განისაზღვრება მისი D დიამეტრით. სინათლის რაოდენობა, რომელიც გადის ობიექტივში, მისი ფართობის, ე. ი. D^2 -ის პროპორციულია.

ობიექტივის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს მისი D დიამეტრისა (თავისუფალი ხერხელის) და F საფოკუსო მანძილის A ფარდობა:

$$A = \frac{D}{F};$$

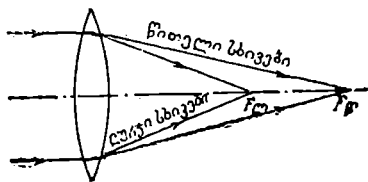
ამ სიდიდეს ეწოდება შეფარდებითი ხერხელი ანუ შექცალა.

მხედველობის ველი ეწოდება ტელესკოპში ხილული ცის ნაწილის კუთხურ განივკვეთს. მხედველობის ველის სიდიდე ერთი და იმავე ოკულარის შემთხვევაში ობიექტივის საფოკუსო მანძილის უკუპროპორციულია.

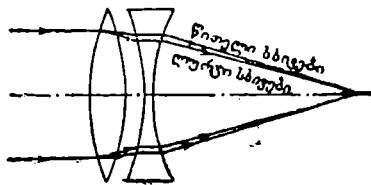
ძლიერი გადიდების შემთხვევაში მსხველქობის ველი ძალიან მცირე ხდება და გამოსახება რკალის რამდენიმე მინუტით.

§ 68. სიძნელეები, რომლებიც წარმოიშვებიან ძლიერი გამაღიებლობის დროს. წინა პარაგრაფიდან თითქოს გამომდინარეობს, რომ საკმარისად ძლიერი (მოკლემფოკუსიანი) ოკულარით შეიძლება მივიღოთ ნებისმიერი გამაღიებლობა. მაგალითად, რომ მივიღოთ რეფრაქტორით, რომლის ობიექტივი შედგება მარტივი ლინზისაგან 1 მ საუოკუსო მანძილით, გამაღიებლობა 1000-ჯერ, მას უნდა გავუყვითოთ ოკულარი 1 მმ საუოკუსო მანძილით. მაგრამ თუ შევხედავთ ასეთი გამაღიებლობით რომელიმე ცთომილს, მაშინ აღმოჩნდება, რომ მისი გამოსახულება: 1) ძლიერ სუსტია; 2) მისი ნაპირი ბუნდოვანია და 3) შეფერადებულია ცისარტყელასებრი ფერებით. ცთომილის დისკოს დიდი ზომის მიუხედავად, ჩვენ მასზე უფრო ნაკლებს დავინახავთ, ვიდრე მცირე გადიდებისა. იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს ძლიერი გადიდების სასარგებლოდ გამოყენება, საჭიროა თავიდან ავიცილოთ გამოსახულების აღნიშნული ნაკლოვანებანი. ამისათვის საჭიროა, რომ ძლიერი რეფრაქტორის ობიექტივს ჰქონდეს: 1) დიდი შუქძალა და 2) აქრომატიზმი.

§ 69. ოპტიკურ სისტემათა აბერაცია. პირვანდელი რეფრაქტორების ობიექტივი შედგებოდა ერთი ამოზნექილი მინისაგან, რომელიც პოიზმის მსგავსად მოქმედებს, ე. ი. არა მარტო გარდატეხს მასზე დაეცემულ სინათლეს, არამედ კიდევაც დაშლის მას სხვადასხვა ფერის სხივებად. რადგან იისფერი სხივები წითელზე უფრო ძლიერ გარდატყდებიან და, მამასადამე, იკრიბებიან ობიექტივთან უფრო ახლოს, ვიდრე წითელი სხივი, ამიტომ, ვარსკვლავის გამოსახულებას, რომელსაც ასეთი მინა იძლევა, სხვადასხვა ფერით შეფერადებული, ნათელი მცირე ლაქის სახე აქვს. ეს მოვლენა ქრომატულ აბერაციადაა წოდებული. ქრომატული აბერაციის ძლიერ შესასუსტებლად ობიექტივს ორი ცალკეული მინისაგან აკეთებენ. ერთ მინას ასეთ



ნახ. 24. მარტივი ობიექტივის ქრომატული აბერაცია.

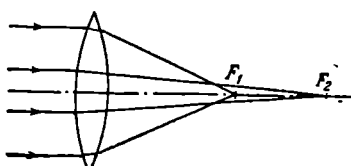


ნახ. 25. აქრომატული ობიექტივი.

რთულ ობიექტივებში, რომელთაც აქრომატულს უწოდებენ, აქვს ორმხრივ ამოზნექილი ფორმა და შედგება კრონგლასისაგან, ჩვეულებრივი მომწვანო ელფერის მინისაგან; მეორე მინა, შემდგარი უფრო მძიმე ხარისხის მინისაგან—ფლინტგლასისაგან, ჩაზნექილია. ფერების დაშლის ხარისხი (დისპერსია) ამ ხარისხის მინებისათვის სხვადასხვაა. ვისარგებლებთ რა დისპერსიების ამ სხვაობით, შეიძლება, როგორც ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში პე-

ტერბურგის აკადემიის წევრმა ლ. ებლერმა გვიჩვენა, ორივე მინის ზედაპირის ისეთნაირად მოპირკეთება, რომ ორი სხვადასხვა ფერის სხივი, მაგალითად, წითელი და ლურჯი, გაივლის რა ასეთ რთულ ობიექტივს, შეიკრიბოს ერთ წერტილში (ნახ. 25). შევარჩევთ რა სამი მინის სხვადასხვა გარდატეხის მაჩვენებლით და სხვადასხვა დისპერსიით, შეიძლება მივალწიოთ იმას, რომ ერთ წერტილში შეიკრიბოს სამი სხვადასხვა ფერის სხივი. შუალედური ფერის სხივები შეიკრიბებიან ძალიან მანლობელ წერტილებში და გამოსახულება მოკეპულ ობიექტივის მიერ აღმოჩნდება თითქმის სრულქმნილი. ასეთ ობიექტივებს აპოკრომატებს უწოდებენ.

ლინზის და სარკის ნაპირები ერთი და იმავე ფერის სხივებსაც კი ობიექტივთან უფრო ახლოს კრებს, ვიდრე მათი შუა ნაწილები (ნახ. 26). ამ



ნახ. 26. მარტივი ობიექტივის სფერული აბერაცია.

მოვლენას ეწოდება სფერული აბერაცია.

სფერული აბერაციის საწინააღმდეგოდ რეფრაქტორებში იყენებენ სხვადასხვა სიმრუდის ზედაპირების მქონე რთულ ლინზებს, ხოლო რეფლექტორების (წ 73) სარკეებს აძლევენ პარაბოლურ ფორმას (უფრო ზუსტად ბრუნვითი პარაბოლოიდის ფორმას). ამ მარტივ

აბერაციათა გარდა ობიექტივებს შეიძლება ჰქონდეთ კიდევ კომა (მხედველობის ველის ნაპირზე გამოსახულების დამახინჯება), დისტორსია (გამოსახულების სხვადასხვა მასშტაბი ველის შუაზე და განაპირას), ველის სიმრუდე და სხვა.

წ 70. სინათლის დიფრაქცია. წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ შეგვეჩინოთ ისეთი იდეალური ტელესკოპი, რომელსაც არავითარი აბერაცია არა აქვს. მიუხედავად ამისა, თუ ასეთი ტელესკოპით ვარსკვლავებს დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ ტელესკოპი ვარსკვლავებს წერტილების სახით კი არ გამოსახავს, არამედ ნათელი რგოლებით გარშემორტყმული შესამჩნევი კუთხური დიამეტრის მქონე წრეების სახით (ნახ. 27). ეს მოვლენა გამოწვეულია სინათლის დიფრაქციით.



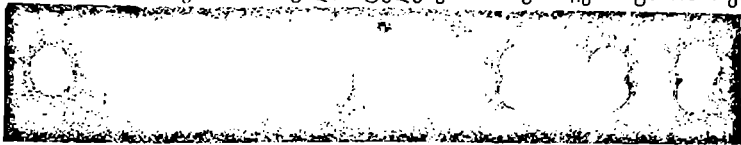
ნახ. 27. დიფრაქციული რგოლები ვარსკვლავის გამოსახულების გარშემო.

ვარსკვლავის დიფრაქციული გამონახახის ზომა (რკალის სეკუნდებში) დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიგრძესა და ობიექტივის დიამეტრზე:

$$\theta'' \sim \frac{\lambda}{D}$$

28-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ორმაგი ვარსკვლავების დიფრაქციული გამონახახები; კარგად ჩანს, რომ დიფრაქცია საშუალებას არ იძლევა ცალ-ცალკე დავინახოთ ორი ვარსკვლავი, თუ მათ შორის კუთხური მანძილი დიფრაქციულ გამონახახთან შედარებით ძლიერ მცირე იქნება. იმ უმცირეს კუთხურ მანძილს, რომლის დროს კიდევ შეიძლება მნათობები ცალ-ცალკე გავარჩიოთ, ეწოდება

ბა მოცემული ობიექტების გარჩევის უნარი. არც ერთ ოკულარს არ შეუძლია დაგვეხმაროს ვარსკვლავთ ცალ-ცალკე დანახვაში; ერთადერთი გამოსავალია ობიექტების დიამეტრის გადიდება, რათა შევამძიროთ დიფრაქციული გამონახახის ზომები. ამრიგად, ტელესკოპის გარჩევის უნარს რეალურ



ნახ. 28. კომპონენტებს შორის სხვადასხვა მანძილის შემთხვევაში ორმაგი ვარსკვლავების დიფრაქციული გამონახულებები.

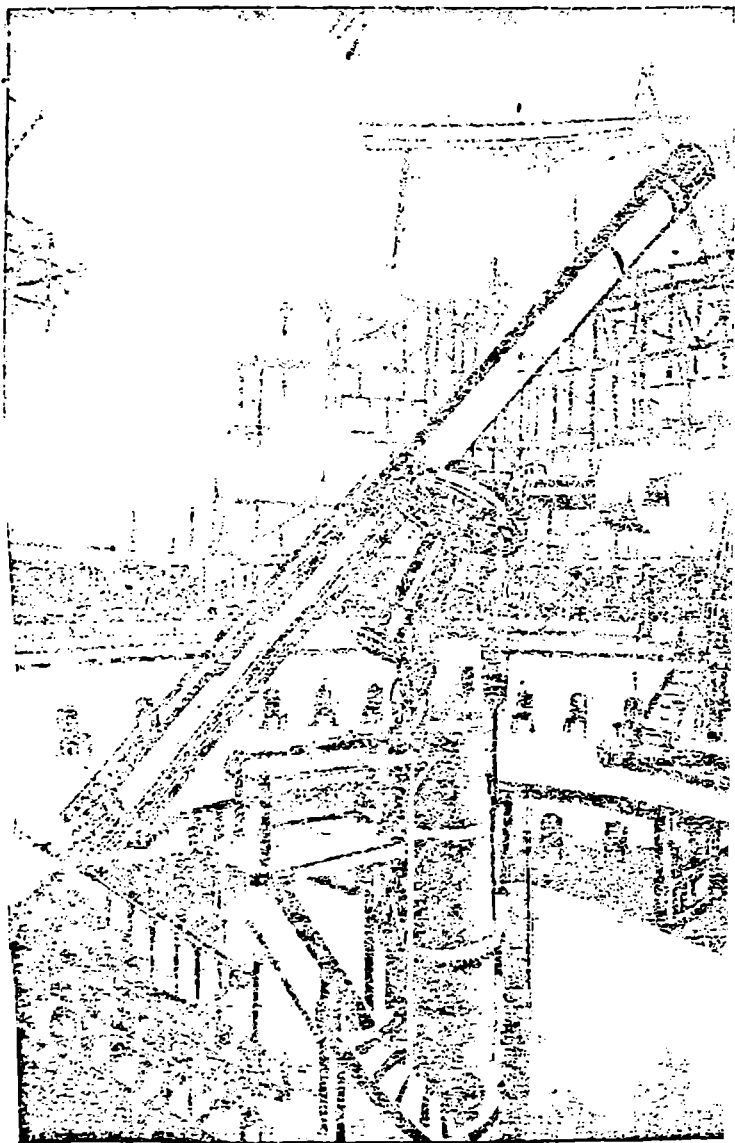
საზღვარს უდებს არა ტელესკოპის კონსტრუქციის არასრულყოფილობა, არამედ სინათლის ტალღური ბუნება.

§ 71. გამოსახულების სიკაშკაშე. უნდა განვასხვავოთ ორი შემთხვევა: ა) უძრავი ვარსკვლავები, რომლებიც ისე შორსაა, რომ ყველაზე ძლიერ მილ-შიაც წერტილებად რჩება. ბ) მნათობები, რომელთაც შესამჩნევი სიდიდე (დისკო) აქვთ, მაგალითად, მთვარე და ცთომილები.

ა) ტელესკოპი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ხელოვნური თვალი. ამასთან, ობიექტივი გუგის როლს ასრულებს. რადგან ვარსკვლავიდან ობიექტივზე დაცემული ყველა სხივი დამკვირვებლის თვალს ხვდება (თუ არ მივიღებთ მხედველობაში სინათლის შთანთქმას და არეკვლას მილის მინებში), ამიტომ დამკვირვებელი იღებს ვარსკვლავიდან იმდენჯერ მეტ სინათლეს, ვიდრე შეუიარაღებელი თვალით შეხედვისას, რამდენჯერაც ობიექტივის ფართი მეტია გუგის ფართზე, და ვარსკვლავიც იმდენჯერ მეტად კაშკაშა მოეჩვენება მას. ამრიგად, ტელესკოპი ადიდება ვარსკვლავის სიკაშკაშეს (და არა ხილულ სიდიდეს) მით უფრო ძლიერად, რაც უფრო მეტია ობიექტივის ფართი. ეს გადიდება პროპორციულია ობიექტივის დიამეტრის კვადრატისა. აი რატომ აღმოაჩენს ტელესკოპი მრავალ „ტელესკოპურ“ ვარსკვლავს, რომელთა სინათლე მეტად სუსტია შეუიარაღებელი თვალისათვის.

ბ) თუ მნათობს აქვს დისკო, მაშინ მისი გამოსახულების სიკაშკაშე მილში ყოველთვის მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე შეუიარაღებელი თვალისათვის, რადგან გადიდებული გამოსახულება თვალის ბადურაზე იკავებს დიდ ფართს. დაუშვათ, რომ ჩვენ ვუყურებთ მნათობს ერთი და იმავე ტელესკოპით, ვუკეთებთ რა სულ უფრო და უფრო ძლიერ ოკულარს. ობიექტივის მიერ შეკრებილი სინათლის რაოდენობა იქნება ყოველთვის ერთნაირი, მაშინ, როდესაც უფრო ძლიერი გადიდებისას ცთომილის ხილული დისკო იზრდება და ერთი და იგივე სინათლის რაოდენობა სულ უფრო და უფრო მეტ ფართზე ნაწილდება. ამიტომ ცთომილის ზედაპირი ნაკლებად კაშკაშა გვეჩვენება.

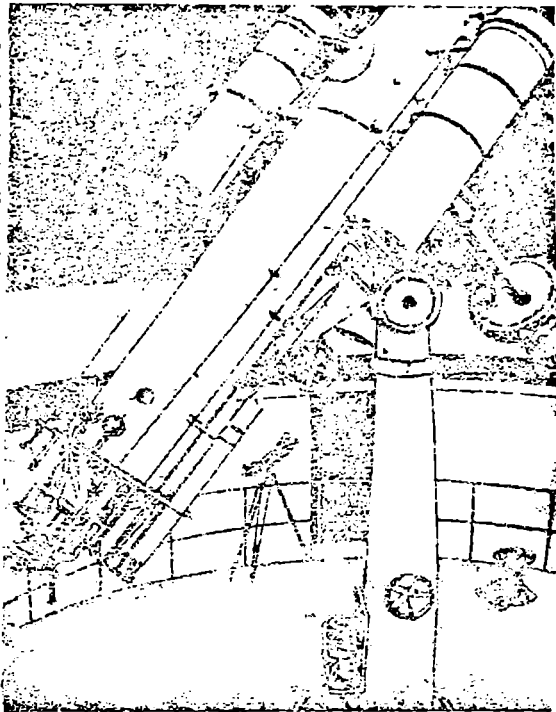
იგივე შეიძლება ითქვას დღის ცის სიკაშკაშეზეც. ტელესკოპში გახედვისას ცა უფრო ბნელი გვეჩვენება, ვიდრე შეუიარაღებელი თვალით და ძლიერი გადიდებისას მის ფონზე დღის ნებისმიერ საათზე შეიძლება დავინახოთ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები.



§ 72. რეფრაქტორის გამადიდებლობის საზღვარი, რეფრაქტორის ძალს დამოკიდებულია მის ობიექტივზე და არა ოკულარზე, ობიექტივი უნდა იყოს აქრომატიული და, რაც შეიძლება, დიდი, მაგრამ ამავე დროს მას უნდა ჰქონდეს საკმარისად დიდი საფოკუსო მანძილი, რომ დიდი გადიდების მისაღებად არ დაგვირდეს მეტად მოკლემფოკუსიანი ოკულარების გამოყენება, რომლებიც ცუდ გამოსახულებებს გვაძლევენ. ჩვეულებრივ ობიექტივის საფოკუსო მანძილი 15—18-ჯერ მეტია, ვიდრე მისი დიამეტრი.

გარდა არასრული აქრომატიზმისა და სუსტი განაუბრება არის შესაძლებელი მიზეზი, რომელიც ზღუდავს რეფრაქტორის სიძლიერეს: ესაა დეფაიწის ატმოსფეროს მღლეარება,

რომელიც იწვევს ყველასათვის ცნობილ ვარსკვლავთციმციმს. რეფრაქტორი იმდენჯერ ადიდებს ციმციმით გამოწვეული მნათობის მდებარეობისა და სახის დამახინჯებებს, რამდენჯერაც იგი ადიდებს თვით მნათობის კუთხურ სიდიდეს. ამიტომ ძლიერი გადიდებით დაკვირვებები შესაძლებელი ხდება ატმოსფეროს განსაკუთრებული მშვიდი მდგომარეობის დროს. ჩვენი დროის დიდ რეფრაქტორებს შეუძლიათ მოგვცეს 5—6 ათასჯერ გადიდება, მაგრამ ამ გადიდებით არ სარგებლობენ და იყენებენ გადიდებას, რომელიც 1000-ს არ აღემატება: გადიდება 1000 დან 2000-მდე გამოიყენება ძალიან იშვიათად და ისიც მხოლოდ ორმაგ ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს.



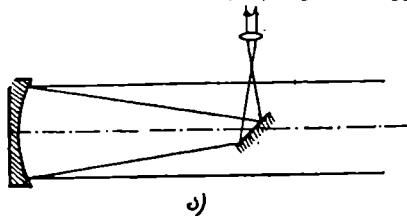
§ 73. რეფლექტორები (სარკიანი ტელესკოპები).

რეფლექტორებში ობიექტივის როლს ასრულებს ჩაზნექილი მინის სარკე, მოვერცხლილი ან მოალუმინებული წინა მხრიდან. სარკის ფოკუსში, ისევე როგორც ამოზნექილი ლინზის ფოკუსში, მიიღება მნათობის ნამდვილი და შებრუნებული გამოსახულება, რომელიც განიხილება ოკულარში; რომ გამოსახულება რაც შეიძლება სრულყოფილი იყოს, სარკეს მოპირკეთების დროს აძლევენ არა სფერულ, არამედ

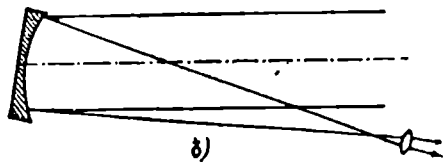
ნახ. 30. 40-სანტიმეტრიანი რეფრაქტორი, რომელიც დადგმულია აბასთუნის ობსერვატორიაში.

პარაბოლურ ფორმას (მისი სიმრულე კიდევზე რამდენადმე ნაკლებია, ვიდრე ცენტრში). რადგანაც გამოსახულება სარკის წინ მიიღება და დამკვირვებელი ჩამოეფარება დაცემული სხივების ნაწილს, ამიტომ ჩვეულებრივ უმატებენ მეორე ბრტყელ დამხმარე პატარა სარკეს, რომლის სიბრტყე რეფლექტორის ოპტიკურ ღერძთან 45° -ს კუთხეს კმნის. მთავარი სარკის მიერ არეკვლილი და შეკრებილი სინათლის სხივები ეცემა დამხმარე სარკეს, აირეკლება მისგან რეფლექტორის ოპტიკური ღერძის მიმართ 90° კუთხით და შემდეგ მოხვდება ოკულარში (ნიუტონის სისტემა). ამრიგად, დამკვირვებელი თავით არ ეფარება მთავარ სარკეზე დაცემულ სინათლეს.

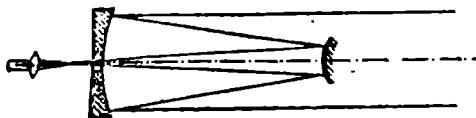
არსებობს რეფლექტორების სხვა სისტემებიც, რომელთა დამხმარე სარკეებს ჩაზნექილი ან ამოზნექილი ფორმა აქვს. ამ სისტემებში გამოსახულება მიიღება მთავარი სარკის ხერგელში, სადაც ოკულარია მოთავსებული.



ა)



ბ)



გ)

ნახ. 31. რეფლექტორების სხვადასხვა სისტემა: ა) ნიუტონის სისტემა; ბ) ლომონოსოვ-ჰერშელის სისტემა; გ) კასეგრანის სისტემა. ამაჟამად ბ) სისტემა არ გამოიყენება, რადგანაც ის აღიღებს რეფლექტორების ისედაც მნიშვნელოვან კომას.

თვით დამხმარე სარკეც ეფარება და შთანთქავს ცის მნათობიდან წამოსულ სინათლის ნაწილს და იწვევს დიფრაქციის მოვლენას. ამის გამო მ. ვ. ლომონოსოვმა უარი თქვა დამხმარე სარკეზე, აღნიშნა და მიუთითა მნათობთა გამოსახულების უშუალოდ მთავარი სარკის წინ განხილვის შესახებ; რომ დამკვირვებელი თავით არ ჩამოეფარებოდა სარკეზე დაცემულ სინათლეს, ლომონოსოვის მიხედვით სარკე უნდა დაეყენებიათ არა იარაღის ღერძის პერპენდიკულარულად, არამედ ოდნავ დახრილად ისე, რომ გამო-

სახულება მიღებულიყო არა ტელესკოპის მილის ცენტრში, არამედ მის განაპირას. ასეთი იარაღი აგებული იყო ლომონოსოვის მიერ და მის

მიერვე დემონსტრირებული პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიაში 1762 წელს. ლომონოსოვის სისტემამ თავის დროზე დიდი გავრცელება ჰპოვა.

§ 74. რეფრაქტორებისა და რეფლექტორების შედარებითი ღირსება. რეფლექტორების მთავარი ღირსებაა სრული აკრომატიზმი, რაც ძლიერ მნიშვნელოვანია ასტროფიზიკური გამოკვლევების დროს. მაგრამ ასტ-

რომელი უღი საშუალებების დროს რეფრაქტორებს უპირატესობა აქვს უდავოდ. გარდა ამისა, ისინი სახმარად უფრო მოხერხებულნი და გამძლენი არიან, მაშინ, როდესაც რეფლექტორის სარკიანი ფენა (განსაკუთრებით მოვერცხლილი) მალე მქრქალდება. სამაგიეროდ, რეფრაქტორების დამზადება გაცილებით ძნელია, და ამიტომ დიდი რეფრაქტორი გაცილებით უფრო ძვირია, ვიდრე იმავე ზომის რეფლექტორი. მართლაც, სარკისათვის მხოლოდ ერთი ზედაპირის ძალიან ზუსტად მოპირკეთებაა საჭირო—მაშინ, როცა მინის ობიექტივისათვის—ოთხის ან ექვსისა ცი (აპოქრომატებისათვის). მაგრამ ყველაზე მეტ სიძნელეს წარმოადგენს სრულიად გამჭვივალე და ერთგვაროვანი მინის მასის ჩამოსხმა, მაშინ, როცა სარკისათვის მინის შინაგან არათგვაროვნებას ნაკლები მნიშვნელობა აქვს.

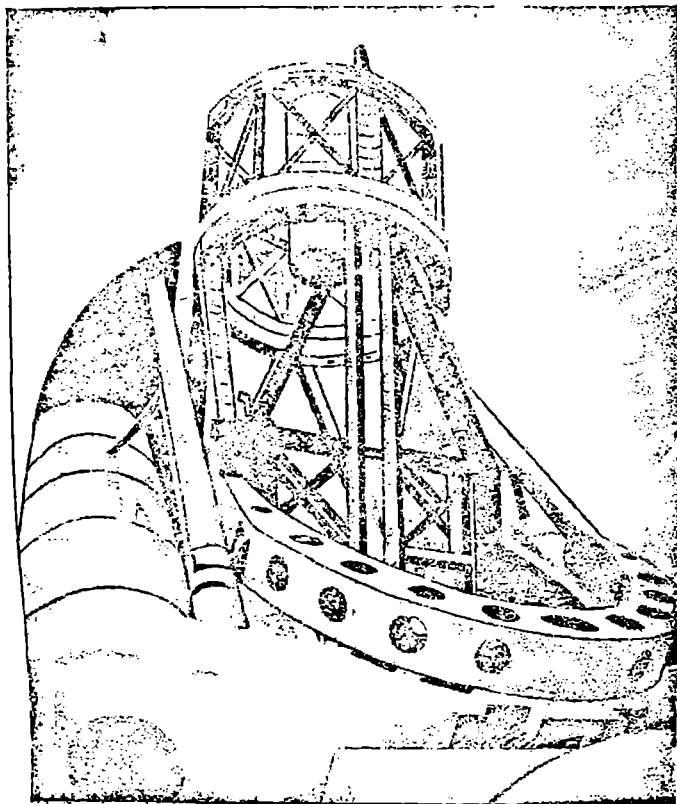
§ 75. ჩვენი დროს უდიდესი ტელესკოპები. ა) რეფრაქტორები. ყველაზე უდიდესი რეფრაქტორი, რომლის ობიექტივის დიამეტრი ერთი მეტრია, იერკის (ჩიკაგოს ახლო, აშშ) ობსერვატორიაშია დადგმული. მისი სიგრძე 19 მ აღწევს, ხოლო ობიექტივი 400 კილოგრამამდე იწონის. ის აგებულია 1896 წ. ყველაზე დიდი რეფრაქტორი ევროპაში და სსრ კავშირში დადგმულია 1885 წ. პულკოვოს ობსერვატორიაში (ნახ. 29). მისი დიამეტრი 76 სმ, საფოკუსო მანძილი 13,9 მ (მისი დანადგარი 1941 წ. დანგრეულ იქნა ფაშისტების მიერ). გიგანტური ობიექტივების დამზადების სიძნელე ისე დიდია, რომ უკანასკნელი 50 წლის მანძილზე ვერც ერთხელ ვერ მოხერხდა უფრო დიდი რეფრაქტორის აგება, ვიდრე იერკისისა.

ბ) რეფლექტორები. რადგან დიდი სარკეების დამზადება გაცილებით უფრო ადვილია, ვიდრე მინის დიდი ობიექტივებისა, ამიტომ ამჟამად აგებულია ათობით დიდი რეფლექტორი. მოქმედი რეფლექტორებიდან „ასდუმიანი“ ტელესკოპი დადგმულია კალიფორნიაში უილსონის მთაზე მდებარე ობსერვატორიაში. მისი მინის მოვერცხლილი სარკის განივი კვეთი 2,5 მ-ია და 4 ტონას იწონის, ხოლო იარაღის მთელი მოძრავი ნაწილი (მილი, ლერძი, საპირწონე და ა. შ.)—100 ტ-მდე. უკანასკნელ დროს პალომარის მთაზე (კალიფორნიაში) დაიდგა რეფლექტორი 5 მეტრი დიამეტრის სარკით (ნახ. 32). ასეთ გიგანტურ ტელესკოპთან მოპყრობა უკიდურესად ძნელია და მოითხოვს რთულ მექანიკურ მოწყობილობებს.

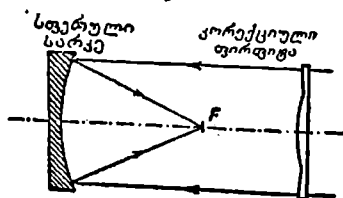
§ 76. ხარკე-ლინზური ტელესკოპები. მეცნიერებმა და გამომგონებლებმა დიდი შრომა დახარჯეს, რათა აეცდინათ რეფრაქტორებისა და რეფლექტორების ნაკლოვანებები. ამოცანის ამოსახსნელად ყველაზე მოხერხებული აღმოჩნდა ხარკე-ლინზური ტელესკოპების აგება.

1930 წელს პამპურგის ობსერვატორიის-თანამშრომელმა ბ. შმიდტმა წამოაყენა ტელესკოპის ორიგინალური კონსტრუქცია.

შმიდტის იდეა ასეთი იყო: როგორც ჩვენ უკვე ვიცით, რეფლექტორის სფერულ სარკეს აქვს სფერული აბერაცია, რომლის მოსასპობად სარკეს აძლევენ პარაბოლურ ფორმას, ანუ, როგორც ამბობენ, მას უკეთებენ რეტუსს. შმიდტის მიხედვით რეტუსს უკეთებენ არა თვით სარკეს, არამედ სპეციალურ ფირფიტას, რომელსაც ათავსებენ სარკის წინ. ნახ. 33-ზე გამოსახულია შმიდტის ტელესკოპის სქემა. სარკეს აქვს სფერული ფორმა და ფირფი-



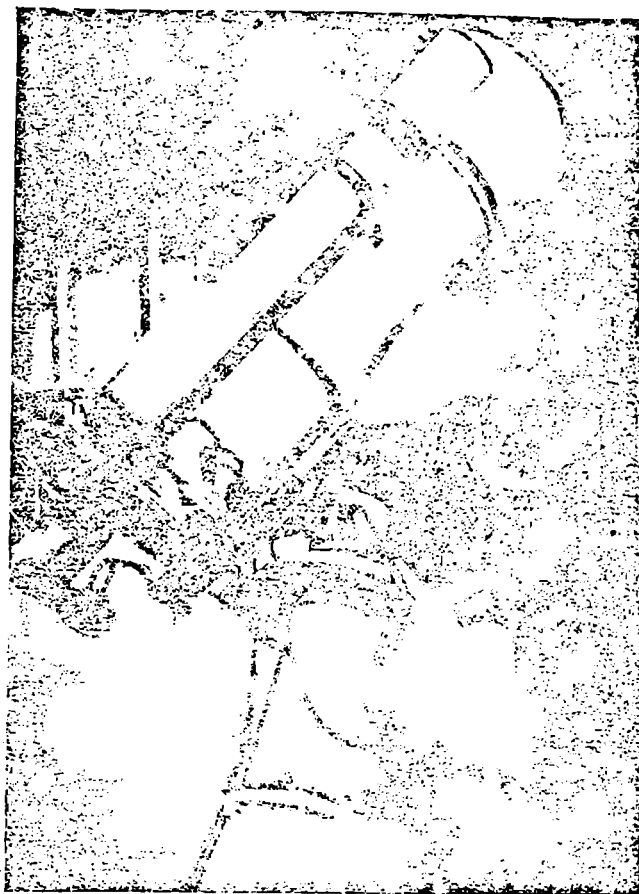
ნახ. 32. მსოფლიოში უდიდესი ტელესკოპი—5-მეტრიანი რეფლექტორი, რომელიც დადგმულია მანტ-პალმაარის ობსერვატორიაში (აშშ).



ნახ. 33. შმიდტის ტელესკოპის სქემა.

ტას, რომელსაც უკეთებენ რეტუშს, აქვს ძალიან რთული ფორმა და ამიტომ ძნელია დასამზადებლად. შმიდტის ტელესკოპებს შესაძლოა ჰქონდეს ძალიან დიდი შუქძალა. ნახ. 34-ზე გამოსახულია შმიდტის ტელესკოპი.

ტელესკოპის პრინციპულად ახალი სისტემა, თვისობრივად განსხვავებული ყველა წინანდელისაგან, 1941 წელს შექ.ნა საბჭოთა მეცნიერმა პროფ.



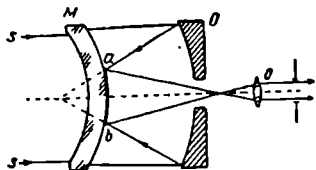
ნახ. 34. შმიდტის ტელესკოპი, რომელიც დადგმულია ბიურაჯანის ობსერვატორიაში.

დ. დ. მაკსუტოვმა, რომელმაც გამოიყენა და შეაერთა რეფრაქტორისა და რეფლექტორის დადებითი თვისებები.

მაკსუტოვის ტელესკოპში (ნახ. 35) მთავარ (O) სარკეს აქვს სფერული (და არა პარაბოლური) ფორმა; მთავარი სარკის წინ იდგმება მენისკი (M),

ე. ი. ჩაზნეკილ-ამოზნეკილი მინა, შემოსაზღვრული სფერული ზედაპირებით. მენისკი ასწორებს მნათობის გამოსახულებას, რომელიც მახინჯდება სარკის სფერული ფორმის გამო და მიიღება მაღალი ხარისხის გამოსახულება დამახინჯებისა და შეფერადების გარეშე. მენისკის ცენტრალური ნაწილი (*ab*) იფარება ალუმინის თხელი ფენით და გამოიყენება დამხმარე სარკედ *o* ოკულარში სხივების მისამართავად.

ამრიგად, მაკსუტოვის ტელესკოპის ყველა ოპტიკურ ზედაპირს სფერული ფორმა აქვს და ამიტომ აღვიღებ შეიძლება მათი დამზადება უდიდესი



ნახ. 35. მაკსუტოვის ტელესკოპის სტემა.

სიზუსტით. მოალუმინებული (ან მოვერცხილი) სარკის ზედაპირი მენისკით დაცულია ატმოსფეროს ზეგავლენისაგან და ინახება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ამ ტელესკოპის ზომა ძალიან უმნიშვნელოა; მაგალითად, რეფრაქტორს 200 მმ დიამეტრის ობიექტივით დაახლოებით 3 მ სიგრძე აქვს, რეფლექტორს იმავე დიამეტრის სარკით—დაახლოებით 1 მ, ხოლო მაკსუტოვის ტელესკოპს (იმავე 200 მმ დიამეტრით) დაახლოებით მხოლოდ 50 სმ სიგრძე აქვს.

მაკსუტოვის ტელესკოპის მკირე წონა. გაცილებით ამარტივებს მის დადგმულობას და ექსპლოატაციას. დ. დ. მაკსუტოვის გამოგონება ახალ გზებს



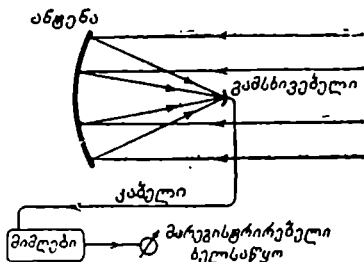
ნახ. 36. მაკსუტოვის 70-სანტიმეტრიანი ტელესკოპი, რომელიც დადგმულია აბასთუმნის ობსერვატორიაში.

ხსნის საბჭოთა ნალახარისხოვანი ტელესკოპების შესაქმნელად; ამ გამოგონებამ საბჭოთა მთავრობის მაღალი შეფასება მიიღო და დ. დ. მაკსუტოვის 1946 წ. სტალინური პრემია მიენიჭა.

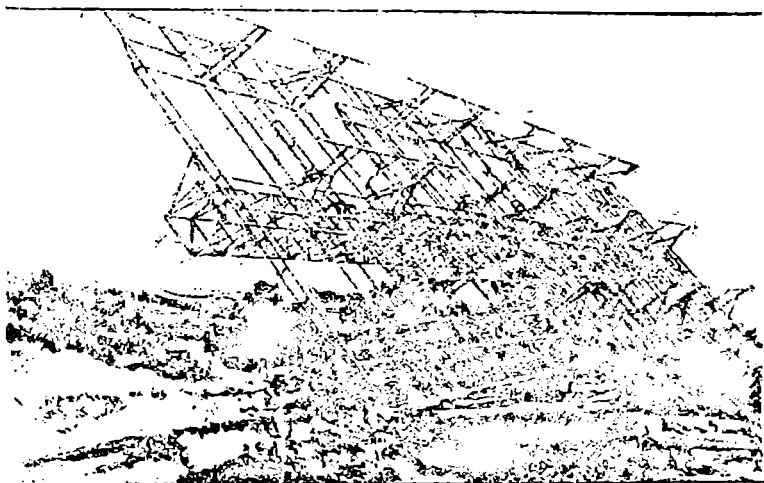
ამჟამად საბჭოთა კავშირში დ. მაკსუტოვის ტიპის ტელესკოპები დადგმულია აბასთუმნის, პულკოვოს, ალმა-ატის და სხვა ობსერვატორიებში.

§ 77. რადიოტელესკოპები. ამჟამად დიდი განვითარება ჰპოვა ცის სხეულების რადიოგამოსხივების გამოკვლევამ. კოსმოსური რადიოგამოსხივების მიღებისათვის ხმარებულ ხელსაწყოებს რადიოტელესკოპებს უწოდებენ.

რადიოტელესკოპების ძირითად ნაწილებს წარმოადგენენ ანტენები და მიმღებები. რადიოტელესკოპის მოქმედების პრინციპი ისეთივეა, როგორც ჩვეულებრივი ტელესკოპისა. სხივადი ენერგია იკრებება ანტენით, რომელიც ოპტიკური სისტემის როლს ასრულებს და შემდეგ მიემართება მიმღებში (ნახ. 37), სადაც დაჭერილი ენერგია ძლიერდება და აღირიცხება ხელსაწყოებით. მეტრიან დიპაზონზე რადიოგამოსხივების მისაღებად გამოიყენება განსაზღვრული მიმდევრობით განლაგებული ცალკეული ანტენა-დიპოლებისაგან შემდგარი ანტენები (ნახ. 38). დეციმეტრიან და სანტიმეტრიან დიპაზონებში



ნახ. 37. რადიოტელესკოპის სქემა.



ნახ. 38. ცალკეული დიპოლებისაგან შემდგარი ანტენიანი რადიოტელესკოპი (სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიკის ინსტიტუტის ყირიშის სადგური).

სამუშაოდ კი იხმარება ან მთლიანი (ნახ. 39), ან ლითონის წვრილი ბადისაგან შემდგარი (ნახ. 40) პარაბოლური ფორმის დიდი სარკეები.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ხილული სხივების მიმღებებს (მაგალითად, თვალი ან ფოტოფირფიტა) სპექტრის შედარებით ფართო უბნის მგრძობიანობა ახასიათებს; რადიოტელესკოპი კი რადიოგამოსხივებას სიხშირეთა მხოლოდ ვიწრო ზოლში აძლევრებს და აღრიცხავს.

II. საზომი იარაღები და მნათობთა კოორდინატების განსაზღვრა

რეფრაქტორი თითქმის ყოველთვის აღიჭურვება ისეთი მოწყობილობებით, რომლებიც შას საზომ ხელსაწყოდ აქცევენ. ამ საზომი ხელსაწყოების დახმარებით ზომავენ მნათობების კოორდინატებს, უფრო ხშირად (ა) პირდაპირ აღვლენასა და (ბ) დახრილობას.

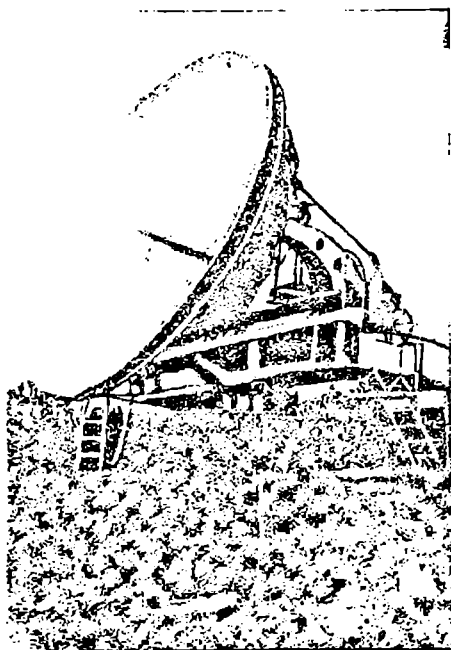
§ 78. დაკვირვება მერიდიანზე. ყველაზე მარტივად ეკვატორული კოორდინატები განისაზღვრება მნათობის მერიდიანზე გავლის მომენტში, მეტწილად - ზედა კულმინაციის დროს.

ა) დახრილობის განსაზღვრა. ადგილის ფ განედს ცნობილად ვთვლით, რადგან მისი განსაზღვრა შეიძლება ვარსკვლავთა დახრილობის ცოდნის გარეშე (იხ. § 96). ამიტომ დახრილობის განსაზღვრისათვის საკმარისია ზედა კულმინაციის მომენტში გაიზომოს ვარსკვლავის ზენიტური მანძილი z და δ -ს ვიპოვიოთ ფორმულით

$$\delta = \varphi - z$$

(§ 22). გაზომვით მიღებული z , როგორც შემდეგ იქნება ახსნილი, უნდა შესწორდეს რეფრაქციაზე.

ბ) პირდაპირი აღვლენის შეფარდებითი განსაზღვრა. მნათობის პირდაპირი აღვლენა მისი ზედა კულმინაციის მომენტის ვარსკვლავთმერი დროის ტოლია (§ 21). ამიტომ



ნახ. 39. მთლიანი პარაბოლური სარკის სახის ანტენიანი რადიოტელესკოპი (სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიკის ინსტიტუტის ყირიმის სადგური).

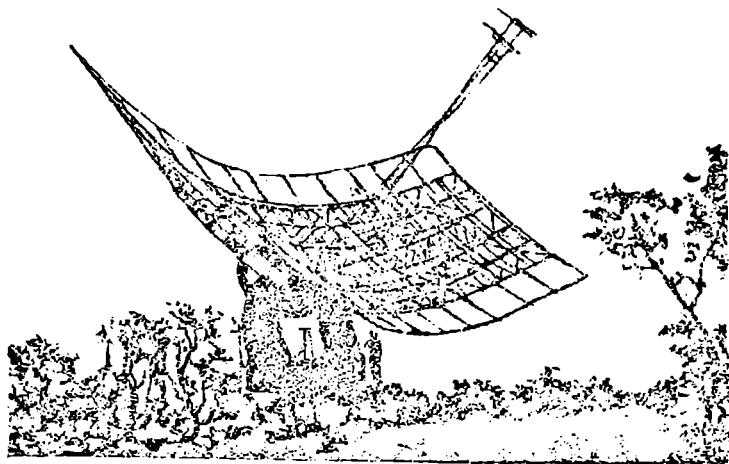
ა პირდაპირი აღვლენის განსაზღვრისათვის საჭიროა საათით ზუსტად აღინიშნოს მნათობის ზედა კულმინაციის ვარსკვლავთმერი დრო t . თუ საათი ზუსტადაა დაყენებული, მაშინ

$$\alpha = t \cdot \omega$$

საათის ჩვენებით ვარსკვლავის α -ს ასეთ განსაზღვრას ეწოდება შეფარდებითი განსაზღვრა, რადგან საათი თავისთავად უნდა იქნეს შესწორებული სხვა ვარსკვლავის მიხედვით, რომლის პირდაპირი აღვლენა α_0 ცნობილია. მისი ზედა კულმინაციის დროს საათის ჩვენება უნდა იყოს

$$\alpha_0 - \alpha_0.$$

მაგრამ სინამდვილეში ასტრონომები საათებისაგან არასოდეს არ მოითხოვენ, რომ ისინი ზუსტად იყვენენ დაყენებულნი. მნიშვნელოვანია ის, რომ მათ შეძლებისამებრ ჰქონდეთ ზუსტი სვლა, ე. ი. ერთი და იმავე ვარსკვლავ-



ნახ. 40. პარაბოლური სარკის სახის წვრილი მეტალური ბადის ანტენიანი რადიოტელესკოპი (სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიკის ინსტიტუტის ყირიმის სადგური).

ვის ზედა კულმინაციის მომენტში ყოველთვის გვიჩვენებდნენ ერთსა და იმავე დროს (თუ საათი რეგულირებულია ვარსკვლავთმერი დროით). ვთქვათ, რომ ვარსკვლავის, რომლის α_0 პირდაპირი აღვლენა ცნობილია, ზედა კულმინაციის მომენტში საათის ჩვენება იყო T_0 , ხოლო უცნობი ვარსკვლავის კულმინაციის მომენტში ის უდრიდა T' -ს, მაშინ უკანასკნელი ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენა იქნება

$$\alpha = \alpha_0 + (T' - T_0).$$

სხვა სიტყვებით, პირდაპირ აღვლენათა სხვაობა საათის ჩვენებათა სხვაობის ტოლია.

ამრიგად, პირდაპირი აღვლენის საზომ იარაღს წარმოადგენს ზუსტი საათი. ამ შემთხვევაში სამსერი მილი მეორეხარისხოვან როლს ასრულებს. ის მხოლოდ აღიღებს ვარსკვლავის დღელამური ნოდრაობის ხილულ სიჩქარეს

და ამიტომ გვაძლევს საშუალებას უფრო ზუსტად შევნიშნოთ მომენტი, როცა ვარსკვლავი მერიდიანის აღმნიშვნელ ნიშანს გადაკვეთს.

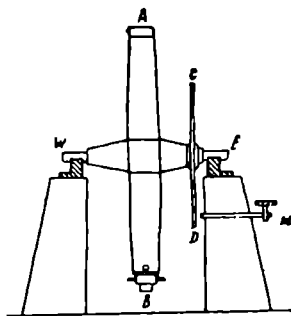
გ) პირდაპირი აღლენის აბსოლუტური განსაზღვრა. ვარსკვლავებს, რომელთა საშუალებითაც ასტრონომიულ საათებს ასწორებენ, ეწოდება ფუნდამენტალური ვარსკვლავები. ფუნდამენტალური ვარსკვლავის პირდაპირი აღლენის განსაზღვრას ეწოდება აბსოლუტური განსაზღვრა, რადგან ის არაა დამოკიდებული სხვა ვარსკვლავების კოორდინატებზე. ასეთი განსაზღვრისას ვარსკვლავს მზის საშუალებით გაზაფხულის დღელამტოლობის უხილავ წერტილს უკავშირებენ. ამისათვის ვარსკვლავთმცერი დროით მსვლელი საათით, რომელიც ნებისმიერადაა დაყენებული, ერთსა და იმავე დღეს განსაზღვრავენ: 1) მზის ცენტრის ზედა კულმინაციის T_{\odot} მომენტს, 2) მის I დახრილობას, 3) ვარსკვლავის ზედა კულმინაციის T'_* მომენტს, მაშინ ვარსკვლავის პირდაპირი აღლენა იქნება

$$\alpha_0 = A + (T_0 - T_{\odot}).$$

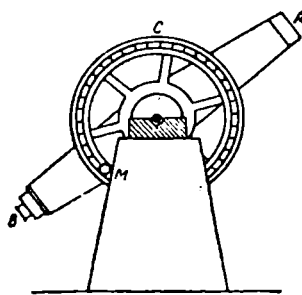
აქ A არის მზის პირდაპირი აღლენა, გამოთვლილი მისი I დახრილობის მიხედვით (§ 64).

§ 79. მერიდიანული წრე. მნათობთა პირდაპირ აღლენათა და დახრილობათა ზუსტად განსაზღვრისათვის გამოიყენება მერიდიანული წრე (ნახ. 41).

ამ ინსტრუმენტის სამზერი მილი (AB) ჩამოცმულია ნილის პერპენდიკულარულ ღერძზე. ეს ღერძი (შიგნით ღრუ) ძვეს პორიზონტულად, აღმო-



ნახ. 41 ა.



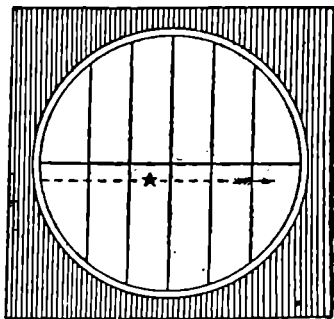
ნახ. 41 ბ.

საველთ-დასაველთ მიმართულებით, უძრავ მყარ ბოძებზე დამაგრებულ ორ ქვესადგამზე („ლაგერებზე“).

ღერძის შემობრუნებისას მილიც მასთან ერთად ბრუნავს. თუ ინსტრუმენტი სავსებით ზუსტადაა დადგმული, მაშინ მისი ოპტიკური ღერძი შემოსწერს მერიდიანს. ამიტომ მერიდიანული წრის მიღში ყოველ მნათობზე დავიკრება შეიძლება მხოლოდ კულმინაციის დროს.

სელსაწყოს ძირითად ნაწილს, საიდანაც მან მიიღო სახელწოდება, წარმოადგენს *C/D* წრე, რომელიც ღერძზე უძრავადაა დამაგრებული და ბრუნავს პილოან ერთად. მის წრეხაზზე ძლიერ დიდი სიზუსტით აღნიშნულია დანაყოფები ყოველი 2' ან 4' შუალედით. ძილის მობრუნებისას, ბოძზე დამაგრებულ უძრავ *M* მაჩვენებლის გასწვრივ ღებება წრის სხვადასხვა დანაყოფი. როდესაც მილი მიმართულია ცის ეკვატორისაკენ, მაჩვენებელი 0°-ს უნდა უჩვენებდეს. ანათელის სიზუსტის გაზრდას აღწევენ საზომი მოწყობილობით მიკრომეტრით—მიკროსკოპთან (უძრავი *M* ნიშნაკის მახლობლად), რომელიც საშუალებას იძლევა გავზომოთ მანძილი ნიშნაკიდან წრის უახლოეს დანაყოფამდე სექუნდებში და მის მეათედ ნაწილებში. ამრიგად, თუმცა წრე დაყოფილია ორ-ორ მინუტად, ანათვალი კი აიღება 0',1-ის სიზუსტით.

მილის შიგნით, ობიექტივის ფოკუსში ვერტიკალურად და ჰორიზონტულად დაჭიმულია წვრილი ძაფები; თუ მხედველობის არეს განსაკუთრებული მოწყობილობით გავანათებთ, მაშინ დამკვირვებელი ოკულარში დაინახავს ძაფებს ვარსკვლავებთან ერთად (ნახ. 42). ვერტიკალური ძაფებიდან შუა უნდა გამოსახავდეს მერიდიანს (ინსტრუმენტის სწორად დაყენებისას). შუა ძაფიდან დანარჩენ ძაფამდე მანძილები ზუსტად უნდა იყოს ცნობილი.



ნახ. 42.

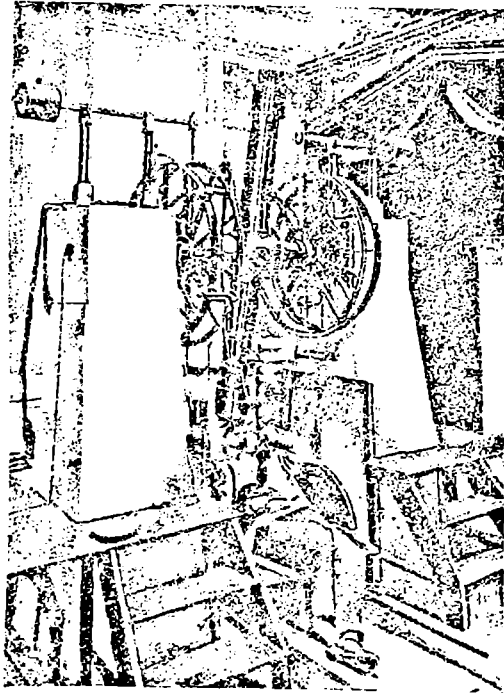
§ 80. **დაკვირვებები მერიდიანული წრის საშუალებით.** მერიდიანული წრის (ნახ. 43) სამზერ მილს დააყენებენ ისე, რომ დასამზერი ვარსკვლავი დღელამური მოძრაობისას მიჰყვებოდეს ზუსტად ჰორიზონტულ ძაფს, მაშინ მაჩვენებელი დანაყოფებიან წრეზე უჩვენებს ვარსკვლავის დახრილობას.

ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენის განსაზღვრისათვის დამკვირვებელი აღნიშნავს ვარსკვლავის მიერ ვერტიკალური ძაფების გადაკვეთის მომენტებს. სიზუსტის გასაზღვრად დაკვირვება ყოველთვის წარმოებს რამდენიმე ძაფზე და არა მარტო შუა ძაფზე. არსებობს რამდენიმე მეთოდი ვარსკვლავის ძაფზე გავლის მომენტის განსაზღვრისათვის. ისტორიულად პირველი იყო:

1) „თვალისა და ყურის“ ხერხი. დამკვირვებელი უღებებს რა ყურს საათის დარტყმებს, გონებაში ითვისებს სექუნდებს და ინიშნავს მომენტებს, როდესაც ვარსკვლავი გადაკვეთს ამა თუ იმ ძაფს. გარკვეული ჩვევის გამომუშავების შემდეგ შეგვიძლია მომენტების შეფასება სექუნდებში და სექუნდის მეათედ ნაწილებში და მათი მაშინვე ჩაწერა, ოკულარზე თვალის მოუშორებლად და სექუნდების დათვლის შეუწყვეტლად.

2) ქრონოგრაფის გამოყენება. რადგან „თვალისა და ყურის“ ხერხი ძალიან დამქანცავია, ამიტომ გასული საუკუნის დამლევეს იგი შეცვალეს ელექტრული რეგისტრაციის ხერხით ქრონოგრაფის საშუალებით, რომელიც აგებულია სატელეგრაფო აპარატის პრინციპზე და ელექტრომაგნიტ-

ლებით შეერთებულია საათთან. თანაირად მბრუნავ ქალაქის ლენტეხე საათი ავტომატურად აღნიშნავს სეკუნდებს, ხოლო დამკვირვებელი ლილის უბრალო დაქერით იმავე ლენტეხე აღნიშნავს ვარსკვლავის დაფზე გავლის მომენტს. ქრონოგრაფით დაკვირვების სიზუსტე კიდევ უფრო იზრდება ე. წ. უპირატესო მიკრომეტრის გამოყენების დროს, ამ შემთხვევაში მილის ფოკუსში გარდა უძრავი ძაფებისა, გვაქვს აგრეთვე მოძრავი ვერტიკალური ძაფი. დამკვირვებელი სპეციალური ხრახნის საშუალებით აყენებს ამ ძაფს ვარსკვლავზე და აყოლებს ძაფს ისე, რომ ის განუწყვეტლივ კვეთდეს ვარსკვლავის გამოსახულებას. იმ მომენტებში, როდესაც მოძრავი ძაფი დაემთხვევა უძრავ ვერტიკალურ ძაფს, ქრონოგრაფი ავტომატურად ახდენს ლენტეხე აღნიშვნებს. დამკვირვებლის მოვალეობა მხოლოდ ისაა, რომ ზუსტად მიაყოლოს ძაფი ისე, რომ არ მისცეს ვარსკვლავს დაცილებების საშუალება. ზოგჯერ ძაფის გადაადგილებაც ხდება განსაკუთრებული მექანიზმით, დამკვირვებელმა მხოლოდ მისი რეგულირება უნდა მოახდინოს.



ნახ. 43.

3) გავლათა რეგისტრაციის ფოტოელექტრულმა მეთოდმა, რომელიც დამუშავებულია საბჭოთა ასტრონომის, სტალინური პრემიის ლაურეატის ნ. ნ. პაელოვის მიერ და პირველად გამოყენებულია 1939 წ. პულკოვოს ობსერვატორიაში, მოახდინა სრული გადატრიალება ასტრონომიულ დაკვირვებათა ტექნიკაში. მასში თვით ვარსკვლავი თავის სინათლით მოქედებს ფოტოელემენტზე; რომელიც გზავნის ქრონოგრაფის ლენტეხე აღსანიშნავად ელექტრულ სიგნალებს. ეს მეთოდი აადვილებს დამკვირვებლის მუშაობას, სრულიად გამორიცხავს მის პიროვნულ შეცდომებს (§ 81 ბ) და მნიშვნელოვნად ზრდის მიღებული შედეგების სიზუსტეს.

ვარსკვლავის ყველა ძაფზე გავლათა მომენტები, აღნიშნულნი საათით, მიიყვანება ერთ შუა ძაფზე; რიგი შესწორებების შეტანის შემდეგ მათი საშუალებით გამოითვლება ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენა.

§ 51. დაკვირვებათა შესწორებანი. ა) ინსტრუქციის ცდომილებები. მერიდიანული წრე, ისე როგორც ყველა ჭედსაწყო, არ შეიძლება დამზადდეს და დაიდგას აბსოლუტური სიზუსტით. ამიტომ მერიდიანულ წრეს ყოველთვის აქვს რიგი შეცდომებისა (ინსტრუქციის შეცდომები). უმთავრესი მათგანია: 1) ლერძი, რომლის გარშემოც იარაღი ბრუნავს, არასოდეს არ არის ზუსტად ჰორიზონტული (დახრა; ის განისაზღვრება ზუსტი თარახოთი); 2) ლერძი არ არის ზუსტად მიმართული აღმოსავლეთ-დასავლეთ ხაზის გასწვრივ (აზიმუტი); 3) მილი არ არის ზუსტად ინსტრუმენტის ლერძის პერპენდიკულარული (კოლიმაცია), ისე რომ ოპტიკური ლერძი სივრცეში მერიდიანის სიბრტყეს კი არ შემოწერს, არამედ რაღაც კონუსურ ზედაპირს; 4) წრე საეგებთ ზუსტად არ არის ჩამოცმული ლერძზე; მისი ცენტრი არ ემთხვევა ლერძს (ექსცენტრი სიტეტი); 5) მანძილები დანაყოფის ხაზებს შორის ყველა არაა ზუსტად ერთნაირი (დაყოფის შეცდომები).

ჩვეულებრივად ინსტრუმენტის ცდომილებები არაა დიდი. მიუხედავად ამისა დაკვირვებებს შეუძლია მოგვეცეს ღირსშესანიშნაო შედეგები მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ შეცდომათა ყველა ცნობილი წყარო მხედველობაში იქნება მიღებული. ამ მუდმივად ცვალებად შეცდომათა განსაზღვრა და მათი ზეგავლენისაგან დაკვირვებათა შესწორება წარმოადგენს პრაქტიკული ასტრონომიის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას.

ის, რაც აქ იყო ნათქვამი მერიდიანულ წრეზე; ეხება აგრეთვე ყველა სხვა საზომ იარაღს. ასტრონომიის ყველა გრანდიოზული შედეგი მცირე შესწორებათა აღსარიცხად გულმოდგინე მუშაობის შედეგადაა მიღებული.

ბ) პიროვნული შეცდომები. დაკვირვების ზოგიერთი შეცდომა გამოწვეულია თვით დამკვირვებლის მიზნით. ყველაზე დახელოვნებულ დამკვირვებელსაც კი არასოდეს არ შეუძლია სრულიად ზუსტად განსაზღვროს საათით ვარსკვლავის ძაფზე გავლის მომენტი (§ 80), იგი ყოველთვის უშვებს რაიმე შეცდომას. ეს პიროვნული შეცდომა სხვადასხვა დამკვირვებლისათვის განსხვავებულია, მაგრამ თითოეული დამკვირვებლისათვის თითქმის უცვლელი რჩება. პირადი შეცდომები აუცილებლად უნდა იქნეს მიღებული მხედველობაში, განსაკუთრებით მაშინ, თუ ერთსა და იმავე სამუშაოს რამდენიმე დამკვირვებელი ასრულებს.

§ 82. საათები. ზუსტი საათის გამოგონება ხელს უწყობდა ასტრონომიის განვითარებას თითქმის ისევე, როგორც სამზერი მილის გამოგონება, რადგან საათი წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საზომ ასტრონომიულ იარაღს.

ა) საქანიანი საათი -- მთავარი ხელსაწყოა დროის გასაზომად. ასტრონომიაში უმრავლესი ასტრონომიული საათის აგებულება არაფრით არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ძალიან კარგი საათების აგებულებისაგან; მათ ამზადებენ უდიდესი შესაძლო სიზუსტით.

საათების ყველაზე მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს საქანი, რომელიც ერთ რხევას ასრულებს სეკუნდში (საშუალო ან ვარსკვლავთმერი დროის).

ქილანათა სისტემის დანიშნულებაა: 1) საქანს ძსუბუჟად უბიძგოს ხოლმე, რომ ის არ გაჩერდეს და 2) მისი სეკუნდიანი რხევების დათვლა და მათი რიცხვის აღნიშვნა ისრების დახმარებით ციფერბლატზე. ბორბლების სისტემის მამოძრავებელ ძალას წარმოადგენს 'აბრის სიმძიმე; ამ ძალის მუდმივი მოქმედების ქვეშ მყოფი ბორბლები იბრუნებდნენ აჩქარებულად და ისრების მოძრაობა უთანაბრო იქნებოდა. ამას ეწინააღმდეგება საქანი: ე. წ. გამშვებების მეშვეობით ის ყოველ სეკუნდში შეაჩერებს ერთ-ერთ ბორბალს და, ამგვარად, ბორბალთა სისტემის მოძრაობას აქცევს თანაბრად, თუმც წყვეტილად; ამავე დროს თვით საქანიც ლებულობს მცირე ბიძგს, რომელიც უნარჩუნებს მას მოძრაობას.

მთავარი მიზეზი, რომელიც ხელს უშლის საათს სავსებით თანაბარ სვლაში, ეს არის ტემპერატურის ცვალებადობა. ტემპერატურის მომატების გამო საქანი წაგრძელდება, რხევა შენელებს და საათი ჩამორჩება; ტემპერატურის შემცირებისას, პირიქით, საათი წინ მიდის. რომ მივალწიოთ სვლის თანაბრობას, საქანი ყოველთვის უნდა აღვჭურვოთ კომპენსატორით. ასე ეწოდება მოწყობილობას, რომლის საშუალებითაც საქანის რხევის ცენტრი მისი დარგრძელების ან დამოკლების შემთხვევაში რჩება ერთსა და იმავე მანძილზე დაკიდების წერტილიდან; ამიტომ რხევის დრო არ იცვლება. ობსერვატორიის მთავარი საათები ხშირად იდგმება სარდაფში, სადაც ტემპერატურა წლის განმავლობაში თითქმის უცვლელია. სვლის მცირე ცვალებადობის, რაც გამოწვეულია ჰაერის წნევის ცვალებადობით, მოსასპობად საათი მოთავსებულია მიწის ხუფის ქვეშ, რომლიდანაც ჰაერი ნაწილობრივ ამოტუმბულია.

ბ) ქრონომეტრი. რადგან საქანიანი საათების ვადატანა გადაადგილებისას შეუძლებელია, ამიტომ განსაკუთრებით ზღვით მოგზაურობის დროს, იხმარება ქრონომეტრები. ესენი სინამდვილეში განსაკუთრებულად ზუსტად გაკეთებული ჩვეულებრივი ზამბარიანი საათებია. ქრონომეტრის ბალანსირი, რომელიც საქანის როლს ასრულებს, აგრეთვე მარაგდება კომპენსატორით; ჩვეულებრივად ის ყოველ ნახევარ სეკუნდში სცემს. სვლის სისწორით საუკეთესო ქრონომეტრებიც კი ჩამოუვარდება საქანიან საათებს.

§ 88. საათის შესწორება. არც ერთი საათი არ მუშაობს აბსოლუტურად სწორად. მაგრამ, რადგან ზუსტი დრო აუცილებელია ჩვენი ქვეყნის პოლიტიკურ, საზოგადოებრივ და სამეურნეო ცხოვრებაში, ამიტომ საბჭოთა პრაქტიკული ასტრონომიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს ზუსტი დროის განსაზღვრა და შენახვა, საათის შესწორების განსაზღვრა.

საათის შესწორება ეწოდება სიდიდეს, რომელიც უნდა დაემატოს საათის ჩვენებას, რომ მივიღოთ ზუსტი დრო. ამიტომ, საათის შესწორება დადებითია, თუ საათი ზუსტ დროზე უკანაა და უარყოფითია, როდესაც საათი წინაა. უშუალოდ დაკვირვებიდან ჩვეულებრივად განისაზღვრება ვარსკვლავიერი საათის შესწორება. ამისათვის აღნიშნავენ ვარსკვლავიერი საათის ჩვენებას რომელიმე ვარსკვლავის მერიდიანზე გავლის მომენტში, რომლის პირდაპირი ალფენა (α) ზუსტადაა ცნობილი. ცხადია, ამ მომენტში ვარსკვლავთმერი დრო ტოლია α-სი. შევადარებთ რა ამ სიდი-

დეს შესაძრწმებელი საათის ჩეენებას T' -ს. მივიღებთ მის შესწორებას. იმი-
სათის რომ საათი სწორად გვიჩეენებდეს, ახლა შეიძლებოდა მისი გადაწევა,
შაგრამ ამას ჩეეულებრივად არ აკეთებენ. შესწორებას იწერენ და უმატებენ
სათანადო ნიშნით იმ დროს, რომელსაც საათი გვიჩეენებს. საათის შესწორე-
ბას u -თი აღნიშნავენ. ცხადია $u = \alpha - T'$.

ვიციტო რა u შესწორება ვარსკვლავიერი საათისა, მისი ჩეენებით შე-
იძლება ნებისმიერი მომენტისათვის გამოვითვალოთ ზუსტი საშუალო მზის-
მიერი T_e დრო, ასევე დეკრეტული დრო T'_e (ან ზოლური T_{II}) და შევა-
დართოთ გამოთვლილი შედეგი მესაბამის საათის ჩეენებას (საშუალო ადგი-
ლობრივ მზისმიერს T'_e -ს ან დეკრეტულს T'_e -ს). გამოთვლილ მომენტებსა და
სათების ჩეენებათა შორის სხვაობები მოგვეცემს შესაბამის შესწორებებს. მა-
გალითად, დეკრეტული საათის შესწორება $u_e = T_e - T'_e$.

ვიციტო რა საათის შესწორება u_e , შეიძლება განესაზღვროთ საათის
 T'_e ჩეენებით ზუსტი დრო დღე-ღამის ნებისმიერი მომენტისათვის:

$$T_e = T'_e + u_e.$$

სათის შესწორება არ რჩება მუდმივი, არამედ განუწყვეტლივ იცვლება
და ასტრონომებს უხდებათ მისი სისტემატური განსაზღვრა დაკვირვებიდან.
ამას აწარმოებს დიდ ობსერვატორიებთან არსებული სპეციალური დროის
სამსახური.

დღე-ღამეში საათის შესწორების ცვლილებას ეწოდება საათის სვლა.
კარგ საათებს სვლა მცირე და, რაც მთავარია, მუდმივი უნდა ჰქონდეს. ის
სათები, რომელთა დღეღამური სვლის რხევა ნახევარ სეკუნდს აღემატება,
ითვლება ძალიან ცუდად.

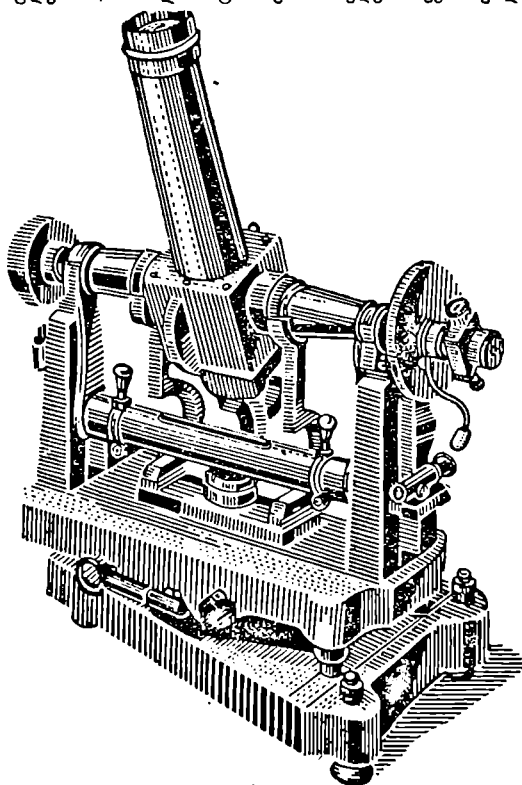
იმისათვის, რომ ყველა დაწესებულებამ, სამსახურმა, ექსპედიციამ და
საბჭოთა კავშირის ყველა მცხოვრებმა იცოდეს ზუსტი დრო, სსრ კავშირის
ობსერვატორიები რადიოთი გადმოგვეცემენ ზუსტი დროის სიგნალებს. ასე,
მოსკოვის პ. კ. ტერენბერგის სახელობის სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტი-
ტუტი ყოველდღიურად 1 საათზე, 7 საათზე, 12 საათზე და 19 საათზე (მოს-
კოვის დროით) გადმოგვეცემს ზუსტი დროის სიგნალებს.

§ 84. საპასაჟო ინსტრუმენტი. საათის შესწორების განსაზღვრისათვის
ჩეეულებრივ იხმარება მცირე გადასატანი ინსტრუმენტი, ე. წ. საპასაჟო
(ე. ი. მნათობის გავლის დასაზღერი ინსტრუმენტი ნახ. 44), რომელიც,
მსგავსად მერიდიანული წრისა, მერიდიანში იდგმება. ის მერიდიანული წრი-
საგან ზუსტი დანაყოფებიანი წრის უქონლობით განსხვავდება. საპასაჟო ინს-
ტრუმენტის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს მონაცვლება:
დაკვირვების დროს იგი შეიძლება სწრაფად შემოვებრუნოთ ისე, რომ ლერ-
ძის აღმოსავლეთი ბოლო (აღმოსავლეთი ცაფვი) დაეყრდნობა დასავლეთ
„ლაგერზე“.

ერთ საღამოს რამდენიმე ვარსკვლავზე დაკვირვებით შეიძლება გან-
საზღვროთ საათის შესწორება სეკუნდის რამდენიმე მეასედის სიზუსტით.

§ 85. რეფრაქცია. ვარსკვლავიდან წამოსული სინათლის სხივი ჟაპერო
სივრციდან დედამიწის ატმოსფეროში შემოსვლისას გადაიხრება სწორხაზო-
ვანი მიმართულებიდან რეფრაქციის (ე. ი. გარდატეხის) კანონების თა-

ნახმად. გარდატეხა არ სდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მნათობი ზენიტშია: მაშინ სხივები ატმოსფეროს ფენებში შემოდის მის პერპენდიკულარულად. დაბრილ სხივებს კი რეფრაქცია ამრუდებს და მათ უახლოებს ვერტიკალურ მიმართულებას. საწყისი წიმართულებიდან გადახრა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია ატმოსფეროს სიმკვრივე. რადგან ატმოსფეროს სიმკვრივე იზრდება დედამიწის ზედაპირთან მიახლოებისას, ამიტომ სხივი, შემოვა რა ატმოსფეროში, უფრო და უფრო ილუნება და იღებს მრუდი წირის სახეს. ჩვენ ვხვდებით მნათობს იმ მიმართულებით, რომლითაც სხივი მოხვდება ჩვენ თვალს; ამიტომ, რეფრაქციის გამო



ნახ. 44.

მნათობი ჩვენ გვეჩვენება ჰორიზონტს ზევით ზენიტურ მანძილზე $\chi' < \chi$, სადაც χ მნათობის ქეშმარიტი ზენიტური მანძილია, ე. ი. ის ზენიტური მანძილი, რომელიც ექნებოდა მნათობს, რომ დედამიწის ატმოსფეროში არ იყოს გარდატეხა.

რეფრაქციის ფორმულის გამოყენებისას უშვებენ, რომ ატმოსფერო შედგება რიგი სფერული ფენებისაგან, ამასთან თითოეული ფენის შიგნით გარდატეხა ერთნაირია და იცვლება მხოლოდ ფენიდან ფენაზე გადასვლისას (ნახ. 45). M მნათობიდან შემოჭრილი სხივი დედამიწის ატმოსფეროს a წერტილში გარდატეხდება და მიუახლოვდება aO ვერტიკალს, სადაც O დედამიწის ცენტრია. b წერტილში ის განიცდის ხელახლა გარდატეხას და ა. შ. A წერტილში მყოფი დამკვირვებელი დაინახავს მნათობს

იმ მიმართულებით, რომელიც ჰქონდა სხივს მის უკანასკნელ წერტილში, ე. ი. AM' სწორი ხაზის მიმართულებით. ცხადია, ვერტიკალურ მიმართულებასთან ის შეადგენს ნაკლებ კუთხეს (χ'), ვიდრე ის სწორი ხაზი, რომლის მიმართულებით ჩვენ დავინახავდით მნათობს ატმოსფერო რომ არ ყოფილიყო.

ზენიტში რეფრაქცია ნულის ტოლია; ის შესამჩნევად იზრდება რაც უფრო უახლოვდებით ჰორიზონტს და ჰორიზონტზე კი ნახევარ გრადუსს აღემატება.

გარდა ამისა, რეფრაქცია დამოკიდებულია ჰაერის სიმკვრივეზე, მაშასადამე, მის ტემპერატურაზე და წნევაზე.

ნებისმიერი ტემპერატურის (t°) და ჰაერის (p) წნევის შესაბამის რეფრაქციას ეწოდება კემზნარიტი რეფრაქცია. რეფრაქციას „ნორმალურ პირობებში“, ე. ი. როცა $t^\circ = +10^\circ C$ და $p = 760$ მმ. ვერცხლისწყლის სვეტისას, საშუალო რეფრაქცია ეწოდება.

რეფრაქციის ზუსტი აღრიცხვა რთული ფორმულებითაა მოცემული. პირველი მიხალოებისას შეიძლება უგულვებელყოთ დედამიწის ზედაპირის სიმრუდე დაკვირვების ადგილის მახლობლობაში და დედამიწის ატმოსფერო გამოვსახოთ ბრტყელი ფენებით, სხვადასხვა გარდატეხის კოეფიციენტებით $n_1, n_2, n_3 \dots$ (ნახ. 46). ეთქვამთ, ფენების საზღვრებზე სინათლის სხივის დაცემის შესაბამისი კუთხეები არის

$$i_m, i_{m-1}, i_{m-2}, \dots, i_2, i_1$$

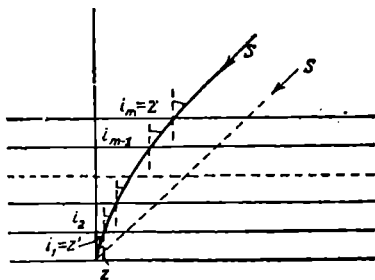
მაშინ სინათლის გარდატეხის კანონით შეიძლება დაიწეროს:

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_{m-1}} = \frac{n_{m-1}}{n_m},$$

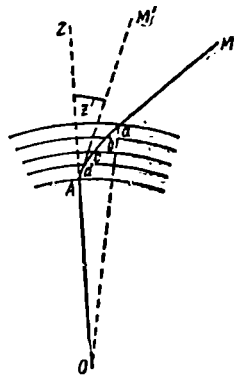
$$\frac{\sin i_{m-1}}{\sin i_{m-2}} = \frac{n_{m-2}}{n_{m-1}},$$

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2}.$$

ამ ტოლობების მარჯვენა და მარცხენა მხარეების გამრავლებით მივიღებთ:



ნახ. 46.



ნახ. 45.

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_m}. \quad (1)$$

რადგან ატმოსფეროს გარე ფენა ევკლის უპაერო სივრცეს და მისი სიმკვრივე ძალიან მცირეა, ამიტომ შეიძლება მივიღოთ, რომ მისი გარდატეხის კოეფიციენტი

$$n_m = 1.$$

შემდეგ, $i_m = \chi$, სადა χ მნათობის კემზნარიტი ზენიტური მანძილია, ხოლო $i_1 = \chi'$, ე. ი. მნათობის ხილულ ზენიტურ მანძილს.

თუ ჩავსვამთ i_1, i_m და n_m მნიშვნელობებს (1)-ში, მივიღებთ:

$$\frac{\sin \chi}{\sin \chi'} = n_1.$$

აღვნიშნავთ რა რეფრაქციის სიდიდეს (ე. ი. სხვაობას $\chi - \chi'$) ρ -ით, მივიღებთ:

$$\chi = \chi' + \rho,$$

$$\frac{\sin \zeta' \cos \rho - \cos \zeta' \sin \rho}{\sin \zeta'} = n_1 \quad (2)$$

ζ' ზენიტური მანძილებისათვის 0° -დან 70° -მდე ρ სიდიდე ძლიერ მცირეა, ამიტომ შეიძლება დავუშვათ

$$\cos \rho = 1 \text{ და } \sin \rho = \rho \sin 1'' ,$$

მაშინ რეფრაქციის ფორმულა, როცა $\zeta' < 70^\circ$, მიიღებს საბოლოო სახეს:

$$\rho = \frac{n_1 - 1}{\sin 1''} \operatorname{tg} \zeta' \quad (3)$$

ნორმალურ პირობებში ($t^\circ = +10^\circ C$ და $p = 760$ მმ ვერცხლისწყლის სვეტისას) დედამიწის ზედაპირთან ჰაერის გარდატეხის კოეფიციენტი $n_1 = 1,00028$ და საშუალო რეფრაქცია (გაეინსენოთ, რომ $\sin 1'' = 0,00000485$) განისაზღვრება:

$$\rho = \frac{1,00028 - 1}{0,00000485} \operatorname{tg} \zeta' .$$

ან, საბოლოოდ

$$\rho = 58'',2 \operatorname{tg} \zeta' \quad (4)$$

ამგვარად, 70° -ზე ნაკლები ზენიტური მანძილებისათვის რეფრაქციის სიდიდე ρ შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

$$\rho = 58'',2 \operatorname{tg} \zeta' .$$

კოეფიციენტს $58'',2$ -ს ეწოდება რეფრაქციის მუდმივი. როცა $\zeta' = 70^\circ$ ეს ფორმულა იძლევა $1''$ -ზე მეტ შეცდომას, ხოლო ჰორიზონტთან შემდგომი მიახლოებისას ის სრულიად გამოუსადეგარია, რადგან, თუ $\zeta = 90^\circ$, იგი იძლევა უსასრულო დიდ სიდიდეს, მაშინ როდესაც რეფრაქციის მნიშვნელობა ჰორიზონტზე დაახლოებით $35'$ -ია.

ქვეშარტი რეფრაქცია გამოითვლება სპეციალური ცხრილებით; მათგან ყველაზე ზუსტს წარმოადგენს პულკოვოს ცხრილები. საშუალო რეფრაქცია მიიღება ქვემოთ მოყვანილი ცხრილიდან.

ძალიან დაბალი ტემპერატურის დროს რეფრაქცია განსაკუთრებით ძლიერდება. პოლარულ ქვეყნებში აღნიშნულია შემთხვევები, როდესაც რეფრაქცია ჰორიზონტზე 2° -ს აღემატებოდა.

მნათობთა აზიმუტზე რეფრაქცია არ მოქმედებს.

საშუალო რეფრაქციის ცხრილი

(როდესაც $t^\circ = +10^\circ C$ და $p = 760$ მმ ვერცხლისწყლის სვეტისას)

ზენიტური მანძილი	რეფრაქცია	ზენიტური მანძილი	რეფრაქცია	ზენიტური მანძილი	რეფრაქცია
0°	$0'0''$	60°	$1'40''$	$88^\circ 0'$	$18'09''$
10°	$0'10''$	70°	$2'39''$	$89^\circ 0'$	$24'25''$
20°	$0'21''$	80°	$5'16''$	$89^\circ 30'$	$29'26''$
30°	$0'33''$	82°	$6'30''$	$90^\circ 0'$	$34'54''$
40°	$0'48''$	84°	$8'23''$		
50°	$1'09''$	86°	$11'39''$		

§ 86. რეფრაქციის შედეგები. 1) ზეგავლენა ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტებზე. ჰორიზონტთან რეფრაქცია მნათობს მზის კუთხური დიამეტრის სიდიდეზე (§ 16) მეტად წვეს ზევით. ამიტომ, როდესაც ჩვენ ვხედავთ, რომ მზის ამოსვლის მომენტში გამოჩნდა მზის მთელი დისკო, სინამდვილეში ის მაშინ მთლიანად ჰორიზონტს ქვეშაა. ამგვარად, რეფრაქციის გამო მზის ამოსვლა რამდენადმე ადრე ხდება (ზომიერ განედებზე რამდენიმე მინუტით), ხოლო ჩასვლა ამდენადმე გვიანდება და დღე აღმოჩნდება უფრო ხანგრძლივი, ვიდრე იმ შემთხვევაში ატმოსფერო რომ არ ყოფილიყო.

მზის ჩასვლის მომენტად ითვლება ჩასვლის მომენტი მისი ზედა კიდისა, რომელიც დაახლოებით 16'-ით ზევითაა მზის ცენტრზე. გარდა ამისა, რეფრაქცია ზევით წევს მზეს კიდევ საშუალოდ 35'-ით, ამიტომ, როდესაც მზის ქვეშარიტი ცენტრი ჰორიზონტის ქვეშ 51'-ზე იმყოფება, მაშინ მისი ზედა ხილული კიდე სწორედ ჰორიზონტზეა. ჩასვლის გამოთვლა წარმოებს § 61-ის (12) ფორმულით, ამასთანავე $\chi = 90^{\circ}51'$, $\cos \chi = -0,0148$:

$$\cos t = -(0,0148 \sec \varphi \sec \delta + t \varphi t \varphi \delta).$$

ეს ფორმულა იძლევა ჩასვლის (ან ამოსვლის $24^h - t$) ქვეშარიტ მზის-მიერ დროს; საშუალო დროზე გადასასვლელად უნდა მიემატოს დროის განტოლება. მზის ცენტრის დახრილობა (δ) აიღება კალენდრიდან ჩასვლის (ან ამოსვლის) მომენტისათვის, რომელიც დაახლოებით წინასწარაა ცნობილი.

2) რეფრაქციით აიხსნება აგრეთვე ჰორიზონტთან მზისა და მთვარის დისკოს ფორმის ცვლილებები: რეფრაქცია მნათობის ქვედა კიდეს უფრო ძლიერ წევს ზევით, ვიდრე ზედას (როგორც ცხრილიდან ჩანს, 5'-ზე მეტად) და ამიტომ მისი ვერტიკალური დიამეტრი დაახლოებით 1/6-ით მოკლდება, მაშინ, როდესაც ჰორიზონტული დიამეტრი რეფრაქციის გამო არ იცვლება. ამიტომ მნათობის დისკო ოვალურ ფორმას ღებულობს. მზისა და მთვარის დისკოს ხილული სიდიდის გაზრდა ჰორიზონტთან წარმოადგენს ოპტიკური ილუზიის შედეგს.

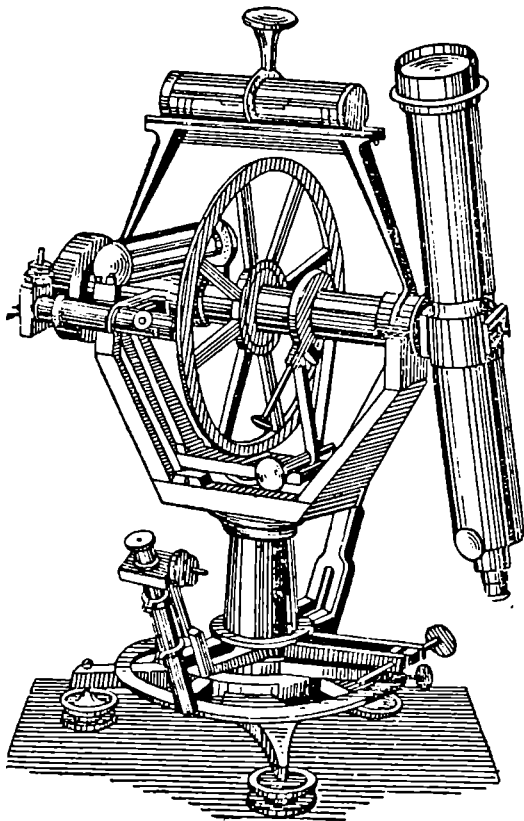
§ 87. უნივერსალური იარაღი (თეოდოლიტი). ამ პატარა გადასატანი ინსტრუმენტის დანიშნულებაა ჰორიზონტული კოორდინატების, ე. ი. სიმაღლისა და აზიმუტის განსაზღვრა. მას აქვს ორი ღერძი და ორი დანაყოფებიანი წრე: ერთი ვერტიკალური და მეორე ჰორიზონტული; ორივე გაცვლებით მცირე ზომისაა, ვიდრე მერიდიანული წრისა (ნახ. 47).

ვერტიკალური წრე მილთან და ჰორიზონტულ ღერძთან ერთად ბრუნავს; ის ისეა დამაგრებული, რომ მაჩვენებლის (მიკროსკოპის) პირდაპირ ღებება 0° დანაყოფი, როდესაც მილი ზენიტშია მიმართული. ამ წრეზე აითვლება მნათობთა ზენიტური მანძილები ისევე, როგორც მერიდიანულ წრეზე დახრილობები.

ხელსაწყოს მთელ ზედა ნაწილს შეუძლია შემობრუნება მთავარ ვერტიკალურ ღერძთან ერთად, და ამიტომ მილი შეიძლება მიმართულ იქნეს ცის ნებისმიერ წერტილში. იარაღი შეიძლება ისე დაეყენოს, რომ ვერტიკალურ ღერძთან ერთად მბრუნავი მაჩვენებელი მიკროსკოპი უძრავ ჰორი-

ზონტულ წრეზე 0°-ს უჩვენებდეს, როდესაც მილი მერიდიანშია მიმართული. თუ მილს მივმართავთ მნათობზე, რომელიც მერიდიანში არ იმყოფება, მაშინ მაჩვენებელი გვიჩვენებს მნათობის აზიმუტს. ზენიტური მანძილისა და აზიმუტის გაზომვით, და რეფრაქციის მხედველობაში მიღებით, შეიძლება გამოვთვალოთ ჰორიზონტი. აღვლენა და დახრილობა, თუ ცნობილია დაკვირვების ზუსტი დრო.

§ 58. უნივერსალური იარაღის გამოყენება. უნივერსალურ იარაღს მერიდიანულ წრესთან ის უპირატესობა აქვს, რომ მისი საშუალებით შეიძლება



ნახ. 47.

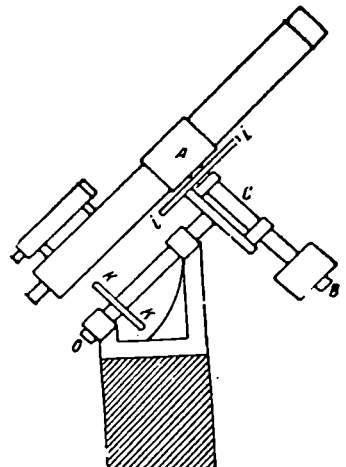
დავაკვირდეთ მნათობს არა მარტო მერიდიანში, არამედ ცის ნებისმიერ წერტილში. მაგრამ ის მერიდიანულ წრეზე უფრო რთულია, მაშასადამე, მისი შეცდომათა აღრიცხვა უფრო ძნელია, ვიდრე მერიდიანული წრით და საპასაყო. იარაღით დაკვირვების შემთხვევაში. ამიტომ უნივერსალური იარაღი გამოიყენება თითქმის მხოლოდ და მხოლოდ ექსპედიციებში, როგორც გადასატანი იარაღი. იქ მას აქვს შემდეგი გამოყენება: 1) ჰორიზონტული წრით განისაზღვრება უმთავრესად დედამიწის საგნების მიმართულებანი ან აზიმუტები გეოდეზიური აგეგმვისათვის; 2) ვარსკვლავთ ზენიტური მანძილები, გაზომილი მერიდიანის მახლობლობაში, გვაძლევს ადგილის განედს; 3) მერიდიანიდან დაშორებით გაზომილი ზენიტური მანძილები იძლევა საათის შესწორებას სიზუსტით, რომელიც ცოტათი

ჩამოუვარდება საპასაყო იარაღით განსაზღვრულს. ამისათვის იარაღს აყენებენ უძრავად და დამკვირვებელი საათით ზუსტად აღნიშნავს მომენტს, როდესაც ვარსკვლავი ზევით ან ქვევით გადაადგილებისას გადაჰყვეთს ჰორიზონტულ ძაფს მილის მხედველობის არეში. შემდეგ, ვარსკვლავის ზენიტური მანძილი განისაზღვრება ვერტიკალურ წრეზე ანათვლებით. ზენიტურ მანძილებზე

დაკვირვებისას საჭიროა, გარდა იარაღის ცდომილებისა, რეფრაქციის განსაკუთრებით ზუსტად აღრიცხვა.

§ 89. ეკვატორიალი. თუ ტელესკოპის ერთ ღერძს დავაყენებთ სამყაროს ღერძის პარალელურად, მაშინ მასზე დანაგრებული წრე იქნება ცის ეკვატორის პარალელური. ამ წრეზე შეიძლება ათვლილ იქნეს საათის კუთხე ან პირდაპირი აღელენა. ასეთ დანადგარს, რომელშიაც ბრუნვის მთავარი ღერძი მიმართულია სამყაროს ღერძის პარალელურად, უწოდებენ ეკვატორულ ან პარალაქტურ დანადგარს, ხოლო ტელესკოპს, დადგმულს ასეთნაირად, უწოდებენ ეკვატორიალს.

პარალაქტური დანადგარი სქემატურად მოცემულია ნახ. 48-ზე. *OC* ღერძი პარალელურია სამყაროს ღერძისა და იწოდება პოლარულ ღერძად. მასზეა ჩამოცმული და მასთან ერთად ბრუნავს: 1) ერთ ბოლოზე—ციის ეკვატორის პარალელური, დანაყოფებიანი წრე *kk*, რომელიც იწოდება საათის წრედ, რადგან მასზე აითვლება საათის კუთხეები; 2) მეორე ბოლოზე—გარსაკრები (სალტები), რომელშიაც ბრუნავს პოლარული ღერძის პერპენდიკულარული მეორე ღერძი *ე. წ.* დახრილობის ღერძი (ეს ღერძი უნივერსალურ იარაღში იყო ჰორიზონტული). დახრილობის ღერძის ერთ ბოლოზე მიმაგრებულია სამზერი მილი *A* და დახრილობის წრე *ii*, რომელიც ბრუნავს მილთან ერთად, მეორეზე—საპირწონე *B*. ნახ. 48-ზე მილი მიმართულია პოლუსისაკენ; მილის ასეთ მდებარეობაში დახრილობის წრის მაჩვენებელი 90° -ს უჩვენებს (პოლუსის დახრილობა). დავუშვათ, რომ ჩვენ გვინდა მივმართოთ მილი $+60^{\circ}$ დახრილობის მქონე მნათობისაკენ. ამისათვის: 1) გადავწევთ მილს პოლუსიდან 30° -ით დახრილობის ღერძის ირგვლივ ბრუნვით, მაშინ დახრილობის წრეზე მაჩვენებელი 60° -ს გვიჩვენებს, *ე. ი.* მნათობის დახრილობას; 2) ვაბრუნებთ იარაღი მთლიანად პოლარული ღერძის გარშემო; რადგანაც მილის ოპტიკური ღერძი ამ დროს ყოველთვის 30° -ით იქნება გადახრილი პოლარული ღერძიდან, ამიტომ ის გაჰყვება ჩვენი მნათობის დღელამურ პარალელს. როდესაც მნათობი აღმოჩნდება მილის მხედველობის არის ცენტრში, მაშინ მაჩვენებელი საათის წრეზე უჩვენებს მნათობის საათის კუთხეს.



ნახ. 48.

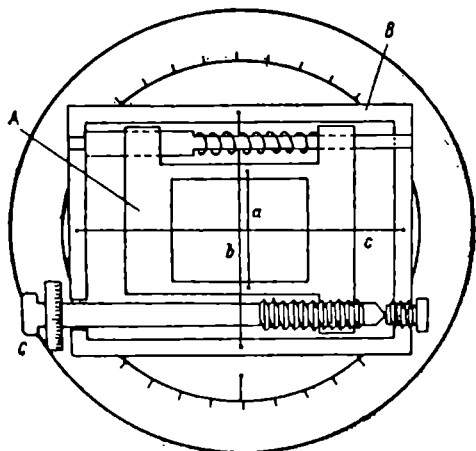
ეკვატორული დანადგარის მოხერხებულობა.
1) ტელესკოპი შეიძლება მივმართოთ თვალთ უხილავ მნათობისაკენ, თუ ცნობილია მისი ეკვატორული კოორდინატები და ვარსკვლავთმეორი დრო. დავაყენებთ რა ტელესკოპს ისე, რომ ერთი წრე გვიჩვენებდეს მოცემულ დახრილობას, მეორე—საათის კუთხეს, მხედველობის არეში ჩვენ დავინახავთ საძიებელ მნათობს.

1) ტელესკოპი შეიძლება მივმართოთ თვალთ უხილავ მნათობისაკენ, თუ ცნობილია მისი ეკვატორული კოორდინატები და ვარსკვლავთმეორი დრო. დავაყენებთ რა ტელესკოპს ისე, რომ ერთი წრე გვიჩვენებდეს მოცემულ დახრილობას, მეორე—საათის კუთხეს, მხედველობის არეში ჩვენ დავინახავთ საძიებელ მნათობს.

2) ყოველი მნათობი დღეღამური მოძრაობის გამო სწრაფად გადის უძრავი მილის მხედველობის არიდან. რომ მიეყვით მას ეკვატორიალით, ამისათვის საჭიროა განუწყვეტლივ თანაბრად ვაბრუნოთ იარაღი მართკოპოლარული ღერძის გარშემო. ეს ბრუნვა ჩვეულებრივ წარმოებს საათის მექანიზმით, ისე რომ მილი ავტომატურად მიჰყვება ვარსკვლავს და მნათობი შეიძლება დარჩეს მხედველობის არეში რამდენ ხანსაც გვინდა. თუ ჩვენ მოვისურვებდით გვეთვალთვალა ვარსკვლავისათვის, მაგალითად, უნივერსალური იარაღით, მაშინ მოგვიხდებოდა მილის ერთდროული მობრუნება ორი ღერძის გარშემო, პორიზონტულის და ვერტიკალურის, და ამასთანავე არა-

თანაბრად (ეკვატორული დანადგარების მაგალითები იხ. ნახ. 29 და 50).

§ 40. დაკვირვებები ეკვატორიალით. ძაფიანი მიკრომეტრი. წინააღმდეგ მერიდიანული წრისა, ეკვატორიალში მთავარი მნიშვნელობა აქვს სამზერ მილს, ხოლო დანაყოფებიანი წრეები მხოლოდ აადვილებს მნათობის მოძებნას. სინჯეს მათი გამოყენება შებრუნებული ამოცანის გადასაწყვეტად: მიმართეს რა მილი უცნობ მნათობზე, აითვალეს მისი კოორდინატები ζ და η საათის წრეზე და დახრი-



ნახ. 49.

ლობის წრეზე, მაგრამ ეს მეთოდი არაზუსტ შედეგებს იძლევა, რადგან ღერძები და წრეები იღუნებიან დახრილი მდგომარეობის გამო; ამიტომ მნათობთა კოორდინატები განისაზღვრება შემდეგი არაპირდაპირი გზით.

რეფრაქტორის ოკულართან თავსდება მცირე დამხმარე იარაღი, ე. წ. მიკრომეტრი, რომელიც იხმარება მცირე კუთხეების (რკალის რამდენიმე მიწუტის) გასაზომად. ყველაზე სრულქმნილი ძაფიანი მიკრომეტრებით (ნახ. 49) იზომება ასეთი კუთხეები უფრო ზუსტად, ვიდრე მერიდიანული წრით. ძაფიანი მიკრომეტრის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ ერთ-ერთი მისი ძაფი (a), დაქიმული რეფრაქტორის ობიექტივის ფოკუსში, დამაგრებულია ჩარჩოზე (A), რომელიც შეიძლება გადაადგილდეს განსაკუთრებული ხრახნის (C) ბრუნვით; ხრახნის სრულ ბრუნვათა რიცხვი და ბრუნვის ნაწილები აითვლება ძალიან ზუსტად. ძაფები b და c დამაგრებულია უძრავ B ჩარჩოზე.

დავუშვათ, რომ მიკრომეტრის საშუალებით უნდა განისაზღვროს K კომეტის α და δ . ამისათვის ავარჩევთ M ვარსკვლავს, რომელიც მოჩანს მხედველობის არეში კომეტასთან ერთად; ვაყენებთ რა მიკრომეტრის α ძაფს, მა-

გალითად, ჯერ *M*-ზე, შემდეგ *K*-ზე, აღენიშნავთ თუ ამ დროს რამდენი სრული ბრუნვა და ბრუნვის ნაწილები შეასრულა მიკრომეტრის (*C*) ხრახნმა; შემდეგ ბრუნვათა რიცხვი შეიძლება გამოსახულ იქნეს რკალის მინუტებში და სეკუნდებში. ამგვარად, მიკრომეტრი იძლევა მხოლოდ განსასაზღვრავ მნათობის და შესადარებელი ვარსკვლავის კოორდინატთა შორის სხვაობას $\Delta\alpha$ და $\Delta\delta$ -ს. კოორდინატების ასეთ გამოთვლას უწოდებენ მათ შეფარდებით განსაზღვრას (იხ. § 78 ბ). კოორდინატების აბსოლუტური განსაზღვრა ხდება მხოლოდ მერიდიანული წრის დახმარებით.

XX ს. პირველ ათეულ წლებამდე მიკრომეტრი ძლიერ რეფრაქტორთან ითვლებოდა ერთ-ერთ უზნიშვნელოვანეს ასტრონომიულ იარაღად. მას იყენებდნენ ცთომილებისა და კომეტების კოორდინატების განსაზღვრისათვის, მათი ხილული დიამეტრების გასაზომად, მზის, მთვარის და ცთომილების დისკოზე წერტილების მდებარეობების განსაზღვრისათვის და ა. შ.

უკანასკნელ ხანებში მისი გამოყენების არე თანდათანობით მცირდება. ბევრ ადვილას მიკრომეტრი უკვე განდევნა ფოტოგრაფიამ.

§ 91. ცის ფოტოგრაფია (ასტროფოტოგრაფია). ფოტოგრაფიას ასტრონომიაში ფართო გამოყენება აქვს და მისი გამოყენების არე ყოველწლიურად იზრდება. უფრო ადვილია დავასახელოთ ის დარგები, საიდანაც ფოტოგრაფიას ჯერ კიდევ არ განუდევნია ძველი დაკვირვებები თვალით (ვიზუალური დაკვირვებები), ვიდრე ისინი, სადაც მან ისინი წარმატებით შეცვალა.

ფოტოგრაფია განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება მზის, ვარსკვლავთ სპექტრების შესწავლისას, დიდი რაოდენობა სუსტი ვარსკვლავების კოორდინატების განსასაზღვრავად და ცვალებადი ვარსკვლავების შესასწავლად.

ფოტოგრაფია არ გამოიყენება საველე, საზღვაო და საჰაერო ასტრონომიაში, ე. ი. განედისა და გრძედის განსაზღვრისას. ფოტოგრაფია ჯერჯერობით იძლევა უფრო ცუდ შედეგებს, ვიდრე ვიზუალური დაკვირვებები: ა) მთვარისა და ცთომილების ზედაპირების დეტალური შესწავლისას, ბ) ორმაგი ვარსკვლავების დაკვირვებისას.

ასტრონომიის იმ დარგებში, სადაც ფოტოგრაფია გამოიყენება, ფოტოგრაფიულმა დაკვირვებებმა ვიზუალურთან შედარებით შემდეგი უპირატესობა გამოამჟღავნეს:

ა) ფოტოფირფიტაზე სინათლის მოქმედება მით უფრო ძლიერია, რამდენადაც გრძელია ექსპოზიცია. რამდენიმე სეკუნდიან ექსპოზიციისას ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე გამოდის მხოლოდ მცირე რაოდენობის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები, ხოლო ფოტოგრაფირების გაგრძელებისას თანდათანობით გამოჩნდება სულ უფრო მკრთალები, მაშინ, როდესაც თვალი ტელესკოპით რამდენიმე საათით განუწყვეტელი დაკვირვების შემდეგ მერ ვარსკვლავებს კი არ დაინახავს, ვიდრე პირველ მინუტებში, არამედ ნაკლებსაც გადაღლის გამო, სხვანიარად რომ ვთქვათ, ფოტოფირფიტას აქვს უნარი სინათლის შთაბეჭდილებათა შეჯამებისა, ამიტომ ასტროფოტოგრაფირებისას ექსპოზიცია გრძელდება ზოგჯერ რამდენიმე საათს, ათეულ საათსაც კი (რამდენიმე ღამეს თანმიმდევრობით ერთსა და იმავე ფირფიტაზე). ასეთი გრძელი ექსპოზიციის შედეგად მიიღება ფოტოსურათი ისეთი მკრთალი ვარსკვლავების

და ნისლეულებისა, რომლებიც თვალთ ჯერ კიდევ არც ერთ ტელესკოპში არ მოჩანს.

ბ) ერთი ფოტოგრაფიული სურათი აღბეჭდავს ფირფიტაზე ერთ ბაზალ-შიდ მრავალ ვარსკვლავს, რომლებიც ვიზუალური დაკვირვების დროს დამზერილი უნდა ყოფილიყვნენ თითოეული ცალ-ცალკე. ამის მაგივრად ასტრონომი იკვლევს მიღებულ ნეგატივს და ლაბორატორიაში მშვიდად ზომავს განსაკუთრებული იარაღის დახმარებით ყველა გადაღებული ვარსკვლავის მდებარეობებს შედარებით დიდი სიზუსტით და დაბეჯითებით, ვიდრე ეს შეიძლება გაკეთდეს ტელესკოპით. საექვო შემთხვევაში ეს გაზომვები შეიძლება განმეორდეს ნებისმიერჯერ.

გ) ფოტოგრაფიული ნეგატივები წარმოადგენს დოკუმენტებს, რომლებიც არაა დამოკიდებული დამკვირვებლის პირად შეცდომაზე. ისინი დაცულია განსაკუთრებულ არქივებში („მინის ბიბლიოთეკებში“). ასეთ არქივებში ყოველთვის შეიძლება მიიღოს ზუსტი ცნობა იმის შესახებ, თუ როგორი სახე ჰქონდა ცის ნებისმიერ უბანს გარკვეულ საღამოს, ზოგჯერ მრავალი წლის წინათაც.

ფოტოგრაფიული დაკვირვების ამ სამ ძვირფას თვისებას პროფ. ვ. კ. ცერასკი გამოთქვამდა სამი სიტყვით: 1) ინტეგრალობა, 2) მომენტალურობა, 3) დოკუმენტალურობა.

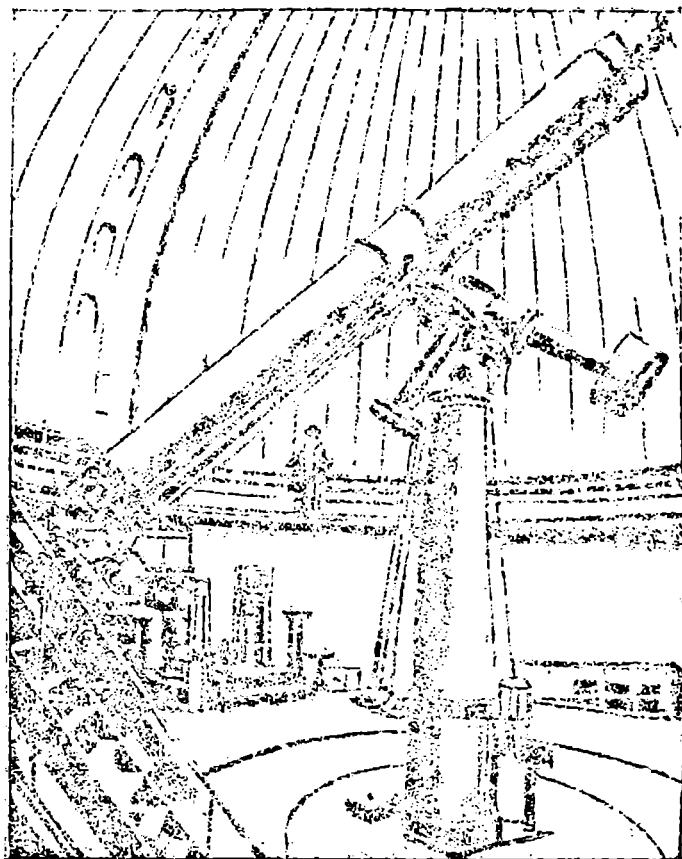
უკანასკნელ წლებში ასტრონომიაში გამოყენებულია აგრეთვე კინოგადაღება, განსაკუთრებით მზის შესწავლის და მზის დაბნელებებზე დაკვირვებების დროს.

§ 82. ასტროფოტოგრაფიული იარაღები. ასტრონომიული ფოტოგრაფიისათვის გამოიყენება სამი სახის იარაღი:

ა) ასტროგრაფი—ფოტოგრაფიული რეფრაქტორი, რომელიც განსხვავდება ჩვეულებრივი რეფრაქტორისაგან ობიექტივის მიწების ფორმით. სახელდობრ, მის ობიექტივს აკეთებენ „ქიმიური სხივების მიმართ აქრომატულს“, ე. ი. მას მოპირკეთების დროს აძლევენ ისეთ ფორმას, რომ ის კარგად კრებს ფოკუსში ფოტოფირფიტაზე ძლიერად მოქმედ სპექტრის იისფერ და ულტრაიისფერ სხივებს. თვალთ ხილულ სხივებს კი იგი ცუდად კრებს და ამიტომ უვარგისია ვიზუალური დაკვირვებებისათვის. ასტროგრაფს ოკულარის მაგივრად მორგებული აქვს კასეტი ფოტოგრაფიული ფირფიტისათვის. ჩვეულებრივად ასეთ მილებს აკეთებენ ორმაგს (ნახ. 50). ფოტოგრაფიული ობიექტივის გვერდით ათავსებენ ჩვეულებრივ ვიზუალურ ობიექტივს, ხოლო კასეტის გვერდით—ოკულარს. ფოტოგრაფირების დროს აპარატი მიჰყვება ვარსკვლავებს საათის მექანიზმით. ხოლო დამკვირვებელი, არ ენდობა რა მთლიანად მექანიზმს, განუწყვეტლივ ადევნებს თვალს ოკულარში, რომ ვარსკვლავები არ გადაადგილდნენ ამ საკონტროლო, ანუ წამყვანი მილის მხედველობის არეში თავიანთ ადგილიდან.

ასტროგრაფი, ასტროფოტოგრაფიის უმნიშვნელოვანესი იარაღია. მისი საფოკუსო მანძილი დიდია, 10-ჯერ მეტია ობიექტივის დიამეტრზე. ის იძლევა ცის მცირე, დიამეტრით 2°-მდე ნაწილების გამოსახულებებს, მაგრამ საზოგადოებრივად შედარებით დიდ მასშტაბში.

ბ) ცის დიდი არეების გადასაღებად გამოიყენება შოკლეფოკუსიანი ასტროფოტოგრაფიული კამერები ძლიერი ობიექტივებით. მათაც როგორც ასტროგრაფებს აქვთ ეკვატორული დანადგარი საათის მექანიზმით და საგიდირებელი მილი. ასეთი კამერებით შეიძლება ერთბაშად, მხოლოდ მცირე



ნახ. 50. პულკოვოს 30-დუმიანი რეფრაქტორი.

რე მასშტაბში, გადაღებულ იქნეს ზოგჯერ 30° -ზე მეტი დიამეტრის ცის უბანი, ე. ი. მთელი თანავარსკვლავედები.

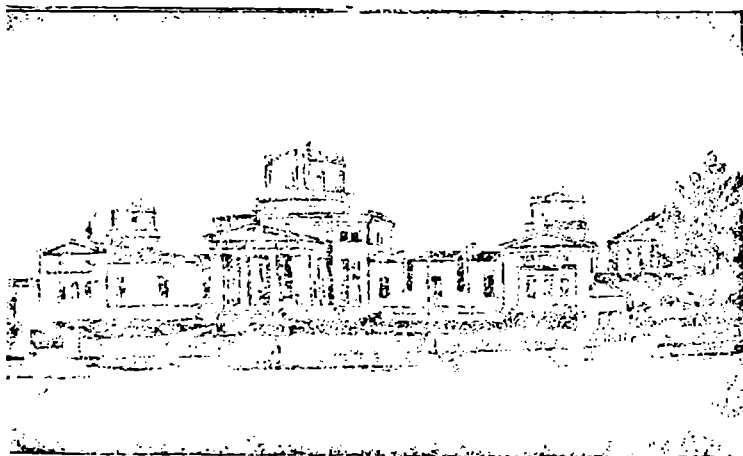
გ) ბოლოს, თვალთ დაკვირვებისათვის აგებული ყოველი რეფლექტორი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფოტოგრაფირების მიზნით. უკანასკნელ ხანებში ყველა დიდი რეფლექტორი გამოიყენება თითქმის მხოლოდ და მხოლოდ ფოტოგრაფიული მიზნებისათვის. ისინი გამოიყენებიან ყველაზე სუსტი

ობიექტის გადასაღებად, მაგალითად, ნისლეულების და ვარსკვლავთ გროვე-
ბისათვის, და ამ დარგში მათ ძალიან მნიშვნელოვანი შედეგები მოგვეცეს (იხ.
თავი XV).

§ 93. **ობსერვატორიები.** დაწესებულებები, რომლებშიაც მუშაობენ ასტ-
რონომიული თეორიისა და პრაქტიკის საკითხებზე, ასტრონომიულ ობსერ-
ვატორიებად იწოდება. ობსერვატორიების შექმნა ჯერ კიდევ ტელესკოპების
გამოგონებამდე დაიწყო. საშუალო საუკუნეების ერთ-ერთ შესანიშნავ ობსერ-
ვატორიათაგანს წარმოადგენდა ულუგბეკის ობსერვატორია სამარყანდში (XV
საუკუნის პირველი ნახევარი), რომლის ნარჩენები ჩვენს დრომდე შემონახუ-
ლი. ის აღჭურვილი იყო გიგანტური ზომების კუთხმზომი იარაღებით. ასტ-
რონომიის განვითარებაში დიდი როლი შეასრულა ტიხო ბრაჰეს ობსერვა-
ტორიამ კუნძულ ვენზე.

თითოეულ თანამედროვე დიდ ობსერვატორიაში დგას მნათობთა მდე-
ბარეობის განმსაზღვრელი იარაღები, იარაღები მნათობთა ფიზიკური აღნა-
გობის შესასწავლად (სპექტროგრაფები, ფოტომეტრები და ა. შ.), საათები,
ქრონომეტრები და ლაბორატორიული ტიპის დამხმარე ხელსაწყოები, მაგა-
ლითად, ფოტოგრაფიების გასაზომად.

ყველა იარაღი ეკვატორული დანადგარით (რეფრაქტორები, რეფლექ-
ტორები, ასტროგრაფები) თავსდება განსაკუთრებულ პავილიონებში — კოშ-
კებში მბრუნავი გუმბათით (ნახ. 51), რომელსაც ცილინდრის ან ნახევარსფე-



ნახ. 51.

როს ფორმა აქვს. იარაღი ნახევარსფეროს ცენტრში თავსდება. გუმბათში
მისი თავიდან ძირამდე ამოჭრილია ვერტიკალური განიერი კარი; ის მხოლოდ
დაკვირვებების დროს იღება. რადგანაც გუმბათი ბრუნავს, კარი შეგვიძლია
ნებისმიერ მხარეს მიემართოთ და ამრიგად დავაკვირდეთ მნათობებს ცის ნე-

ბისმიერ ადგილას; მერიდიანულ იარაღებს აყენებენ პავილიონებში, რომელთა სახურავსა და კედლებში მერიდიანის გასწვრივ გაკეთებულია ქრილი; თუმცა ამჟამად მერიდიანულ და საპასაჟო იარაღებს უფრო ხშირად განზე გასწვევ პავილიონებში დგამენ.

ობსერვატორიის მნიშვნელოვან კუთვნილებას ბიბლიოთეკა წარმოადგენს. მასში უნდა იყოს სხვადასხვა ასტრონომიული ცხრილები, ვარსკვლავთკატალოგები და რუკები, რომლებიც აუცილებელია დაკვირვებათა დამუშავების დროს. ეს ძლიერ რთული სამუშაოა. ყოველ ობსერვატორიაში დღის საქმიანობას—გამოთვლებს—უფრო მეტი დრო მიაქვს, ვიდრე ღამისას—დაკვირვებებს. ობსერვატორიებს ჩვეულებრივ ქალაქგარეთ აშენებენ, დიდი ასტრონომიული ობსერვატორიებისათვის კი სპეციალურად ირჩევენ ადგილს, რომელიც დიდი რაოდენობის მოწმენდილი ღამეებითა და ჰაერის კარგი გამკვირვალობით ხასიათდება.

საბჭოთა კავშირში მთელი რიგი დიდი ობსერვატორიები არსებობს. ყველაზე უფრო თვალსაჩინოს ქვემოთ ჩამოთვლილები წარმოადგენენ.

1. ლენინგრადის ახლოს მდებარე პულკოვოს ობსერვატორია აშენებულია აკადემიკოს ვ. სტრუვეს პროექტის მიხედვით 1839 წელს. საუკეთესო იარაღებით აღჭურვილმა და ღრმად მოფიჭრებული მეთოდით მომუშავე ამ ობსერვატორიამ ვარსკვლავთ მდებარეობათა დაკვირვებების სიზუსტისა და ვარსკვლავთკატალოგების შედგენის მხრივ მსოფლიოში პირველი ადგილი დაიჭირა; მისი სამუშაოები განსაკუთრებით ფართოდ გაიშალა დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ. 1941 წელს პულკოვოს ობსერვატორია მთლიანად იქნა დანგრეული ფაშისტის დამპყრობლების მიერ. ომის შემდეგ დაიწყო მისი აღდგენა და 1954 წლის მაისში მოხდა პულკოვოს აღდგენილი ობსერვატორიის საზეიმო გახსნა.

პულკოვოს ახალი ობსერვატორია წარმოადგენს პირველხარისხოვან სამეცნიერო დაწესებულებას; იგი აღჭურვილია ახალი 26-დუიმიანი ვიზუალური რეფრაქტორით, მაქსტოვის სისტემის 50 სანტიმეტრიანი ტელესკოპით, მზის დიდი ჰორიზონტული ტელესკოპითა და ორიგინალური კონსტრუქციის სხვა იარაღებით. პულკოვოს ახალი ობსერვატორია როგორც ძველად, ისე ახლა საბჭოთა კავშირის ასტრონომებისათვის წარმოადგენს სკოლას.

2. სიმეიზის ობსერვატორია ყირიმში დაარსდა 1908 წელს, როგორც პულკოვოს ობსერვატორიის სამხრეთის განყოფილება. ყირიმის ბუნებრივი პირობები ხელს უწყობენ ასტროფიზიკურ დაკვირვებებს. 1925 წელს სიმეიზში მეტრიანი რეფლექტორი დაიდგა. სიმეიზის ობსერვატორიამ სახელი გაითქვა ვარსკვლავთ სპექტრული გამოკვლევებითა და მცირე ცთომილების აღმოჩენით. 1942 წელს ობსერვატორია დანგრეულ იქნა.

ამჟამად სიმეიზის ობსერვატორია მთლიანად აღდგენილია; გარდა ამისა, ყირიმის ცენტრალურ ნაწილში, პარტიზანსკის მახლობლად აშენებულია ახალი ობსერვატორია. ორივე ობსერვატორია გაერთიანებულია სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ყირიმის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიად.

ყირიმის ობსერვატორიის ასტრონომების ხელთაა 125 სანტიმეტრიანი რეფლექტორი, მაკსუტოვის 50 სანტიმეტრიანი ტელესკოპი, დაბნელების გარეშე კორონოგრაფი, ორმაგი 40 სანტიმეტრიანი ასტროგრაფი, მზის მძლავრი ტელესკოპი. ობსერვატორია აწარმოებს ინტენსიურ მუშაობას მზეზე ფიზიკური პროცესების გამოკვლევის, ნისლეულთა გამოკვლევისა და ვარსკვლავთა სპექტრული მახასიათებლების დარგში.

3. მოსკოვის უნივერსიტეტის ობსერვატორია პრენიაზე დაარსდა გასული საუკუნის 40-იან წლებში, როგორც საუნივერსიტეტო ობსერვატორია. საბჭოთა ხელისუფლების წლებში ობსერვატორია გაერთიანდა ასტროფიზიკურ ინსტიტუტთან და შევიდა შტერნბერგის სახელობის სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტიტუტის (გაიში) შემადგენლობაში. გაიშის დიდი დამსახურებაა პირველი კლასის დროის სამსახურის შექმნა. მოსკოველი ასტრონომები აქტიურ მონაწილეობას იღებენ ასტროფიზიკის, ვარსკვლავთ ასტრონომიის, რადიოასტრონომიის, ცის მექანიკისა და კოსმოგონიის პრობლემების დამუშავებაში.

ამჟამად ლენინის მთებზე, მოსკოვის უნივერსიტეტის მაღალი შენობის ახლოს, აგებულია გაიშის ახალი შენობა. მოსკოველი ასტრონომების ხელთაა პირველი კლასის ახალი იარაღები: 70 სანტიმეტრიანი რეფლექტორი, მაკსუტოვის 50 სანტიმეტრიანი ტელესკოპი, მზის ტელესკოპი და სხვ.

4. მაღალმთიანი ობსერვატორიები. ასტროფიზიკის განვითარებამ წამოაყენა ახალი მოთხოვნები როგორც იარაღების, ისე დაკვირვების პირობების მიმართ. დაკვირვების პირობების გასაუმჯობესებლად ახალი ასტროფიზიკური ობსერვატორიების უმრავლესობას აშენებენ მთებზე, ზღვის დონიდან საკმაოდ სიმაღლეზე. ამჟამად საბჭოთა კავშირში არსებობს რამდენიმე მაღალმთიანი ობსერვატორია; მათ შორის ყუელაზე დიდია აბასთუმნის (საქართველოს სსრ), ბიურაკანისა (სომხეთის სსრ) და ალმა-ატის (ყაზახეთის სსრ) ობსერვატორია.

აბასთუმნის ობსერვატორია მდებარეობს ყანობილის მთაზე; ობსერვატორიაში არის 40 სანტიმეტრიანი რეფრაქტორი, მაკსუტოვის 70 სანტიმეტრიანი ტელესკოპი; ობსერვატორია დიდი წარმატებით სწავლობს ვარსკვლავთა სპექტრულ მახასიათებლებს და ვარსკვლავთშორისეთულ მატერიას.

ბიურაკანის ობსერვატორია მდებარეობს ალაგოზის მთის ძირში. ობსერვატორიაში აქვთ შიდადის 21-დუიმიანი ტელესკოპი, 13-დუიმიანი რეფლექტორი და სხვა იარაღები. ამ ობსერვატორიის მუშაობაში ძირითადია გამოკვლევები ვარსკვლავთ ასტრონომიაში, კერძოდ, ვარსკვლავთ ასრციაციების შესწავლა.

ალმა-ატის ობსერვატორია მდებარეობს ალმა-ატის მახლობლად. იქ დადგმულია მაკსუტოვის 50 სანტიმეტრიანი შესანიშნავი ტელესკოპი. ობსერვატორიაში მიმდინარეობს ინტენსიური სამუშაოები დიფუზური და ბოკოსე-ბური ნისლეულების შესასწავლად.

პულკოვოს ობსერვატორიის ახლახან აგებულ სამთო ასტრონომიულ სადგურში, კისლოვოდსკის მახლობლად, დადგმულია დაბნელების გარეშე კორონოგრაფი და წარმოებს მზის შესწავლის დიდი სამუშაოები. ჩამოთვლილს

გარდა, საბჭოთა კავშირში არსებობს მოძმე რესპუბლიკების შეცნეობათა აკადემიების მთელი რიგი ობსერვატორიები, საუნდერსიტეტო ობსერვატორიები და საგანდო სადგურები.

საზღვარგარეთული ობსერვატორიებიდან აღსანიშნავია გრინვიჩისა (ინგლისი), რომელმაც სახელი გაითქვა ვარსკვლავთ მდებარეობების ზუსტი განსაზღვრებით; პიკ-დიუ-მიდის (საფრანგეთი) ობსერვატორია, სადაც პირველად იქნა დადგმული დაბნელების გარეშე კორონოგრაფი; კაპის ობსერვატორია (კეთილი იმედის კონცხი), რომელშიაც დგებოდა ცის სამხრეთ ნახევარსფეროს კატალოგები და მიმოხილვები; ლიკისა და იერკის ობსერვატორიები (აშშ), სადაც დადგმულია ყველაზე დიდი რეფრაქტორები; მაუნტ ვილსონისა და მაუნტ პალომარის (აშშ), სადაც დადგმულია ყველაზე დიდი რეფლექტორები; ეს ობსერვატორიები ძირითადად ასტროფიზიკურ სამუშაოებს ასრულებენ.

სავარჯიშოები IV თავისათვის

1. თუ ოკულარი ობიექტივთან, რომლის საფოკუსო მანძილი $F=160$ სმ იძლევა 200-ჯერ გადიდებას, მაშინ რა გამადიდებლობას მოგვეცნს ის მილით, რომლის საფოკუსო მანძილი 12 მეტრია?

2. მთვარის კუთხური დიამეტრი $1/4^{\circ}$ -ს უდრის. როგორი იქნება მისი გამოსახულების ხაზოვანი დიამეტრი 2 მ საფოკუსო მანძილის შქონე ობიექტივის ფოკუსში?

3. ცთომილ მარსს დედამიწასთან უმოკლეს მანძილზე მოახლოებისას აქვს კუთხური დიამეტრი, $24''$. როგორია მისი ფოტოგრაფიული გამოსახულების დიამეტრი მიღებული პულკოვოს რეფრაქტორით, რომლის $F=13,9$ მ? პასუხი: 2 მმ.

4. როგორი საფოკუსო მანძილი უნდა ჰქონდეს ოკულარს, რომ 2 მ ფოკუსურ მანძილიან რეფრაქტორით მივიღოთ გამადიდებლობა 6000-ჯერ.

5. გამოთვალეთ ადგილობრივი დროით მზის ზედა კიდის ამოსვლისა და ჩასვლის ზუსტი მომენტები ყველაზე ხანგრძლივ და ყველაზე ხანმოკლე დღეს ლენინგრადისათვის, მოსკოვისათვის და თბილისისათვის. მიღებული შედეგი შეადარეთ მესამე თავის მე-8 სავარჯიშოს და გამოიანგარიშეთ რამდენით ხანგრძლივდება დღე რეფრაქციის ზეგავლენით. პასუხი: ლენინგრადში 22 დეკემბერს ამოსვლა $9^{\text{h}}2^{\text{m}}$, ჩასვლა $14^{\text{h}}55^{\text{m}}$.

6. თუ საათი წინ მიდის, მაშინ რა ნიშანი აქვს სვლას?

7. რომელიმე ასტრონომიული მოვლენა რეგისტრირებული იყო 5 იანვარს $19^{\text{h}}18^{\text{m}}13^{\text{s}}$ -ზე საათით, რომელიც დაყენებული იყო მსოფლიო დროზე. 1 იანვარს შუადღეზე საათის შესწორება იყო $-2^{\text{m}}6^{\text{s}}$, დღედამური სვლა $+2^{\text{m}}9^{\text{s}}$. იპოვეთ მოვლენის ზუსტი დრო.

8. ასტროგრაფს აქვს ფოტოგრაფიული ხედვის არე $2^{\circ} \times 2^{\circ}$. დაახლოებით რამდენი სურათი უნდა გადავიღოთ ასეთი ტიპის იარაღით, რომ მთლიანად გადავიღოთ ჩრდილოეთისა და სამხრეთის მთელი ვარსკვლავიერი ცა?

თავი მხუთე

ასტრონომიის ძირითადი აზოცანები

მნათობთა კოორდინატების განსაზღვრა, რომელიც განხილულია წინა თავში, საშუალებას გვაძლევს გადავწყვიტოთ მთელი რიგი ამოცანები, არა მარტო ასტრონომიული, არამედ გეოდეზიურიც და გეოგრაფიულიც.

I. დროის განსაზღვრა

§ 94. ცინგერის თანაბარ სიმაღლეთა ხერხი. გარდა §§ 80 და 83-ში საათის შესწორების განსაზღვრის აღწერილი მეთოდებისა, ძალიან გავრცელებულია კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც ცნობილია თანაბარ სიმაღლეთა მეთოდის სახელწოდებით. უნივერსალურ იარაღში ვაკვირდებით რომელიმე ვარსკვლავის პოარიზონტულ ძაფზე გავლის T_1 მომენტს (ვარსკვლავთმიერი დროით) აღმოსავლეთით კულმინაციამდე შემდეგ ვიმეორებთ დაკვირვებას იმავე ვარსკვლავზე, ზედა კულმინაციის შემდეგ დასავლეთით, იმავე სიმაღლეზე ზენი საათით T_2 მომენტში. T_1 და T_2 მომენტის საშუალო იქნება ვარსკვლავის მერიდიანზე გავლის მომენტი. შევადარებთ რა მას ვარსკვლავის პირდაპირ აღვლენას, მივიღებთ საათის შესწორებას.

ასეთი სახით ეს მეთოდი მოითხოვს დიდ დროს და მეორე დაკვირვება შეიძლება არ მოხერხდეს მოღრუბლულობის გამო. ამიტომ რუსმა გეოდეზისტმა ნ. ი. ცინგერმა მოგვცა შემდეგი ხერხი: დაიშორება დაახლოებით ტოლი დახრილობების მქონე ორი ვარსკვლავი თანაბარ სიმაღლეზე—ერთი მერიდიანის აღმოსავლეთით, მეორე—რამდენიმე მინუტის შემდეგ დასავლეთით (ან პირიქით). ამ შემთხვევაში გამოთვლები რთულდება, მაგრამ თანაბარ სიმაღლეთა მეთოდის უპირატესობა რჩება: ზენიტური მანძილების გაზომვა არაა საჭირო. ამის გარდა, რეფრაქციის გავლენა ორივე ვარსკვლავზე ერთნაირია და ამიტომ საბოლოო შედეგში გამოირიცხება.

II. გეოგრაფიული განედის განსაზღვრა

§ 95. მერიდიანულ დაკვირვებათა ხერხი. განედის განსაზღვრის ყველაზე მარტივი ხერხი მდგომარეობს მერიდიანზე მზის ან ვარსკვლავების ზენიტური მანძილების გაზომვაში. გაზომავთ რა ზედა კულმინაციის მო-

ნენტში α ზენიტურ მანძილს მნათობისას, რომლის დახრილობა ცნობილია და შევასწორებთ α -ს რეფრაქციაზე (§ 85), φ განედისათვის მივიღებთ (§ 22): $\varphi = \delta + \alpha$ ან $\varphi = \delta - \alpha$, იმისდა მიხედვით ვარსკვლავის კულმინაცია ზენიტის სამხრეთითაა, თუ ჩრდილოეთით. ქვედა კულმინაციისათვის მივიღებთ ფორმულას:

$$\varphi = 180^\circ - (\delta + \alpha).$$

ხმელეთზე განედი განისაზღვრება უნივერსალური იარაღის საშუალებით, ხოლო ზღვაზე, სადაც გემის რყევა ხელს უშლის იარაღის დაყენებას—განსაკუთრებული ამრეკლავი იარაღით—სექსტანტით, რომლის დაკავება დაკვირვების დროს შეიძლება ხელში. რადგან კულმინაციის ზუსტი მომენტის დაჭერა თითქმის შეუძლებელია, ამიტომ სინამდვილეში ზომავენ მნათობის რამდენიმე ზენიტურ მანძილს მერიდიანის მახლობლობაში კულმინაციამდე და კულმინაციის შემდეგ, და ყველა ისინი მარტივი გამოთვლებით „მიიყვანება მერიდიანზე“.

§ 96. პოლუსის მახლობელ ვარსკვლავებზე დაკვირვება. პორიზონტიდან სამყაროს პოლუსის სიმაღლე ადგილის განედის ტოლია (§ 13); მაგრამ რადგან პოლუსში არ არის არც ერთი ვარსკვლავი, ამიტომ ზომავენ პოლუსის მახლობელი ვარსკვლავის (მაგალითად, პოლარულის) სიმაღლეს ზედა კულმინაციის დროს და 12 საათის შემდეგ ქვედა კულმინაციის დროს.

გაზომილ სიმაღლეებს შევასწორებენ რეფრაქციაზე; მათი ნახევარი ჯამი იძლევა განედს. ამ ხერხის გამოყენების დროს საჭირო არ არის ვიცოდეთ მნათობის დახრილობა; ასეთი გზა მოუხერხებელია იმით, რომ მოითხოვს ბევრ დროს და ამიტომ უვარგისია მოგზაურებისათვის.

§ 97. ტალკოტის ხერხი. წინასწარ შევარჩიოთ ორი ისეთი ვარსკვლავი, რომლებიც გაივლიან ზედა კულმინაციაში ერთი მეორის რამდენიმე მინუტის შემდეგ შეძლებისამებრ თანაბარ ზენიტურ მანძილებზე, მაგრამ ერთი ზენიტის ჩრდილოეთით, მეორე—სამხრეთით. ვაკვირდებით უნივერსალურ იარაღში პირველი ვარსკვლავის კულმინაციას; დავუშვათ, რომ ვარსკვლავი გაივლის ზუსტად მხედველობის არის შუაში, ე. ი. ბადის პორიზონტულ ძაფზე. წრის აუთოვლელო და მილის დახრის შეუცვლელად მოვაბრუნებთ იარაღს ვერტიკალური ღერძის გარშემო 180° -ით, ისე რომ მილი აღმოჩნდება გადახრილი სამხრეთით ვერტიკალური ღერძიდან იმავე კუთხით, რა კუთხითაც ის გადახრილი იყო ჩრდილოეთით პირველი დაკვირვებისას. ახლა მხედველობის არეში გაივლის მეორე ვარსკვლავი თავის კულმინაციის მომენტში, მაგრამ არა პორიზონტულ ძაფზე ზუსტად, არამედ მისგან რაიმე მანძილზე. ამ მანძილს ჩვენ ვზომავთ მიკრომეტრით (§ 90). აქედან მაშინვე მიიღება განედი, თუ ორივე ვარსკვლავის დახრილობა δ_1 და δ_2 ცნობილია.

მართლაც, ვარსკვლავისათვის ზენიტის სამხრეთით გვაქვს

$$\varphi = \delta_1 + \alpha_1,$$

ხოლო ვარსკვლავისათვის ზენიტის ჩრდილოეთით

$$\varphi = \delta_2 - \alpha_2.$$

ავიღებთ რა ამ ტოლობების ნახევარ ჯამს, მივიღებთ

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + \frac{1}{2}(\alpha_1 - \alpha_2).$$

დახრილობები δ_1 და δ_2 ცნობილია, ხოლო ზენიტურ მანძილთა სხვაობა $\alpha_1 - \alpha_2$ გაზომილია მიკროპეტრით.

ეს ერთ-ერთი ყველაზე მოხერხებული მეთოდია. მას არ სჭირდება დანა-ყოფებიანი წრე და რეფრაქციის გავლენაც უმნიშვნელოა; რეფრაქციაზე შესწორებები α_1 და α_2 -თვის თითქმის ერთნაირია და $\alpha_1 - \alpha_2$ გამოკლებისას თითქმის ბათილდება.

განედის განსაზღვრის სიზუსტე კიდევ უფრო მატულობს, თუ ვარსკვლავთ წყვილის კულმინაციას დავაკვირდებთ რაც შეიძლება ზენიტთან ახლოს, სადაც რეფრაქციის გავლენა სრულიად უმნიშვნელოა (§ 85). ამ დაკვირვებებისათვის აგებულია სპეციალური იარაღი ზენიტ-ტელესკოპი; მას არა აქვს ზუსტი დანაყოფებიანი წრე, სამაგიეროდ ყოველგვარი ზომა მიღებული იმისათვის, რომ 180°-ით მობრუნებისას არ შეიცვალოს მილის დახრის კუთხე. საბჭოთა კავშირში შექმნილი განედების სადგურების ფართო ქსელები დიდ მუშაობას ეწევიან სსრ კავშირის ძირითადი პუნქტების განედების ზუსტი განსაზღვრისათვის.

III. გრძელის განსაზღვრა

§ 98. ამოცანის ამოხსნის ზოგადი გეგმა. ორი წერტილის გრძელთა სხვაობა, გამოსახული დროში, ტოლია მათ ადგილობრივ დროთა სხვაობისა. ამიტომ რომელიმე ადგილის გრძელის განსაზღვრის ამოცანა იყოფა ორ დამოუკიდებელ ამოცანად: 1) დაკვირვებიდან ადგილობრივი დროის ან საათის შესწორების განსაზღვრა (§§ 83, 94); 2) გაგება, თუ რომელი საათია ამავე მომენტში რომელიმე საწყის მერიდიანზე; ამ დროთა სხვაობა მოგვეცემს გრძელთა სხვაობას.

ამ ამოცანის მთავარ სიძნელეს წინათ წარმოადგენდა საწყისი მერიდიანის დროის განსაზღვრა; ამისათვის გამოყენებული იყო შემდეგი ხერხები (§§ 99 და 100).

§ 99. ქრონომეტრების გადატანა. მოგზაურს თან მიაქვს ქრონომეტრი, რომელიც უჩვენებს საწყისი მერიდიანის (მაგ. გრინვიჩის) ზუსტ დროს და მთელი მოგზაურობის განმავლობაში არ გადაწევს მის ისრებს. გრძელის განსაზღვრისათვის საჭიროა ადგილობრივი დროის პოვნა და მისი შედარება ქრონომეტრის ჩვენებასთან. ამ დროთა სხვაობა მოგვეცემს გრძელთა სხვაობას, თუ ქრონომეტრი ზუსტად მუშაობს. ჩვეულებრივად მიაქვთ რამდენიმე ქრონომეტრი და ძალიან ზუსტად ადარებენ ურთიერთს.

§ 100. დაკვირვება ბუნებრივ (ციურ) სიგნალებზე. არსებობს ცის მოვლენები, რომელთა დაწყების მომენტების წინასწარმეტყველება შეიძლება დიდი სიზუსტით და რომლებიც ხილულია ერთდროულად, სადაც არ უნდა იყოს დამკვირვებელი. ასეთ მოვლენებს ეკუთვნის მთვარის დაბნელებები და

იუპიტერის თანამგზავრების დაბნელებები. როდესაც ხდება მთვარის დაბნელება, მაშინ დამკვირვებელი, რომელსაც სურს განსაზღვროს თავისი გრძელი, აღნიშნავს დაბნელების დასაწყისის ან დამთავრების ადგილობრივ დროს და ადარებს მას ამ მოვლენების გრინვიჩის დროს, რომელიც წინასწარ იბეჭდება ასტრონომიულ კალენდრებში. მიღებული დროთა სხვაობა იქნება გრძელთა სხვაობის ტოლი.

მთვარის დაბნელება იშვიათად ხდება, ზოგ წელს არც კი. იუპიტერის თანამგზავრთა დაბნელებას გაცილებით უფრო ხშირად ვხვდებით, თითქმის ყოველ ღამე, თუკი იუპიტერი მოჩაჩს ჰორიზონტის ზემოთ. მათი დაკვირვება შეიძლება სამზერი ქოვრით. ამ მეთოდის ნაკლი ისაა, რომ დაბნელების დასაწყისის და დამთავრების მომენტების ზუსტად განსაზღვრა ფრიად ძნელია.

გრძელის განსაზღვრა XIX საუკ. პირველ ნახევარში გაადვილებულ იქნა ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფის გამოგონებით. მაგარა ნამდვილი ახალი ერა ამ დარგში შექმნა უდიდესი რუსი მეცნიერის ა. ს. პობოვის გენიალურმა გამოგონებამ—რადიომ. რადიოს გამოყენებამ თითქმის მთლიანად განდევნა ყველა ძველი მეთოდი; იშვიათი და არაზუსტი ბუნებრივი სიგნალების მაგივრად ამჟამად აკვირდებიან ზუსტ ხელოვნურ სიგნალებს (იხ. ქვემოთ).

§ 101. რადიოსიგნალების მიღება. ამჟამად რიგი ძლიერი სადგურები დღეში რამდენჯერმე გადაცემენ სიგნალებს მსოფლიო დროით წინასწარ განსაზღვრულ მომენტებში.

ამრიგად, ყოველი საოკეანო გემი ან ექსპედიცია, რომლებსაც აქვთ რადიომიმღები, განუწყვეტლივ იღებს მსოფლიო დროს და შეუძლია განსაზღვროს თავისი გრძელი ყველაზე ზუსტი და მოხერხებული საშუალებით. ამისათვის დამკვირვებელმა ასტრონომიული დაკვირვებებიდან უნდა განსაზღვროს მხოლოდ ადგილობრივი დრო (თავისი საათის შესწორება) და შემდეგ მიიღოს სიგნალი ამ საათით, ე. ი. აღნიშნოს საათის T ჩვენება სიგნალის მიღების მომენტში. რადგანაც სიგნალის მომენტი T_0 მსოფლიო დროით ცნობილია, ამიტომ $T - T_0$ სხვაობა მოგვცემს გრძელს.

ან, პირიქით, თუ დამკვირვებლის გრძელი ცნობილია, მაშინ სიგნალების მიღებით მას შეუძლია განსაზღვროს თავისი საათის შესწორება ყოველგვარი ასტრონომიული დაკვირვების გარეშე დიდი სიზუსტით.

IV. დედამიწის სიდიდისა და ფორმის განსაზღვრა

რადგან დედამიწის სიდიდისა და ფორმის განსაზღვრა წარმოებს ასტრონომიული დაკვირვებების საშუალებით, ამიტომ ეს საკითხი ახლო კავშირშია პრაქტიკული ასტრონომიის ამოცანებთან. უფრო სრულად ეს ამოცანა განიხილება გეოდეზიაში.

§ 102. დედამიწის სფეროსებრიობა (პირველი მიახლოება). დედამიწის დაახლოებით სფეროსებრიობის ყველაზე მარტივ დამტკიცებას გვაძლევს მთვარის დაბნელება. დედამიწა, ისევე როგორც ყოველი ბნელი გაუმჭვირვალე სხეული, იძლევა ჩრდილს მზის საწინააღმდეგ მიმართულებით. მთვარის დაბნელების დროს დედამიწის ჩრდილი ეცემა მთვარეზე და მაშინ

მთვარის დისკოზე მოჩანს დედამიწის ჩრდილის მოხაზულობა. ამ მოხაზულობას ყოველთვის აქვს წრის რკალის ფორმა. ამით მტკიცდება დედამიწის სფეროსებრიობა, ვინაიდან მხოლოდ სფერო იძლევა ყოველგვარ მდებარეობაში წრიულ ჩრდილს.

დედამიწის სფერული ფორმა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ მისი სიდიდე ძალიან მარტივი ხერხით, რომელიც პირველად II ს. ჩვენს ერამდე გამოიყენა ერატოსთენემ ალექსანდრიაში (ეგვიპტე). ამ ხერხით დედამიწის გარშემოწერილობა გამოითვლება ე. წ. გრადუსული გაზომვის ანუ მერიდიანის რკალის გაზომვის საფუძველზე.

დედამიწის ერთსა და იმავე მერიდიანზე აირჩევენ ორ წერტილს: A და A' -ს და მათ შორის მანძილს ზომავენ მერიდიანის AA' რკალის გასწვრივ: 1) კუთხურ ერთეულებში n° (გრადუსებში) და 2) ხაზოვან ერთეულებში S (მაგალითად, კილომეტრებში). S რკალის სიგრძის გაყოფით მასში გრადუსების n რიცხვზე მივიღებთ 1° რკალის სიგრძეს, ხოლო 360° -ზე გამრავლებით მივიღებთ დედამიწის წრეხაზის სიგრძეს და შემდეგ მის R რადიუსს. A და A' წერტილებს შორის კუთხური მანძილი n° ამ წერტილების განედთა სხვაობის ტოლია:

$$n^\circ = \varphi' - \varphi.$$

1° რკალის სიგრძე ტოლია

$$l = \frac{S}{n^\circ},$$

ხოლო დედამიწის მერიდიანის სიგრძე

$$2\pi R = \frac{360^\circ}{n^\circ} \cdot S.$$

აქედან დედამიწის რადიუსისათვის ვღებულობთ

$$R = \frac{360^\circ S}{2\pi n^\circ} = \frac{180^\circ S}{\pi n^\circ} \text{ კმ.}$$

როგორც ცნობილია, მეტრი უნდა ყოფილიყო დედამიწის მერიდიანის ერთი მეორმოცმილიონედი ნაწილი, მაგრამ ეს ვერ განხორციელდა გეოდეზიურ გაზომვებში გარდაუვალი ცდომილებების გამო. ამიტომ დედამიწის წრეხაზის სიგრძე დაახლოებითაა 40000 კმ, ხოლო დედამიწის დიამეტრი დაახლოებით უდრის

$$2R = \frac{40000}{\pi} = \frac{40000}{3,14} = 12740 \text{ კმ.}$$

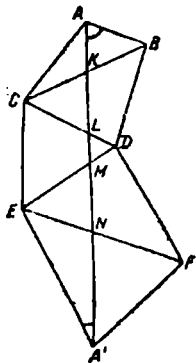
1° რკალის სიგრძე $l = \frac{40000}{360} = 111,1$ კმ. ეს რიცხვი ადვილი დასამახსოვრებელია.

გრადუსული გაზომვები წარმოებდა სხვადასხვა მერიდიანზე და სხვადასხვა განედზე და ყოველთვის მერიდიანის რკალის 1° -თვის ღებულობდნენ დაახლოებით ერთსა და იმავე მნიშვნელობას. ეს ფაქტი იმას ამტკიცებს, რომ

დედამიწის მერიდიანები ფორმით $a \times l \times a$ წრებაზთან, ხოლო თვით დედამიწა—სფეროსთან.

§ 103. ტრინანგულაცია. მერიდიანის რკალის გაზომვა, რომლის საშუალებითაც ხდება დედამიწის სიდიდის განსაზღვრა, შედგება ორი ნაწილისაგან—ასტრონომიულისა და გეოდეზიურისაგან. ასტრონომიული ნაწილი შეიცავს გასაზომი რკალის ბოლო A და A' წერტილების განედების განსაზღვრას, რაც შედარებით ადვილ ამოცანას წარმოადგენს. გაცილებით რთულია საშუაშაოს მეორე ნაწილი—გეოდეზიური, რომელიც მდგომარეობს ბოლო წერტილებს შორის მანძილის ხაზოვან ერთეულებით გაზომვაში. მანძილის უშუალო გაზომვა ასეული კილომეტრებით ურთიერთ დაშორებულ ორ წერტილის შორის უმოკლეს ხაზზე განუხორციელებელა ბუნებრივი წინააღმდეგობების გამო—მთების, ტყეების, მდინარეების და ა. შ. ამიტომ ამჟამად გრადუსული გაზომვა ხდება ტრინანგულაციის (ე. ი. სამკუთხედების აგების) საშუალებით. ამ ხერხით მერიდიანის რკალის სიგრძის გამოთვლა ხდება ტრიანგონომეტრიული წესების საშუალებით, უშუალოდ კი იზომება შედარებით მცირე ხაზი— $ბ ა ზ ი ს ი$ —და რიგი კუთხეებისა.

ტრინანგულაცია მდგომარეობს შემდეგში: AA' რკალის ორივე მხარეზე (ნახ. 52), რომლის სიგრძეც უნდა განისაზღვროს, ირჩევენ რამდენიმე წერტილს B, C, D, \dots ერთიმეორიდან 30—40 კმ მანძილზე. წერტილებს ისე ირჩევენ, რომ თითოეული მათგანიდან ჩანდეს არანაკლებ ორი წერტილისა და მათ აღნიშნავენ ე. წ. სიგნალებით—პირამიდის ფორმის კოშკურებით. ჩვეულებრივ ისინი სიმაღლით რამდენიმე ათეული მეტრია და ხშირად მნიშვნელოვან სიმაღლეზე აქვთ მოედანი დამკვირვებლისათვის და იარაღისათვის. მანძილი რომელიმე ორ წერტილს შორის, მაგალითად, AB , რომელიც არჩეულია სასეებით სწორ ადგილზე, მიღებულია ბაზისად, ე. ი. მთელი გაზომვების საფუძველი. ბაზისის სიგრძეს ზომავენ სპეციალური საბაზისო ხელსაწყოების (იხ. ქვემოთ) დახმარებით. შემდეგ დგამენ კუთხზომი იარაღს თანმიმდევრობით A, B, C, \dots წერტილებში, მიმართავენ მას აქედან ხილულ ყველა წერტილზე და ზომავენ ABC, CDB, \dots სამკუთხედების ყველა კუთხეს. გვეცოდინება რა ამ სამკუთხედების ჯაჭვში მხოლოდ ერთი გვერდი—ბაზისი—და ყველა კუთხე, შეიძლება ზუსტად გამოვთვალოთ AA' მერიდიანის რკალის სიგრძე. ბაზისი უნდა იქნეს გაზომილი უდიდესი სიზუსტით, ვინაიდან მასში დაშვებული ყოველგვარი შეცდომა მოგვცემს ბევრჯერ მეტ შეცდომას მერიდიანის რკალის სიგრძეში.



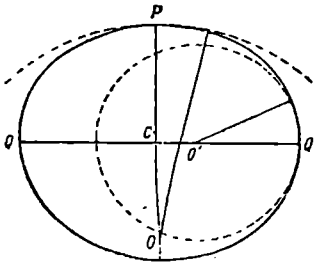
ნახ. 52.

ბაზისის გასაზომად მეტწილად იხმარება მსუბუქი, გრძელი საზომი ლენტის ინვარიისა, ე. ი. ფოლადის და ნიკელის შენადნობისა, რომელსაც აქვს ძალიან მცირე სითბური გაფართოების კოეფიციენტი. საბაზისო ხელსაწყო შედგება ორი ასეთი ლენტისაგან, ჩვეულებრივ 25 მ სიგრძით, რომელთაც ჭიმავენ ბაზისის გასწვრივ რიგრიგობით სამ სამფენ-

ზე. გაზომვისას აუცილებლად უნდა გაეთვალისწინოთ ლენტის ჩაზნექილობა სიძიმის გამო.

ამჟამად ბაზისის გაზომვის ცდომილება 10 კმ-ზე ჩვეულებრივად რამდენიმე მილიმეტრს არ აღემატება.

§ 104. დედამიწის სფეროიდი. (მეორე მიახლოება). XIX ს. განმავლობაში სხვადასხვა განედზე გაზომილ იქნა მრავალი მერიდიანული რკალი. ერთ-ერთი უდიდესთაგანია რკალი, რომელიც გაზომილ იქნა ვ. ი. სტრუვეს ხელმძღვანელობით 1816—1855 წწ. ეს რკალი გადაკიმულია დუნაის შესართავიდან ჩრდილო ყინულოვან ოკეანემდე; მისი სიგრძე 25° -ზე მეტს შეადგენს, ე. ი. დაახლოებით 2800 კმ. მისი გაზომვა წარმოადგენს რუსული მეცნიერების შესანიშნავ მიღწევას. ამგვარმა გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ მერიდიანის ერთი გრადუსის სიგრძე მხოლოდ საშუალოდ უდრის 111,1 კმ. სინამდვილეში კი ის თანდათან იზრდება ეკვატორიდან პოლუსისაკენ. ეკვატორზე მერიდიანის 1° რკალის სიგრძე უდრის 110,5 კმ, ხოლო პოლარული წრის მახლობლად ის 1 კმ-ით მეტია. ამგვარად, პოლუსების მახლობლობაში მერიდიანის რკალი წარმოადგენს უფრო დიდი რადიუსიანი (PO, ნახ. 53) წრეხაზის ნაწილს, ვიდრე ($O'Q'$) ეკვატორთან. სხვა სიტყვებით, დედამიწის თითოეული მერიდიანთაგანი QPQ' , წრეხაზს კი არ წარმოადგენს, არამედ სხვა წირს, რომელსაც აქვს შემდეგი თვისება: ეკვატორთან ის მეტად გამრუდებულია, ვიდრე პოლუსებთან. ასეთი წირებიდან უმარტივესს წარმოადგენს ელიფსისი. ამიტომ მიღებულია, რომ ყველა მერიდიანს აქვს სრულიად ერთნაირი ელიფსების ფორმა, რომელთა დიდი ღერძები მდებარეობს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყეში



ნახ. 53.

და ტოლია დედამიწის ეკვატორული დიამეტრისა, მცირე ღერძები კი ემთხვევა პოლარულ დიამეტრს. ღერძთა შორის სხვაობა დაახლოებით 40 კმ შეადგენს. ამრიგად, დედამიწას დაახლოებით სფეროიდის ფორმა აქვს, ანუ ბრუნვის ელიფსოიდისა, რომელიც მიღებულია ელიფსის ბრუნვით მცირე ღერძის გარშემო. მოგვყავს დედამიწის ელიფსოიდის ზომა დიდი საბჭოთა გეოდეზისტის ფ. ნ. კრასოვსკის უახლესი განსაზღვრით.

დიდი ნახევარღერძი (ეკვატორული რადიუსი)

$$a = 6378,24 \text{ კმ.}$$

მცირე ნახევარღერძი (პოლარული რადიუსი)

$$b = 6356,86 \text{ კმ.}$$

მათ შორის სხვაობა ტოლია

$$a - b = 21,38 \text{ კმ.}$$

ამ სხვაობის შეფარდებას დიდ ნახევარღერძთან ეწოდება დედამიწის შეკუმშულობა; ის ტოლია

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{21,38}{6378,24} = \frac{1}{298,3}$$

XX საუკ. დასაწყისამდე სავრთო ნმარებაში იყო მიღებული დედამიწის ელიფსოიდის სიდიდე, გამოთვლილი ბესელის მიერ XIX საუკ. პირველ ნახევარში ჩატარებული ტრიანგულაციის საფუძველზე. ბესელის ელემენტები ახლა უკვე მოძველდა, მაგრამ მათ ჩვენ ვხედებით მაინც, რადგან ისინი საფუძვლად უდევს რუსული გეოდეზიური რუკების შედგენას. თანახმად ბესელისა

$$a = 6377,4 \text{ კმ}, b = 6356,1 \text{ კმ}, \alpha = \frac{1}{299}$$

როდესაც გეოდეზიაში ამბობენ დედამიწის ფორმაზე, გულისხმობენ დედამიწის ქერქის არა მყარ ზედაპირს, რომელსაც აქვს არაწესიერი ფორმა, არამედ ე. წ. გეოიდის ზედაპირს (ნახ. 54). გეოიდი ეს ის ზედაპირია, რომელსაც მივიღებთ, თუ დონის ზედაპირს ოკეანისას, რომელიც დედამიწის ზედაპირის

$\frac{3}{4}$ -ს ფარავს, გაეგარძელებთ მატერიკებშიც. გეოიდიც არ წარმოადგენს მათემატიკურად წესიერ ზედაპირს. სფეროიდი წარმოადგენს მხოლოდ „მეორე მიახლოებას“, რომლისაგან გეოიდის ჰემმარიტი ფიგურა ნაკლებად განსხვავდება, ვიდრე სფეროსაგან, რომელიც „პირველ მიახლოებას“ წარმოადგენს. თუმცა სფეროს ფორმიდან გადახრაც თითქმის უმნიშვნელოა დედამიწის სიდიდესთან შედარებით.



ნახ. 54.

საბჭოთა გეოდეზისტების, უმათერესად, ფ. ნ. კრასოვსკისა და ა. ა. იზოტოვის შრომებმა გვიჩვენეს, რომ გეოიდის „მესამე მიახლოებას“ წარმოადგენს სამღერძა ელიფსოიდი. დედამიწის ეკვატორს და მასთან ერთად ყველა პარალელს აქვს არა წრის ფორმა, არამედ ელიფსის. ამ ეკვატორული შეკუმშულობის ყველაზე უაღმათესი სიდიდე დაახლოებით 1/32000-ია, ე. ი. დაახლოებით ასჯერ ნაკლებია, ვიდრე პოლარული შეკუმშულობა.

დედამიწის პოლარული შეკუმშულობის შედეგს წარმოადგენს სიმძიმის ძალის ცვლილება მისი ზედაპირის სხვადასხვა წერტილში¹.

§ 105. გეოდეზიური და გრავიმეტრიული სამუშაოების ცნება. გეოდეზიურმა გაზომვებმა განსაკუთრებული ფართო განვითარება პპოვა სსრ კავშირში. საბჭოთა გეოდეზიის არსებობის 42 წლის განმავლობაში (1919 წლიდან) ამ დარგში გაკეთებულა გაცილებით მეტი, ვიდრე წინა 200 წლის განმავლობაში. თითოეული კონკრეტული გეოდეზიური სამუშაოს მიზანს დედამიწის სიდიდის და ფორმის განსაზღვრის ზოგადი ამოცანა კი არ წარმოადგენს,

¹ სიმძიმის ძალის ცვლილება გამოწვეულია აგრეთვე დედამიწის ბრუნვით.

არამედ მოცემული არის ზუსტი აგეგმვა, მისი ზუსტი დაწვრილებითი რუკების და გეგმების შედგენა. ეს აგეგმვა შედგება წმინდა გეოდეზიური სამუშაოსაგან — ტრიანგულაციის, ნიველირებისა და გრაფი-მეტრიული სამუშაოსაგან, ე. ი. სიმძიმის ძალის განსაზღვრისაგან.

ა) ტრიანგულაციის დროს მოცემული არე ითარება ე. წ. პირველი კლასის⁴ პუნქტების ქსელით, რომელიც შედგება „პირველი კლასის“ 20-დან 100 კმ-მდე გვერდებიან სამკუთხედთა უწყვეტი ჯაჭვისაგან. ამ სამკუთხედების კუთხეები და ზოგიერთი გვერდი (ბაზისები) იზომება უდიდესი სიზუსტით, როგორც გრადუსული გაზომვის დროს. ამის გარდა ზოგიერთ პუნქტებში განისაზღვრება გრძედები და განედები; ეს ე. წ. ასტრონომიული პუნქტებია. პირველი კლასის პუნქტებს შორის არე ითარება უფრო მცირე მეორე და მესამე კლასის სამკუთხედებით, რომელთა კუთხეები უკვე ნაკლები სიზუსტით იზომება, ხოლო ბაზისებად გამოიყენება პირველი კლასის ქსელის გვერდები. ყველა პუნქტი აღნიშნულია სიგნალით. ამგვარად, ქსელში ცნობილია ყველა კუთხე, ზოგიერთი გვერდი (ბაზისები) და ასტრონომიული პუნქტების განედები და გრძედები. გამოთვლისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ სამკუთხედები აგებულია არა სიბრტყეზე, არამედ რომელიღაც ელიფსოიდის ზედაპირზე. ანთნაირად აგებული სხვადასხვა კლასის ტრიანგონომეტრიული პუნქტები საფუძვლად უდგენ როგორც მთელი არის რუკის შედგენას, ისე მისი ცალკეული ნაწილების აგებმას.

ბ) რადგან დედამიწის ზედაპირის წერტილები არ მდებარეობს გეოიდის ზედაპირზე (§ 104), ე. ი. ზღვის დონეზე, ამიტომ ტრიანგულაციის აუცილებელ დამატებას წარმოადგენს ნიველირება — გეოდეზიური პუნქტების სიმაღლეთა განსაზღვრა ზღვის დონიდან.

გ) გრაფიმეტრია ეწოდება მეცნიერებას სიმძიმის ძალის გაზომვის შესახებ. ამ გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილში სიმძიმის ძალის სიდიდე სხვადასხვაა. ერთი წერტილიდან მეორეზე გადასვლისას სიმძიმის ძალის ცვალებადობის კანონის შესწავლით შეიძლება ძალიან ზუსტად განისაზღვროს გეოიდის მათემატიკური სახე (მაგრამ არა მისი სიდიდე), ხოლო ყოველგვარ ადგილობრივ გადახრებს სიმძიმის ძალის განაწილების კანონიდან (ე. წ. სიმძიმის ძალის ანომალიებს) შეუძლია მოგვეცეს ცნობები დედამიწის ქერქის შინაგან აგებულებაზე. მაგალითად, თუ შედარებით არაღრმადაა მძიმე მადნის საბადოების შრე, მაშინ ამ ადგილზე სიმძიმის ძალა ნორმალურზე მეტი იქნება — დადებითი ანომალია (მაგალითად — კურსკის ცნობილი ანომალია). პირიქით, შედარებით მსუბუქი ქანები, მაგალითად, ნავთობი, იძლევა უარყოფით ანომალიას. ამრიგად, გრაფიმეტრიულ აგეგმვებს აქვს არა მარტო დიდი მეცნიერული მნიშვნელობა გეოდეზიაში, გეოფიზიკაში და გეოლოგიაში, არამედ პრაქტიკულიც, როგორც მთამადნეულის ძიების ხერხს.

სიმძიმის ძალის განსაზღვრისათვის უმთავრესად იხმარება საქანიანი ხელსაწყოები, რომლებიც სიმძიმის ძალის სიდიდეს გვაძლევენ მოცემული სიგრძის საქანის რხევის პერიოდის მიხედვით. არსებობს ხელსაწყოები დედნებზე უფრო სხვა პრინციპებზედაც, მაგალითად, გრეხითი სასწორის პრინციპ-

ზე (ვარიომეტრები და ა. შ.). ჩვენს მრეწველობაში ამ ხელსაწყოების დამზადება წარმატებითაა ათვისებული.

პრაქტიკულმა გრაფიმეტრიამ, რომელიც მეფის რუსეთში თითქმის არ არსებობდა, ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ გივანტური ტემპებით იწყო განვითარება. საბჭოთა გრაფიმეტრიის დასაწყისის საფუძველი ჩაუყარა ბოლშევიკმა ასტრონომმა პ. კ. შტერნბერგმა (გარდაიცვალა 1920 წ.). თავისი შრომებით 1917 წ. მან დაადგინა ე. წ. „მოსკოვის ანომალიის“ არსებობა. ამჟამად ჩვენი კავშირის ტერიტორიაზე უფრო მეტი გრაფიმეტრიული პუნქტებია განსაზღვრული, ვიდრე ერთად აღებულ ყველა სხვა ქვეყანაში.

V. მნათობთა მანძილებისა და სიდიდეების განსაზღვრა

§ 106. პარალაქური გადაადგილებით მანძილთა განსაზღვრა. ცის სხეულებამდე მანძილების განსაზღვრა იმავე პრინციპზეა დაფუძნებული, რომელზედაც დედამიწაზე მიუწვდომელ საგნებამდე მანძილების განსაზღვრა, სახელდობრ: მიმართულებათა განსაზღვრაზე, რომლითაც საგანი მოჩანს ორი სხვადასხვა წერტილიდან. თუ საგანი ძალიან შორსაა და მას აკვირდებიან ორი მახლობელი წერტილიდან, მაშინ შეიძლება ის ორივე წერტილიდან გამოჩნდეს თითქმის ერთი და იმავე მიმართულებით; სხვა სიტყვებით, მხედველობის ორივე სხივი შეიძლება აღმოჩნდეს ურთიერთ პარალელური (მათ შორის კუთხე უზომოდ მცირეა), ამ შემთხვევაში მანძილების გაზომვა ვერ ხერხდება; მაგრამ, თუ დაკვირვების ადგილებს ავიღებთ დიდ მანძილზე ერთმანეთისაგან (ავირჩევთ დიდ ბაზისს), მაშინ მიმართულებები საგნისაკენ აშკარად არ იქნება პარალელური. ორი სხვადასხვა წერტილიდან ერთსა და იმავე საგანზე მიმართულებათა შორის კუთხეს ეწოდება საგნის პარალაქური გადაადგილება. თუ გავზომავთ ამ გადაადგილებას გრადუსებში და გვეცოდინება ბაზისის სიგრძეც, შეიძლება ტრიგონომეტრიული წესებით გამოვთვალოთ მანძილები ბაზისის ბოლოებიდან საგნამდე.

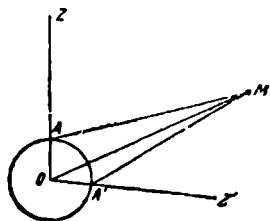
რაც უფრო შორსაა საგანი, მით უფრო დიდი ბაზისი უნდა ავილოთ. ჩვენგან უახლოესი მნათობის მანძილის განსაზღვრისათვისაც კი ხშირად გვიხდება თითქმის დედამიწის დიამეტრის ტოლი ბაზისის აღება (12740 კმ).

შენიშვნა: ხშირად მიმართულებათა შორის სხვაობას უწოდებენ უბრალოდ პარალაქსს, მაგრამ ჩვენ ვიხნართ უკანასკნელ სიტყვას იმ მნიშვნელობით, როგორც § 107-შია ნაჩვენები.

§ 107. პარალაქსი. იმ მრავალი მიმართულებიდან, რომლითაც მნათობი დედამიწის სხვადასხვა წერტილიდან მოჩანს, ძირითადად ითვლება მიმართულება დედამიწის ცენტრიდან. ის იძლევა მნათობის ე. წ. გეოცენტრულ მდებარეობას. დედამიწის ზედაპირის რომელიმე წერტილიდან მნათობისაკენ მიმართულებასა და დედამიწის ცენტრიდან იმავე მნათობისაკენ მიმართულებას შორის კუთხეს ეწოდება მნათობის პარალაქსი. ნახ. 55-ზე *A* დამკვირვებლისათვის პარალაქსი გამოისახება *A'MO* კუთხით, *A'* დამკვირვებლისათვის — *A'MO* კუთხით.

ჰორიზონტიდან მნათობის სიმაღლის ცვლასთან ერთად იცვლება პარალაქსი (ნახ. 56). როდესაც მნათობი (M) ზენიტში იმყოფება, პარალაქსი ნული ტოლია; უდიდეს მნიშვნელობას ის მაშინ აღწევს, როდესაც მნათობი პორიზონტზეა ($\angle AM'O = \rho_0$), მაშინ მას პორიზონტულ პარალაქსს (ρ_0) უწოდებენ.

ნახ. 56-ის საშუალებით ვღებულობთ პორიზონტული პარალაქსის შემდეგ განსაზღვრას: ეს არის მცირე კუთხე სწორკუთხოვან სამკუთხედში, რომლის ჰიპოტენუზას წარმოადგენს მანძილი დედამიწიდან მნათობამდე, ხოლო მცირე კათეტს — დედამიწის რადიუსი.



ნახ. 55.

მთვარის პორიზონტული პარალაქსი $57'$ -ის ტოლია. ეს ცის სხეულების პარალაქსებს შორის უდიდესია. ყველაზე უახლოეს ცთომილთ პარალაქსი მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევაში აღემატება $1'$ -ს.

შენიშვნა: ზუსტად რომ ვთქვათ, დედამიწის შეკუმშულობის გამო მოცემული მნათობის პორიზონტული პარალაქსი დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილისათვის არ არის სავესებით ერთნაირი. ყველაზე დიდი მნიშვნელობა მას აქვს ეკვატორზე ამიტომ პორიზონტული პარალაქსის ქვეშ გულისხმობენ ეკვატორულ პორიზონტულ პარალაქსს, ე. ი. სამკუთხედში მცირე კათეტს წარმოადგენს დედამიწის ეკვატორული რადიუსი.

§ 108. დამოკიდებულება პარალაქსსა და მანძილს შორის. თუ დედამიწის რადიუსს R -ით აღვნიშნავთ, მნათობამდე მანძილს D -თი და პორიზონტულ პარალაქსს ρ_0 -ით, მაშინ OAM'' (ნახ. 56) სწორკუთხა სამკუთხედიდან მივიღებთ:

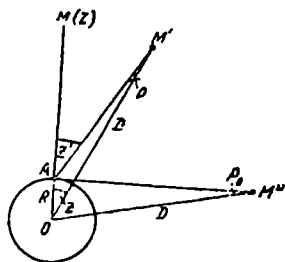
$$D = \frac{R}{\sin \rho_0} \quad (1)$$

(1) ფორმულიდან, თუ ცნობილია R და ρ_0 , ადვილად გამოითვლება მანძილი D . მაგალითად, მთვარისათვის მივიღებთ რა $R \approx 6400$ კმ, ხოლო $\rho_0 = 0^\circ 57'$, გვექნება $D = 385000$ კმ, ე. ი. 30-ჯერ აღებულ დედამიწის დიამეტრს.

რადგან, თუ ცნობილია პარალაქსი, მანძილი მაშინვე განისაზღვრება, ამიტომ მიღებულია გამოთქმა „პარალაქსის გაზომვა“, ნაცვლად „მანძილის გაზომვისა“. როდესაც პარალაქსი მონახულია, მანძილის განსაზღვრის ამოცანა გადაწყვეტილად ითვლება.

ყველა მნათობისათვის, გარდა მთვარისა, პარალაქსი იმდენად მცირეა, რომ ფორმულა (1) შეიძლება გავამარტივოთ, ჩავთვლით რა, რომ მცირე რკალების სინუსები თვით რკალების ტოლია: $\rho_0 \approx \sin \rho_0$; მაშინ

$$D = \frac{R}{\rho_0}, \quad (2)$$



ნახ. 56.

სადაც p_0 რადიანებშია გამოსახული; თუ რადიანებს სეკუნდებში გამოვსახავთ (§ 16), მივიღებთ ფორმულას (p_0 გამოისახება რკალის სეკუნდებში)

$$D = 206265 \frac{R}{p_0''} \quad (3)$$

ამ ფორმულით გამოთვლა არ საკმარისებს ტრიგონომეტრიულ ცხრილებს.

§ 109. პარალაქსის გავლენა მნათობის კოორდინატებზე. ასტრონომიულ კალენდრებში და ყოველწლიურებში მოცემულია მნათობების α და δ კოორდინატები დედამიწის ცენტრიდან მიმართულებებისათვის. ასეთ კოორდინატებს გეოცენტრულს უწოდებენ. დედამიწის ზედაპირზე მყოფი დაშვარებლისათვის კოორდინატები რამდენადმე განსხვავებული იქნება. განსაკუთრებით შესამჩნევი განსხვავება იქნება მიფარისათვის. ამიტომ § 61-ის ფორმულით გამოთვლილი ზენიტური მანძილი იქნება მისი „გეოცენტრული“ ზენიტური მანძილი $M'OZ$. ხილული ზენიტური მანძილი $M'AZ$ მეთი იქნება გეოცენტრულზე $AM'O$ კუთხით (ნახ. 56). ეს კუთხე კი არის პარალაქსი (p). პარალაქსი ყოველთვის დაბლა წევს მნათობებს მათი აზიმუტების შეუცვლელად.

აღნიშნოთ გეოცენტრული ზენიტური მანძილი z -ით, ხილული z' -ით. $AO M'$ სამკუთხედიდან მივიღებთ:

$$p = z' - z, \quad \frac{\sin p}{\sin z'} = \frac{R}{D},$$

აქედან (1) ფორმულით

$$\sin p = \sin p_0 \sin z';$$

თუ შევცვლით p და p_0 რკალის სინუსებს მათი სიმცირის გამო შესაბამის რკალებით, გვექნება:

$$p = z' - z = p_0 \sin z'. \quad (4)$$

ამგვარად, პარალაქსი ზენიტური მანძილის (ან სიმაღლის) მიხედვით პროპორციულია ზენიტური მანძილის სინუსისა.

მაგალითი. პარალაქსის გავლენა მთვარის ამოსვლაზე. ეს ამოცანა ანალოგიურია მზის ამოსვლაზე რეფრაქციის გავლენის ამოცანისა (§ 86); განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ ამოსვლის მომენტად ჩავთვლით არა მთვარის ზედა კიდის, არამედ მისი ცენტრის ამოსვლის მომენტს და ზენიტურ მანძილს (90°) უნდა მიემატოს მთვარის პერიოდული პარალაქსი (§ 107) რეფრაქციის საწინააღმდეგო ნიშნით:

$$z' = 90^\circ + 35' - 57' = 89^\circ 38', \quad \cos z' = 0,0064.$$

§ 86-ის ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta + 0,0064 \operatorname{sec} \varphi \operatorname{sec} \delta. \quad (5)$$

§ 110. მნათობის პარალაქსისა და მანძილის განსაზღვრა დაკვირვებებიდან. ყველაზე მარტივი ხერხი მდგომარეობს იმაში, რომ მნათობს ერთდროულად აკვირდებიან ერთ მერიდიანზე მდებარე ორი A და A' ობსერვა-

ტორიდან (ნახ. 55); დაკვირვება წარმოებს კულმინაციის მომენტში. იზომება მნათობის ხილული დახრილობა. აღენიშნოთ მნათობის კეშმარტი (გეოცენტრული) დახრილობა δ -ით და ზენიტური მანძილი— χ -ით, პირველი ობსერვატორიის განვლი— φ_1 -ით, აქედან დაკვირვებით მიღებული ზენიტური მანძილი— χ_1 -ით და დახრილობა— δ_1 -ით, § 22-ის ფორმულით ვღებულობთ:

$$\chi_1 = \varphi_1 - \delta_1, \quad \chi = \varphi_1 - \delta,$$

აქედან მივიღებთ

$$\chi_1 - \chi = \delta - \delta_1.$$

ჩავსვათ მიღებულ ფორმულაში $\chi_1 - \chi$ მნიშვნელობა § 109-ის (4) ფორმულიდან [χ_1 -ის მნიშვნელობა შეესაბამება (4) ფორმულაში χ' -ს],

$$\delta - \delta_1 = p_0 \sin(\varphi_1 - \delta_1). \quad (6)$$

ამგვარადვე, მეორე ობსერვატორიისათვის გვაქვს

$$\delta - \delta_2 = p_0 \sin(\varphi_2 - \delta_2). \quad (7)$$

(7) ტოლობას გამოვაკლებთ (6)-ს და მიღებული ტოლობიდან ვპოულობთ p_0 -ს:

$$p_0 = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\sin(\varphi_2 - \delta_2) - \sin(\varphi_1 - \delta_1)}. \quad (8)$$

§ 111. მნათობთა სიდიდის განსაზღვრა. თუ ცნობილია მნათობის ხილული დიამეტრი, ე. ი. კუთხე, რომლითაც მოჩანს მისი დისკო და აგრეთვე მანძილიც, მაშინ ადვილი გამოსათვლელია მნათობის კეშმარტი დიამეტრის სიგრძის ერთეულებში, მაგალითად, კილომეტრებში.

მნათობის კუთხური რადიუსი აღენიშნოთ ρ -ით, ღედამიწის რადიუსი— R -ით, მნათობისა და ღედამიწის ცენტრებს შორის მანძილი— D -ით, მნათობის საძიებელი ხაზოვანი რადიუსი— r -ით, ნახ. 57-დან ვღებულობთ:

$$r = D \sin \rho. \quad (9)$$

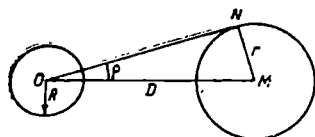
ან, თუ შევცვლით მცირე კუთხის ρ -ს სინუსს მისი შესაბამი რკალით [§ 108-ის თანახმად], მივიღებთ:

$$\rho'' = 206265 \frac{r}{D}. \quad (10)$$

აქ კუთხური რადიუსი მოცემულია რკალის სეკუნდებში (ρ''). ზოგჯერ მას გამოსახავენ გრადუსებში (ρ'). რადგან 1° რკალი რადიუსში 57,3-ჯერ თავსდება, ამიტომ ამ შემთხვევისათვის გვაქვს

$$\rho' = 57,3 \frac{r}{D}. \quad (11)$$

ამ ფორმულით შეიძლება D მანძილის განსაზღვრა. მაგალითად, თუ რომელიმე საგანი, რომლის ხაზოვანი სიდიდეები ცნობილია, მოჩანს 1° კუთ-



ნახ. 57.

ხით, მაშინ მისი მანძილი 57,3-ჯერ მეტია მის დიამეტრზე (ამის დამახსოვრება სასარგებლოა).

შეგვიძლია (9) ფორმულის გარდაქმნა. ჩავსვათ მასში D § 108-ის (1) ფორმულიდან; მაშინ $r = \frac{R \sin \rho}{\sin p_0}$. მაგრამ ρ და p_0 საერთოდ მცირე კუთხეებია; ამიტომ მათი სინუსების შეფარდება შეიძლება მივიღოთ თვით კუთხეების შეფარდების ტოლად. ვლებულობთ

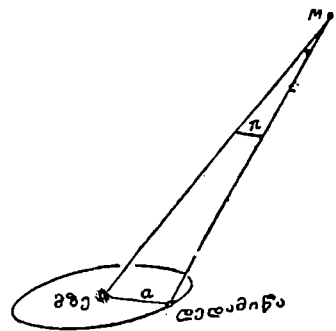
$$r = R \frac{\rho}{p_0}. \quad (12)$$

მაგალითად, მთვარისათვის $p_0 = 57', \rho = 31' : 2 = 15', 5$. ფორმულა მე (12)-დან მივიღებთ $r = \frac{15,5}{57} R = 0,27 R$. ამრიგად, მთვარის დიამეტრი მხოლოდ ცოტათია მეტი დედამიწის დიამეტრის მეოთხედზე.

§ 112. დღელამური და წლიური პარალაქსები. ბევრ შემთხვევაში ცის სხეულის პარალაქსი შეიძლება გაიზომოს ერთი ადგილიდან რამდენჯერმე დაკვირვებით. მართლაც, ყოველი დამკვირვებელი განუწყვეტლივ გადაადგილდება. მაგალითად, ეკვატორთან ახლო მდებარე ობსერვატორია დღელამური მოძრაობის გამო 12 საათის შემდეგ გადაადგილდება დაახლოებით დედამიწის დიამეტრის ტოლი მანძილით; ეს იძლევა 12000 კმ ბაზისს. დედამიწის წლიური მოძრაობა მზის ირგვლივ გადაადგილებს ყოველ ობსერვატორიას დედამიწის ორბიტის დიამეტრის სიგრძეზე და ჩვენ ვლებულობთ 300 მილიონ კმ ბაზისს.

დამკვირვებლის ეს გადაადგილებები უნდა იწვევდეს მნათობთა ხილული მდებარეობების მოჩვენებით გადაადგილებას, რომელიც მიმართულია დამკვირვებლის ქეშმარიტი გადაადგილების საწინააღმდეგო მიმართულებით. ასეთი გადაადგილებები მართლაც დაიმზირება; მათ ეწოდებათ დღელამური პარალაქტური გადაადგილება (ანუ უბრალოდ დღელამური პარალაქსი) და წლიური პარალაქტური გადაადგილება (წლიური პარალაქსი).

„დღელამური პარალაქსის“ სახელწოდების ზუსტი განსაზღვრა ემთხვევა ჰორიზონტული პარალაქსის განსაზღვრას (§ 107). წლიური პარალაქსი განისაზღვრება როგორც მცირე კუთხე სწორკუთხოვან სამკუთხედში, რომლის ჰიპოტენუსას წარმოადგენს მზესა და მნათობს (ვარსკვლავს) შორის მანძილი, ხოლო მცირე კათეტს—დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილი a (ნახ. 58). დღელამური პარალაქსი საერთოდ არაა დიდი და მნათობთა მანძილების განსაზღვრა დღელამურ გადაადგილებაზე დაკვირვებით წარმოებს არც ისე ზნორად.



ნახ. 58.

პირიქით, წლიურ პარალაქსებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, როგორც ჩვენს ცთომილთა სისტემის, ისე ვარსკვლავთ სამყაროს მანძილების გაზომვისას.

§ 113. ცთომილთა მანძილების განსაზღვრა. ცთომილთა წლიური პარალაქტური მოძრაობა იმაში გამოიხატება, რომ თითოეული ცთომილი წლის განმავლობაში შემოწერს მარყუჟს რამდენიმე გრადუსი დიამეტრით (იხ. § 139). თითოეული ცთომილის მარყუჟის სიდიდე მუდმივი რჩება, მაგრამ ზოგი მათგანი შემოწერს მეტი ზომის მარყუჟებს და ზოგი კი ნაკლები ზომისას.

მარყუჟისებური მოძრაობა არ ეკუთვნის თვით ცთომილებს, არამედ წარმოადგენს დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობით გამოწვეულ პარალაქტურ გადაადგილებას. სხვადასხვა ცთომილის მარყუჟების სიდიდეთა შორის განსხვავება მიუთითებს მათი მანძილების სხვადასხვაობაზე. შედარებით ახლო ცთომილების პარალაქტური გადაადგილება მეტია, ვიდრე უფრო მეტად დაშორებულებისა. პარალაქტური გადაადგილების სიდიდით შეიძლება განისაზღვროს ცთომილის მანძილი. ბაზისს აქ წარმოადგენს მზიდან დედამიწამდე საშუალო მანძილი, რომელსაც ასტრონომიულ ერთეულს უწოდებენ. ყველა ნანძილს ცთომილთ სისტემაში გამოხატავენ ამ ერთეულებში. პირველად ასეთი გაზომვები კოპერნიკის მიერ იყო წარმოებული.

მაგრამ ამგვარად მიღებული ყველა რიცხვი მხოლოდ შეფარდებითი იქნება. მათი სიდიდე კილომეტრებში, რომ განისაზღვროს, უნდა გაიზომოს კილომეტრებში თვით ბაზისი, ე. ი. მანძილი მზიდან დედამიწამდე.

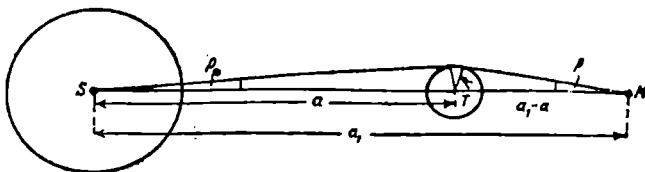
VI. მზის პარალაქსი

§ 114. ამოცანის მნიშვნელობა და სირთულე. რადგან მნათობთა შორის მანძილები (გარდა მთვარის მანძილისა) გამოიხატება დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილის საშუალებით, ამიტომ ამ მანძილის განსაზღვრა წარმოადგენს პრაქტიკული ასტრონომიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას.

ეს ერთ-ერთი ყველაზე უძნელებია ამოცანაა. მართლაც, მანძილი გამოითვლება (§ 108) პარალაქსით, ე. ი. ძალიან მცირე კუთხით, რომელიც მზისათვის 9"-ზე ნაკლებს შეადგენს. მისი ზუსტი გაზომვა ისეთივე მეთოდით, როგორც ეს მთვარისათვის წარმოებს, ე. ი. დედამიწის ზედაპირის ორი დაშორებული წერტილიდან პარალაქტური გადაადგილების დამზერით, შეუძლებელია, რადგან მზის სითბო არღვევს ინსტრუმენტის დადგმულობას. ამის გამო მზის პარალაქსის გაზომვისათვის იყენებენ სხვადასხვა არაპირდაპირ ხერხს. უმრავლესი მათგანი დაფუძნებულია შემდეგ პრინციპზე, რომლის აღმოჩენა შეადგენს კოპერნიკის ერთ-ერთ უდიდეს დამსახურებას: მოცემულ მომენტში ცთომილების ხილული მდებარეობით და მოძრაობით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ყველა ცთომილის შეფარდებითი მანძილები მზიდან და ურთიერთისაგან ამ მომენტისათვის (§ 113); ამიტომ საკმარისია განესაზღვროთ სიგრძის ერთეულებში რომელიმე ერთი მანძილთაგანი და ჩვენ გვეცოდინება ყველა დანარჩენი, მათ შორის მანძილიც მზიდან დედამიწამდე.

§ 115. მზის პარალაქსის განსაზღვრა მარსზე დაკვირვებიდან. ცთომილი მარსი, რომელიც მზიდან დედამიწაზე უფრო შორს იმყოფება, ყოველ ორ

წელიწადში უახლოვდება დედამიწას საშუალოდ თითქმის ორჯერ ნაკლები მანძილით, ვიდრე მზემდეა. ეს ხდება ე. წ. მზესთან პერიოპსონის დროს, როდესაც S მზე, T დედამიწა და M მარსი იმყოფებიან დაახლოებით ერთ სწორ ხაზზე (ნახ. 59). ამ დროს მარსის პარალაქსი შეიძლება გაიზომოს მნიშვნელოვანი სიზუსტით. დაკვირვება მდგომარეობს იმაში, რომ დედამიწის სხვადასხვა წერტილზე მყოფი ასტრონომები ზომიერად ცთომილის მდებარეობას გარემომცველი ვარსკვლავების მიმართ. სხვადასხვა დამკვირვებლის ერთდროული გაზომვების შედარება გვიჩვენებს, რომ მაგალითად, სამხრეთ დამკვირვებელს ცთომილი წარმოუდგება რამდენადმე ჩრდილოეთით გადაწეული.



ნახ. 59.

განვსაზღვრავთ რა ამ პარალაქტური გადაადგილების სიდიდეს, შეიძლება გამოვთვალოთ მარსის პერიოპსონული პარალაქსი § 110-ში ახსნილი ხერხით. მარსის პარალაქსიდან მზის პარალაქსზე გადასვლა შემდეგნაირად ხდება (ნახ. 59).

დავუშვათ, რომ a და p_{\odot} აღნიშნავს მზის საშუალო მანძილსა და პარალაქსს, p —მარსის პარალაქსს, a_1 —მზიდან მის საშუალო მანძილს, R —დედამიწის რადიუსს. ნახ. 59-დან მივიღებთ, თუ დავუშვებთ სიმარტივისათვის, რომ სამივე სხეული მდებარეობს ერთ სწორ ხაზზე, მასთან დედამიწა და მარსი—მზიდან თავიანთ საშუალო მანძილებზე,

$$R = a \sin p_{\odot} \quad \text{და} \quad R = (a_1 - a) \sin p.$$

გავუტოლობთ რა მარჯვენა მხარეებს და მცირე კუთხეების სინუსებს შეგვცვლით მათი შესაბამისი p და p_{\odot} რკალებით, მივიღებთ $a p_{\odot} = (a_1 - a) p$; აქედან ვპოულობთ

$$p_{\odot} = \left(\frac{a_1}{a} - 1 \right) p. \quad (I)$$

შეთარდება a_1/a ყველაზე მარტივად განისაზღვრება ცთომილთა მოძრაობის თეორიიდან კეპლერის მესამე კანონის საშუალებით (იხ. შემდეგ თავი VII, § 153):

$$\frac{a_1^3}{a^3} = \frac{T_1^2}{T^2}, \quad (II)$$

სადაც T და T_1 დედამიწისა და მარსის მზის ირგვლივ გარემოქცევის დროებია. განვსაზღვრავთ რა (II)-დან ცთომილთა მანძილების შეთარდებას და ჩავსვათ (I)-ში, მივიღებთ

$$\frac{d_1}{a} = 1,52$$

და

$$p_{\odot} = 0,52 p.$$

აქედან ჩანს, რომ მარსის პარალაქსის განსაზღვრის დროს დაშვებული შეცდომა გვაძლევს მზის პარალაქსში ორჯერ ნაკლებ შეცდომას. ეს გამოთვლები წარმოებულია მზიდან დედამიწისა და მარსის საშუალო მანძილებით. ძალიან ხელსაყრელი პირისპირდგომისას შეცდომა თითქმის სამჯერ მცირდება.

§ 116. დაკვირვებები მცირე ცთომილებზე. განხილული მეთოდის ნაკლები იმაში მდგომარეობს, რომ უნდა განისაზღვროს მდებარეობა ცთომილისა, რომელსაც ტელესკოპში დისკოს ფორმა აქვს, ვარსკვლავების მიმართ, რომელიც წერტილებად წარმოვიდგებიან: შეუძლებელია მიკრომეტრის ძაფის დაყენება დისკოს კიდეზე (მზებზე) იმავე სიზუსტით, როგორც ვარსკვლავზე. ამიტომ მარსის მაგივრად აკვირდებიან ერთ-ერთს მცირე ცთომილებიდან, რომლებიც მოძრაობენ მზის ირგვლივ მარსსა და იუპიტერს შორის. ყველა ისინი წარმოვიდგებიან ისეთივე წერტილებად, როგორც ვარსკვლავები და კუთხური მანძილის გაზომვა კი ორ წერტილს შორის შეიძლება ვაწარმოოთ უფრო დიდი სიზუსტით, ვიდრე დისკოსა და წერტილს შორის მანძილისა.

მართალია, ამ ცთომილების უმრავლესობა მნიშვნელოვნად შორსაა მარსზე, მათი პარალაქსი მხოლოდ ცოტათია მეტი მზისაზე. მაგრამ 1898 წ. აღმოჩენილ იქნა მცირე ცთომილი, რომელსაც უწოდეს ეროტი, რომელიც ზოგჯერ დედამიწას ორნახევარჯერ უფრო უახლოვდება, ვიდრე მარსი. ამ ცთომილზე დაკვირვება წარმოადგენს მზის პარალაქსის განსაზღვრის ყველაზე საუკეთესო ხერხს იმ ხერხთაგან, რომლებიც კი ცნობილია ამჟამად. ეროტის ორბიტის დიდი ელიფსურობის გამო ამ ცთომილის ყველა მოახლოება (პირისპირდგომა) არაა სრულიად ერთნაირად ხელსაყრელი. ყველა მოახლოებას შორის უახლოესი, რომელსაც ეწოდება „დიდი პირისპირდგომა“, მეორდება 37 წელიწადში ერთხელ. ცთომილის აღმოჩენის მომენტიდან პირველი ასეთი პირისპირდგომა მოხდა 1931 წ. თებერვალში, როდესაც ეროტი დაუახლოვდა დედამიწას მზემდე მანძილის სულ $\frac{1}{7}$ -ით და მისმა პარალაქსმა 60"-ს მი-

აღწია. ამ დროს მასზე მოხდენილი იყო სხვადასხვა ქვეყნის 24 ობსერვატორიიდან ძალიან გულდასმითი დაკვირვებები წინასწარ შემუშავებული გეგმით (იხ. § 115).

§ 117. მზის პარალაქსის სიდიდე. მხოლოდ 1942 წ. დამთავრდა ეროტის 1931 წ. პირისპირდგომის თითქმის 3000 ზუსტი ფოტოგრაფიული დაკვირვების დამუშავება. მათგან პ. ს. ჯონსმა მიიღო მზის პარალაქსის მნიშვნელობა 8",790, რაც შეესაბამება 149,7 მილ. კმ საშუალო მანძილს. მაშინ, როდესაც XX ს. დასაწყისის ყველა საუკეთესო განსაზღვრა იძლეოდა ამ სიდიდისათვის ცოტა უფრო მეტ მნიშვნელობას, სახელდობრ 8",80-ს (149,5 მილ. კმ მანძილს). ასეთი განსხვავების მიზეზი ჯერ გამოურკვეველია, მაგრამ შეიძლება მივიღოთ მისგან დასკვნა, რომელიც სასარგებლოა გვახსოვდეს:

რადგანაც მზის პარალაქსზე დამოკიდებული სამყაროში ადამიანის მიერ გაზომილი ყველა მანძილის მნიშვნელობა (გარდა მთვარის მანძილისა), ამიტომ ყველა მანძილში, რომლებიც გამოისახებიან კილომეტრებში არანაკლებ რეანიშნა რიცხვით, უკვე მეოთხე ნიშანი შეიძლება იყოს ერთის შეცდომით, ხოლო ყველა დანარჩენი კი სრულიად უცნობი.

VII. ვარსკვლავთა წლიური პარალაქსი

§ 116. დამოკიდებულება ვარსკვლავის პარალაქსსა და მანძილს შორის. ვარსკვლავები შეუდარებლად შორსაა ცთომილებზე. ამიტომ მათ არ აღმოაჩნდათ სულ მცირე პარალაქტური გადაადგილება დამკვირვებლის დედამიწის ზედაპირზე გადაადგილებისას. დედამიწის წლიური მოძრაობაც კი არ იწვევს არავითარ შესამჩნევ ცვლილებას ვარსკვლავების დიდი უმრავლესობის მდებარეობაში. იმ ვარსკვლავებისათვის კი, რომელთა პარალაქტური გადაადგილების შემჩნევა შესაძლებელი გახდა, ის გამოისახება სეკუნდის მეათედ, მეასედ და მეათასედ ნაწილებში, ე. ი. ცთომილთა პარალაქტურ გადაადგილებაზე ათასეულებზე ნაკლებია.

წარმოვიდგინოთ, რომ დამკვირვებელი იმყოფება ეკლიპტიკის პოლუსის მახლობელ ვარსკვლავზე. ასეთი დამკვირვებელი დაინახავდა, თუ როგორ შემოწერს დედამიწა წლის განმავლობაში მზის ირგვლივ პატარა წრეს, რომლის დიამეტრი დამოკიდებულია ვარსკვლავამდე მანძილზე (დედამიწის ორბიტის ელიფსურობა შეიძლება უგულვებელყოთ). თუ ვარსკვლავი მდებარეობს სადმე ეკლიპტიკასა და მის პოლუსს შორის, მაშინ ასეთი დამკვირვებლისათვის დედამიწის წლიურ გზას ელიფსის სახე ექნება. ბოლოს, ეკლიპტიკის სიბრტეში მდებარე ვარსკვლავიდან გამოჩნდებოდა, რომ დედამიწა წელიწადის განმავლობაში ირხევა მზის ახლოს სწორ ხაზზე, გადაიხრება რა თითოეული ნახევარწლის განმავლობაში ხან მარჯვნივ და ხან მარცხნივ ერთი და იმავე სიდიდით.

დედამიწაზე მყოფ დამკვირვებელს კი ყველა ეს ვარსკვლავი მოეჩვენება მოძრაად. ისინი წლის განმავლობაში აღწერენ პატარა ელიფსებს (კერძო შემთხვევაში წრეს ან წრფეს) იმავე ზომისას, რა ზომისაც გამოჩნდებოდა დედამიწის ორბიტა მოცემული ვარსკვლავიდან. ამ ელიფსთა დიდი ნახევარღერძები ვარსკვლავთ წლიური პარალაქსის ტოლია (იხ. § 112).

თუ შევძლებთ ვარსკვლავის π პარალაქსის განსაზღვრას, მაშინ ვარსკვლავამდე მანძილი D მიიღება ფორმულით

$$D = \frac{a}{\sin \pi}, \quad (13)$$

სადაც a -თი აღნიშნულია საშუალო მანძილი მზიდან დედამიწამდე (ასტრონომიული ერთეული). რადგან π კუთხე ძლიერ მცირეა (§ 118), შეგვიძლია დავუშვათ

$$\sin \pi = \pi'' \sin 1'' = \frac{\pi''}{206265}.$$

ჩავსვამთ რა ამ მნიშვნელობას (13) ფორმულაში და დავუშვებთ, რომ $a = 1$ (ასტრონომიულ ერთეულს), მივიღებთ:

$$D = \frac{206265}{\pi''} \text{ (ასტრ. ერთეულს)}. \quad (14)$$

მაშასადამე, თუ ვარსკვლავის პარალაქსი $1''$ -ის ტოლია, მაშინ ეს ვარსკვლავი ჩვენგან 206265-ჯერ უფრო შორს იქნება, ვიდრე მზე. მაგრამ ასეთი „ახლო“ ვარსკვლავი, როგორც ჩანს, არ არსებობს.

§ 119. ვარსკვლავთ პარალაქსების განსაზღვრის ისტორია. 1543 წ. კოპერნიკმა გამოაქვეყნა თავისი თეორია დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობის შესახებ. დიდი ხნის განმავლობაში მრავალი სწავლული არ იზიარებდა ამ თეორიას. ისინი ემყარებოდნენ იმას, რომ ვარსკვლავებს არა აქვს პარალაქტური გადაადგილება. ეს შეიძლება იმის მაჩვენებელი ყოფილიყო, რომ უბრალოდ, ვარსკვლავები ძალიან შორსაა ჩვენგან, სულ მცირე, ასეულზეჯერ უფრო შორს, ვიდრე მზე და ცთომილები. მაგრამ ეს აზრი ცთომილთ სისტემასა და ვარსკვლავთ სამყაროს შორის ასეთ დიდ სიციარიელზე გწინააღმდეგებოდა იმ დროისათვის საყოველთაოდ მიღებულ თეორიას, რომ ბუნება „ვერ იტანს სიციარელს“. ორ საუკუნეზე მეტი ხნის განმავლობაში ყველაზე დახელოვნებული დამკვირვებლები განუწყვეტილად ცდილობდნენ აღმოეჩინათ ვარსკვლავთ პარალაქსი, მაგრამ ყველა ეს დაკვირვება ან უშედეგოდ ანდა ახალი, მოულოდნელი მოვლენის აღმოჩენით მთავრდებოდა. ასე მაგალითად, ბრადლეიმ XVIII ს. დასაწყისში პარალაქსის მაგიერად აღმოაჩინა სინათლის აბერაციის შესანიშნავი მოვლენა, ხოლო ვ. ჰერშელმა, იმავე საუკუნის დამლევეს, ორმაგ ვარსკვლავთ სისტემებში — ორბიტალური მოძრაობა.

მხოლოდ 1838—1839 წწ. ვ. ი. სტრუვემ რუსეთში და ბესელმა გერმანიაში ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მოახდინეს კვარსკვლავთ პარალაქსების პირველი სარწმუნო გაზომვები. ეს გაზომვები ძალიან რთულია, რადგან გვიხდება გაზომვა ისეთი კუთხეების, რომლებიც ყოველთვის სექუნდზე ნაკლებია. ამეამად ამ გაზომვებს აწარმოებენ ფოტოგრაფიებით (§ 91). მიუხედავად იმისა, რომ პარალაქსების მოძებნის მიზნით განსაზღვრულია მრავალი ათასი ვარსკვლავის მდებარეობა, დღემდე მოხერხდა აღმოეჩინათ და გაეზომათ 4000-მდე პარალაქსი ყველაზე უახლოესი ვარსკვლავებისა. ამ პარალაქსების სიდიდე სექუნდის რამდენიმე მეათედი და უფრო ხშირად მეასედი ნაწილია. ძალიან მცირე პარალაქსები შეტისმეტად არაზუსტადაა ცნობილი, რადგან პარალაქსის გაზომვის შესაძლო ცდომილება (ე. წ. ალბათი ცდომილება) ყველაზე ზუსტ ფოტოგრაფიულ მეთოდებშიაც ამეამად $0,01''$ -ს შეადგენს.

§ 120. ვარსკვლავთა მანძილები. თუ ვარსკვლავებამდე მანძილებს გამოვსახავთ კილომეტრებში, მაშინ მივიღებთ არანაკლებ 14 ციფრისაგან შემდგარი რიცხვს. ასტრონომიული ერთეულიც კი ძალიან მცირე საზომი ერთეულია ამ მანძილების გასაზომად. ყველაზე თვალსაჩინოდ ისინი გამოისახებიან სინათლის წლებში. ასე უწოდებენ მანძილს, რომელსაც სინათლე ერთი წლის განმავლობაში გადის. ის დაახლოებით $9,5 \cdot 10^{12}$ კმ შეადგენს (გავიხსენოთ, რომ სინათლე 1 სექუნდში თითქმის 300 000 კმ გადის და მზიდან დედამი-

წამდე მხოლოდ 8 მინ. 18 სეკ. მოდის). ყველაზე უახლოესი ვარსკვლავის (კენტავრის α , რომელიც ჩვენთან უზილავია) პარალაქსი $0'',75$ -ია და მანძილი 4.3 სინათლის წელია, ე. ი. მისგან ჩვენამდე სინათლე 4,3 წელიწადს მოდის. უფრო შორს მდებარე ვარსკვლავებიდან სინათლე ჩვენამდე გაცილებით მეტ ხანს მოდის, ისე რომ მრავალ ვარსკვლავს ჩვენ ვხედავთ არა მათ დღევანდელ მდგომარეობაში, არამედ ისეთში, როგორშიც ისინი იყვნენ მრავალი ათასწლეული წლის წინ. შეუიარაღებელი თვალით ხილული ვარსკვლავებიდან ჩვენთან ყველაზე ახლო მდებარეობს სირიუსი, მთელ ცაზე ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი; მას აქვს პარალაქსი $0'',37$, რაც შეესაბამება 8,7 სინათლის წლის მანძილს.

მეცნიერებაში სინათლის წლის მაგივრად ხშირად იხმარება სხვა ერთეული, სახელდობრ პარსეკი (შემოკლ. სიტყვები პარალაქსი-სეკუნდი). ესაა მანძილი ვარსკვლავამდე, რომლის პარალაქსი $1''$ -ია; ის შეადგენს 206265 ასტრონომიულ ერთეულს ანუ დაახლოებით $3,1 \cdot 10^{13}$ კმ. ვარსკვლავამდე მანძილი რომ პარსეკებში გამოვსახოთ, საჭიროა ერთი გაყვით სეკუნდებში გამოვსახულ პარალაქსზე და (14) ფორმულა კიდევ უფრო გამარტივდება:

$$D = \frac{1}{\pi''} \text{ პარსეკს.} \quad (14a)$$

რადგან სინათლე ერთ პარსეკს 3,26 წლის განმავლობაში გადის, ამიტომ ვარსკვლავთ მანძილი სინათლის წლებში გამოისახება ასეთი ფორმულით:

$$D = \frac{3,26}{\pi''} \text{ სინათლის წელს.} \quad (14b)$$

ამგვარად, კენტავრის α ჩვენგან დაშორებულია 1,3 პარსეკით, სირიუსი—2,7 პარსეკით, ვარსკვლავი რომლის პარალაქსი $0'',01$ -ია—100 პარსეკით და ა. შ.

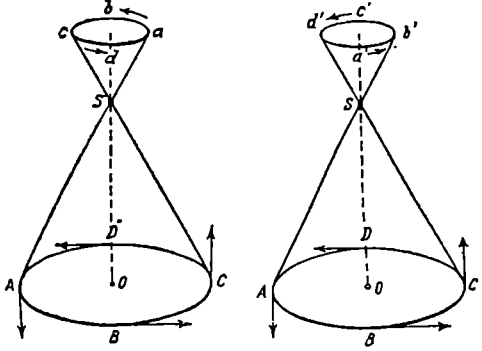
ვარსკვლავთ პარალაქსების განსაზღვრის სხვა მეთოდები აღწერილი იქნება XV თავში.

VIII. სინათლის აბერაცია

§ 121. ბრადლეის აღმოჩენა. XVIII ს. დასაწყისში ინგლისელმა ასტრონომმა ბრადლეიმ დრაკონის γ ვარსკვლავის დახრილობის რიგი ზუსტი განსაზღვრები აწარმოვა. მისი მუშაობის მიზანი იყო წლიური პარალაქსის აღმოჩენა, მაგრამ ამის მაგივრად მოულოდნელად აღმოაჩინა სხვა მოვლენა. მან მალე შეამჩნია, რომ ვარსკვლავის მდებარეობაში ხდება ცვლილებები, რომლებსაც წლიური პერიოდი აქვს. მათი კავშირი დედამიწის მოძრაობასთან უდავო იყო, მაგრამ გადახრების მიმართულება არ შეესაბამებოდა მოსალოდნელ პარალაქტურ გადაადგილებას.

წარმოვიდგინოთ, რომ დამკვირვებელი იმყოფება მზეზე და იქიდან აკვირდება ეკლიპტიკის პოლუსთან ახლო მდებარე ვარსკვლავს (როგორიცაა დრაკონის γ). შემდეგ, თუ დამკვირვებელი გადმოვა O მზიდან დედამიწაზე A წერტილში (ნახ. 60 ა), მაშინ მისთვის S ვარსკვლავი პარალაქსის გავლენ-

ნის გამო გადაინაცვლებს მისი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, ე. ი. მზის მიმართულებით a წერტილისაკენ. დედამიწის წლიური გარემოქცევისას ვარსკვლავი ყოველთვის რჩება მზისაკენ გადაადგილებული ერთი და იმავე სიდიდით. მაგრამ, რადგან დედამიწაზე მყოფი დაშვებული სივრცის მზე წლის განმავლობაში შეასრულებს ერთ სრულ ბრუნვას ეკლიპტიკაზე, ამიტომ ვარსკვლავის გადაადგილების მიმართულება განუწყვეტლივ იცვლება და ის წლის განმავლობაში შემოწერს სრულ წრეს. ამ წრის რადიუსი ვარსკვლავის წლიური პარალაქსის ტოლია; სხვადასხვა ვარსკვლავისათვის მას აქვს სხვადასხვა სიდიდე: რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავი; მით ნაკლებია აბსოლუტური. ახლა ჩვენ



ნახ. 60 ა

ნახ. 60 ბ

ვიციტ, რომ ყველაზე უახლოესი ვარსკვლავისათვის ის $1''$ -ზე ნაკლებია. ასეთი სიდიდე ბრადლეის არ შეეძლო შეემჩნია.

ბრადლეის მიერ აღმოჩენილი გადაადგილება კი შემდეგში მდგომარეობს:

1. ეკლიპტიკის პოლუსის მახლობლად მდებარე ვარსკვლავები წლის განმავლობაში შემოწერენ მცირე წრეებს, რომელთაც ტოლი რადიუსები აქვთ, სახელობრ $20''$,5; მაშასადამე,

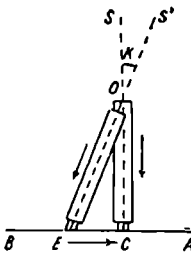
გადაადგილების სიდიდე არაა დამოკიდებული ვარსკვლავის მანძილზე.

2. ყოველ მოცემულ მომენტში წრის ცენტრიდან ვარსკვლავის გადაადგილება მიმართულია არა მზისაკენ, არამედ ეკლიპტიკაზე მზიდან 90° -ით უკან (დასავლეთით) მდებარე წერტილისაკენ. ამრიგად, ვარსკვლავი თითქოს სრული ბრუნვის $1/4$ -ით ჩამორჩება პარალაქტურ გადაადგილებასთან შედარებით. სწორედ ამ მოვლენას ეწოდება სინათლის აბერაცია.

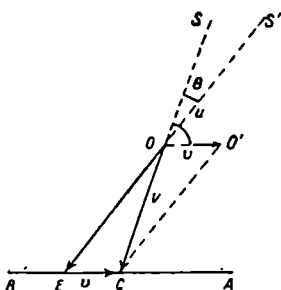
პარალაქტურ და აბერაციულ გადაადგილებათა შორის განსხვავება სქემატურად წარმოდგენილია 60 ა და 60 ბ ნახაზებზე. ერთი და იმავე ასოებით აღნიშნულია დედამიწისა და ვარსკვლავის შესაბამისი ხილული მდებარეობები. იმ დროს, როდესაც დედამიწა შემოწერს $ABCD$ წრიულ ორბიტს, ეკლიპტიკის პოლუსის მახლობელი ვარსკვლავი (კის სფეროზე შემოწერს: 1) პარალაქსის გამო ეკლიპტიკის პარალელურ პატარა $abcd$ წრეს, 2) მის კონცენტრულ გაცილებით დიდ $a'b'c'd'$ წრეს—აბერაციის გამო. დედამიწა რომ უძრავად O წერტილში ყოფილიყო, მაშინ ვარსკვლავი გამაჩნდებოდა ორივე წრის საერთო ცენტრში. ორივე წრეზე მოძრაობა იკრიბება, მაგრამ ვინაიდან პარალაქტური $abcd$ წრის (თუ ის საერთოდ შესაძინევა) რადიუსი სულ მცირე 25-ჯერ ნაკლებია $a'b'c'd'$ აბერაციულზე, ამიტომ პარალაქტური გადაადგილება აბერაციული წრის მხოლოდ უმნიშვნელო დეფორმაციას ახდენს.

§ 122. აბერაციის ახსნა. აბერაცია გამოწვეულია ვარსკვლავიდან მომავალი სინათლის მოძრაობისა და დედამიწის თავის ორბიტზე მოძრაობის თანამოქმედებით.

ა) ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსში. აბერაციის ასახსნელად ჯერ განვიხილოთ უმარტივესი შემთხვევა. ვთქვათ, დედამიწასთან ერთად BA მიმართულებით (ნახ. 61) მოძრავი ასტრონომი ტელესკოპში აკვირდება ეკლიპტიკის პოლუსში მდებარე S ვარსკვლავს, ასე რომ დედამიწის სიჩქარე შეადგენს სწორ კუთხეს ვარსკვლავიდან მომავალი სხივების მიმართულებებთან. რადგან ვარსკვლავამდე მანძილი ძალიან დიდია, ამიტომ ეს სხივები შეიძლება პარალელურებად ჩაითვალოს. სიმარტივისათვის წარმოვიდგინოთ, რომ ტელესკოპის მხედველობის არე ისე მცირეა, რომ მასში თავსდება მხოლოდ ჩვენი ვარსკვლავის გამოსახულება. დავეშვათ, რომ დამკვირვებელმა დააყენა თავისი ტელესკოპი CO მიმართულებით, BA -ს პერპენდიკულარულად. რადგან სინათლის სიჩქარე თუმცა ძალიან დიდია, მაგრამ არა უსასრულო, ამიტომ ვარსკვლავის სინათლე O ობიექტივიდან მიღწევს C ოკულარს რაღაც t დროის შუალედში. მაგრამ ამ დროის განმავლობაში დედამიწის მოძრაობის გამო ოკულარი C წერტილიდან გადაადგილდება და ამიტომ დამკვირვებელი ვერ დაინახავს ვარსკვლავს; რომ მისგან სინათლე დამკვირვებლის თვალს მოხვდეს, ცხადია, საჭიროა მილის ოკულარული ბოლო უკან დაეწიოთ EC მონაკვეთზე, რომელიც ტოლია იმ გზისა, რომელსაც დედამიწა გაივლის t დროში. მაშინ სინათლე C წერტილში სწორედ იმ მომენტში მივა, როდესაც იმავე წერტილში მივა ოკულარიც.



ნახ. 61.



ნახ. 62.

ამის შედეგად ჩვენ ვარსკვლავს დავინახავთ არა CS მიმართულებით, არამედ ES' მიმართულებით; ის მოგვეჩვენება რამდენადმე გადაადგილებული A წერტილის მიმართულებით, ე. ი. ცის სფეროს იმ წერტილისაკენ, რომლისაკენაც მოძრაობს დედამიწა მოცემულ მომენტში. ამ წერტილს ეწოდება აპექსი (apex—ლათინურად წვეროს ნიშნავს).

ვიპოვოთ ახლა დედამიწის წლიური მოძრაობის აპექსის მდებარეობა. ცხადია, რომ ეს წერტილი მდებარეობს ეკლიპტიკაზე მზიდან 90° -ით უკან (დასავლეთით), რადგან დედამიწის მოძრაობის სიჩქარე ემთხვევა მისი ორბიტის მხებეს, რომელიც დაახლოებით პერპენდიკულარულია წრფისა—მხედამიწა და მიმართულია (ჩრდილო ნახევარსფეროს დამკვირვებლისათვის) საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. როგორც ჩვენ ვნახეთ, ვარსკვლავის ხილული გადაადგილება სწორედ ამ მიმართულებით ხდება.

განესაზღვროთ გადაადგილების სიდიდე. ვთქვათ, V აღნიშნავს სინათლის სიჩქარეს, v — დედამიწის სიჩქარეს. სინათლე OC მანძილს გადის t დროში, ხოლო დედამიწა იმავე დროში გადის EC (ნახ. 61) მანძილს. მაშასადამე,

$$\frac{EC}{OC} = \frac{vt}{Vt},$$

მაშინ კუთხე k , რომელზედაც აბერაციის გამო S ვარსკვლავი გადაადგილდება, განისაზღვრება OEC სამკუთხედიდან:

$$\operatorname{tg} k = \frac{EC}{OC} = \frac{v}{V}. \quad (15)$$

რადგან დედამიწის სიჩქარე v ტოლია 29,75 კმ/სექ (თითქმის 30 კმ/სექ), ხოლო სინათლის სიჩქარე 299800 კმ/სექ (თითქმის 300 000 კმ/სექ), ამიტომ დაახლოებით

$$\operatorname{tg} k = 0,0001.$$

განესაზღვროთ k კუთხე. ამ კუთხის სიმცირის გამო მისი ტანგენსი შესაბამისი რკალის ტოლად მივიღოთ. (15) ტოლობიდან გვექნება:

$$k \sin 1'' = \frac{v}{V},$$

საიდანაც

$$k = \frac{1}{\sin 1''} \frac{v}{V} = \frac{206265}{299800} \frac{29,75}{1} = 20'',47. \quad (16)$$

ეს სწორედ ის სიდიდეა, რომელსაც დაკვირვება იძლევა (იხ. § 121); მას ეწოდება აბერაციის მუდმივი.

ბ) ზოგადი შემთხვევა. ვთქვათ, S ვარსკვლავი მდებარეობს ცის სფეროს ნებისმიერ წერტილში, u კუთხურ მანძილზე A აპექსიდან (ნახ. 62). ვარსკვლავიდან სინათლე ვრცელდება V სიჩქარით, რომელიც გამოსახულია OC ვექტორით, დედამიწა კი თავის ორბიტზე მოძრაობს x სიჩქარით (ვექტორი EC), რომელიც ვარსკვლავის მიმართულებასთან შეადგენს u კუთხეს; მაშინ სინათლის მოძრაობის მიმართულება დედამიწის მიმართ განისაზღვრება OE გვერდით. ამგვარად, მოძრავი დამკვირვებლისათვის ვარსკვლავი გამოჩნდება არა კემშარიტი COS მიმართულებით, არამედ EOS' მიმართულებით. ეს ხილული მიმართულება გადაადგილებულია კემშარიტის მიმართ θ კუთხით A აპექსის მხარეს და, ცხადია, ძვეს CS და CA -სთან ერთ სიბრტყეში.

θ კუთხის სიდიდე განისაზღვრება OEC სამკუთხედიდან:

$$\frac{\sin \theta}{\sin (u - \theta)} = \frac{v}{V}.$$

რადგან θ ძალიან მცირე სიდიდეა, ამიტომ მნიშვნელში მას უგულებელვყოფთ და მრიცხველში კი სინუსს შევცვლით შესაბამის რკალით. მივიღებთ:

$$\theta'' \sin 1'' = \frac{v}{V} \sin u,$$

$$\theta = k \sin u.$$

ამ კუთხითაა გადაადგილებული ვარსკვლავი აპექსისაკენ ყოველ მოცემულ მომენტში.

§ 123. აბერაციის გავლენა ვარსკვლავთ მდებარეობაზე. დედამიწის წლიური მოძრაობის აპექსი წელიწადის განმავლობაში ასრულებს სრულ გარემოქცევას ეკლიპტიკაზე. მასთან ერთად გარემოქცევა δ' ვარსკვლავი თავისი თეორიული „ქეშმარიტი“ δ მდებარეობის ირგვლივ. მანძილი $\delta\delta'$ განისაზღვრება მე (17) ფორმულით; რომ ის მუდმივი ყოფილიყო, მაშინ ვარსკვლავი შემოწვრდა წრეს $k=20''$,5 რადიუსით. სინამდვილეში ასე გადაადგილებიან ეკლიპტიკის პოლუსთან ახლო მდებარე ვარსკვლავები. ყველა დანარჩენი ვარსკვლავი წლის განმავლობაში შემოწვრს პარალაქტური ელიფსის მსგავს (§ 121) მცირე ელიფსებს. ყველა ელიფსის დიდი ღერძი (უდიდესი დიამეტრი) $2k$ პარალელურია ეკლიპტიკისა და ყველა ვარსკვლავისათვის ერთი და იგივეა, სახელდობრ $20,5 \cdot 2 = 41''$; მცირე ღერძი $2b$ დამოკიდებულია ვარსკვლავის განედზე; ის მით მცირეა, რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი ეკლიპტიკასთან; მისი სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით: $b = k \sin \beta$. ეკლიპტიკაზე მდებარე ვარსკვლავი ირხევა სწორ ხაზზე, გადაიხრება რა საშუალო მდებარეობიდან $20''$,5-ით ხან ერთი და ხან მეორე მიმართულებით.

სავარჯიშოები V თავისათვის

1. დაკვირვებიდან მიღებული მზის ზედა კიდის ზენიტური მანძილი ტოლია $64^{\circ}55'33''$ -ისა, მზის ხილული რადიუსი კი $-15^{\circ}51'$ -ის. მონახეთ პარალაქსზე და რეფრაქციაზე შესწორებით მზის ცენტრის გეოცენტრული ზენიტური მანძილი. პასუხი: $65^{\circ}13'20''$.

2. ზემოხსენებული დაკვირვება ჩატარებულა მოსკოვში ($\varphi = 55^{\circ}45'20''$) 15 მაისს. ამ მომენტში საშუალო ქრონომეტრი $16^{\text{h}}51^{\text{m}}7^{\text{s}}$ -ს უჩვენებდა, მზის ცენტრის დახრილობა იყო $+18^{\circ}50'33''$. განვსაზღვროთ ქრონომეტრის შესწორება ადგილობრივი საშუალო დროის მიმართ. დროის განტოლება $-3^{\text{h}}47^{\text{m}}5^{\text{s}}$ იყო. პასუხი: $-1^{\text{m}}18^{\text{s}}$.

3. პატარა დათვის β ვარსკვლავის დაკვირვებიდან მიღებული ზენიტური მანძილი ზედა კულმინაციაში იყო $23^{\circ}2'7''$, ქვედა კულმინაციაში $-53^{\circ}51'51''$ მოენახოთ დაკვირვების ადგილის განედი და ვარსკვლავის დახრილობა რეფრაქციის მხედველობაში მიღებით. პასუხი: $\varphi = 51^{\circ}52'8''$, $\delta = +74^{\circ}34'40''$.

4. დაკვირვებიდან მიღებული მზის ქვედა კიდის ზენიტური მანძილი ზედა კულმინაციის დროს $55^{\circ}42'19''$ იყო, მზის კუთხური რადიუსი $-16'10''$, მზის ცენტრის დახრილობა $-14^{\circ}34'56''$. მოენახოთ ადგილის განედი. პასუხი: $+40^{\circ}52'31''$.

5. ორი ადგილის გრძედთა სხვაობა რომელ დროთა სხვაობის ტოლია, მზისმიერისა თუ ვარსკვლავთმიერისა?

6. სფერული აეროსტატის ნორმალური დიამეტრი 13 მ-ია. რა მანძილზე იმყოფება იგი, თუ მთვარეზე ორჯერ ნაკლები ჩანს?

7. რას უდრის მზიდან ხილული დედამიწის კუთხური დიამეტრი? მარსიდან (საშუალო მანძილზე პირისპირდგომის დროს, § 115)?

8. ცთომილი ნექტუნი მზიდან 30 ასტრონომიულ ერთეულზე იმყოფება. რას უდრის მისი ჰორიზონტული პარალაქსი დედამიწიდან საშუალო მანძილზე? რას უდრის მისი წლიური პარალაქსი?

9. ზოგჯერ ამბობენ, რომ დედამიწის სფეროსებრიობის დამტკიცება მთვარის დაბნელებათა მიხედვით (იხ. § 102) არაა სწორი, რადგან დედამიწის ჩრდილი ეცემა არა სიბრტყეს, არამედ მთვარის სფერულ ზედაპირს და ამიტომ დედამიწის ჩრდილის საზღვარი არ წარმოადგენს წრის რკალს. უარყავით ეს მოსაზრება.

10. რამდენით ნაკლებია მთვარის ჰორიზონტული პარალაქსი მის ჰორიზონტულ ეკვატორულ პარალაქსზე? იგივე მზისათვის?

11. დედამიწის ცენტრი, მთვარის ცენტრი და ეკვატორზე ძლიერ შორს მანძილზე მდებარე ვარსკვლავი ერთ სწორ ხაზზე მდებარეობს. იმ მერიდიანზე, რომლისთვისაც მთვარე კულმინაციაშია, რომელი განედიდან დაწყებული დაინახავს ამ ვარსკვლავს დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებელი? $p_0 = 57'$, $2p = 31'$. პასუხი: $\varphi > 15^{\circ}, 5$.

12. რა კუთხით შეიძლება დაშორდეს მთვარე დედამიწას მარსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის საშუალო პირისპირდგომის დროს? (ამოცანა 7 და § 108).

13. განესაზღვროთ მარსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მისი თანამგზავრის ფობოსის ჰორიზონტული პარალაქსი, რომლისთვისაც $D = 2,8 r$.

14. გარდა §§ 121, 122-ში აღწერილი წლიური აბერაციისა, არსებობს კიდევ დღე დამური აბერაცია, რომელიც გამოწვეულია დამკვირვებლის მოძრაობით პარალელზე დედამიწის ბრუნვის გამო. სად მდებარეობს მისი აპექსი? რამდენჯერ ნაკლებია მისი k' მუდმივი წლიური აბერაციის k მუდმივზე დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის?

15. როგორ მოქმედებს მზის ამოსვლის მომენტზე სინათლის არამყისიერი გავრცელება (§ 122)? რატომ არაა იგი მხედველობაში მიღებული § 86 ის ფორმულაში?



მთვარის მოძრაობა. დახვეწილი

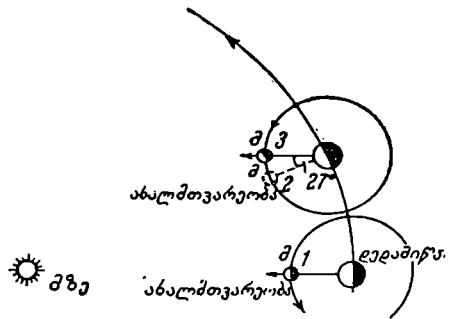
I. მთვარის მოძრაობა

§ 124. მთვარის ხილული მოძრაობა. მთვარეს, გარდა ცის თალთან ერთად დღელამური მოძრაობისა, აქვს ადვილად შესამჩნევი საკუთარი მოძრაობაც. თუ თვალყურს ვადევნებთ მთვარის მდებარეობას რომელიმე კაშკაშა ვარსკვლავის მიმართ რამდენიმე საათის განმავლობაში, აღმოჩნდება, რომ ყოველ საათში მთვარე გადაადგილდება აღმოსავლეთით დაახლოებით თავისი დიამეტრის ტოლ სიდიდებზე, ე. ი. $1/2^{\circ}$ -ზე ცოტა უფრო მეტად. დღელამის განმავლობაში მთვარე გადაადგილდება 13° -ით და მერიდიანზე გაივლის დაახლოებით 50 მინუტის დაგვიანებით, ვიდრე წინა დღეს. საშუალოდ ასეთივე სიდიდით აგვიანებს ის ყოველდღე ამოსვლას და ჩასვლას.

მთვარე მოძრაობს დედამიწის გარშემო დასავლეთიდან აღმოსავლეთით.

27,32 დღე-ღამის განმავლობაში მთვარე დაასრულებს ერთ სრულ გარემოქცევას და აღმოჩნდება საწყის მდებარეობაში ვარსკვლავების მიმართ. დროის შუალედს, რომლის განმავლობაში მთვარე კვლავ უბრუნდება უწინდელ მდებარეობას ვარსკვლავის მიმართ (ანუ, რაც იგივეა, მთვარის ერთი სრული შემოვლის დრო დედამიწის ირგვლივ), ეწოდება ვარსკვლავთმთვარეობა, ანუ სიდერული თვე.

§ 125. ვარსკვლავთმთვარეობა თვე და სინოდური თვე. მომენტს, როცა მთვარის გრძედი ტოლია მზის გრძედისა (§ 26), ეწოდებენ ახალმთვარეობას. დაეუშვათ (ნახ. 63), რომ რომელიმე ახალმთვარეობიდან (1) გავიდა $27\frac{1}{3}$ დღე-ღამე (ე. ი. ერთი ვარსკვლავთმთვარეობა თვე) და მთვარე (მ)



ნახ. 63.

დაუბრუნდა იმავე მდებარეობას ვარსკვლავთ მიმართ (3). ამ მომენტისათვის ახალშთვარეობა ჯერ კიდევ არ იქნება. 27 დღე-ღამის განმავლობაში მზე გადაადგილდა აღმოსავლეთით დაახლოებით 27° -ით (იხ. § 23) და მთვარე უნდა დაეწიოს მას. რადგანაც დღე-ღამის განმავლობაში მთვარე ეწევა მზეს $13^{\circ}-1^{\circ}=12^{\circ}$ -ით, მას ამისათვის დასჭირდება დაახლოებით $27/12$ დღე-ღამე $=2^{1}/4$ დღე-ღამე.

ამგვარად, დედანიწის ირგვლივ მთვარის შემოვლის კეშმარიტი დრო, ანუ ვარსკვლავთმიერი თვე, შეადგენს $27^{1}/3$ დღე-ღამეს, ხოლო დროის შუალედი ორ ზომდევნო ახალ მთვარეობას (1 და 2) შორის $2^{1}/4$ დღე-ღამით ხანგრძლივია და, მაშასადამე. შეადგენს $29^{1}/2$ დღე-ღამეზე რამდენადმე მეტს. ამ პერიოდს ეწოდება სინოდური თვე: სხვაგვარად, სინოდური თვე ეწოდება დროის იმ შუალედს, რომლის გავლის შემდეგ მთვარე უბრუნდება თავის უწინდელ მდებარეობას მზის მიმართ.

მენიშვნა: რადგან სინოდური გარემოქცევა გვხვდება ცთომილთ მოძრაობებშიც, სასარგებლოა ვიცოდეთ მისი გამოთვლის საერთო წესი.

დავუშვათ, რომ S არის სინოდური თვის ხანგრძლიობა (დღე-ღამეებში), რომელიც ჩვენთვის უცნობია; T —ვარსკვლავთმიერი თვე და E —ვარსკვლავთმიერი წელი, ე. ი. დროის შუალედი, რომლის გავლის შემდეგ მზე უბრუნდება ერთსა და იმავე ვარსკვლავს. როგორც შემდეგ იქნება განმარტებული (იხ. § 177), ვარსკვლავთმიერი წელი რამდენადმე უფრო ხანგრძლივია ტროპიკულზე (§ 25); ის შეიცავს 365,256 დღე-ღამეს.

ცხადია, მთვარის დღეღამური გადაადგილება შეადგენს წრეხაზის $\frac{1}{T}$,

ხოლო მზისა— $\frac{1}{E}$ ნაწილს. ამ ორი წილადის სხვაობა მოგვცემს მთვარის

დღეღამურ გადაადგილებას მზის მიმართ, ე. ი. $\frac{1}{S}$ -ს. ამგვარად,

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}. \tag{1}$$

ეს ე. წ. სინოდური მოძრაობის განტოლებაა. T და E -ს მნიშვნელობების ჩასმით აქედან განვსაზღვრავთ S უცნობს

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{27,322} - \frac{1}{365,256}$$

საიდანაც $S=29,531$ დღე-ღამეს.

პირიქით, გვეცოდინება რა S დაკვირვებების საფუძველზე, შეიძლება (1) განტოლებიდან T -ს განსაზღვრა. სინამდვილეში უფრო ხშირად გვიხდება ამ უკანასკნელი ამოცანის ამოხსნა.

§ 126. მთვარის გზა ვარსკვლავთ შორის. განვსაზღვრავთ რა ყოველდღე მთვარის ცენტრის მდებარეობებს ვარსკვლავთ მიმართ და გადავიტანთ მათ რუკაზე, ჩვენ შეგვიძლია შემოვხაზოთ მთვარის გზა ცაზე. ის წარმოად-

გენს დიდ წრეს, რომელიც არ ემთხვევა ეკლიპტიკას, არამედ გადაკვეთს მას ორ დიამეტრალურად მოპირდაპირე წერტილში (§ 10). ამ წერტილებს მთვარის კვანძები ეწოდება; იმ კვანძს, რომელშიც ნთვარე გადადის სამხრეთიდან ჩრდილო ნახევარსფეროში, ეწოდება აღმავალი კვანძი (5'), ხოლო მოპირდაპირეს — დაღმავალი (5). აღმავალ და დაღმავალ კვანძთა შუაში ნთვარე ყველაზე მეტად შორდება ეკლიპტიკას, სახელდობრ, 5°9'-ით ჩრდილოეთით, ხოლო დაღმავალიდან აღმავალი კვანძისაკენ შუა გზაზე — ამდენადვე სამხრეთით, ამგვარად, მთვარის ორბიტის დახრა ეკლიპტიკასთან შეადგენს 5°9'-ს. უფრო ხანგრძლივი დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მთვარის გზის მდებარეობა ყოველთვის იცვლება, რაც გამოწვეულია კვანძთა მოძრაობით.

§ 127. მთვარის კვანძების მოძრაობა და მისი შედეგები. მთვარის კვანძები განუწყვეტლივ გადაადგილდება ეკლიპტიკაზე დასავლეთით, ე. ი. მთვარის მოძრაობის გემხედარი მიმართულებით. მთვარის ყოველი სრული გარემოქცევისას კვანძთა გადაადგილება შეადგენს 1°5'-ს, ხოლო ერთ წელსწადში თითქმის 20"-ს. ამგვარად, ერთი თვის გავლის შემდეგ ნთვარე არასოდეს არ უბრუნდება ზუსტად თავის უწინდელ მდებარეობას და ყოველ შემდეგ გარემოქცევას ის, ზუსტად რომ ვთქვათ, ახალ გზაზე ასრულებს. მომდევნო გარემოქცევათა გზები, რომელთაც შემოწერს მთვარე, ლაგდება ერთიმეორის გვერდით, გადაკვეთენ რა ურთიერთს ძალიან მცირე კუთხეებით, როგორც ბაწრის ხეივები კარგად დახვეულ შულოზე. 18 წლისა და 7 თვის შემდეგ კვანძები ასრულებს ერთ სრულ გარემოქცევას და მთვარის გზა უბრუნდება ისევ თავის წინანდელ მდებარეობას.

კვანძების მოძრაობა შესამჩნევად მოქმედებს მთვარის ხილვადობის პირობებზე. როცა აღმავალი კვანძი ემთხვევა გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილს, მაშინ მთვარის ორბიტა მდებარეობს ეკლიპტიკასა და ცის ეკვატორს შორის კუთხის გარეთ. ორბიტის დახრა (5°9') ემატება ეკლიპტიკის დახრას (23°27') და ამიტომ მთვარის ორბიტის დახრა ცის ეკვატორისა და დღის შეადგენს 28°36'-ს. ასე იყო 1932 წელს, 1951 წელს. ხოლო, როცა გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილში მოხვდება დაღმავალი კვანძი, მთვარის ორბიტა მოექცევა ცის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის, ორბიტის დახრა აკლდება ეკლიპტიკის დახრას და მაშინ შეადგენს სულ 23°27'—5°9'—=18°18'-ს (1959 წ.). პირველ შემთხვევაში მთვარის უდიდესი დაშორება ეკვატორიდან შეადგენს +28°36'-ს ჩრდილოეთით, ამდენსავე სამხრეთით და მისი დახრილობა მთელი თვის განმავლობაში შეიცვლება +28°36'-დან — 28°36'-მდე, ე. ი. 57°12'-ის საზღვრებში. მეორე შემთხვევაში კი სხვაობა შეადგენს მხოლოდ 36°36'-ს და იქნება, მაშასადამე, გაცილებით უფრო ნაკლებ მკვეთრი. კვანძთა მოძრაობის მეორე მნიშვნელოვანი შედეგია დაბნელებათა ხილვადობის ეპოქების ყოველწლიური ცვლილება (იხ. შემდეგ § 136).

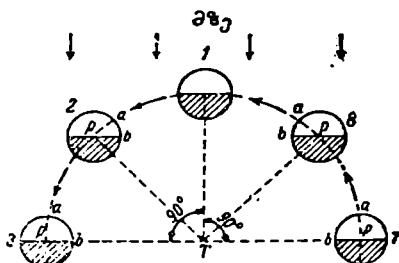
მთვარის კვანძების მოძრაობის მიზეზი ახსნილი იქნება VIII თავში. ის მდგომარეობს მთვარეზე მზის მიზიდულობის ძალის მოქმედებაში.

§ 128. მთვარის ფაზები. მთვარის სხვადასხვანაირი სახე (მთელი წრე ნაბგალი და ა. შ.) იწოდება ფაზად. მთვარის ფაზები აიხსნება იმით, რომ

მსგავსად დედამიწისა, მთვარეც წარმოადგენს ბნელ, გაუმკვირვალე სხეულს, რომელიც ნათდება მზის მიერ. მზე იმდენად შორს არის ჩვენგან (თითქმის 460-ჯერ უფრო შორს, ვიდრე მთვარე), რომ მისი სხივები შეიძლება ჩაითვალოს პარალელურებად, რის გამოც იგი ანათებს ზუსტად მთვარის ნახევარს, მთვარის მეორე ნახევარი კი გაუნათებელი რჩება. რადგან, ჩვეულებრივ, დედამიწისაკენ მოქცეულია როგორც ხილული განათებული, ისე, გაუნათებელი ნახევარსფეროს ნაწილი, მთვარე უფრო ხშირად გვევლინება არასრული სახით ამა თუ იმ ფაზაში.

ახალმთვარეობის დროს, როცა მთვარე გადის მზესა და დედამიწას შორის (ნახ. 64 და 65, მდებარეობა 1), ჩვენსკენ მოქცეულია მისი ბნელი მხარე. ამ დროს მთვარე სრულიად უხილავია. ორი დღის შემდეგ, როცა მთვარე მოცილდება მზეს 25—30°-ით აღმოსავლეთით, ჩვენ დავინახავთ განათებულ ნახევარსფეროს მცირე ნაწილს. ამ შემთხვევაში მთვარე წარმოგვიდგება ვიწრო ნამგლის სახით, რომლის ამოზნექილი მხარე მოქცეულია მარჯვნივ (მზის მხარეს; მდებარეობა 2, ნახ. 64 და 65).

ახალმთვარეობიდან ერთი კვირის შემდეგ, როცა მთვარე გაივლის სრული ბრუნვის $\frac{1}{4}$ -ს, ჩვენ მხარეს მოქცეული იქნება განათებული ნახევარსფეროს $\frac{1}{2}$ და ბნელის $\frac{1}{2}$, ამ დროს ჩვენთვის მთვარის დისკოს მარჯვენა ნახევარია განათებული. ამ ფაზას ეწოდება პირველი მეოთხედი (მდებარეობა 3). შემდეგ დედამიწიდან შოჩანს განათებული ნახევარსფეროს სულ უფრო მეტი ნაწილი, ხოლო კიდევ ერთი კვირის გავლის შემდეგ, სრულმთვარეობისას ჩვენ ვხედავთ მთვარის მთელ დისკოს განათებულს. სრულმთვარეობის შემდეგ მთვარე იწყებს კლებას; ყოველდღიურად დედამიწიდან გამოჩნდება განათებული ნახევარსფეროს უფრო და უფრო მცირე ნაწილი; დისკოს მარჯვენა მხრიდან ჩნდება თანდათან დიდი „დანაკლისი“.



ნახ. 64.

საესემთვარეობიდან ერთი კვირის შემდეგ დგება უკანასკნელი მეოთხედი; ჩვენ ვხედავთ განათებულს დისკოს მარცხენა ნახევარს; ბოლოს მთვარე ლებულობს ნამგლის სახეს, რომლის ამოზნექილი მხარე მარცხნივაა მიქცეული და მალე სრულიად ქრება, კვლავ იწყება ახალმთვარეობა (მდებარეობა 7 და 8).

საესემთვარეობამდე მთვარე შოჩანს სალამოდანვე. ის შეიძლება დავინახოთ

საესემთვარეობამდე მთვარე შოჩანს სალამოდანვე. ის შეიძლება დავინახოთ

ხოთ ცაზე დღისითაც მზის ჩასვლამდე დიდი ხნით აღრე. რაკ უფრო ივსება მთვარე, მით მეტად ცილდება მზეს და მით უფრო გვიან ჩადის. სრული მთვარე ჩანს ცაზე ზუსტად მზის პირდაპირ (მისი გრძელი განსხვავლება მზის გრძედისაგან 180°-ით), ამიტომ მთვარე ამოდის დაახლოებით მზის ჩასვლის დროს, ხოლო ჩადის დაახლოებით მზის ამოსვლის მომენტში. ამგვარად, ის ჩანს მთელი ღამის განმავლობაში.

ცხრომადი მთვარე საღამოს არ ჩანს; ის ამოდის მზის ჩასვლის შემდეგ და ჩადის უკვე დღისით; ამიტომაც, ხშირად შეიძლება მისი დანახვა დღით, მზის სრული ნათების დროს.

გეომეტრიულად მთვარის ნამგლის მდებარეობა განისაზღვრება შემდეგნაირად: სწორი, რომელიც აერთებს ნამგლის ბოლოებს, ყოველთვის პერპენდიკულარულია მზისაკენ მიმართული ხაზისა, ამასთანავე, ნამგლის ბოლოები ყოველთვის მიმართულია მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამიტომ ნამგლის ბოლოების ზუსტი მდებარეობა ნებისმიერ მომენტში შეიძლება გამოთვლილ იქნეს წინასწარ. ხაზს, რომელიც გამოყოფს დისკოს ბნელ ნაწილს ნათელისაგან, ეწოდება ტერმინატორი. იგი ყოველთვის წარმოადგენს ელიფსის ნახევარს.

§ 129. ფერფლის ფერი სინათლე. ახალმთვარეობის დროს, როცა მთვარეს აქვს ვიწრო ნამგლის სახე, შეგვიძლია დავინახოთ მთვარის მთელი დისკო; თუმცა, მთვარის ის ნაწილი, რომელიც არ არის განათებული მზის მიერ, ანათებს ძალზე მკრთალად ანუ, როგორც ამბობენ, „ფერფლისებრი“ სინათლით.

ეს „ფერფლისებრი“ სინათლე წარმოადგენს დედამიწისაგან არეკლილ სინათლეს. მართლაც, მთვარის მსგავსად დედამიწაც არეკლავს მზის სხივებს; ამიტომ მთვარეზე მყოფი ფიქტიური დამკვირვებლისათვის დედამიწაც ისევე შეიცვლის ფაზებს, როგორც ჩვენთვის მთვარე. მხოლოდ დედამიწის ფაზა იქნება ყოველთვის მოკემულ მომენტში მთვარის ფაზის საწინააღმდეგო. ასე, მაგალითად, ახალმთვარეობის დროს დედამიწა მთვარიდან გამოჩნდება თითქმის სრულად; რადგანაც მთვარიდან ხილული დედამიწის დისკოს დიამეტრი თითქმის ოთხჯერ აღემატება ჩვენთვის ხილულ მთვარის დისკოს დიამეტრს (§ 107), ამიტომ სინათლე, რომელსაც არეკლავს დედამიწა მთვარეზე 16-ჯერ უფრო კაშკაშა უნდა იყოს მთვარის სინათლეზე. მაგრამ დედამიწის ზედაპირი არეკლავს გაცილებით უფრო მეტ სინათლეს, ვიდრე მთვარის ზედაპირი. უახლესი განსაზღვრებით „სრული დედამიწის“ სინათლე 80-ჯერ უფრო კაშკაშაა სრული მთვარის სინათლეზე. ის ისე ძლიერ ანათებს მთვარის ბნელ ნახევარსდეროს, რომ მისი ზედაპირი ხილული ხდება.

ფერფლისებურ სინათლეზე დაკვირვებანი მეტად საინტერესოა, რადგანაც მხოლოდ მის საფუძველზე შეგვიძლია ვიქონიოთ წარმოდგენა იმის შესახებ, თუ როგორი ფერისა და რა სიკაშკაშისაა ჩვენი დედამიწა სამყაროს სივრციდან დაკვირვებისას. სწორედ ასეთი დაკვირვებების საფუძველზე იყო მიღებული ახლახან აღნიშნული რიცხვი 80.

§ 130. მთვარის ორბიტა. პირველი მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მთვარე მოძრაობს დედამიწის გარშემო ელიფსზე. მთვარის ორბიტის

იმ წერტილს, სადაც მთვარე ყველაზე უფრო ახლოს იმყოფება ჩვენთან, ეწოდება პერიგეუმი, ხოლო დიამეტრალურად მოპირდაპირე წერტილს, რომელშიც მთვარე ყველაზე შორსაა—აპოგეუმი. ხაზს, რომელიც აერთებს ამ ორ წერტილს, ე. ი. ელიფსის დიდ ღერძს, უწოდებენ აფსიდების ხაზს.

ელიფსი, რომელზედაც მოძრაობს მთვარე, მნიშვნელოვნად განსხვავდება წრისაგან, გაცილებით მნიშვნელოვნად, ვიდრე მაგალითად, დედამიწის ორბიტის ელიფსი. მთვარის საშუალო მანძილი დედამიწიდან შეადგენს 385.000 კმ, ანუ 30-ჯერ აღებულ დედამიწის დიამეტრს. პერიგეუმში მთვარე ჩვენთან ახლოა ამ სიდიდის $\frac{1}{14}$ -ით, ხოლო აპოგეუმში—ამდენადღე შორს.

სიჩქარე, რომლითაც მოძრაობს მთვარე დედამიწის ირგვლივ, ემორჩილება იმავე კანონს, რომელსაც ცთომილთა მოძრაობის სიჩქარე (კეპლერის მეორე კანონი, § 153); რაც უფრო ახლოა მთვარე დედამიწასთან, მით მეტია სიჩქარე. საშუალოდ ის შეადგენს 1 კმ/სეკ. ცის სხეულთა მოძრაობისათვის—ეს ძალზე მცირე სიდიდეა. გავისხენოთ, მაგალითად, რომ თვით დედამიწა (მთვარის თანხლებით) მოძრაობს თავის ორბიტზე თითქმის 30-ჯერ უფრო სწრაფად (§ 122).

მთვარის ორბიტა მუდამ იცვლება მზის მიზიდულობის შედეგად (იხ. VIII თავი). ასე, ელიფსი, რომელსაც ის აღწერს, ხან მეტად არის გაწეილი, ხან ნაკლებად. იცვლება თვით თვეების ხანგრძლიობაც; მაგალითად, სინოდური თვე, რომლის საშუალო ხანგრძლიობა შეადგენს 29 დღე-ღამეს, 12 საათსა და 44 მინუტს, შეიძლება იყოს 6 საათით ხანგრძლივი და ამდენადღე ხანმოკლე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გადახვევები, ანუ ე. წ. „უთანასწორობანი“ მთვარის სიჩქარეში. კეპლერის მეორე კანონის თანახმად სიჩქარეში ცვლილების გარდა, ორბიტის სხვადასხვა წერტილში მთვარე განიცდის სხვადასხვა სიდიდის აჩქარებასა და შენელებას, რომელიც დამოკიდებულია მზის გაულებისაგან.

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს მთვარის კვანძების მოძრაობას დასავლეთით (იხ. § 127) 6793 დღე-ღამის, ე. ი. 18 წლისა და 7 თვის პერიოდით. იცვლება აგრეთვე მთვარის ორბიტის დიდი ღერძის მიმართულება და ამასთანავე ძლიერ სწრაფად; პერიგეუმი მოძრაობს ყოველთვის აღმოსავლეთით და სრულ ბრუნვას ანდომებს მხოლოდ 9 წელიწადს (უფრო ზუსტად, 3232 დღე-ღამეს). ამგვარად, მთვარის მოძრაობა მართლაც არაჩვეულებრივად რთულია და მისი ზუსტად გამართულა წარმოადგენს ერთ-ერთ უძნელეს ამოცანას ასტრონომიაში.

II. მზისა და მთვარის დაბნელებანი

§ 131. მთვარის მიერ მნათობების დაფარვა. მთვარეს დედამიწის გარშემო მოძრაობის დროს ყოველთვის უხდება უფრო შორს მდებარე მნათობების წინ გავლა და, ამგვარად, ჩამოეფარება ხოლმე მათ. უფრო ხშირად ის ფარავს ვარსკვლავებს; მთვარის მიერ ე. წ. ვარსკვლავთ დაფარვა წარმოადგენს ჩვეულებრივ მოვლენას.

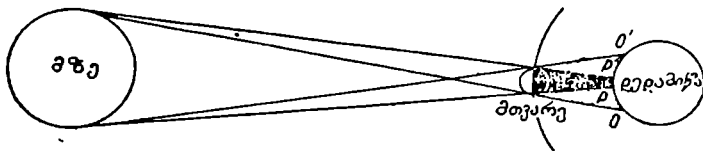
როგორი კაშკაშაც არ უნდა იყოს ვარსკვლავი, მთვარის მიერ მისი დაფარვის დროს, ის მყისვე ქრება მთვარის კიდის უკან (დაფარვის დასაწყისი).

და ასევე უცბად გამოჩნდება მთვარის მეორე კიდიდან თავისი სრული ბრწყინვალეობით (დაჟარვის დასასრული). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ: 1) ვარსკვლავის კუთხური დიამეტრი უმნიშვნელოდ მცირეა და 2) მთვარეს პრაქტიკულად არა აქვს ატმოსფერო. დაფარვის დასაწყისისა და დამთავრების სუსტი ამბენტების გამოთვლას დიდი მნიშვნელობა აქვს მთვარის მოარაობის შესასწავლად და, ამავე დროს, დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილის გრძედების განსასაზღვრავად.

ცთომილთ დაფარვები უფრო იშვიათად ხდება. ამ შემთხვევაში ცთომილი, რომლის დისკო შეჰამჩნევი სიდიდისაა, მთვარეს უკან წოფარება თანდათანობით.

მთვარის მიერ მზის დაფარვას ეწოდება მზის დაბნელება.

§ 132. მზის დაბნელება (სრული და ნაწილობრივი). მზის დაბნელებას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მხოლოდ ახალმთვარეობის დროს. ის მოხდება ადგილი ახალმთვარეობის დროს, რომ მთვარის ორბიტის სიბრტყე ეკლიპტიკის სიბრტყეს თანხვედობდეს. მაგრამ, იმის გამო, რომ მთვარის ორბიტის სიბრტყე დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი, მთვარე ახალმთვარეობის დროს უფრო ხშირად მზის ჩრდილოეთით ან სამხრეთით გაივლია და, ამგვარად, არ ფარავს მზეს. დაბნელება შეიძლება მოხდეს მხოლოდ მაშინ.



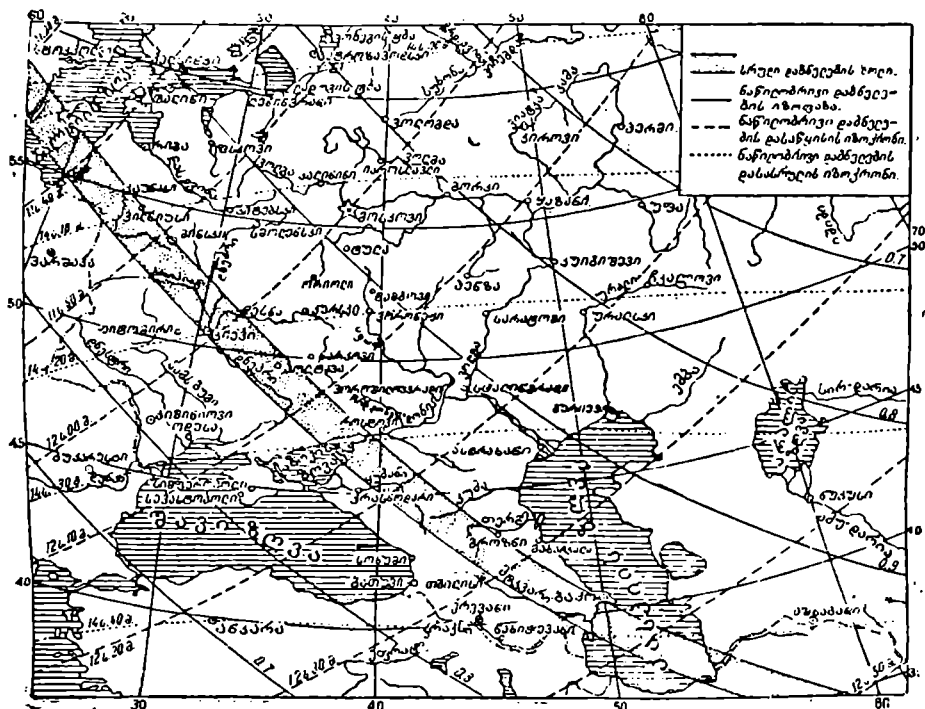
ნახ. 66.

როცა ახალმთვარეობას ადგილი აქვს ეკლიპტიკისთან ახლოს, ე. მთვარის ორბიტის რომელიმე კვანძთან ახლოს.

დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილისათვის მზის დაბნელებას სხვადასხვა სახე აქვს. დავეუფათ, რომ ნახ. 66-ზე წარმოდგენილია მზე, დედამიწა და მთვარე. აშკარაა, რომ მზე სულ მთლიანად დაფარული იქნება მთვარის მიერ მხოლოდ იმ დამკვირვებლისათვის, რომელიც იმყოფება PP' წერტილებს შორის, ან როგორც ამბობენ, მთვარის ჩრდილის კონუსის შიგნით, რომლის ნაქსიმალური დიამეტრი დედამიწის მანძილზე 268 კმ-ია. დედამიწის ზედაპირის ამ შედარებით ვიწრო ზოლში, სადაც ეცემა მთვარის ჩრდილი, ძოჩანს სრული დაბნელება.

OP და $P'O'$ არეში, ე. წ. მთვარის ნახევარჩრდილის კონუსის შიგნით, ნაწილობრივ დაბნელებას აქვს ადგილი. ჩრდილო დამკვირვებლისათვის მთვარის მიერ დაფარულია მზის დისკოს სამხრეთი (ქვემოთა) ნაწილი. ხოლო სამხრეთ დამკვირვებლისათვის—ჩრდილო. რაც უფრო ახლოა დამკვირვებელი ჩრდილის ცენტრთან, მზის მით უფრო მეტი ნაწილია დაფარული და მით მეტია დაბნელების ფაზა. ბოლოს, ნახევარჩრდილის კონუსის გარღთ ჩანს მზის მთელი დისკო და არავითარ დაბნელებას ადგილი არა აქვს.

დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილისათვის დაბნელება არამც თუ სხვადასხვანაირად ჩანს, არამედ სხვადასხვა დროსაც იწყება. მართლაც, იმის გამო, რომ მთვარე მოძრაობს დედამიწის გარშემო, მაგ., სრული და-



ნახ. 67

1954 წლის 30 ივნისის მზის დაბნელების რუკა

ბნელების არე (მთვარის ჩრდილი) სწრაფად გადაიბრუნეს დედამიწის ზედაპირზე, დაახლოებით, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. დედამიწის იმ წერტილებში, სადაც იწყებს შესვლას მთვარის ჩრდილი (დასავლეთით), მზე ამ დროს ამოდის. რამდენიმე საათის შემდეგ მთვარის ჩრდილი ტოვებს დედამიწის ზედაპირს აღმოსავლეთ ქვეყნებში, სადაც ამ დროს უკვე საღამოა და დაბნელებას იქ ვხედავთ მზის ჩასვლისას.

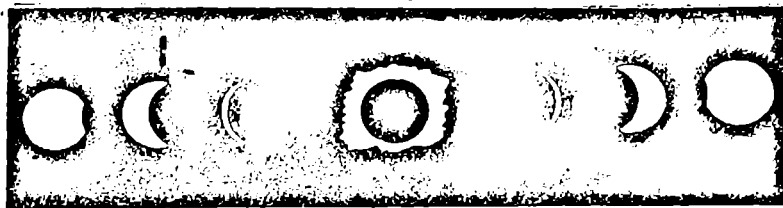
ამგვარად, ყოველი სრული დაბნელება შეიძლება დამზერილ იქნეს ზოლის შიგნით, რომელიც რამდენიმე ათასი კილომეტრის სიგრძეზე ვრცელდება და საშუალოდ 200 კმ სიგანეზე (ნახ. 67). დედამიწის ზედაპირის სხვა ნაწილში კი დაბნელება მოჩანს ნაწილობრივი სახით, ანდა სულ არ მოჩანს. მზის დაბნელების წინასწარი გამოთვლა საკმაოდ რთული ამოცანაა, რადგანაც საჭიროა დედამიწის ზედაპირის ყოველი წერტილისათვის ცალკე გამოთვლის წარმოება.

ნზისა და მთვარის დაბნელების პრაქტიკულად გამოთვლებისათვის ყველაზე ზუსტი და მოხერხებულია თეორია, რომელიც შექმნილია საბჭოთა მეცნიერთა კოლექტივის მიერ, პროფ. ა. ა. ნიხაილოვის ხელმძღვანელობით.

§ 133. მზის რგოლისებური დაბნელება. მთვარესა და დედამიწას შორის მანძილი იცვლება საკმაოდ დიდ ფარგლებში (§ 130); ამიტომ მთვარის ხილული დისკო ხან მეტია, ხან კი ნაკლები მზის დისკოზე. თუ სრული დაბნელების მომენტში მთვარის დისკო მეტია მზისაზე, მაშინ დამკვირვებელი, რომელიც იმყოფება ჩრდილის ცენტრალური ხაზის (ღერძის) მახლობლად, დაინახავს სრულ დაბნელებას; ხოლო, თუ ამ დროს მთვარის კუთხური დიამეტრი ნაკლებია მზისაზე, მაშინ მთვარის ხილული ცენტრის მზის ცენტრთან დამთხვევის დროსაც კი მზის კიდე დარჩება დაუფარავი. მზის კიდე იქნება ხილული მთვარის ბნელი დისკოს გარშემო, როგორც ვიწრო ბრწყინვალე რგოლი. ასეთ დაბნელებას უწოდებენ რგოლისებურს.

იმისათვის, რომ გამოვიკვლიოთ რგოლისებური დაბნელების პირობები, საჭიროა (ნახ. 66-ზე) წარმოვიდგინოთ, რომ მთვარის ჩრდილის კონუსის წვერო ამ შენთხვევაში ვერ აღწევს დედამიწის ზედაპირს. ჩრდილის ღერძის ახლოს გამოჩნდება მზის რგოლისებური დაბნელება, ხოლო მთვარის ნახევარ-ჩრდილის დანარჩენ წერტილებში—ჩვეულებრივი, ნაწილობრივი.

§ 134. მზის დაბნელების აღწერა. რადგანაც მთვარე მოძრაობს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით, დაბნელება იწყება მზის დისკოს დასავლეთ (მარჯვენა) ნაპირიდან; ამ კილიდან დაიწყებს შემოსვლას რკალისებური ჩრდი-



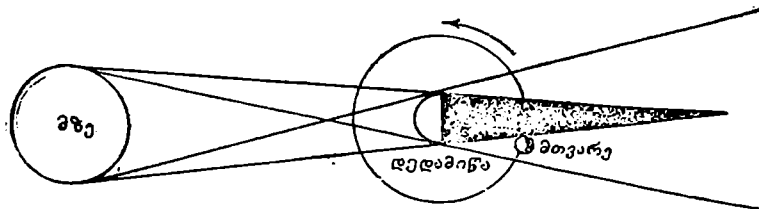
ნახ. 68.

ლი, რომლის რადიუსი დაახლოებით მზის ხილული რადიუსის ტოლი იქნება. ჩრდილის სიდიდე თანდათან იზრდება და მზე ღებულობს უფრო და უფრო ვიწრო ნამგლის ფორმას (ნახ. 68). სანამ ჯერ კიდევ მზის მცირე ნაწილიც დაუფარავია, განსაკუთრებული ჩამობნელება არ შეიმჩნევა და მცხოვრებლებმა შეიძლება ვერც შეამჩნიონ დაბნელება თითქმის სრული ფაზის დაწყებამდე; მაგრამ, როგორც კი დაიწყება სრული დაბნელება და გაქრება მზის უკანასკნელი განათებული წერტილი, ყველას თვალში ეცემა მთვარის ბნელი დისკოს გარშემო ლამაზი, საკმაოდ კაშკაშა ნათება, ეს ე. წ. მზის კორონა ან (გვირგვინი) (§ 216), რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში უხილავია. ცა მკვეთრად ბნელდება, სწრაფად ბინდდება და ჰორიზონტის გასწვრივ მოჩანს ვანთიადის მსგავსად მოწითალო ნათება („აისის რგოლი“), რომელიც გამო-

წვეულია სინათლის არეკვლით ატმოსფეროს იმ ნაწილების მიერ, რომელნიც სოული დაბნელების არის გარეთ მდებარეობენ. ყოველივე ეს ქმნის განათების ინტენად არაჩვეულებრივ პირობებს, რომ ყოველგვარი პეიზაჟი დედამიწაზე დაბნელების დროს დებულობს სრულიად ფანტასტიურ ხასიათს. მთელი დაბნელება შეიძლება გაგრძელდეს ორ საათზე მეტ ხანს, მაგრამ სრული ფაზა გრძელდება წალოოდ რამდენიმე მინუტს (არა უმეტეს 7 მინუტისა, უფრო ხშირად კი 2—3 მინუტი), რადგან მთვარის დისკო მხოლოდ ოდნავ არის მეტი მზისაზე და სწრაფად გადადის მზის დისკოდან.

§ 133. მთვარის დაბნელება. დედამიწა, ისევე როგორც ყოველი სავაბნელი, გაუმკვირვალე სხეული განათებული მზის მიერ, იძლევა ჩრდილს მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით. რადგან მზის დიამეტრი გაცილებით მეტია დედამიწის დიამეტრზე, ამიტომ დედამიწის ჩრდილს მსგავსად მთვარის ჩრდილისა, აქვს ფორმა კონუსისა, რომელიც თანდათან ვიწროვდება. ამ კონუსის სიგრძე იმდენჯერ მეტია მთვარის ჩრდილის კონუსის სიგრძეზე, რამდენჯერაც დედამიწის დიამეტრი მეტია მთვარისაზე და დედამიწიდან მთვარის მანძილზე კონუსის კვეთის დიამეტრი მთვარის დიამეტრზე თითქმის სამჯერ მეტია. როცა მთვარე მოექცევა დედამიწის ჩრდილის არეში, მთვარეზე მზის სხივები აღარ ეცემა და დგება მთვარის დაბნელება. მთვარეზე მყოფი დამკვირვებელი კი ამ დროს დაინახავდა დედამიწის მიერ მზის სრულ დაბნელებას (ნახ. 69).

მთვარის დაბნელება ხდება მხოლოდ სრულ მთვარეობის დროს, როცა მთვარე მზესთან პირისპირდგომავია. უფრო ხშირად მთვარე დედამიწის ჩრდილის გარეთ გაივლის ხოლმე და დაბნელება მხოლოდ იმ შემთხვე-



ნახ. 69.

ვაში ხდება, თუ მთვარე სრულმთვარეობის დროს მთვარის ორბიტის რომელიმე კვანძთან საკმაოდ ახლოა.

რადგან მთვარე მოძრაობს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით, პირველად დედამიწის ჩრდილში შედის მთვარის აღმოსავლეთი (მარცხენა) კიდე; მთვარე ნელ-ნელა იფარება; იგი დებულობს ნამგლის სახეს, რომელიც განსვავდება ჩვეულებრივი მთვარის ფაზებისაგან: დაბნელების დროს ხაზი, რომელიც გამოყოფს მთვარის განათებულ ნაწილს დაბნელებულისაგან (ტერმინატორი), წარმოადგენს წრის რკალს, რომლის რადიუსი ორჯერ მეტია, ვიდრე მთვარის დისკოს რადიუსი. ეს დედამიწის ჩრდილის კიდეა. მთვარის ფაზების შემთხვევაში სინათლის საზღვარი წარმოადგენს ნახევარედიუსს (§ 128), რომელიც პირველ და უკანასკნელ მეოთხედში გადადის სწორ ხაზში.

თუ მთვარე მთლიანად შევა დედამიწის ჩრდილში, მოხდება სრული დაბნელება; ხოლო, თუ მთვარე გაივლის ჩრდილში კიდესთან ახლოს, ნაბნე-
ბა მხოლოდ ნაწილობრივი დაბნელება. რადგან დედამიწის ჩრდილის
დიამეტრი დაახლოებით 2,5-ჯერ მეტია მთვარის დისკოს დიამეტრზე. ამის
მთვარის სრული დაბნელება, მზის სრული დაბნელებისაგან განსხვავებით,
იძლება გავრცელდეს შედარებით დიდხანს, თითქმის 2 საათამდე.

მთვარის სრული დაბნელების დროს მთვარე სრულიად არასოდეს არ
უჩინარდება, მხოლოდ ანათებს ჩვეულებრივზე უფრო მკრთალად და აქვს
მოსპილენძისფერო-წითელი ფერი. ეს განათება ხდება მზის სხივების გარდატე-
ხით დედამიწის ატმოსფეროში, რის გამოც წითელი სხივები ჩაილუნჯიან
ჩრდილის კონუსში და აღწევენ მთვარეზე. მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისა-
თვის მთვარის დაბნელების მომენტში მოხდებოდა დაბნელება, ანუ მზის და-
ფარვა დედამიწის მიერ. დედამიწის უზარმაზარი ბნელი დისკოს გარშნავი ივი
დანიანხვდა დედამიწის წითლად განათებული ატმოსფეროს რგოლს. ეს ფერი
გამოწვეულია მზის წითელი სხივების გარდატეხით (კისფერი და ლურჯი სხი-
ვები დედამიწის ატმოსფეროში განიბნევა).

რადგან მთვარის დაბნელების დროს მთვარე ნამდვილად ბნელდება,
ამიტომ საიდანაც არ უნდა შევხედოთ მას, ის იქნება ბნელი. ამის გამო მთვა-
რის დაბნელება მოჩანს სავსებით ერთნაირად დედამიწის მთელ ნახევარსავე-
როზე, რომელიც მიმართულია მთვარისაკენ და დედამიწის ყველა წერტი-
ლისთვის დაიწყება (და დასრულდება) ერთსა და იმავე ფიზიკურ მომენტში.
ეს მომენტი დედამიწის სხვადასხვა წერტილის ადგილობრივი საათით სხვა-
დასხვა დროს მოხდება გრძელის მიხედვით. ამგვარად, დაბნელებაზე დაკვირ-
ვება გვაძლევს თუმცა შედარებით ნაკლებად ზუსტ. მაგრამ ნარტივ მეთოდს
გრძელთა სხვაობის განსასაზღვრავად (იხ. § 100).

§ 136. დაბნელების დაწყების პირობები. დაბნელებისათვის აუცილე-
ბელია, რომ ახალმთვარეობა (ან სრულმთვარეობა) მოხდეს მთვარის ორბი-
ტის რომელიმე კვანძთან ახლოს. რადგანაც აღმავალი და დაღმავალი კვანძე-
ბი ერთიმეორისაგან დაშორებულია ეკლიპტიკაზე 180°-ით, მზე ყოველ ნახე-
ვარ წელიწადში გაივლის რომელიმე კვანძს. ამიტომ წელიწადში დგება ორი
„სეზონი“, როცა შესაძლოა მოხდეს დაბნელება და თითოეული მათგანის ხან-
გრძლიობა შეადგენს დაახლოებით ერთ თვეს. მზის დაბნელება შეიძლება
მოხდეს იმ შემთხვევაშიც, თუ ახალმთვარეობას ადგილი აქვს კვანძიდან 13°-ის
დაშორებით ერთ ან მეორე მხარეს, ხოლო თუკი ეს დაშორება 15°-ზე ნაკ-
ლებია, დაბნელება აუცილებლად მოხდება. მთვარის დაბნელებისათვის აუცი-
ლებელია უფრო ნაკლები დაშორება კვანძიდან, დაახლოებით 11°. რადგანაც
მზე დღე-ღამის განმავლობაში გადაადგილდება 1°-ით, მზის დაბნელების სეზო-
ნი შეადგენს 36 დღე-ღამეს (18 დღე-ღამე კვანძამდე და 18 წმინდე, ხოლო
მთვარის დაბნელებისა კი—მხოლოდ 22 დღე-ღამეს.

მზის დაბნელების სეზონი სინოდურ თვეზე ხანგრძლივია (§ 125), ამი-
ტომ მის საზღვრებში აუცილებლად მოხდება ერთი ახალმთვარეობა მაინც
და, მაშასადამე, მოხდება ერთხელ მაინც დაბნელება. ამგვარად, ყოველ წელს
ხდება, სულ მცირე, მზის ორი დაბნელება ერთი მეორის ნახევარი

წლის შემდეგ. ზოკიერთ წლებში მთვარის დაბნელება შეიძლება სულ არ მოხდეს, რადგანაც ამ დაბნელებათა სეზონი სინოდურ თვეზე ხანმოკლეა და მის შიგნით შეიძლება არ მოხედეს არც ერთი სრულმთვარეობა.

§ 117. დაბნელებათა რიცხვი წელიწადში. იმის გამო, რომ კენძები მოძრაობს შებრუნებული მიმართულებით, დაბნელებათა სეზონი ყოველ წელს, დაახლოებით, 20 დღე-ღამით ადრე ღდება. ამიტომ, თუ ორი სეზონი ხედება იანვარს და ივლისს, მაშინ მესამე სეზონის დასაწყისი იმავე წლის დეკემბერში დადგება. რადგან ყოველ სეზონში შესაძლებელია მოხდეს სულ ბევრი სამი დაბნელება (ორი მზისა და ერთი მთვარისა მათ შორის), ამიტომ კალენდარულ წელიწადში დაბნელების უდიდესი რიცხვი იქნება შვიდი: 6 დაბნელება ორ სრულ სეზონში და ერთი (უსათუოდ მზის) მესამე არასრული სეზონიდან, რომელიც შეიცავს მიმდინარე წლის ნხოლოდ ნაწილს. შესაძლებელია ასეთი კომბინაცია: წლის დასაწყისში და ბოლოს ორ-ორი დაბნელება (ერთი მზის და ერთი მთვარის) არა სრული სეზონებიდან და ივნის-ივლისში სრული სეზონი—სამი დაბნელებით. პირველ შემთხვევაში წელიწადში ადგილი ექნება მზის 5 და მთვარის 2 დაბნელებას, მეორეში კი—მზის 4 და მთვარის 3 დაბნელებას.

უმცირესი რიცხვი დაბნელებებისა წელიწადში ორია, ორივე მზისა. შესაძლებელია სხვა კომბინაციებიც; უფრო ხშირად კი ადგილი აქვს მზის 2 და მთვარის 2 დაბნელებას.

§ 118. დაბნელებათა ციკლი. დაბნელებათა წინასწარმეტყველება ადვილდება იმით, რომ ყოველი დაბნელება მეორდება 18 წლისა და 11 დღე-ღამის შემდეგ (ან 18 წლისა და 10 დღე-ღამის შემდეგ, თუკი ამ ხნის განმავლობაში ნაკიანი წელი 5-ჯერ იყო). ეს კი ხდება იმიტომ, რომ ამ პერიოდის გავლის შემდეგ მზე, მთვარე და მთვარის ორბიტის კვანძები უბრუნდება პირვანდელ შეფარდებით მდებარეობას. რადგან მთვარის კვანძები მოძრაობს მთვარის მოძრაობის შეწვევდრად, ამიტომ მთვარე ბრუნდება კვანძში არა 27,32 დღე-ღამის შემდეგ, როდესაც შეასრულებს სრულ ბრუნვას ვარსკვლავების მიმართ (ვარსკვლავთმერი თვე), არამედ 27,21 დღე-ღამის (დრაკონული თვე) შემდეგ. ამავე მიზეზით მზე ბრუნდება კვანძში ერთ წელზე უფრო ადრე, სახელდობრ, 346,62 დღე-ღამის შემდეგ (დრაკონული წელიწადი). აღმოჩნდა, რომ 242 დრაკონული თვე თითქმის 19 დრაკონული წლის ტოლია. ამიტომ, თუკი ახალმთვარეობა, ე. ი. მზისა და მთვარის შეერთება მოხდა კვანძში, 18 წლისა და 11 დღე-ღამის შემდეგ ისინი ისევ შეერთდებიან კვანძთან ძალიან ახლოს. ამ ხნის განმავლობაში გაივლის 223 სინოდური თვე (§ 125), სახელდობრ:

I. 223 სინოდ. თვე=6585,32 დღე-ღამეს=18 წელს, 11 დღე-ღამეს, 7 საათსა და 42 წუთს;

II. 242 დრაკონ. თვე=6585,36 დღე-ღამეს;

III. 19 მზისმერი დრაკონ. წელი=6585,78 დღე-ღამეს.

თუკი საწყისი ახალმთვარეობა და დაბნელება მოხდა ზუსტად კვანძში, 6585 დღე-ღამის შემდეგ ახალმთვარეობა მოხდება არა კვანძში, არამედ დაახლოებით $\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის მოშორებით დასავლეთით, ე. ი. უფრო ადრე, ვიდრე მზე

შევა კვანძში, რადგან პირველი პერიოდი დაახლოებით 1, დღე-ღამით ხან-მოკლეა მესამეზე, ამიტომ თავისი სიდიდით ახალი დაბნელება რამდენადმე განსხვავებული იქნება პირველისაგან. გარდა ამისა, მას დავინახავთ არა იმავე საათზე, არამედ საშუალოდ 7 საათითა და 42 მიწუტით უფრო გვიან, ვიდრე წარსულს და შესაძლებელია არ გამოჩნდეს იმ ადგილებში, სადაც მოჩანდა პირველი დაბნელება.

18 წლის და 11 დღე-ღამის პერიოდი ცნობილი იყო ჯერ კიდევ აველი ბაბილონელებისათვის და იწოდებოდა საროსად. თითოეული საროსის განმავლობაში ხდება 70 დაბნელება, რომელთაგან 41 მზისა და 29—მთვარის. ამგვარად, დედამიწისათვის საერთოდ მზის დაბნელება უფრო ხშირად ხდება, ვიდრე მთვარისა, მაგრამ დედამიწის ზედაპირის რომელიმე წერტილისათვის მთვარის დაბნელება უფრო ხშირია. ეს კი გამოწვეულია იმით, რომ მთვარის ყოველი დაბნელება ხილვადია დედამიწის მთელ ნახევარსფეროზე, ხოლო მზისა კი—შედარებით ვიწრო ზოლზე. განსაკუთრებით იშვიათად ხერხდება მზის სრული დაბნელების დანახვა; თუმცა ყოველი 18 წლის პერიოდში ხდება 10-მდე მზის სრული დაბნელება, მაგრამ მოცემული წერტილისათვის ის ხილვადია საშუალოდ 200—300 წელიწადში ერთხელ.

მზის უახლოესი სრული დაბნელება, რომელიც ხილული იქნება საბჭოთა კავშირში, მოხდება 1968 წლის 22 სექტემბერს, ციმბირში. მთვარის უახლოესი სრული დაბნელება საბჭოთა კავშირიდან გამოჩნდება 1964 წლის 1² დეკემბერს.

სავარჯიშოები VI თავისათვის

1. როგორ ხდება მთვარის მოძრაობა ჩრდილო პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის?
2. რომელი განედის მცხოვრებთათვის იქნება მთვარე ჩაუსვლელი?
3. წლის რომელ დროში აღწევს მთვარე თავის მაქსიმალურ სიმაღლეს პორიზონტიდან?
4. რატომ არის, რომ „ახალი მთვარის“ ნამგალი განსაკუთრებით მალაა ცაზე გაზაფხულზე?
5. რატომ არის, რომ მთვარე „ცხრომისას“ (სრული მთვარის შემდეგ) გაზაფხულზე მოჩანს ცუდად, ხოლო შემოდგომაზე კი, პირიქით, ადრე ამოდის და მალა ადის?
6. დედამიწის რომელ ფაზას დანახავდა მთვარის ფიქტიური დამკვირვებელი ახალმთვარეობის დროს? სრულმთვარეობის დროს? როგორია საერთოდ დამოკიდებულება დედამიწისა და მთვარის ფაზებს შორის?
7. რატომ არ შეიძლება მთვარის რგოლისებური დაბნელება?
8. რატომ არ შეიძლება, რომ კალენდარული წლის განმავლობაში მოხდეს 8 დაბნელება?
9. რას ხედავს მთვარეზე მყოფი ფიქტიური დამკვირვებელი მზის დაბნელების დროს? მთვარის დაბნელების დროს?

10. როდესაც მთვარეზე მყოფი ფიქტიური დამკვირვებელი ხედავს დედამიწის მიერ მზის ნაწილობრივ დაბნელებას, რას ხედავს ამ დროს დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებელი?

11. არის შემთხვევები, როცა მთვარე სრული დაბნელების დროს ამოდის მზის ჩასვლაშდე, ისე რომ ორივე მნათობი მოჩანს ერთდროულად და, ნაწახადამე, მზე უნდა მოჩანდეს მთვარიდან, მაგრამ მიუხედავად ამისა, მთვარე შაინც დაბნელებულია. როგორ ავხსნათ ეს? მითითება: იხ. IV თავი.

12. რა კუთხით გადაადგილდება მთვარე თავის ორბიტზე 1 სექუნდში?

13. რატომ აქვს მთვარის ტერმინატორს ელიფსის ფორმა?

14. რამდენჯერ სუსტდება მზის სინათლე ყველაზე კაშკაშა რგოლისებური დაბნელების დროს? (მზისა და მთვარის კუთხური დიამეტრი ამ შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ შესაბამისად 32',6 და 29',4-ის ტოლად; ჩავთვალოთ, რომ მზის ზედაპირი ერთგვაროვანი სიკაშკაშისაა).

ცთომილთა მოძრაობა

§ 139. ცთომილთა მოძრაობის ზოგადი ცნება. ყველა ცთომილის ხილულ მოძრაობას ვარსკვლავთა მიმართ შემდეგი თავისებურებანი აქვს:

1. ცთომილები არ შორდებიან დიდად ეკლიპტიკას და ყოველთვის ზოდიკოს (§ 27) არეში რჩებიან.

2. ცთომილთა მოძრაობა, საზოგადოდ, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენაა (პირდაპირი მოძრაობა) მიმართული;

3. ცთომილთა მოძრაობებში დროდადრო აღვილი აქვს ე. წ. „დგომას“, ანუ შეჩერებას, რომლის შემდეგ ცთომილი იწყებს მოძრაობას საწინააღმდეგო მიმართულებით, ე. ი. დასავლეთისაკენ. ასეთი შებრუნებული (უკუსვლითი) მოძრაობა რამდენიმე კვირას ან თვეს გრძელდება. შემდეგ დგება ისევ ახალი შეჩერება და ცთომილი განაგრძობს თავის ჩვეულებრივ გზას აღმოსავლეთისაკენ (ნახ. 70).¹ თუ აღვნიშნავთ ცთომილის ხილულ გზას ვარსკვლავიერ რუკაზე, მივიღებთ რთულ ძრულს მარუფუებითა და ზიგზაგებით.

§ 140. ქვედა ცთომილთა მოძრაობა. ცთომილთა შორის ყველაზე კაშკაშა—ვენერა (ასპიროზი)—მოჩანს მხოლოდ როგორც სალამოს ან დილის ვარსკვლავი: ხან სალამოობით დასავლეთით, ხან გათენების წინ—აღმოსავლეთით. გამოჩნდება რა უჩინარობის შემდეგ დასავლეთით სალამოს ბინდის სხივებში, ის ყოველდღიურად უფრო და უფრო შორდება მზეს აღმოსავლეთით. მიაღწევს რა რამდენიმე თვის შემდეგ 45°—48°-ს კუთხურ მანძილს (ეგრეთ წოდებულ უდიდეს აღმოსავლეთ ელონგაციას), ის იწყებს მზესთან მიახლოებას და იმალება მის სხივებში. მომენტს, როცა ცთომილი გრძელი მზის გრძელის ტოლია, ეწოდება ცთომილის ქვედა შეერთება მზესთან. ამ დროს ზოგჯერ შეიძლება დანახულ იქნეს ცთომილის გავლა მზის დისკოს წინ პატარა შავი წრის სახით (§ 243).

შემდეგ ვენერა შორდება მზეს დასავლეთისაკენ და, ამგვარად, იქცევა დილის ვარსკვლავად. უდიდესი დასავლეთი ელონგაციის შემდეგ იწყება ცთომილის ხელახლა მიახლოება მზესთან, მაგრამ უკვე დასავლეთიდან და მთავრდება მისი ახალი გაუჩინარებით მზის სხივებში, ეგრეთ წოდებული ზედა შეერთებით, რის შემდეგაც ცთომილი ისევ გამოჩნდება სალამოს ვარსკვლავის სახით.

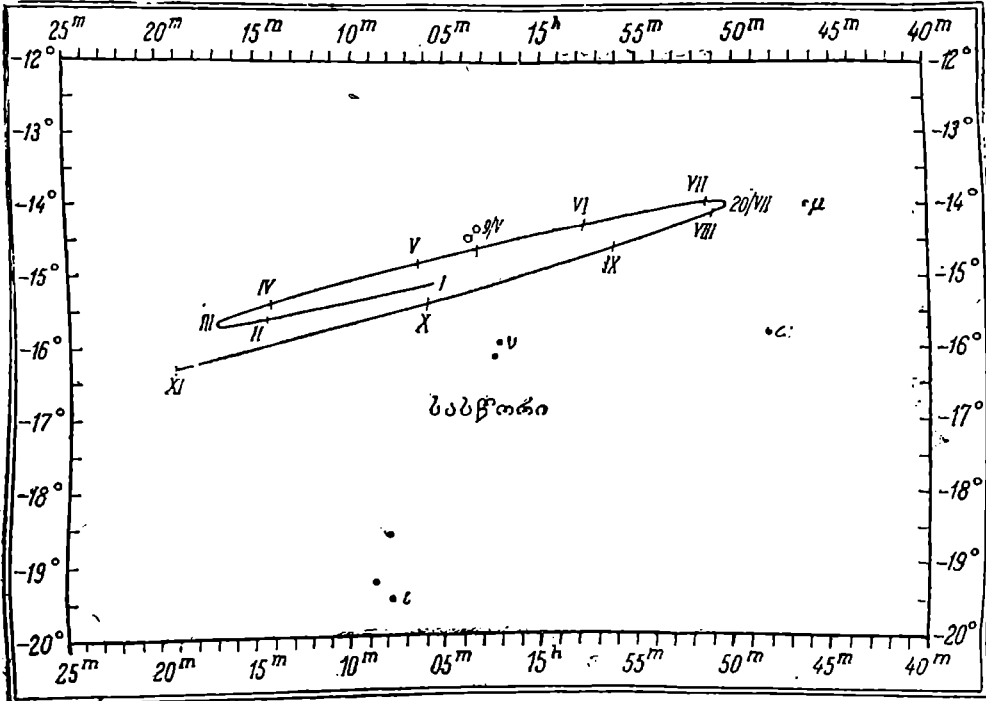
¹ ან ნახაზზე მოცემულია ცთომილი სატურნის ხილული გზა 1955 წელს. როგორც ციფრებით აღნიშნულია თვეები.

ზუსტად ასევე მოძრაობს მერკურიც (ოტარიდი). მხოლოდ მისი უდიდესი ელონგაცია არ აღემატება 28 -ს. ასე რომ, ცთომილი თითქმის მუდმივ იმალება აისის ან დაისის სხივებში.

ორივე ხსენებული ცთომილი, რომლებიც თავიანთი მოძრაობის დროს თითქმის ირბევინ მზის მახლობლად, იწოდება ქვედა (ე. ი. ახლო) ცთომილებად, რადგანაც ძველად ფიქრობდნენ, რომ ისინი ჩვენთან ყოველთვის მზეზე უფრო ახლოს იმყოფებიან.

§ 141. ზედა ცთომილთა მოძრაობა. ყველა დანარჩენი ცთომილი ზედა, ე. ი. შორ ცთომილებად იწოდება. მათი მდებარეობა ცაზე ისე აშკარად არ არის დაკავშირებული მზის მდებარეობასთან, როგორც ქვედა ცთომილებისა და მათ შეუძლიათ დაშორდნენ მზეს ნებისმიერი კუთხური მანძილით.

ზედა ცთომილთა მოძრაობაშიც არის აგრეთვე ისეთი პერიოდი, როცა



ნახ. 70.

ისინი დამალულნი არიან მზის სხივებში, ე. ი. იმყოფებიან მზესთან შეერთებაში. უჩინარობის შემდეგ ცთომილი გამოჩნდება ყოველთვის მზიდან დასავლეთით დილის სხაეებში. ამ დროს ის მოძრაობს პირდაპირი მოძრაობით აღმოსავლეთისაკენ, იმავე მხარეს, საითაც მზე, მაგრამ უფრო ნელა, ისე რომ მანძილი მზეს და ცთომილს შორის იზრდება და ამიტომ ცთომილი ამოდის სულ უფრო და უფრო ადრე. მისი მოძრაობა აღმოსავლეთისა-

კენ სულ ნელდება და ბოლოს, შეჩერების შემდეგ (§ 139) გადადის უკუსვლით ში დასავლეთის მიმართულებით. ამ დროს ცთომილის კუთხური დაშორება მზიდან აღწევს 180°-ს; ამ მდებარეობას ეწოდება მზესთან პირისპირადგომა. მალე, პირისპირადგომის შემდეგ, უკუსვლითი მოძრაობა იცვლება ისევ პირდაპირით და ცთომილი იწყებს მზესთან მიახლოებას.

პირისპირადგომის დროს ცთომილი ამოდის დაახლოებით მზის ჩასვლის მომენტში და მთელი დამე მოჩანს. პირისპირადგომის შემდეგ მზის ჩასვლისას ცთომილი უკვე ჰორიზონტს მაღლაა და ყოველდღიურად სულ უფრო და უფრო უახლოვდება მზეს, სანამ იგი არ გაუჩინარდება მის სხივებში საღამოს ვარსკვლავის სახით. ეს ნიშნავს, რომ დადგა წზესთან შეერთება. უნდა შევნიშნოთ, რომ პირისპირადგომის დროს ცთომილის ბრწყინვალეობა აღწევს მაქსიმუმს; აშკარაა, რომ ამ დროს ცთომილი დედამიწას ყველაზე ახლო მანძილზე უახლოვდება.

§ 142. სამყაროს გეოცენტრული სისტემა. უძველესი სწავლულნი უპირისპირებდნენ რა მიწიერს ზეციურს, ქადაგებდნენ ციფრ მოძრაობათა „სრულყოფილებას“ დედამიწაზე მოძრაობათა საწინააღმდეგოდ. ყველაზე სრულყოფილ მოძრაობად ისინი თვლიდნენ წრიულ თანაბარ მოძრაობას, რომელიც უნდა ჰქონოდა სწორედ ცის მნათობებს. მაგრამ ცთომილთა ხილული მოძრაობა მათი შეყუყუებით, მარყუებებითა და შემბრუნებულობა გადაადგილებით მკვეთრად ეწინააღმდეგებოდა ცის სხეულების წრიული თანაბარი მოძრაობის დაშვებას. ამიტომ უკვე IV საუკუნეში ჩვენ წელთაღრიცხვამდე იდეალისტმა ფილოსოფოსმა პლატონმა დასვა ამოცანა: თანაბარ წრიულ მოძრაობათა პრინციპის საფუძველზე აიხსნას ცთომილების რეალური მოძრაობანი.

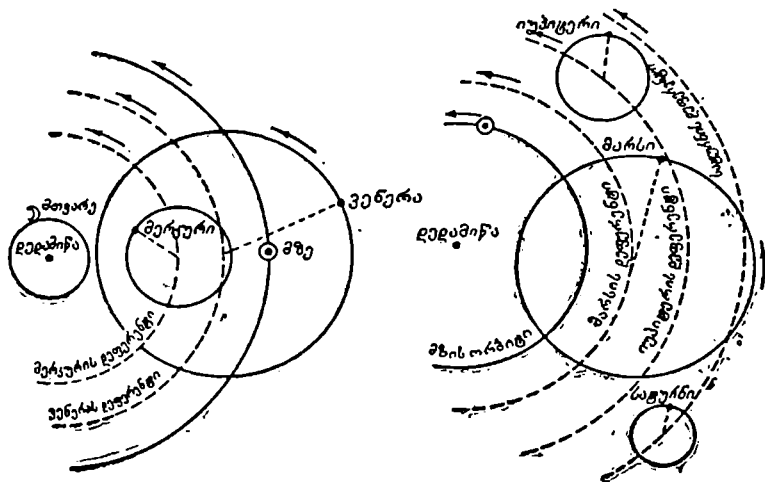
პირველი ამგვარი ცდა იყო ევდოქსის სფეროთა სისტემა. ამ სისტემის თანახმად ცის სხეულები მიმაგრებულია ბოლის სფეროებზე, რომელთა თანაბარი ბრუნვა (სხვადასხვა სიჩქარით) გვაძლევს ცის თალის ხილულ ბრუნვას და ცთომილების, მთვარისა და მზის მოძრაობას; მაგრამ ამ ცდამ მარცხი განიცადა, რადგან ცის მნათობების მოძრაობათა ახსნა ევდოქსის სქემით ვერ მოხერხდა. ამის გამო უძველესი დროის ერთ-ერთმა უდიდესმა ასტრონომმა კლაედიუს პტოლემემ (II ს. ჩვენი წელთაღრიცხვით) უკუაგდო სფეროთა სისტემა და სცადა მნათობების მოძრაობათა წარმოდგენა წრიული თანაბარი მოძრაობების შეკრებით.

პტოლემეს მიერ „ალმაგესტში“ აღწერილი სამყაროს სისტემა შემდეგნაირია: სამყარო სასრულოა, აქვს სფეროს ფორმა და თანაბრად ბრუნავს სამყაროს ცენტრში მოთავსებული სფეროსმაგვარი დედამიწის ირგვლივ. დედამიწის ირგვლივ გარემოიქცევიან მთვარე, მზე და ცთომილები შემდეგი თანმიმდევრობით (თუ გიანგარიშებთ დედამიწიდან): მთვარე, მერკური, ვენერა, მზე, მარსი, იუპიტერი, სატურნი.

ცთომილების მარყუებისებური მოძრაობის ასახსნელად შემოღებულ იქნა ეპიციკლების სქემა (ნახ. 71). სახელდობრ, თითოეული ცთომილი მოძრაობდა მცირე წრეზე — ეპიციკლზე, რომლის ცენტრი გარემოიქცეოდა დედამიწის ირგვლივ დიდ წრეზე — დეფერენტზე.

ცთომილების ხილული მოძრაობის უთანაბრობის ასახსნელად დაშვებული იყო, რომ დედამიწა დეფერენტის წრის ცენტრში არ იმყოფება (ექსცენტრული წრე). ამის გამო ორბიტის შორეულ წერტილში ცთომილის ხილული მოძრაობა შედარებით ნელი იქნება, ახლოებულ წერტილებში—შედარებით სწრაფი.

დეფერენტებსა და ეპიციკლებზე ცთომილებას მოძრაობის სიჩქარეებისა და აგრეთვე დეფერენტებისა და ეპიციკლების რადიუსების შეფარდების შერჩევით პტოლემემ შეადგინა ცთომილთ მოძრაობების ცხრილები, რომლებიც საშუალებას იძლეოდნენ წინასწარ განესაზღვრათ ცთომილთა მდებარეობები.



ნახ. 71.

პტოლემეს ცხრილები ძალიან დიდხანს იყო ხმარებაში, რაც მათი შედარებითი სიზუსტით აიხსნებოდა: მათი ცდომილებები არ აჭარბებდა რკალის რამდენიმე მინუტს.

პტოლემეს სისტემა, მიუხედავად იმისა, რომ პრინციპულად მცდარი იყო, მაინც იძლეოდა საშუალებას იმ დროისათვის საკმარისი სიზუსტით აღეწერათ რეალური მოძრაობების კინემატიკა. თუმცა პტოლემეს კინემატიკურ სქემაშიც იყო თავისებურებანი, რომელთა უყურადღებოდ დატოვება არ შეიძლებოდა. ასე, მაგალითად, გაუგებარია, მზეს რატომ არა აქვს ეპიციკლი, თუმცა ვენერასა და მარსს (პტოლემეს სისტემის მიხედვით მზის მეზობლებს) ასეთი რამ ჰქონდათ. შემდეგ, გაუგებარია იყო, რატომ მცირდებოდა კანონზომიერად ზედა ცთომილების ეპიციკლები (ყველაზე დიდი ეპიციკლი მარსს აქვს, უფრო მცირე—იუპიტერს და ყველაზე მცირე სატურნს), ეპიციკლებზე გარემოქცევის პერიოდი კი ზუსტად ერთი წლის ტოლია და ა. შ. ეს გაუგებარი ადგილები მნიშვნელოვნად ართულებდნენ პტოლემეს სისტემას.

უფრო გვიანი დაკვირვებების შედეგად შუა საუკუნეებში ცთომილთა მოძრაობებში აღმოჩენილი იყო მთელი რიგი გადახვევები, რომელთა ახსნა არ შეიძლებოდა პტოლემეს ეპიციკლებზე მოძრაობით. ამიტომ დაუშვეს, რომ პირველი ეპიციკლის ცენტრის გარშემო ბრუნავს არა ცთომილი, არამედ მეორე მათემატიკური წერტილი—მეორე ეპიციკლის ცენტრი, რომლის წრებაზხვედაც ბრუნავს ცთომილი. როცა ასეთი აგება აღმოჩნდებოდა არასაკმარისი, შემოპქონდათ მეორე ეპიციკლის ცენტრის ირგვლივ მბრუნავი მესამე მათემატიკური წერტილი, შემდეგ მე-4 და ა. შ., ვიდრე საბოლოოდ არ მიიღებდნენ რომელიმე n ეპიციკლის წრებაზხვე ცთომილის ისეთ მდებარეობას, რომელიც საკმარისად ეთანხმებოდა დაკვირვებებს.

ცდილობდნენ რა უკეთესად შეეთანხმებინათ ცთომილების დამზერილი მოძრაობები დედამიწის ირგვლივ ეპიციკლებსა და დეფერენტებზე წრიულ მოძრაობებთან, პტოლემეს მიმდევრები კიდევ უფრო მეტად ართულებდნენ სისტემას. პტოლემეს სისტემის წარმოდგენილი სამყაროს სურათი სულ უფრო და უფრო თვითნებურად გამოიყურებოდა. მხოლოდ დიდმა მეცნიერმა ნიკოლოზ კოპერნიკმა შესძლო გადაეწყვიტა ამოცანა.

„ის რაც ჩვენ წარმოგვიდგება, როგორც მზის მოძრაობა, გამოწვეულია არა მისი მოძრაობით, არამედ დედამიწისა და მისი სფეროს მოძრაობით, რომელთან ერთად ჩვენ გარემოვიქცევით მზის ირგვლივ, როგორც ნებისმიერი სხვა ცთომილი. ცთომილების ხილული მარტივი და უკუმოძრაობანი წარმოებს არა მათი მოძრაობის ძალით, არამედ დედამიწის მოძრაობით“.¹

პტოლემეს სისტემაში მზისა და დედამიწისათვის ადგილების შენაცვლებით, ე. ი. დაშვებით, რომ დედამიწა ყველა ცთომილთან ერთად უძრავი მზის ირგვლივ გარემოვიქცევა, კოპერნიკმა მოახდინა რევოლუციური გადატრიალება მეცნიერებაში, ჩაუყარა საფუძველი ახალ მსოფლმხედველობას და იმავე დროს გადაწყვიტა პრაქტიკის საპირბოროტო ამოცანები, მისცა რა გამომთვლელებს ხელში ძლიერი საშუალება—ცთომილთა მოძრაობების სწორი სქემა.

§ 143. აზრები დედამიწის მოძრაობის შესახებ. რომ დედამიწა მოძრაობს, ამას ხედელობდნენ ჯერ კიდევ უძველეს დროში. მაგალითად, ძველ ბერძენ ასტრონომს არისტარქეს, რომელიც ცხოვრობდა III საუკუნეში ჩვენ წელთაღრიცხვამდე, უკვე ჰქონდა სწორი წარმოდგენა დედამიწის მოძრაობაზე. მისი იდეები ცნობილი იყო ძველი დროის მეცნიერთათვის, მაგრამ ისინი მას არ თანაუგრძობდნენ, რადგანაც ეს იდეები ეწინააღმდეგებოდა იმ დროის მექანიკის „კანონებს“. თვით პტოლემემ კი, რომელიც 400 წლით უფრო გვიან ცხოვრობდა, არისტარქეს მოძღვრებას შემდეგნაირად უარყოფდა: „დედამიწა რომ მოძრაობდეს, მაშინ ჰაერი და ჰაერში მფრინავი სხეულები უკან ჩამორჩებოდნენო“. გარდა ამისა, პტოლემეს სისტემაში იმ დროს ჯერ კიდევ ვერ მოასწრო გამოემუქვანებინა თავისი უსუსურობა. ამიტომ მთელი საუკუნეების განმავლობაში იდეამ დედამიწის მოძრაობის შესახებ ვერ ჰპოვა განვითარება. მხოლოდ აღმოსავლეთის ზოგიერთი მეცნიერი გამოსთქვამდა აზრს

¹ ნიკოლოზ კოპერნიკი, „მცირე კომენტარები“. ციტირებულია ნ. იდელსონის 1 ტომში კრებულიდან „ნიკოლოზ კოპერნიკი“, საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა.

დედამიწის მოძრაობის შესახებ. ასე, მაგალითად, XI საუკუნის გამოჩენილ ასტრონომებს შორის ერთ-ერთი, მრავალმხრივ განვითარებული ტაჯიკელი მეცნიერი ბირუნი ამტკიცებდა, რომ „დედამიწა მოძრაობს და ჩვენ მხოლოდ ვეჩვენება, რომ ის უძრავია“.

შუა საუკუნეების ფეოდალურ ევროპაში დედამიწის მოძრაობაზე ლაპარაკი კი ზედმეტი იყო: კათოლიკური ეკლესიის უღელქვეშ მივიწყებული იყო მოძღვრება დედამიწის სფეროსებურებაზეც კი და ფართოდ განვითარდა ცრუმეცნიერება—ასტროლოგია, რომელიც ცდილობდა ცთომილთ განლაგების მიხედვით ეწინასწარმეტყველა მომავალი. საკმარისია აღვნიშნოთ, რომ XIII—XV საუკ. უნივერსიტეტებში ასტროლოგიის (არა ასტრონომიის) კათედრა ითვლებოდა ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს კათედრად და რომ დასავლეთ ევროპის ყველა ქვეყნის მმართველებს ჰყავდათ სასახლის ასტროლოგები, რომელნიც, უეჭველია, გავლენას ახდენდნენ სახელმწიფოს პოლიტიკურ ცხოვრებაზე.

§ 144. წიგნი „ციური სხეულების გარემოქცევათა შესახებ“. 1543 წელს პოლონელმა ასტრონომმა ნიკოლოზ კოპერნიკმა (რომელიც გარდაიცვალა იმავე 1543 წელს) გამოაქვეყნა დიდი თხზულება „ციური სხეულების გარემოქცევათა შესახებ“, რომელშიც იდეა დედამიწის მოძრაობის შესახებ დამუშავებული იყო მათემატიკურად. ეს წიგნი იყო კოპერნიკის მთელი სიცოცხლის საქმიანობა. უძველესი დროის მთაზროვნეთა იდეა დედამიწის მოძრაობის შესახებ მისთვის ცნობილი იყო, მაგრამ ეს არ ამცირებს კოპერნიკის დამსახურებას, რადგანაც კოპერნიკმა შექმნა მთელი ასტრონომიული სისტემა, ზედმიწევნით სრული, რომელიც მთლიანად დაფუძნებული იყო დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობაზე. ამგვარად, მოძღვრება დედამიწა-ცთომილზე გადაიქცა ჩამოყალიბებულ მეცნიერულ თეორიად, რომელსაც აუარება ფაქტები ამტკიცებდა.

დედამიწის მოძრაობის შესახებ მოძღვრებამ ნამდვილი რევოლუცია მოახდინა კაცობრიობის მსოფლმხედველობაში. მანამდე დედამიწა ითვლებოდა ერთადერთ უძრავ სხეულად სამყაროში, მის ცენტრალურ და უმნიშვნელოვანეს ნაწილად. ყოველგვარი სახის რელიგია მიდიოდა იმ დასკვნამდე, რომ „ციური მნათობები“ გაჩენილია მხოლოდ იმისათვის, რომ გაათბოს და გაანათოს დედამიწა; კაცობრიობის ბედი ითვლებოდა სამყაროს არსებობის მიზნად. ახლა კი აღმოჩნდა, რომ დედამიწა რიგითი ცთომილია, რომელიც მოძრაობს სხვა მის მსგავს ცთომილებთან ერთად უსაზღვრო სამყაროში და კაცობრიობის წინ გადაიშალა ახალი, ქეშმარიტი გრანდიოზული სამყარო.

ამასთან ერთად, დედამიწის მოძრაობის აღმოჩენამ არაჩვეულებრივად გაზარდა მეცნიერების ავტორიტეტი რელიგიასთან და სკოლასტიკურ ტრადიციებთან ბრძოლაში და ამ მოძრაობის აღმოჩენამ საჭირო გახადა გადაესინჯათ ბუნებისმეტყველების სხვა დარგები, კერძოდ ფიზიკა. კოპერნიკის სახელი გადაიქცა ლოზუნგად მეცნიერული მსოფლმხედველობის ყველა მებრძოლისათვის.

§ 145. კოპერნიკის ჰელიოცენტრული სისტემა. კოპერნიკის სისტემის საფუძველი შემდეგში მდგომარეობს:

1. ცთომილები გარემოიქცევიან წრიულ ორბიტებზე თანაბრად მზისა და არა დედამიწის გარშემო.

2. დედამიწა ერთ-ერთი ცთომილთაგანია და ერთი წლის განმავლობაში მზის ირგვლივ გარემოიქცევა წრეზე; ამ წრის სიბრტყე წარმოადგენს ეკლიპტიკის სიბრტყეს (დედამიწის პირველი მოძრაობა).

3. დედამიწა ბრუნავს დღე-ღამის განმავლობაში ეკლიპტიკის სიბრტყე-სადმი დახრილი ღერძის ირგვლივ (დედამიწის მეორე მოძრაობა).

ამგვარად, კოპერნიკის თეორიის თანახმად, ცთომილები მოძრაობენ მზის ირგვლივ ყოველთვის ერთი და იმავე მიმართულებით, ყოველგვარი შეჩერებისა და უკუსვლითი მოძრაობის გარეშე. ცთომილები აღწერენ მარყუჟებს იმიტომ, რომ მათ ჩვენ ვუყუარებთ მოძრავე დედამიწიდან. ამის შედეგად ცთომილთა მდებარეობებში ადგილი აქვს პარალაქტურ გადაადგი-ლებებს (§ 113): ცთომილი გადაადგილდება დედამიწის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

თავისი თეორიის სისწორის მთავარი მტკიცება კოპერნიკმა იმის საფუძველზე დაამყარა, რომ ცთომილთა მოძრაობა დაკავშირებულია მზის წლიურ მოძრაობასთან და იმიტომ ყველა ცთომილის გარემოიქცევაში არის წლიური პერიოდი. ძველი დროის ასტრონომები ამ გარემოებას ყურადღებას არ აქცევდნენ, ანდა თვლიდნენ მას შემთხვევით თანხედნად. კოპერნიკმა კი დაამტკიცა, რომ მზის წლიური მოძრაობაც და წლიური პერიოდებიც ცთომილთა მოძრაობაში წარმოადგენდა ერთი წლიური მოძრაობის, სახელდობრ დედამიწის მზის ირგვლივ მოძრაობის, უბრალო ანარეკლს. ამით მან მაშინვე გაწყვიტა ეპიციკლთა თეორიის დახლართული კვანძი. პირველად მეცნიერების ისტორიაში კოპერნიკმა გაზომა ცთომილთა სამყარო. მართლაც, თუკი მარყუჟი, რომელსაც აღწერს ცთომილი, წარმოადგენს პარალაქტურ მოვლენას, მაშინ მარყუჟის კუთხური ნახევარდიამეტრი (შესწორებული ცთომილის მზის ირგვლივ საკუთარ მოძრაობაზე) ცთომილის წლიური პარალაქსის ტოლი იქნება. გვეცოდინება რა π , შეიძლება § 118-ის (13) ფორმულის მიხედვით გამოვითვალოთ მანძილი მზიდან ცთომილამდე ასტრონომიულ ერთეულებში. რაც უფრო მცირეა მარყუჟი, მით უფრო შორსა ცთომილი. კოპერნიკმა ჩაატარა ასეთი გამოთვლები და ცთომილთა მანძილებისათვის მან მიიღო სიდიდეები, რომელნიც კარგად ეთანხმებიან თანამედროვე განსაზღვრებს.

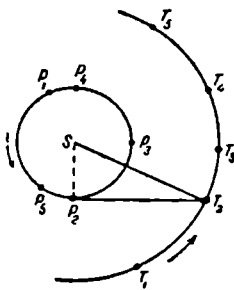
დედამიწის მოძრაობის საფუძვლით ზუსტი დამამტკიცებელი ფაქტები ნაპოვნი იყო გაცილებით უფრო გვიან. კოპერნიკს შეეძლო მხოლოდ ეჩვენებინა, რომ მისი სისტემა გაცილებით მარტივად და ბუნებრივად ხსნის ციურ მოძრაობებს, ვიდრე პტოლემეს სისტემა და, მაშასადამე, მოსალოდნელია რომ ის ბევრად უფრო სწორია.

§ 146. ქვედა ცთომილთა მოძრაობის ახსნა კოპერნიკის თეორიით. კოპერნიკის მიხედვით ქვედა და ზედა ცთომილთა მოძრაობებს შორის განსხვავება (§§ 140, 141) აიხსნება იმით, რომ ქვედა ცთომილები გაცილებით ახლოს იმყოფებიან მზესთან, ვიდრე დედამიწა. მათი ორბიტები მდებარეობენ დედამიწის ორბიტის შიგნით, ხოლო ზედა ცთომილები კი პირიქით, მზიდან გაცილებით შორს იმყოფებიან, ვიდრე დედამიწა და მათი ორბიტები მდებ-

რობენ დედამიწის ორბიტის გარეთ. ამიტომ, ახლა ჩვეულებრივ ქვედა ცთომილებს უწოდებენ შიგა ცთომილებს, ზედას კი—გარე ცთომილებს.

ნახ. 72-ზე P_1, P_2, \dots აღნიშნავს შიგა ცთომილის მდებარეობებს, ხოლო T_1, T_2, \dots —დედამიწის შესაბამის მდებარეობებს. ორივე სხეული მოძრაობს ერთსა და იმავე მიმართულებით, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ; ცთომილი მოძრაობს დედამიწაზე უფრო სწრაფად.

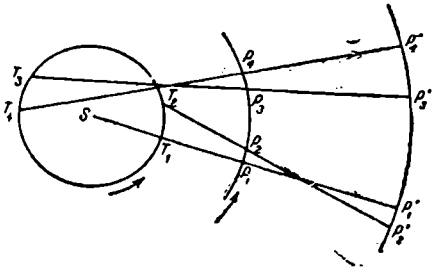
P_1 მდებარეობაში T_1 დედამიწიდან ცთომილი არ მოჩანს, რადგან ის მდებარეობს S მზის უკან; ეს ე. წ. ცთომილის ზედა შეერთებაა მზესთან.



ნახ. 72.

გაციის (P_4) შემდეგ ის ისევ უახლოვდება მზეს და ბოლოს იმალება მის უკან (P_5); დგება ახალი ზედა შეერთება, რომლის შემდეგაც მოვლენები მეორდება იმავე თანმიმდევრობით.

§ 147. ზედა ცთომილთა მოძრაობის ახსნა. დაეუვათ, რომ 73-ე ნახაზზე T_1, T_2, \dots აღნიშნავს დედამიწის მდებარეობებს მის ორბიტზე, ხოლო P_1, P_2, \dots იმავე მომენტებში ცთომილის მდებარეობებს. დედამიწა და ცთომილი მოძრაობენ ერთსა და იმავე მხარეს, აღმოსავლეთისაკენ; დედამიწა მოძრაობს ცთომილზე უფრო სწრაფად.



ნახ. 73.

ბირველ მომენტში, როცა დედამიწა იმყოფება T_1 მდებარეობაში, ცთომილი გამოჩნდება უსასრულოდ შორს ცის სფეროზე P'_1 წერტილში; T_2 მდებარეობაში ცთომილს დაინახავთ უკვე $T_2P_2P'_2$ მიმართულებით, ე. ი. P'_2 წერტილში. მაშასადამე, დამკვირვებელი დაინახავს, რომ დროის ამ შუალედში, რომლის განმავლობაშიც დედამიწა გადაადგილდა T_1 -დან T_2 მდებარეობაში, ცთომილი გადაადგილდება ვარსკვლავთა შორის შებრუნებული, ანუ უკუსვლითი მოძრაობით, ე. ი. დასავლეთით. როცა დედამიწა გადავა (ნახევარი წლის შემდეგ) მზის მიმართ მეორე მხარეს, მისი მოძრაობა T_3 -დან T_4 მდე-

ბარეობაში იქნება ცთომილის P_3 -დან P_4 -ში მოძრაობის საწინააღმდეგო და ცთომილის ცის სფეროზე გადაადგილება P_3 -დან P_4 -ში, ე. ი. მისი ხილული მოძრაობა იქნება პირდაპირი აღმოსავლეთისაკენ. ამ ორ მოძრაობას—შებრუნებულსა და პირდაპირს შორის—იქნება წერტილი, რომელშიც ცთომილი მოგვეჩვენება უძრავად; ეს ცთომილის დგომაა.

P_1 წერტილი შეესაბამება ცთომილის მზესთან პირისპირდგომას. ამ მომენტში მზე, დედამიწა და ცთომილი მდებარეობენ ერთ სწორზე, და თანაც იმგვარად, რომ ცთომილი უახლოვდება დედამიწას შესაძლო უმცირეს მანძილზე. მაშასადამე, გარე ანუ ზედა ცთომილის მოძრაობა დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ არის ცთომილის კეშმარიტი მოძრაობა მზის ირგვლივ, ხოლო მარყუქისებური გადაადგილება წლიური პერიოდით არის მოჩვენებითი პარალაქტური გადაადგილება, გამოწვეული დედამიწის წლიური მოძრაობით.

პირიქით, ქვედა ანუ შიდა (მერკური და ვენერა) ცთომილთათვის, რომელთა ორბიტებიც მდებარეობენ დედამიწის ორბიტის შიგნით, მოძრაობა აღმოსავლეთისაკენ მზესთან ერთად, რომელთანაც ისინი ყოველთვის ახლოს იმყოფებიან, არის პარალაქტური, გამოწვეული დედამიწის მოძრაობით, ხოლო ამ ცთომილთა მარყუქისებური გადაადგილება მზიდან ხან ერთ და ხან მეორე მხარეს შეესაბამება მათ კეშმარიტ მოძრაობას მზის ირგვლივ.

§ 148. ცთომილთა ვარსკვლავიერი და სინოდური გარემოქცევა. ისევე, როგორც მთვარისათვის, ცთომილთათვისაც არჩევენ ბრუნვის ვარსკვლავთმიერ და სინოდურ დროს. ბრუნვის ვარსკვლავთმიერი ანუ სიდერული პერიოდი (დრო) ეწოდება ცთომილის კეშმარიტი გარემოქცევის დროს მზის ირგვლივ. სინოდური გარემოქცევის დრო ეწოდება ცთომილის ორ თანმიმდევარ შეერთებას ან ორ თანმიმდევარ პირისპირდგომას შორის დროის შეაღწევას.

რადგანაც ცთომილის შეერთების (ან პირისპირდგომის) დადგომა დამოკიდებულია არა მარტო თვით ცთომილთა მოძრაობაზე, არამედ ჩვენი ცთომილის—დედამიწის მოძრაობაზეც; ამიტომ რაც უფრო ახლოა ცთომილი დედამიწასთან, მით მეტია მისი გარემოქცევის სინოდური პერიოდი. მაგალითად, მარსის სინოდური პერიოდი ორ წელზე მეტს შეადგენს.

როგორც მთვარის შემთხვევაში, აქაც ცთომილის სინოდურ და ვარსკვლავიერ გარემოქცევათა შორის არსებობს დამოკიდებულება, რომელიც გამოისახება სინოდური მოძრაობის განტოლებით:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}. \quad (1)$$

აქ S —სინოდური, ხოლო T ცთომილის გარემოქცევის ვარსკვლავიერი დროა; E დედამიწის ვარსკვლავიერი გარემოქცევა (ვარსკვლავთმიერი წელი). (1) განტოლებას ადგილი აქვს ქვედა ცთომილთათვის, რომელნიც მზის ირგვლივ უფრო სწრაფად მოძრაობენ, ვიდრე დედამიწა. ზედა ცთომილთათვის გვექნება:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T} \quad (2)$$

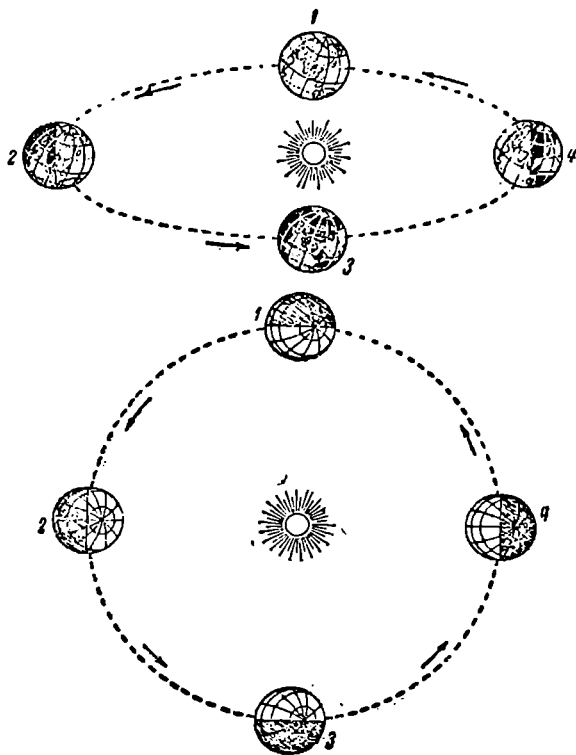
დაკვირვებებიდან საზღვრავენ S სიდიდეს, ხოლო T გამოითვლება (1) და (2) განტოლებებიდან. ქვემოთ მოყვანილია ვარსკვლავიერ და სინოდურ გარემოქცევათა პერიოდები ყველა ცთომილისათვის; აქვე ნაჩვენებია, თუ რამდენი გრადუსია თითოეული ცთომილის უკუსვლითი მოძრაობის რკალი და რამდენ დღეს მოძრაობს მასზე ცთომილი.

ცთომილთა სახელწოდება	ვარსკვლავიერი გარემოქცევა	სინოდური გარემოქცევა	უკუსვლითი მოძრაობის რკალი	უკუსვლითი მოძრაობის ხანგრძლიობა
მერკური . . .	88 დღე-ღამე	116 დღე-ღამე	12°	17 დღე-ღამე
ვენერა	225 „	1 წელი 217 დღე-ღამე	16°	41 „
დედამიწა . . .	1 წელი=365,26 დღე-ღამე	—	—	—
მარსი	1 წ. 322 დღე-ღამე	2 წ. 50 დღე-ღამე	16°	70 დღე-ღამე
იუპიტერი . . .	11 „ 315 „	1 „ 34 „	11°	120 „
სატურნი	29 „ 167 „	1 „ 13 „	6°	137 „
ურანი	84 „ 5 „	1 „ 4 „	4°	151 „
ნეპტუნი	164 „ 287 „	1 „ 2 „	3°	160 „
პლუტონი	248 „ 155 „	1 „ 1 „	2°5	165 „

§ 149. კოპერნიკის სისტემით წლის დროთა ახსნა დაფუძნებულია იმაზე, რომ დედამიწის ბრუნვის ლერძი მზის ირგვლივ გარემოქცევის დროს „თავის თავის პარალელური“ რჩება და დედამიწის ორბიტის სიბრტყესთან ინარჩუნებს მუდმივ დახრას, რომელიც $90^{\circ}-23^{\circ}27'=66^{\circ}33'$ -ის ტოლია. 74-ე ნახაზზე მდებარეობა 1 შეესაბამება გაზაფხულის დღელამტოლობას, მდებარეობა 2—ზაფხულის მზებუდობას ჩრდილო ნახევარსფეროში და ა. შ. უნდა შევნიშნოთ, რომ ზედა ნახაზზე დედამიწის ორბიტა—წრე არ მდებარეობს ნახაზის სიბრტყეში; ამიტომ ის გამოხატულია ძალზე გაწეილი ელიფსის სახით. მზე მდებარეობს არა წრის ცენტრში, არამედ რამდენადმე ახლოს დედამიწის მე-4 მდებარეობასთან, რომელიც შეესაბამება დეკემბერს (იხ. § 29).

§ 150. კოპერნიკის წვლილი ასტრონომიაში. კოპერნიკის მოძღვრებამ რევოლუციური როლი შეასრულა კაცობრიობის მსოფლმხედველობის ისტორიაში და არაჩვეულებრივად ძლიერი შთაბეჭდილება მოახდინა მის თანამედროვე მოაზროვნეებზე. ასტრონომიაში კი კოპერნიკის მთავარი დამსახურება მდგომარეობს იმაში, რომ მან გაანადგურა დედამიწის უძრავობის „აქსიომა“, რომელიც აფერხებდა მეცნიერების განვითარებას. აგრეთვე უნდა აღინიშნოს, რომ კოპერნიკმა პირველმა ჩაატარა ცთომილთა შეფარდებითი მანძილების გაზომვები უკუსვლითი მოძრაობის მარყუყების სიდიდის მიხედვით. მაგრამ სამყაროზე ძველ წარმოდგენათა საუკუნებრივი ტვირთი ერთგვარ გავლენას კიდევ ახდენდა კოპერნიკზე, რომელმაც ვერ შესძლო თავიდან მოეშორებინა მთელი რიგი მოძველებული დებულებები. ასე, მაგალითად, ის თვლიდა, რომ ციური მოძრაობები წრიული და თანაბარია. ამიტომ, თუმცა მან მოსპო პტო-

ლემეს მთავარი ეპიციკლები, მაგრამ ამავე დროს იძულებული იყო შეენარჩუნებინა მთელი რიგი ეპიციკლებისა ცთომილთა მოძრაობებში უფრო მცირე გადახრების ასახსნელად. პტოლემეს მსგავსად, კოპერნიკსაც უნდა ელიარებინა, რომ არც ერთი ცთონილის ორბიტის ცენტრი არ თანხედება სისტემის ცენტრალურ სხეულს—მზეს. კოპერნიკის სისტემის შექმნის მეთოდისა ჰგავდა პტოლემეს მეთოდისას—ჩქსცენტრულ წრეთა აგებას, მხოლოდ მთავარი წრე იქ აღიწერებოდა არა დედაშიწის, არამედ მზის ირგვლივ.



ნახ. 74.

კოპერნიკის სისტემა არ იყო უნაკლო. მის ავტორს, ბუნებრივია, არ შეეძლო ერთბაშად და ბოლომდე განთავისუფლებულიყო მრავალ საუკუნეებრივი შეხედულებებისა და ცრუ რწმენათაგან. მიუხედავად ამისა, კოპერნიკის უდიდესი როლი თანამედროვე ასტრონომიის განვითარებაში და მისი მოძღვრების რევოლუციური მნიშვნელობა უდავოა.

მარქსისტულ-ლენინური ფილოსოფიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი ფრიდრიხ ენგელსი ასე ახასიათებს კოპერნიკის თეორიის რევოლუციურ მნიშვნელობას:

„თანამედროვე ბუნებისმეტყველება... იმ მძლავრი ეპოქით იწყება, როდესაც ბიურგურობამ გასტეხა ფეოდალიზმის ძლიერება, როდესაც ქალაქის მცხოვრებლებისა და ფეოდალური თავადაზნაურობის ბრძოლის უკანა რიგებში გამოჩნდნენ აჯანყებული გლეხები, ხოლო მათ მოჰყვნენ თანამედროვე პროლეტარიატის რევოლუციური წინამორბედნი, რომელთაც უკვე ხელში წითელი დროშა ეჭირათ და პირზე კომუნიზმი ეკერათ,—იმ ეპოქით, რომელმაც ევროპაში დიდი მონარქიები შექმნა, პაპის სასულიერო დიქტატურა გასტეხა, მკვდრებით აღადგინა ბერძნული ანტიკურობა და მასთან ერთად გამოიწვია ახალი ხანის ხელოვნების უმაღლესი განვითარება, ძველი ქვეყნის საზღვრები გაარღვია და დედამიწა ნამდვილად ახლა-ლა ექნა აღმოჩენილი.

ეს იყო უდიდესი რევოლუცია, როგორც კი დედამიწას მანამდე განეცადა. ბუნებისმეტყველებაც ამ რევოლუციის ქარცეცხლში განვითარდა, თავიდან ბოლომდე რევოლუციური იყო, დიდ იტალიელთა ახლად აღორძინებულ ფილოსოფიასთან ხელი-ხელ ჩაკიდებული მიდიოდა, გზავნიდა რა თავიანთ წამებულთ კოცონებზე და საპყრობილებში. დამახასიათებელია, რომ პროტესტანტები კათოლიკებს მათს დევნაში ეჯობებოდნენ. პირველებმა სერვეტი დასწვეს, მეორეებმა კი—ჯორდანო ბრუნო. ეს იყო დრო, რომელსაც ბუმბერაზები ესაქიროებოდა და რომელმაც ბუმბერაზები წარმოშვა, ბუმბერაზები განსწავლულობით, გონებითა და ხასიათით; ეს იყო დრო, რომელსაც ფრანგებმა სწორედ უწოდეს რენესანსი, ხოლო პროტესტანტულმა ევროპამ მას ცალმხრივად და შეზღუდულად რეფორმაცია დაარქვა.

ბუნებისმეტყველებამაც აგრეთვე მავინი თავისი დამოუკიდებლობა გამოაცხადა, რომელიც, მართალია, თავიდანვე არ გამოცხადებულა, სწორედ ისევე როგორც არც ლუთერი გახლდათ პირველი პროტესტანტი. ის, რაც რელიგიის დარგში ლუთერის მიერ პაპის ბულის დაწვა იყო, იმასვე წარმოადგენდა ბუნების მეცნიერების დარგში კოპერნიკის დიადი თხზულება, რომლითაც მან, თუმცა მოკრძალებით 36 წლიანი ყოყმანის შემდეგ და, ასე ვთქვათ, სიკვდილის სარეცელზე, საბრძოლველად გამოიწვია ეკლესიის ცრუმორწმუნეობა. ამ დღიდან ბუნების კვლევა არსებითად განთავისუფლდა რელიგიისაგან...“ („ბუნების დიალექტიკა“, 1950 წ., გვ. 196—197).

§ 151. **ბრძოლა ჰელიოცენტრული მსოფლმხედველობისათვის.** ვიდრე მოძღვრება დედამიწის მოძრაობის შესახებ წარმოადგენდა მცირერიცხოვან ნახევრადმივიწყებულ ბერძენ მოაზროვნეთა ჰიპოთეზას, ის არ იწვევდა მმართველ საეკლესიო წრეებში შიშს. მაგრამ, როცა კოპერნიკის წიგნის გამოჩენის შემდეგ, ამ მოძღვრებამ უფრო ფართოდ იწყო გავრცელება, ორივე ეკლესიამ, როგორც კათოლიკურმა, ისე ახალმა—პროტესტანტულმა, დაუწყო მას დევნა როგორც „საღმრთო წერილთან“ შეუთანხმებელ მოძღვრებას. ინკვიზიციამ დაწყველა კოპერნიკის წიგნი და შეიტანა აკრძალულ წიგნთა სიაში („ინდექსი“) „შესწორებამდე“, ხოლო კოპერნიკის სისტემის მიმდევარი დაუწყეს დევნა როგორც ერეტიკოსებს. განსაკუთრებით ძლიერი იყო ეს დევნა პაპების ქვეყანაში, იტალიაში, სადაც ის თავს დაატყდა XVI—XVII საუკუნეების ორ დიდ მოაზროვნეს—ჯორდანო ბრუნოსა და გალილეის.

ჯორდანო ბრუნო იყო ფილოსოფოსა, რომლის მოძღვრებაშიც არის როგორც მისტიკური, ისე მატერიალისტური მხარეები. ის ამტკიცებდა, რომ ბუნება და ღმერთი ერთი და იგივეა და რომ მატერია წარმოადგენს ნივთიერებათა ჭეშმარიტ არსს. თავის თხზულებებში ის არა მარტო კოპერნიკის თეორიას ქადაგებდა, არამედ მიდიოდა უფრო შორსაც: მან პარველმა გამოთქვა აზრი, რომ ჩვენი მსის სისტემის მსგავს საწყაროთა რაცხეი უსასრულოა, რომ ვარსკვლავები ეს შორი მზეებია, რომელთა ირგვლივაც ბრუნავენ ცთომილები, დასახლებულნი, შესაძლებელია ჩვენზე უფრო სრულყოფილი არსებებით. ბრუნო ხელში ჩაუვარდა ინკვიზიციას და მრავალი წლის პატიმრობის შემდეგ 1600 წელს დაწვეს როგორც ერეტიკოსი.

კინალამ ასეთივე ბედი ეწვია გალილეისაც (1564—1642), მექანიკის უდიდეს ფუძემდებელს. ეს მრავალმხრივი განათლებული მეცნიერი პირველი იყო, რომელმაც მნათობთა შესასწავლად გამოიყენა სამზერი ქოგრი. რამდენიმე თვის განმავლობაში 1608—1610 წწ. თავისი არასრულყოფილი ინსტრუმენტის დახმარებით მან ნოახდინა მთელი რიგი მნიშვნელოვანი აღმოჩენებისა და სწრაფად გაშიფრა მათი მნიშვნელობა. თითოეული ეს აღმოჩენა ლახვარს სცემდა სქოლასტიკურ-რელიგიურ მსოფლმხედველობას და ამტკიცებდა კოპერნიკის თეორიის სიმართლეს. ასე, მაგალითად, გალილეიმ მთვარეზე აღმოაჩინა მთები და განსაზღვრა კიდევ მათი სიმაღლეები. ამგვარად აღმოჩნდა, რომ მთვარეს აქვს არა რაღაც განსაკუთრებული „ციური“ ბუნება, რომელსაც სქოლასტიკოსები მიაწერდნენ მნათობებს, არამედ იგი სავსებით მსგავსია ჩვენი დედამიწისა: თავისი არასრულყოფილი ტელესკოპის დახმარებით გალილეიმ აღმოაჩინა ვენერას ფაზები, რომლებიც მთვარის ფაზების მსგავსია. ამით მან დაამტკიცა, რომ ცთომილები ისეთივე გაციეებული სფეროებია, როგორც დედამიწა (§§ 239—257), და გარემოიქცევიან მზის ირგვლივ, რადგანაც დედამიწის გარშემო ბრუნვის შემთხვევაში ფაზების ცულა სხვანაირად წარიმართებოდა; დაბოლოს, გალილეიმ აღმოაჩინა იუპიტერის ოთხი თანამგზავრი, რომლებიც გარემოიქცევიან მის გარშემო ისევე, როგორც მთვარე დედამიწის ირგვლივ და მაშინვე უჩვენა ამ აღმოჩენის პრაქტიკული მნიშვნელობა გრძელთა განსაზღვრისათვის (§ 100). რადგან იუპიტერის თანამგზავრები გარემოიქცევიან ცთომილის ირგვლივ, რომელიც თავისთავადაც მოძრაობს, ამ აღმოჩენამ ლახვარი ჩასცა არისტოტელეს მიმდევრებს: ეს ანადგურებდა მათ მტკიცებას, რომ მოძრაობის ცენტრად შეიძლება იყოს მხოლოდ უძრავი სხეული.

ეყრდნობოდა რა თავის აღმოჩენებს, გალილეი დიდი წარმატებით ავრცელებდა კოპერნიკის მოძღვრებას როგორც კათედრიდან, ისე მთელ რიგ პოპულარულად დაწერილ თხზულებებში და ამით ამახელდა მეცნიერ-სქოლასტიკოსთა უმეტრებას. ერთ ასეთ თხზულებისათვის ის, უკვე 70 წლის მოხუცი, გადაცემული იყო ინკვიზიციის სასამართლოში და იძულებული იყო საჯაროდ უარი ეთქვა თავის „შეცდომებზე“, ე. ი. დედამიწის მოძრაობის შესახებ მოძღვრებაზე (1633 წ.).

მაგრამ რეაქციის არავითარ დევნას არ შეეძლო შეეჩერებინა კოპერნიკის მოძღვრების გავრცელება. მან საბოლოოდ გაიმარჯვა კეპლერის აღმოჩე-

ნების შემდეგ, რომელმაც სამართლიანად უწოდა თავის მთავარ თხზულებას „ახალი ასტრონომია“ (იხ. §§ 152, 153).

§ 152. ტიხო ბრაჰე და კეპლერი. 1580—1600 წწ. დანიელი ასტრონომი ტიხო ბრაჰე სისტემატურად აკვირდებოდა მნათობებს სპეციალურად აგებულ და კარგად მოწყობილ სახელმწიფო ობსერვატორიაში. მიუხედავად იმისა, რომ ყველა დაკვირვება ტარდებოდა შეუიარაღებელი თვალით (სამზერი იყო მისი მანის ჯერ კიდევ არ იყო გამოგონილი), ცთომილთა მდებარეობის მისი განსაზღვრები გამოირჩეოდა განსაკუთრებული სიზუსტით. გაეცნო რა კოპერნიკის სისტემას, ბრაჰე დაეთანხმა იმას, რომ ყველა ჩვენ მიერ ხილული ცთომილი ბრუნავს მზის ირგვლივ. მაგრამ აღიარება იმისა, რომ დედამიწაც მოძრაობს, მან ვერ გაბედა და შექმნა თავისი სისტემა, რომლის მიხედვით მზე ყველა თავის გარშემო მბრუნავ ცთომილითურთ მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ. მიუხედავად ეკლესიის წინაშე ტიხო ბრაჰეს ასეთი დათმობისა, მას თავს მოახვიეს მთელი რიგი ბრალდებები, მათ შორის კი, ავსულებთან კავშირი. მას შეუწყვიტეს ობსერვატორიის შენახვის ხარჯები და იგი იძულებული იყო დაეტოვებინა დანია. მან დაიწყო ახალი ობსერვატორიის მოწყობა პრაღაში, მაგრამ მალე გარდაიცვალა (1601 წ.). ტიხო ბრაჰეს დაკვირვებათა ჩანაწერები გადავიდა მისი თანაშემწის—იოჰან კეპლერის (1571—1630 წწ.) ხელში.

კეპლერი იყო კოპერნიკის თეორიის მიმდევარი და გადაწყვიტა განეცითარებინა ის ტიხო ბრაჰეს დაკვირვებებით. ამისათვის მან ამოიჩინა ცთომილი მარსი და გულმოდგინედ გამოიკვლია მისი მოძრაობა. კეპლერის მუშაობა მიმდინარეობდა განსაკუთრებულ ძნელ პირობებში. ომიანობა, მატერიალური სიღვივროვე, ეკლესიის მიერ დევნა, მუდმივი ხეტიალი—ამ პირობებში იქმნებოდა კეპლერის ცნობილი კანონები.

§ 153. კეპლერის კანონები. პირველად კეპლერი იზიარებდა საერთო აზრს, რომ ციურ სხეულებს შეუძლიათ მოძრაობა მხოლოდ წრეებზე. ამიტომ მან დიდი დრო დახარჯა იმაზე, რომ შეერჩია მარსისათვის წრიული ორბიტა, რომლის ცენტრს მოშორებით იქნებოდა მზე. მაგრამ ბოლოს, როცა მან ვერ შესძლო ისეთი წრის შერჩევა, რომელიც დააკმაყოფილებდა ცთომილის დაკვირვებით მიღებულ ყველა მდებარეობას, გადაწყვიტა უკუეგდო წრიულ მოძრაობათა ცრურწმენა და ელიარებინა, რომ მარსის ორბიტა არის არა წრე, არამედ რალაც სხვა მრუდი. მალე მან განსაზღვრა ეს მრუდი. ამგვარად იყო ნაპოვნი ცთომილთა მოძრაობის პირველი კანონი.

I კანონი: ცთომილის ორბიტა წარმოადგენს ელიფსს რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მზე იმყოფება.

აღმოჩნდა, რომ ცთომილთა ორბიტების ელიფსები მცირედ განსხვავდება წრისაგან. ყველაზე დიდი ექსცენტრისიტეტი (გაწეილობა) აქვს 1930 წ. აღმოჩენილ ცთომილს—პლუტონს, სახელდობრ 0,25.

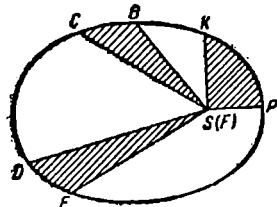
ასევე იყო უარყოფილი კეპლერის მიერ ციური სხეულების თანაბარი მოძრაობის პრინციპი. ის შეცვალა შემდეგმა კანონმა, რომელსაც ფართობა კანონი ეწოდა.

II კანონი: ცთომილის რადიუს-ვექტორი დროის თანაბარ შუალედებში თანაბარ ფართებს აღწერს.

დავუშვათ, რომ როცა ცთომილი იმყოფება P პერიოპელიუმთან ახლოს, რადიუს-ვექტორი (ე. ი. S მზისა და ცთომილის შემაერთებული სწორი ხაზი) დროის რალაც შუალედში, მაგ., ერთ თვეში აღწერს PKS (ნახ. 75) ფართს. მაშასადამე, ცთომილი ამ დროის განმავლობაში გაივლის PK რკალს; ხოლო, როდესაც ცთომილი მზეს უფრო დასცილდება, მაშინ მისი რადიუს-ვექტორი ერთ თვეში აღწერს DES ფართს, რომელიც ტოლი იქნება PKS ფართისა. მაშასადამე, რკალი, რომელსაც გაივლის ცთომილი იმავე დროში იქნება PK რკალზე ნაკლები.

ამგვარად, მეორე კანონი განსაზღვრავს ცთომილის სიჩქარეს ორბიტის ნებისმიერ წერტილში. ის მით უფრო მეტია, რაც უფრო ახლოა ცთომილი მზესთან. რადგან ელიფსური სექტორის ფართის განსაზღვრა ადვილია, ეს გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ცთომილის მდებარეობა ელიფსზე დროის ნებისმიერი მომენტისათვის.

ამ ორი კანონით ამოხსნილი იყო ყოველი ცალკეული ცთომილის მოძრაობის ამოცანა (1609 წ.). მაგრამ კეპლერი აგრძელებდა თავის გამოკვლევებს, რადგან დარწმუნებული იყო, რომ უნდა არსებობდეს კანონი, რომელიც დააკავშირებს ერთ მთლიანობაში ცთომილთა მთელ სისტემას. ეს შესანიშნავი კანონი მან აპოვა მხოლოდ 1618 წელს.



ნახ. 75.

III კანონი: ცთომილთა გარემოქცევის დროთა კვადრატები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მზიდან მათი საშუალო მანძილების კუბები.

თუ ცთომილთა ვარსკვლავიერი გარემოქცევის პერიოდებს აღვნიშნავთ T_1 და T_2 -ით, ხოლო მზიდან მათ საშუალო მანძილებს (ელიფსების დიდ ნახევარღერძებს)— a_1 და a_2 -ით, მაშინ მესამე კანონი ასეთი ფორმულით გამოიხატება

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (3)$$

ამ კანონის სისწორე ჩანს შემდეგი ცხრილიდან, სადაც მოყვანილია ყველა ცთომილის საშუალო მანძილი (a) და მათი ვარსკვლავიერი გარემოქცევის დრო (T), ამასთანავე, მანძილის ერთეულად მიღებულია მზიდან დედამიწამდე საშუალო მანძილი, ხოლო დროის ერთეულად—დედამიწის გარემოქცევის დრო (წელი). ცხრილიდან ჩანს, რომ თითოეული ცთომილისათვის პირველი რიცხვის კუბი ტოლია მეორის კვადრატისა.

სხვათა შორის, ამ კანონიდან გამომდინარეობს, რომ მზიდან ცთომილებამდე საშუალო მანძილების გამოსათვლელად საკმარისია ვიცოდეთ ერთი რომელიმე ცთომილის მანძილი, მაგალითად, დედამიწისა. ყველა დანარჩენის

მანძილი განისაზღვრება მათი გარემოქცევის დროთა მიხედვით (3) ფორმულის საფუძველზე.

ცთომილი	a ასტრონომიულ ერთეულებში	T წლებში	a^3	T^2
მერკური .	0,387	0,241	0,058	0,058
ვენერა .	0,723	0,615	0,378	0,378
დედამიწა	1	1	1	1
მარსი	1,524	1,891	3,540	3,538
იუპიტერი	5,203	11,862	140,8	140,7
სატურნი .	9,539	29,448	868,0	867,9
ურანი	19,191	84,015	7069,9	7068,5
ნეპტუნი	30,071	164,788	27192,1	27156,1
პლუტონი	39,519	248,430	61715,3	61717,5

§ 154. III კანონის ზედმიწვი სიდიდე. წევრთა უბრალო გადაადგილებით (3) პროპორცია შეიძლება შემდეგნაირად დაიწეროს:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \text{მუდმივი რიცხვი} = C. \quad (4)$$

ეს ფორმულა გვიჩვენებს, რომ დიდი ნახევარღერძის კუბის შეფარდება ცთომილის გარემოქცევის დროის კვადრატთან წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, რომელიც ერთი და იგივეა ჩვენი სისტემის ყველა ცთომილისათვის; ამიტომ საკმარისია გამოთვლილ იქნეს ის ერთი რომელიმე ცთომილისათვის; ამ მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა ერთეულებში გამოვსახავთ ცთომილის მანძილს და გარემოქცევის დროს. თუ ერთეულებად ავიღებთ ვარსკვლავთმცირე წელიწადს და ასტრონომიულ ერთეულს, მაშინ $C=1$ და, მაშასადამე, (თუ მოვაცილებთ ინდექსებს)

$$a^3 = T^2,$$

ან

$$T = a^{3/2}. \quad (5)$$

უფრო ხშირად დროის ერთეულად იღებენ საშუალო დღე-ღამეს; მაშინ დედამიწისათვის

$$a=1, T=365,26 \text{ დღე-ღამე},$$

და (4) ფორმულა C მუდმივისათვის მოგვცემს

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{1}{(365,26)^2}, \quad (6)$$

სიდიდანაც

$$T = 365,26 a^{3/2}. \quad (7)$$

ეს ფორმულა გვაძლევს ცთომილის გარემოქცევის დროს დღე-ღამეებში. მესამე კანონი (ისევე, როგორც დანარჩენი ორი) სამართლიანია არა მარტო ცთომილთათვის, არამედ სხვა ციური სხეულებისათვისაც, მაგალი-

თად, ცთონილთა თანამგზავრებისათვისაც. ერთი რომელიმე ცთომილის ყველა თანამგზავრისათვის ფარდობა a^3/T^2 ერთი და იგივეა, მაგრამ ყოველი ცთომილისათვის მას აქვს განსხვავებული მნიშვნელობა, ვიდრე ცთომილთა სისტემისათვის.

ეს თვითონ კეპლერმაც შეამჩნია იუპიტერისათვის, რომლის თანამგზავრები იმ დროისათვის უკვე აღმოჩენილი იყო გალილეის მიერ. ამ ფარდობის სიდიდე ძალზე მნიშვნელოვანია: როგორც შემდეგში დავინახავთ, იგი განსაზღვრავს ცთომილის მასას.

მაგალითად, იუპიტერის III და IV თანამგზავრისათვის გვაქვს:

$$a_3 = 1067000 \text{ კმ} = 0,007137 \text{ ასტრ. ერთ.},$$

$$a_4 = 1877000 \text{ კმ} = 0,01256 \text{ ასტრ. ერთ.},$$

$$T_3 = 7,1546 \text{ დღე-ღამე} = 0,01959 \text{ წელი},$$

$$T_4 = 19,6890 \text{ დღე-ღამე} = 0,04569 \text{ წელი}.$$

აღმოჩნდა, რომ მართლაც

$$\frac{0,007137^3}{0,01959^2} = \frac{0,01256^3}{0,04569^2} = \frac{1}{1050},$$

ე. ი. მუდმივი სიდიდეა, მაგრამ გაცილებით მცირე, ვიდრე მზისათვის.

§ 155. კეპლერის კანონების მნიშვნელობა. ა) კეპლერის კანონები შესანიშნავია მეცნიერული აზროვნების გაბედულობით. გაცილებით ადრე კოპერნიკამდე დედამიწის უძრაობაში ბევრს ეპარებოდა ეკვი, მაგრამ ის, რომ მნათობი უნდა მოძრაობდეს მხოლოდ წრეზე და თანაბრად, რამდენადაც ვიცით, არავის არ მიაჩნდა საეპეოდ, თვითონ კოპერნიკსაც კი.

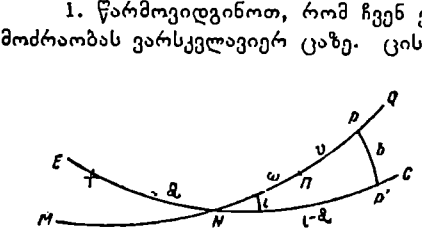
ბ) კეპლერის კანონების გამოყენებამ ასტრონომიის პრაქტიკაში საესეებით გარდაქმნა თეორიული ასტრონომიის მეთოდთა. წრეების (ეპიცენტრების) აგება გაქრა და ის შეცვალა უფრო მარტივმა და გაცილებით ზუსტმა ელიფსურ მოძრაობათა წესების საფუძველზე წარმოებულმა გამოთვლებმა. ამ გამოთვლების გასაადვილებლად კეპლერმა გამოსცა ცთომილთა მოძრაობის ცხრილები და მისცა მას ისეთი ფორმა, რომელიც დღემდე თითქმის უცვლელად არის შენარჩუნებული.

გ) კეპლერის კანონები ამტკიცებენ, რომ ცთომილთა სამყარო წარწოდგენს მწყობრ (კეპლერის გამოთქმით — „ჰარმონიულ“) სისტემას, რომელსაც მართავს რაღაც ერთიანი ძალა, რომლის წყაროსაც მზე წარმოადგენს. ეს ცხადია იქიდან, რომ მზე მდებარეობს ყოველი ცთომილის ორბიტის ფოკუსში და რომ ცთომილის სიჩქარე და გარემოქცევის დრო დამოკიდებულია მხოლოდ მზიდან მის მანძილზე. ეს ძალა რომ ერთი და იგივეა ყველა ცთომილისათვის, გამომდინარეობს მესამე კანონიდან. კოპერნიკის სისტემაში მზე ასეთ როლს არ ასრულებდა, რადგანაც არც ერთი ცთომილის ორბიტის ცენტრი არ ემთხვეოდა მზეს.

კეპლერი მიუახლოვდა სწორ წარმოდგენას ამ ძალაზე. მზეს ის ადარებდა მაგნიტს და ამტკიცებდა, რომ ყველა სხეული ერთმანეთს იზიდავს, ამას-

თანავე მიზიდულობის ძალა კლებულობს მანძილთან ერთად. მაგრამ ამ ძალის მოქმედების კანონის აღმოჩენა მას არ შეეძლო, რადგანაც იმ დროს ჯერ კიდევ არ იყო ცნობილი მექანიკის ძირითადი კანონები.

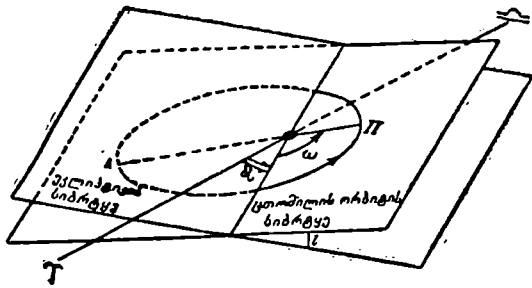
§ 156. ცთომილთა ორბიტების ელემენტები. იმისათვის, რომ ცთომილის მოძრაობა სავსებით ცნობილი იყოს, აუცილებელია განისაზღვროს ექვსი სიდიდის მნიშვნელობა, რომელთაც ორბიტის ელემენტებს უწოდებენ. ეს სიდიდეები შემდეგია:



ნახ. 76.

1. წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ ვაკვირდებით მზიდან ცთომილის ხილულ მოძრაობას ვარსკვლავიერ ცაზე. ცის სფეროს დიდი წრე MQ , რომელსაც ცთომილი აღწერს მზის ირგვლივ ერთი გარემოქცევის განმავლობაში, არ ემთხვევა EC ეკლიპტიკას, არამედ მასთან რომელიღაც კუთხეს შეადგენს. ამ კუთხეს ეწოდება ორბიტის სიბრტყის დახრა ეკლიპტიკის სიბრტყესთან ან უბრალოდ ორბიტის დახრა (აღინიშნება i ასოთი, ნახ. 76).

2. ორ წერტილს, სადაც MQ ორბიტა გადაკვეთს EC ეკლიპტიკის სიბრტყეს, უწოდებენ ორბიტის კვანძებს (ნახ. 76 და 77). ის კვანძი, რომელშიაც ცთომილი გადადის ცის სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩრდილო ნახევარსფეროში, იწოდება აღმავალ კვანძად. ის აღინიშნება Ω ნიშნით. მეორე ელემენტი აღმავალი კვანძის გრძე-



ნახ. 77.

დი. პირველი და მეორე ელემენტი განსაზღვრავს ორბიტის სიბრტყის მდებარეობას.

3. მდებარეობა, რომელიც უკავია ცთომილის ელიფსს ამ სიბრტყეში, განისაზღვრება პერიპელიუმის π გრძედით ($\Upsilon N \Pi$ ტეხილი რკალი); ის იძლევა მიმართულებას, რომელზედაც ძვეს ელიფსის ღერძი. ხშირად π -ის ნაცვლად აიღება პერიპელიუმის მანძილი კვანძიდან (ω); ცხადია, რომ

$$\pi = \Omega + \omega.$$

4. ელიფსის ფორმა განისაზღვრება მისი (e) ექსცენტრისიტეტით, რომელიც ტოლია

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a},$$

სადაც a და b ელიფსის დიდი და მცირე ნახევარღერძებია.

5. დიდი ნახევარღერძი (a) განსაზღვრავს ელიფსის ზომას და კეპლერის მესამე კანონით გარემოქცევის დროს [ფორმულა (3), § 153].

6. იმისათვის, რომ ვუჩვენოთ ცთომილის მდებარეობა ორბიტზე დროის ნებისმიერ მომენტში, საჭიროა ვიცოდეთ P ცთომილის მდებარეობა ერთი რომელიმე გარკვეული მომენტისათვის („გრძელი ეპოქაში“ t_0) ანდა ცთომილის პერიოდულუზზე გავლის მომენტი (t_0).

თუ გვეცოდინება ეს ექვსი ელემენტი ($i, \Omega, \pi, e, a, t_0$), კეპლერის მიერ მოცემული ფორმულების საშუალებით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ცთომილის მდებარეობა დროის ნებისმიერი მომენტისათვის. ასეთ გამოთვლას ეწოდება ეფემერიდების გამოთვლა, ე. ი. ცხრილებისა, სადაც მოცემულია ცთომილის მდებარეობა ყოველი დღისათვის მრავალი წლით ადრე.

გაცილებით ძნელია შებრუნებული ამოცანა, ეგრეთ წოდებული ორბიტის განსაზღვრა — ცთომილის ხილული მოძრაობის საფუძველზე მისი ორბიტის ყველა ექვსი ელემენტის გამოთვლა. კეპლერმა გადაწყვიტა ეს ამოცანაც მხოლოდ იმ ცთომილთათვის, რომელთაც უკვე დიდი ხანია აკვირდებოდნენ და რომელთათვისაც, მასთანადამე, გვაქვს დაკვირვებების დიდი რაოდენობა. ორბიტის განსაზღვრა კი რამდენიმე დაკვირვების საფუძველზე, რაც ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანია ახალი ცთომილების აღმოჩენის შემთხვევაში, დამუშავებული იყო მხოლოდ XIX საუკუნის დასაწყისში.

§ 157. ცთომილის კოორდინატების განსაზღვრა მისი ორბიტის ელემენტების მიხედვით. ცთომილის კოორდინატების განსაზღვრა შედგება სამი საფეხურისაგან:

- ა) ცთომილის მდებარეობის გამოთვლა მისივე ორბიტის სიბრტყეში;
- ბ) ცთომილის სივრცითი კოორდინატების გამოთვლა დედამიწის ცენტრის მიმართ (მართკუთხა გეოცენტრული კოორდინატების გამოთვლა);
- გ) ცთომილის ხილული მდებარეობის გამოთვლა ცის სფეროზე (ცთომილის α და δ -ს განსაზღვრა).

განვიხილოთ სამივე საფეხური თანმიმდევრობით.

ა) ცთომილის მდებარეობის გამოთვლა მისი ორბიტის სიბრტყეში.

1. დღე-ღამეში ცთომილის საშუალო მოძრაობა

$$n = \frac{2\pi}{T}, \quad (8)$$

სადაც T ცთომილის მზის ირგვლივ გარემოქცევის პერიოდია.

2. n -ის მიხედვით გამოითვლება საშუალო ანომალია M , ე. ი. წრის რკალი, რომელსაც აღწერდა ცთომილი $t-t_0$ დროის განმავლობაში ის რომ მოძრაობდეს თანაბრად თავისი საშუალო მოძრაობის სიჩქარით (ანალიზია საშუალო მუხსთან, § 35); აქ t დროის მოცემული მომენტია, რომლისთვისაც უნდა განისაზღვროს ცთომილის მდებარეობა, t_0 კი — ცთომილის II პერიოდულუზზე (ნახ. 78) გავლის მომენტი; t_0 ორბიტის მეექვსე ელემენტი:

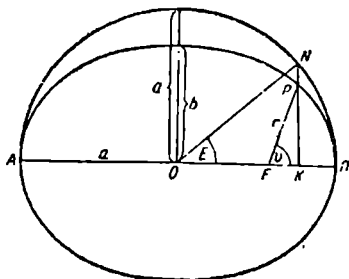
$$M = \pi (t - t_0) = \frac{2\pi}{T} (t - t_0). \quad (9)$$

აქედან

$$\frac{t - t_0}{T} = \frac{M}{2\pi}. \quad (10)$$

3. დავეუშვათ, რომ მოცემულ t მომენტში ცოთმილი თავისი ორბიტის (ელიფსის) P წერტილში მდებარეობს და $t - t_0$ დროში აღწერს ΠP რკალს (ნახ. 78). მზე მდებარეობს ცოთმილის ორბიტის F ფოკუსში (კეპლერის პირველი კანონი).

წრფის მონაკვეთი $FP = r$ ცოთმილის რადიუს-ვექტორია.



ნახ. 78.

რადგანაც, კეპლერის მეორე კანონის თანახმად, ΠFP ფართი $t - t_0$ დროის პროპორციულია, ამიტომ

$$\frac{\text{ფართი } \Pi FP}{\pi ab} = \frac{t - t_0}{T},$$

ან, თუ მივიღებთ მხედველობაში (10)-ს,

$$\frac{\text{ფართი } \Pi FP}{\pi ab} = \frac{M}{2\pi},$$

სადაც πab ელიფსის ფართია.

აქედან

$$\text{ფართი } \Pi FP = \frac{1}{2} M ab. \quad (11)$$

ΠFP ელიფსური სექტორის ფართი შეიძლება მონახულ იქნეს შემდეგი მოსახრებებიდან. ელიფსის ცენტრის გარშემო შემოვწერთ წრე რადიუსით a (ელიფსის დიდი ნახევარღერძი, ორბიტის მგზუთე ელიმენტი); დავეუშვათ P წერტილიდან ელიფსის დიდ ნახევარღერძზე PK პერპენდიკულარი და გავაგრძელოთ წრის გადაკვეთამდე N წერტილში.

$NO\Pi$ კუთხეს ეწოდება ცოთმილის ექსცენტრული ანომალია. ელიფსი a და b ნახევარღერძებით შეიძლება განვიხილოთ როგორც წრის გეგმილი იმ სიბრტყეზე, რომელიც წრის სიბრტყისადმი დახრილია γ კუთხით, მასთან

$$\cos \gamma = \frac{b}{a};$$

მაშინ

$$\text{ფართი } \Pi FP = \text{ფართი } PK\Pi + \text{ფართი } PKF, \quad (12)$$

$$\text{ფართი } PK\Pi = \text{ფართი } NK\Pi \cos \gamma = (\text{ფართი } ON\Pi - \text{ფართი } ONK) \frac{b}{a} =$$

$$= \left(\frac{a}{2} aE - \frac{OK}{2} a \sin E \right) \frac{b}{a};$$

ან

$$\text{ფართი } PK\Pi = \frac{b}{2} (aE - OK \sin E). \quad (13)$$

შემდეგ

$$\text{ფართი } PKF = \frac{FK}{2} NK \frac{b}{a} = \frac{FK}{2} a \sin E \frac{b}{a},$$

საიდანაც

$$\text{ფართი } PKF = \frac{b}{2} FK \sin E. \quad (14)$$

ჩავსვათ რა (13) და (14)-ს მე-(12) ფორმულაში, მივიღებთ

$$\text{ფართი } IIPF = \frac{b}{2} (aE - ae \sin E), \quad (15)$$

სადაც e ცთომილის ორბიტის ექსცენტრისიტეტია (ორბიტის მე-4 ელემენტი).

გავუტოლებთ რა (11)-ს და (15)-ს ერთიმეორეს და შევკვეცავთ ab -ზე, მივიღებთ კვადრატულ განტოლებას:

$$E - e \sin E = M. \quad (16)$$

(16)-დან მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით განისაზღვრება E ;

1) $E_1 = M + e \sin M$; აქედან ვპოულობთ E_1 -ს;

2) $E_2 = M + e \sin E_1$; აქედან ვპოულობთ E_2 -ს;

3) $E_3 = M + e \sin E_2$; ვპოულობთ E_3 -ს და ა. შ., ვიდრე არ მივიღებთ $E_n = E_{n-1}$ -ს;

E_n -ის ეს მნიშვნელობა უდრის E -ს (16) განტოლებაში.

4) რადიუს-ვექტორი r (ნახ. 78) განისაზღვრება a , e და E -ს მიხედვით.

$$\text{რადგანაც } r^2 = PK^2 + KF^2 = \left(NK \cdot \frac{b}{a} \right)^2 + (a \cos E - ae)^2,$$

ხოლო $b^2 = a^2 (1 - e^2)$, გვექნება $r^2 = a^2 (1 - 2e \cos E + e^2 \cos^2 E)$,

საიდანაც

$$r = a (1 - e \cos E). \quad (17)$$

5. $IIPF$ კუთხეს „მზე—პერიპელიუმის“ მიმართულებასა და ცთომილის რადიუს-ვექტორს შორის ეწოდება ცთომილის ქვეშარიტი ანომალია (v).

ფოკუსის მიმართ ელიფსის განტოლება პოლარულ კოორდინატებში იქნება:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos v}. \quad (18)$$

გავუტოლებთ რა ერთიმეორეს (17) და (18)-ს, მივიღებთ

$$1 - e \cos E = \frac{1 - e^2}{1 + e \cos v}.$$

საიდანაც

$$\cos v = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E}. \quad (19)$$

დავიყვანოთ რა გასალოგარიტმებლად მოხერხებულ სახეზე, (19) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\text{tg } \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \text{tg } \frac{E}{2}. \quad (20)$$

რომლის მიხედვითაც, ჩვეულებრივ, გამოითვლება ცთომილის კეშმარიტი ანომალია.

გამოთვლების პირველი ეტაპი დამთავრებულია; (17) და (20) ფორმულები იძლევა მზის მიმართ ცთომილის კოორდინატებს მისივე ორბიტის სიბრტყეში.

არსებობს ფორმულები, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება განისაზღვროს r და v ეპლერის განტოლების ამოხსნის გარეშე. ამ ფორმულებს ვიძლევიტ გამოუყვანლად.

$$r = a(1 - e \cos M + e^2 \sin^2 M + \dots),$$

$$v = M + 2e \sin M + \frac{5}{4} e^2 \sin 2M + \dots$$

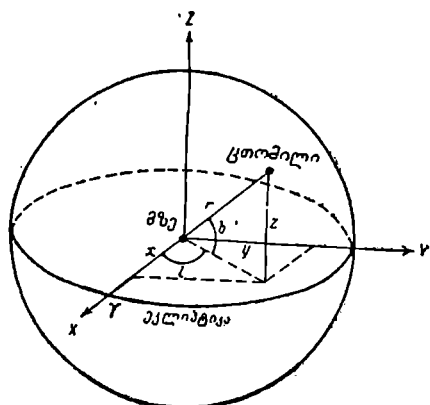
ბ) ცთომილის გეოცენტრული კოორდინატების გამოთვლა.

1. ცთომილის b განედისა და l გრძედის გამოთვლა მზის მიმართ (ჰელიოცენტრული კოორდინატების განსაზღვრა).

76-ე ნახაზზე EC ეკლიპტიკის რკალია, MNQ—ზიდან ხილული ცთომილის ორბიტის რკალი, N არის აღმავალი კვანძი, II—პერაპელიუმი, P—ცთომილი, $\Upsilon N = \Omega$ —აღმავალი კვანძის გრძედი (ორბიტის მე-2 ელემენტი), $NII = \omega$ —პერაპელიუმის მანძილი კვანძიდან ($\omega + \Omega = \pi$ გვაძლევს ორბიტის მე-3 ელემენტს), $PII = \varphi$ —ცთომილის კეშმარიტი ანომალია, $PP' = b$ —ცთომილის ჰელიოცენტრული განედი, $\Upsilon P' = l$ —ცთომილის ჰელიოცენტრული გრძედი (იხ. ქვემოთ), i —ორბიტის დაბრა (ორბიტის პირველი ელემენტი). NPP' მართკუთხა სფერული სამკუთხედიდან მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \cos(l - \Omega) \cos b &= \cos(v + \omega), \\ \sin(l - \Omega) \cos b &= \sin(v + \omega) \cos i, \\ \sin b &= \sin(v + \omega) \sin i. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

(21) განტოლებებიდან გპოულობთ ცთომილის ჰელიოცენტრულ სფერულ კოორდინატებს l და b -ს, ხოლო ამ უკანასკნელთა საშუალებით კი—ცთომილის მართკუთხა ჰელიოცენტრულ კოორდინატებს— x , y და z -ს.



ნახ. 79.

2. ამ კოორდინატთა სისტემის სათავეს (ნახ. 79) წარმოადგენს მზის ცენტრი, x ღერძი მიმართულია გაზაფხულის დედამიწის (P) წერტილისაკენ, y ღერძი აღებულა ეკლიპტიკის სიბრტყეში 90° -ით x ღერძიდან საათის ისრის საწინააღმდეგ მიმართულებით (გ. ი. $l_y = 90^\circ$); z ღერძი კი მიმართულია ეკლიპტიკის პოლუსისაკენ, მაშინ (ნახ. 79)

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos b \cos l, & y &= r \cos b \sin l, \\ z &= r \sin b. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

3. x , y , z ღერძების მიმართულებათა შეუცვლელად გადავიტანოთ კოორდინატთა სათავე (ეკლიპტიკის სიბრტყეში) დედამიწის ცენტრში; კოორდინატთა სათავე გადაადგილდება ორი მიმართულებით X და Y სიდიდით, რომელნიც წარმოადგენენ მზის ეკლიპტიკურ კოორდინატებს დედამიწის მიმართ ($X^2 + Y^2 = R^2$, სადაც R —ძრის მოცემულ მომენტში დედამიწიდან მზემდე მანძილი).

X და Y მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში ყოველი დღისათვის. მაშინ ცთომილის სწორკუთხვანო გეოცენტრული კოორდინატები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\xi = x + X, \eta = y + Y \text{ და } \zeta = z \quad (23)$$

გ) ცთომილის ხილული მდებარეობის განსაზღვრა (22) ფორმულების ანალოგიურად შეიძლება დაიწეროს:

$$\rho \cos \beta \cos \lambda = \xi; \rho \cos \beta \sin \lambda = \eta; \rho \sin \beta = \zeta. \quad (24)$$

აქ ρ არის ცთომილის რადიუს-ვექტორი დედამიწის მიმართ; λ და β ცთომილის ეკლიპტიკური კოორდინატებია დედამიწის მიმართ (იხ. § 26).

გამოვითვლით რა (24)-ის მიხედვით λ და β -ს, IPM სფერული სამკუთხედის (ნახ. 13, გვ. 39) ამოხსნით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ცთომილის პირდაპირი აღლენა α და დახრილობა δ დროის მოცემული მომენტისათვის.

სავარჯიშოები VII თავისათვის

1. ვენერას ხილვადობის პირობები მეორდება 8 წლის შემდეგ თვეების თითქმის ერთსა და იმავე რიცხვებში. გამოარკვეით ამის მიზეზი § 148-ში მოცემული ცხრილის მიხედვით.

2. რისი ტოლი იქნებოდა ცთომილის გარემოქცევის სინოდური დრო, მისი ვარსკვლავიერი გარემოქცევა რომ 2 წლის ტოლი ყოფილიყო?

3. რამდენი ხნის შემდეგ განმეორდებოდა ცთომილის პირისპირდგომა, მისი გარემოქცევის დრო რომ მზის ირგვლივ 370 დღეს შეადგენდეს? რა მანძილით მოუახლოვდებოდა ის დედამიწას? (დედამიწის ვარსკვლავიერი გარემოქცევის დრო მივიღოთ ზუსტად 365 დღის ტოლად, ჩავთვალოთ, რომ ორბიტები წრიულია). პასუხი: ყოველ 74 წლის შემდეგ, მანძილი 0,009 ასტრ. ერთეულია კეპლერის მესამე კანონის თანახმად.

4. მერკურის ორბიტის ექსცენტრისიტეტი 0,2-ის ტოლია, დიდი ნახევარღერძი კი $-0,39$ ასტრ. ერთეულისა. რას უდრის ცთომილის უდიდესი და უმცირესი დაშორება მზიდან?

5. იგივე დედამიწისათვის (კილომეტრებში; ექსცენტრისიტეტი ტოლია $1/60$ -ის)?

6. რას უდრის მზის ირგვლივ იმ ცთომილის გარემოქცევის დრო, რომელიც მზიდან 100 ასტრ. ერთეულითაა დაშორებული?

7. იუპიტერის მესამე თანამგზავრი, რომელიც დაცილებულია ცთომილიდან მისი 15-ჯერ აღებული რადიუსის ტოლი მანძილით, ბრუნავს მის ირგვლივ 7,2 დღე-ღამის პერიოდით. რა დროში გარემოქცევა მე-5 თანამგზავრი, რომლის მანძილი ცთომილის 2,54 რადიუსის ტოლია? მე-8 თანამგზავრი, რომლისთვისაც $a=330$?

8. ცთომილი მარსის $e=0,09333$, $a=1,5237$. გამოითვალეთ $M=60^{\circ}0'0''$ საშუალო ანომალიის შესაბამისი E , v და r . პასუხი: $E=64^{\circ}50'24''$, $v=69^{\circ}47'10''$, $r=1,4633$. მითითება: E -ს გამოთვლისას კეპლერის განტოლების ყველა წევრი გამოსახეთ სეკუნდებში; ამისათვის e უნდა გამრავლდეს 206265 -ზე, $1g 206265=5,31443$.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

§ 158. კეპლერიდან ნიუტონამდე. კეპლერის კანონები გვაძლევს ცთომილთ მოძრაობათა გეომეტრიულ წარმოდგენას, მაგრამ არ იძლევა მათ ფიზიკურ ახსნას. ბუნებრივად ისმის კითხვა: რა მიზეზი ანუ ძალა იწვევს ელიფსებზე ცთომილების მოძრაობას და აიძულებს მათ რადიუსვექტორებს აღწერონ დროთა პროპორციული ფართები? კეპლერისათვის ცხადი იყო, რომ ასეთი ძალა უნდა არსებობდეს და რომ მისი კანონები რომელიღაც უფრო ზოგადი კანონის შედეგს წარმოადგენს (§ 155). მაგრამ კეპლერი ყველა თავისი თანამედროვის მსგავსად ფიქრობდა, რომ მოძრაობა გრძელდება, ვიდრე მოქმედებს ამ მოძრაობის გამომწვევი ძალა და რომ საჭიროა, ცხადია, მოიძებნოს ძალა, რომელიც მუდამ უზიძგებს ხოლმე ცთომილებს. კეპლერი ვარაუდობდა, რომ მზე ბრუნავს ლერძის გარშემო იმავე მიმართულებით, საითაც ცთომილები მოძრაობენ (ჰიპოთეზის ეს ნაწილი მალე იქნა დაკვირვებებით დადასტურებული; მბრუნავი მზიდან, მისი ეკვატორის სიბრტყეში ამოიფრქვევა „არამატერიალური ნაკადები“, რომლებიც წარიტაცებენ ცთომილს და აიძულებენ მას მონაწილეობა მიიღოს წრიულ მოძრაობაში. კეპლერი ამ ნაკადების მოქმედებას მანძილის პირველი ხარისხის უკუპროპორციულად თვლიდა. ამ ჰიპოთეზასთან ერთად კეპლერი გამოთქვამდა სწორ შეხედულებებს მიზიდულობის ძალაზე. ის ამტკიცებდა, რომ „ორი განცალკევებული სხეული ისე მიისწრაფვის ერთმანეთისაკენ, როგორც ორი მაგნიტი და რომ „დედამაწისა და მთვარეს რაღაც ძალა არ აჩერებდეს სივრცეში, მაშინ ისინი ერთმეორეს დაეკემოდნენ“, ხოლო, თუ „დედამიწა შეწყვეტდა ოკეანის წყლის მიზიდვას, მაშინ მთელი წყალი მთვარისაკენ გაექანებოდა“. კეპლერის ეპოქაში ამ ღრმა აზრებს არ შეეძლო შემდეგ განვითარებულიყო; იგი განავითარა ნიუტონმა თითქმის ნახევარი საუკუნის შემდეგ.

ამ ნახევარი საუკუნის მანძილზე ცდის საშუალებით შესწავლილ იქნა დედამიწის სხეულთა მარტივი მოძრაობანი და გამოიკვია მექანიკის ძირითადი კანონები. ეს გააკეთა უმთავრესად გალილეიმ, რომელსაც ამხანაგი სტალინი თვლის დარვინის თანასწორად, ერთ იმ „მამაც ადამიანთაგან, რომელთაც შესწევდათ უნარი დაემსხვრიათ ძველი და შეექმნათ ახალი მიუხედავად ყოველგვარი დაბრკოლებებისა, მიუხედავად ყველაფრისა“ (სიტყვა უმად-

ლესი სკოლის მუშაკთა მიღებაზე კრემლში 1938 წ. 17 მაისს). გალილეი მოძრაობის კანონებს სწავლობდა მარტივი ცდების საშუალებით: აკვირდებოდა საქანთა რხევას, კოშკიდან აგდებდა სხვადასხვა წონისა და სიმკვრივის ბურთულებს, აგორებდა მათ დახრილ ლარებში და ა. შ. ამ ცდებით მან უარყო არისტოტელეს მოძღვრება, რომელიც არსებობდა ორი ათასი წლის მანძილზე, რომ „ყოველი მოძრაობა გრძელდება მხოლოდ მანამდე, ვიდრე მოქმედებს მამოძრავებელი ძალა“. გალილეიმ დაამტკიცა, რომ თანაბარი მოძრაობის შესანარჩუნებლად სრულელებითაც არ არის საჭირო ძალის განუწყვეტელი მოქმედება. მან დაადგინა ინერციის კანონი, რომლის თანახმად მოძრაობაში მოყვანილმა სხეულმა უნდა იმოძრაოს სწორხაზოვნად და თანაბრად, ვიდრე არ შეხვდება რაიმე წინააღმდეგობას. მაშასადამე, ცთომილთა მოძრაობაში ახლა საჭირო იყო არა მოძრაობის მაწარმოებელი ძალის ძებნა, არამედ ძალისა, რომელიც მათ სწორხაზოვან გზას მრუდხაზოვნად ცვლიდა, ან სხვანაირად რომ ვთქვათ, ძალისა, რომელიც აკავებს ცთომილს თავის ორბიტაზე. მალე ჰიუგენსმა გამოიკვლია წრიული მოძრაობა და შემოიტანა ცენტრისკენული ძალის ცნება. XVII საუკუნის მეორე ნახევარში რამდენიმე მეცნიერი გამოთქვამდა აზრს, რომ კეპლერის კანონები უნდა გამომდინარეობდეს იმ ძალის მოქმედებიდან, რომელიც იზიდავს მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად (გალილეი, ჰუკი და სხვა).

მაგრამ ამის დამტკიცება მათ არ შეეძლოთ. ამოცანა რთულდებოდა კიდევ იმით, რომ მთვარის და ცთომილთა მოძრაობებში აღმოაჩინეს კეპლერის კანონებიდან მცირე გადახრები.

§ 169. ზუსტ მეცნიერებათა მდგომარეობა XVII საუკუნის დასასრულს. XVII საუკუნის მეორე ნახევარში ზუსტ მეცნიერებათა მდგომარეობა შეიცვალა. ამ დროისათვის მმართველი წრეებისათვის ცხადი გახდა, რომ ვაჭრობისა და მრეწველობისათვის ეს მეცნიერებანი საჭიროა; მთავრობებმა მათ ყურადღების მიქცევა დაუწყეს. ეს გამოიხატა სამეცნიერო საზოგადოებებისა და აკადემიების დაარსებაში, აგრეთვე მეცნიერული ჟურნალების გამოცემაში. ამ დრომდე მეცნიერების მუშაკთა რიცხვი მცირე იყო და მეცნიერულ გამოცემათა როლს მათ შორის მიწერ-მოწერა ასრულებდა. ახლა კი მეცნიერებამ დაიწყო ორგანიზებულად ჩამოყალიბება. 1662 წელს ინგლისში დაარსდა სამეცნიერო აკადემია (ეგრეთ წოდებული სამეფო საზოგადოება), 1666 წელს—საფრანგეთში, 1725 წელს—რუსეთში.

თითქმის ამასთან ერთდროულად დაარსდა მთავრობათა ობსერვატორიები (პარიზში — 1667 წ., გრინვიჩში — 1675 წ., პეტერბურგში—1725 წ. და სხვ.).

მეცნიერების ორგანიზაციის ამავე ეპოქას ეკუთვნის „ახალი ასტრონომიის“ დასრულება, რომლის შექმნა კოპერნიკმა და კეპლერმა დაიწყეს; 1687 წელს ისააკ ნიუტონმა (1643—1727) მოგვცა ცთომილთა მოძრაობების მათემატიკური ახსნა წიგნში: „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“.

§ 160. მოძრაობის აქსიომები. ნიუტონმა თავის გამოკვლევებს საფუძვლად დაუდოა მის მიერ ფორმულირებული მოძრაობის აქსიომები. აქ ის

„სხეულს“ უწოდებს იმას, რასაც ამჟამად ეწოდება „მატერიალური წერტილი“.

1) ინერციის კანონი. თუ სხეულზე არ მოქმედებენ ძალები, მაშინ ის ინარჩუნებს თავის მდგომარეობას. მაგალითად, თუ სხეული არ მოძრაობდა, მაშინ ძალის მოქმედების გარეშე ის ყოველთვის უნდა დარჩეს უძრავ მდგომარეობაში; თუკი ის მოყვანილი იყო მოძრაობაში, მაშინ დაუსრულებელი დროის განმავლობაში იმოდრავებს წრფივად და თანაბრად (ინერციით).

2) ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონი. თუ უძრავ ან მოძრავ სხეულზე მოქმედებს ძალა, მაშინ ის ღებულობს აჩქარებას, რომელიც მიმართულია ამ ძალისაკენ. აჩქარების სიდიდე პირდაპირპროპორციულია ძალისა და უკუპროპორციულია სხეულის მასისა.

დაეუვათ, რომ F , m და g აღნიშნავს ძალას, სხეულის მასას და მის მიერ მიღებულ აჩქარებას, მაშინ შეგვიძლია ეს კანონი დაეწეროთ შემდეგი ფორმულის სახით:

$$g = F/m$$

ან

$$F = mg. \quad (1)$$

მაშასადამე, ძალა უდრის სხეულის მასას გამრავლებულს აჩქარებაზე.

3) ქმედებისა და უკუქმედების ტოლობის კანონი. თუ ერთი სხეული მოქმედებს მეორე სხეულზე რაიმე ძალით, მაშინ მეორე სხეულიც მოქმედებს პირველზე ასეთივე ძალით, მაგრამ პირდაპირ საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ერთი მხრით ამ აქსიომებზე და მეორე მხრით კეპლერის კანონებზე დაყრდნობით ნიუტონმა მათემატიკურად გამოიყვანა იმ ძალის თვისებები, რომელიც მართავს ცის სხეულების მოძრაობას. ამ თვისებების გამოყვანა ამჟამად დიფერენციალური აღრიცხვის საშუალებით წარმოებს.

§ 161. კეპლერის კანონების დინამიკური აზრი. ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ კეპლერის თითოეული კანონი გამოხატავს განსაკუთრებულ თვისებას ძალისას, რომელიც მართავს ცთომილთა მოძრაობას.

ა) კეპლერის მეორე კანონი (ფართობის კანონი) ამტკიცებს, რომ ცთომილზე ყოველთვის მოქმედებს მზის ცენტრისაკენ მიმართული ძალა, ე. ი. მზის მიზიდულობის ძალა;

ბ) პირველი კანონი ამტკიცებს, რომ მოცემულ ცთომილზე მოქმედი მზის მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მზის ცენტრიდან ცთომილის მანძილის კვადრატისა;

გ) მესამე კანონი ამტკიცებს, რომ სხვადასხვა ცთომილზე მოქმედი მზის მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მზის ცენტრიდან ცთომილთა მანძილების კვადრატებისა.

§ 162. მიზიდულობის ძალა და სიმძიმის ძალა. მას შემდეგ, რაც ნიუტონმა კეპლერის კანონებზე დაყრდნობით იპოვა მოქმედების კანონი

ძალისა, რომელიც მართავს ცთომილების მოძრაობას, გამოსარკვევი დარჩა ამ ძალის ბუნება.

რადგან ცთომილთა მოძრაობის მსგავსი მოძრაობა დედამიწაზე არ არის, ამიტომ უძველესი დროიდანვე შეიქმნა ისეთი რწმენა, რომ „ცაზე“, ე. ი. ცთომილთშორის სივრცეში, მოქმედებენ რაღაც განსაკუთრებული ძალები, რომლებიც შესაძლოა ადამიანისათვის ყოველთვის მიუწვდომელი დარჩეს. ნიუტონის უდიდესი დამსახურება მდგომარეობს იმის დამტკიცებაში, რომ ძალა, რომელიც მართავს ცთომილთა მოძრაობას, არის იგივე სიმძიმის ძალა, რომლის მოქმედების გავლენით ყველა სხეული დედამიწაზე, მის ზედაპირზე ეცემა. ნიუტონმა ასე დასვა საკითხი: რა მანძილზე ვრცელდება სიმძიმის ძალის მოქმედება? ხომ არ ვრცელდება ის მთვარემდე? იქნებ შესაძლებელია, რომ იგივე ძალა, რომლის მოქმედებით ყველა საგანი მიისწრაფვის დედამიწის ცენტრისაკენ, აკავებდეს მთვარესაც თავის ორბიტზე?

ამ ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ვაწარმოთ შემდეგი გამოთვლები.

ა) განვსაზღვროთ, თუ რამდენადაა შესუსტებული სიმძიმის ძალა მთვარემდე მანძილზე. სხეულთა ვარდნის ცდებიდან ჩვენ ვიცით, რომ დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის აჩქარება $g = 9,81$ მ/სეკ²; დაუშვათ, რომ მისი სიდიდე იცვლება დედამიწის ცენტრიდან მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად (§ 161, ბ).

დედამიწის რადიუსი აღვნიშნოთ R -ით, მთვარემდე მანძილი r -ით და აჩქარების სიდიდე მთვარის მანძილზე g_1 -ით. აჩქარებათა ცვლილების კანონი მანძილის მიხედვით გამოისახება პროპორციით

$$\frac{g_1}{g} = \frac{R^2}{r^2}.$$

თუ დედამიწის R რადიუსს მივიღებთ ერთეულად, მაშინ მთვარემდე მანძილი r დაახლოებით იქნება 60 (§ 108). სათანადო რიცხვების ჩასმით მივიღებთ

$$\frac{g_1}{981} = \frac{1^2}{60^2}, \quad g_1 = \frac{981}{3600} = 0,273 \text{ მმ/სეკ}^2.$$

ასეთი უნდა იყოს დედამიწის სიმძიმის ძალის აჩქარება მთვარის მანძილზე.

ბ) ახლა ვიპოვოთ აჩქარების სიდიდე, რომელიც ნამდვილად დაიძვინტება მთვარის მოძრაობაში, წრიული თანაბარი ძრაობის ცენტრისკენული აჩქარების ფორმულით:

$$g_1 = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

ამ ფორმულაში უნდა ჩაისვას რიცხვები $r = 385000$ კმ და $T = 27,3$ დღე-ღამე.

გამოვსახოთ r სანტიმეტრებში, ხოლო T სეკუნდებში. სათანადო გამოთვლების შემდეგ მივიღებთ $g_1 = 0,273$ მმ/სეკ², ე. ი. იმავე რიცხვს, რაც ზემოთ იყო ნაპოვნი. ეს ამტკიცებს ნიუტონის ჰიპოთეზას, რომ ძალა, რომელიც მართავს მთვარის მოძრაობას, არის სიმძიმის ანუ მიზიდულობის ძალა, მხოლოდ ნაკლებად ინტენსიური, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე; დაშორების

მიხედვით ეს ძალა მცირდება დედამიწის ცენტრიდან მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად.

§ 163. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი. ცთომილები გარემოიქცევიან მზის გარშემო იმავე კანონებით, როგორც მთვარე დედამიწის გარშემო. აქედან ვასკენით, რომ ის ძალაც, რომელიც მართავს ცთომილთა მოძრაობას, არის მიზიდულობის ძალა; სახელდობრ: მზის მიზიდულობის ძალა, რომელიც იზიდავს ცთომილებს იმავე კანონით, რომლითაც დედამიწა იზიდავს მთვარეს. მათემატიკურად ეს ძალა გამოისახება ასე:

$$F = \mu \frac{m}{r^2}, \quad (A)$$

სადაც m ცთომილის მასაა, r კი—მისი მანძილი მზის ცენტრიდან.

მაგრამ, თუ მზე იზიდავს ცთომილს, მაშინ ცთომილმაც უნდა მიიზიდოს მზე ქმედებისა და უკუქმედების ტოლობის კანონით ისეთივე ძალით:

$$F = \mu' \frac{M}{r^2}, \quad (B)$$

სადაც M მზის მასაა. (A) და (B)-ს მარჯვენა მხარეების გატოლებით მივიღებთ:

$$\frac{\mu}{M} = \frac{\mu'}{m} = k^2,$$

სადაც k^2 მუდმივი სიდიდეა. თუ (A)-დან გამოვრიცხავთ μ -ს, მივიღებთ (2) ფორმულას ანუ ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონს, რომელიც მან განაზოგადა ყველა სხეულისათვის: ყოველი მატერიალური ნაწილაკი იზიდავს ყოველ სხვა ნაწილაკს ძალით, რომელიც პროპორციულია ორივე ნაწილაკის მასების და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა:

$$F = k^2 \frac{Mm}{r^2}. \quad (2)$$

აქ M და m აღნიშნავს ამ ორი ნაწილაკის მასებს, r —მათ შორის მანძილს. მუდმივი მამრავლი k^2 არის ურთიერთმიზიდულობის ძალა ორი ერთმანეთისაგან ერთეული მანძილით დაშორებული თითო ერთეული მასის მქონე ნაწილაკისა.

ამგვარად, მიზიდულობის ძალა მოქმედებს ყველა სხეულს შორის და არა მხოლოდ ცის მნათობებს შორის. ყველა საგანი, რაც ჩვენ გარშემოა, ურთიერთ მიიზიდება, გვიზიდავს ჩვენ და ჩვენც ჩვენი მხრით ვიზიდავთ მათ. ეს ურთიერთ მიზიდულობის ძალები მეტისმეტად უმნიშვნელოა დედამიწის შიგნით მდებარე მიზიდულობის ძალასთან შედარებით და ჩვეულებრივ პირობებში სრულიად შეუმჩნეველია. მიუხედავად ამისა, ძლიერ ზუსტი ცდების საშუალებით შესაძლო შეიქმნა ამ ძალების გამოვლენა და გაზომვა.

მიზიდულობის კანონის შედეგები. ა) თუ მიზიდველ სხეულებს არაწესიერი ფორმები აქვს, მაშინ მათი ურთიერთმოქმედება მეტად რთულია. ყველაზე მარტივად მიზიდულობა სფეროებს შორის წარმოებს. ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ ორი კონცენტრულად ერთგვაროვანი სფერო ისე იზიდავს ერთმანეთს, თითქოს მათი მასები თავმოყრილი იყოს მათ ცენტრებში. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ორი სფეროს მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მათ ცენტრებს შორის მანძილის კვადრატისა. ეს ძალიან აადვილებს სამყაროს სხეულების მოძრაობათა გამოთვლას.

მოძრაობის აქსიომებიდან (§ 160) და (2) ფორმულიდან კიდევ შემდეგი ორი თვისება გამომდინარეობს:

ბ) ორი სფერო m_1 და m_2 მასებით ერთმანეთს იზიდავს ერთნაირი F ძალით [ფორმულა (1) § 160], მაგრამ ამასთან იღებენ მათი მასების უკუპროპორციულ აჩქარებებს

$$g_1 : g_2 = m_2 : m_1. \quad (3)$$

მაგალითად, აჩქარება, რომელსაც ლებულობს დედამიწა მთვარის მიზიდულობით, ნაკლებია მთვარის აჩქარებაზე (§ 162) იმდენჯერ, რამდენჯერაც მთვარის მასა ნაკლებია დედამიწის მასაზე.

გ) ორი სფერო m_1 და m_2 მასებით, რომლებიც მდებარეობენ ერთსა და იმავე მანძილზე მესამე M მასის მქონე სხეულიდან, ამ სხეულის მიერ სხვადასხვა ძალით მიიზიდებიან, მაგრამ იღებენ ერთნაირ აჩქარებებს (სიდიდით).

მაგალითად, მძიმე ცთომილი და მისი მსუბუქი თანამგზავრი მზის მიზიდულობით იღებენ თითქმის ერთნაირ აჩქარებებს, რომელთა შორის განსხვავება მთლიანად განპირობებულია ცთომილისა და მისი თანამგზავრის მდებარეობათა განსხვავებით და არა მათ მასებს შორის განსხვავებით.

§ 164. მიზიდულობის განსაკუთრებული თვისებანი. ა) მსოფლიო მიზიდულობის კანონი წარმოადგენს ბუნების მნიშვნელოვან კანონს. აქედან გამომჟღავნებარავალი სხვადასხვა სახის შედეგები; სხვანაირად, მრავალი მეტად რთული მოვლენა (თითქმის ყველა ციური მოძრაობა) მთლიანად აიხსნება ამ მარტივი კანონით. მიზიდულობის კანონი წარმოადგენს მეცნიერული განზოგადების ერთ-ერთ სრულყოფილ მაგალითს, რომელიც ერთი მარტივი მათემატიკური ფორმულით ერთდროულად მოიცავს ფაქტების კოლოსალურ არეს.

ბ) მიზიდულობას აქვს მთელი რიგი შესანიშნავი თვისებები, რომლებიც ასხვავებენ მას ბუნების სხვა ძალებისაგან (მაგალითად, ელექტრულ და ელემენტრომაგნიტურისაგან): 1) მიზიდულობა მოქმედებს გამოუკლებლივ ბუნების ყველა სხეულს შორის; 2) მისთვის არ არსებობს არავითარი ზღუდე: ცთომილის ან მზის სხეულში იგი ისევე შეუსუსტებლად მოქმედებს, როგორც ცარიელ სივრცეში; 3) მისი მოქმედება არ არის დამოკიდებული სხეულთა ქიმიურ შედგენილობაზე, ფიზიკურ მდგომარეობაზე და თვისებებზე, არამედ დამოკიდებულია მხოლოდ მათ მასებზე.

1916 წელს ეინშტეინმა განავითარა თეორია, რომელსაც ეწოდება ფარდობითობის ზოგადი თეორია, რომლის მიხედვით მიზიდულობა არ წარმოადგენს ერთ-ერთს იმ ძალებიდან, რომლებიც მოქმედებენ სხეულთა შორის, არამედ წარმოადგენს მატერიის პირველად თვისებას, რაც საფუძვლად უდევს ყველა მოძრაობას და თავისი არსით ინერციის იგივეურია. ეს თეორია ჯერ კიდევ არ არის აღიარებული ყველა ფიზიკოსისა და ასტრონომის მიერ, თუმცა ამ თეორიის მთელი რიგი დასკვნები დადასტურდა ასტრონომიული დაკვირვებებით (§§ 185, 195, 216).

§ 165. ორი სხეულის ამოცანა. ნიუტონმა, კეპლერის კანონებიდან მიზიდულობის კანონის გამოყვანის შემდეგ, გადაწყვიტა შებრუნებული ამოცანაც. მან მიზიდულობის კანონიდან მათემატიკურად გამოიყვანა მზის მიმართ ცთომილების მოძრაობის კანონები. ამისათვის ნიუტონმა გამოიყენა მეთოდი, რომელსაც ახლა ინტეგრების მეთოდი ეწოდება.

ნიუტონმა ამ გამოთვლების შედეგად მიიღო მეორე კანონი (ფართობის კანონი) იმავე ფორმით, როგორც ეს კეპლერმა დაკვირვებებიდან გამოიყვანა. პირველი კანონი ნიუტონმა მიიღო უფრო ზოგადი სახით, ვიდრე კეპლერმა. აღმოჩნდა, რომ მიზიდულობის მოქმედებით ციურ სხეულს შეუძლია აღწეროს არა მარტო ელიფსი, არამედ აგრეთვე პარაბოლი და ჰიპერბოლი. დაკვირვებებმა ეს მაშინვე დაადასტურეს: 1680 წლის კაშკაშა კომეტა ნიუტონის და სხვა ასტრონომების გამოთვლებით მოძრაობდა პარაბოლთან ძალიან ახლო ორბიტზე. შემდგომ აღმოჩენილ იქნა კომეტების მოძრაობის შემთხვევები ჰიპერბოლებზეც, რომლებიც პარაბოლიდან მცირედ განსხვავდებოდნენ. ნიუტონმა დააზუსტა მესამე კანონიც. კეპლერი ყველა ცთომილისათვის მას შემდეგი სახით წერდა:

$$\frac{a^3}{T^2} = C.$$

ნიუტონმა კი დაამტკიცა, რომ ამ კანონის ზუსტი გამოსახულება არის:

$$\frac{a^3}{T^2 (M + m)} = C, \quad (4)$$

სადაც M არის მზის მასა, ხოლო m —მოცემული ცთომილის მასა. ნებისმიერი მიმზიდველი მასებისათვის მიღებულ იქნა C მუდმივის საცხები ერთნაირი მნიშვნელობა:

$$C = \frac{k^2}{4\pi^2}, \quad (4a)$$

სადაც k^2 არის მიზიდულობის მუდმივი.

სხვა ცთომილისათვის m_1 მასით, a_1 დიდი ნახევარღერძით და T_1 გარემოქცევის დროით მივიღებთ ასეთსავე ტოლობას. უკანასკნელის (4) ტოლობაზე გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{T^2 (M + m)}{T_1^2 (M + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}. \quad (5)$$

ეს მესამე კანონის ზუსტი გამოსახულებაა და შეესაბამება დაკვირვებებს. თუ უგულებელვყოფთ ცთომილთა მასებს მზესთან შედარებით, ე. ი. დავეუშვებთ $m = m_1 = 0$, მაშინ მივიღებთ მიახლოებით ფორმულას, რომელიც კეპლერის მიერ დაკვირვებებიდან იყო გამოყვანილი: $T^2 : T_1^2 = a^3 : a_1^3$. რადგან ცთომილთა მასები მზის მასასთან შედარებით უმნიშვნელოა, ამიტომ კეპლერის მიახლოებითი ფორმულა საკმაოდ კარგად ეთანხმება დაკვირვებებს.

მე-(5) ფორმულას დიდი მნიშვნელობა აქვს; ის გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ციურ სხეულთა მასები.

§ 166. მიზიდულობის მუდმივი. k მიზიდულობის მუდმივის რიცხვითი მნიშვნელობა გამოდის სხვადასხვა, იმისდა მიხედვით, თუ რა ერთეულებშია ის გამოსახული. (4) და (4 α) ფორმულებიდან გვაქვს:

$$k = \frac{2\pi}{T} \frac{a^{3/2}}{\sqrt{M+m}}. \quad (6)$$

ასტრონომიაში a -ს გამოსახავენ ასტრონომიულ ერთეულებში, T -ს — მზისმიერ დღე-ღამეებში, m -ს — მზის მასებში ($M=1$). ამ ერთეულებში გამოთვლილ k -ს აქვს სიდიდე

$$k = 0,017202 \left(\text{დაახლოებით } \frac{1}{58} \right). \quad (A)$$

რადგან დედამიწისათვის $a=1$, ხოლო მასა m ნაკლებია მზის M მასის $\frac{1}{300000}$ -ზე, ამიტომ მივიღებთ რა მზის M მასას ერთეულად, ვნახავთ, რომ

k თითქმის ზუსტად უდრის სიდიდეს $n=2\pi/T$, ე. ი. დედამიწის საშუალო დღელმართ მოძრაობას.

ამიტომ k -ს ხშირად გამოსახავენ რკალის სეკუნდებში. ამისათვის საჭიროა (A) გავამრავლოთ 206265-ზე, ე. ი. რადიანში შემავალ სეკუნდების რიცხვზე, მივიღებთ:

$$k'' = 3548'',19. \quad (B)$$

ეს რიცხვი სეკუნდის მეასედ ნაწილამდე ემთხვევა სეკუნდებში გამოსახულ დედამიწის საშუალო მოძრაობას. k რიცხვს, გამოსახულს (A) ან (B) სახით, გაუშის მუდმივი ეწოდება.

ფიზიკაში a -ს გამოსახავენ სანტიმეტრებში, T -ს — სეკუნდებში, m -ს — გრამებში. ამ სისტემაში ვღებულობთ

$$f = k^2 = 6,67 \cdot 10^{-8} = \frac{1}{15\,000\,000}. \quad (C)$$

ეს ნიშნავს, რომ თითოეული ერთეული გრამიანი ორი მასა; რომლებიც დაშორებულია ერთმანეთისაგან 1 სანტიმეტრით, იზიდავენ ერთიმეორეს ძალით, რომელიც შეადგენს დინის ერთ მეთხუთმეტშილიონედს, რაც მეტისმეტად მცირე სიდიდეა.

§ 167. ცოცხალი ძალის განტოლება ორი სხეულის ამოცანებში და მისი გამოყენება. მიზიდულობის კანონიდან მზის მიმართ ცთომილის ორბიტის

გამოყვანის დროს, მზის ცენტრიდან r მანძილზე სხეულის v სიჩქარისათვის მიიღება შემდეგი ფორმულა, რომელსაც ეწოდება ცოცხალი ძალის განტოლება:

$$v^2 = k^2 (M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \quad (7)$$

სადაც a არის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი. ამ მნიშვნელოვანი განტოლებიდან გამომდინარეობს მთელი რიგი შედეგები.

ა) ორბიტის სახე დამოკიდებულია სიჩქარის სიდიდეზე. მე-(7) განტოლების მარჯვენა ნაწილში მეორე მუდმივ წევრს $\frac{1}{a}$ -ს სხვადასხვა შემთხვევაში სხვადასხვა სიდიდე შეიძლება ჰქონდეს. თუ ის უდრის ნულს, მაშინ სხეულის სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით

$$v_0^2 = \frac{2\mu}{r}, \quad (8)$$

სადაც

$$\mu = k^2 (M + m).$$

ამ შემთხვევაში დიდი ნახევარღერძი $a = \infty$. მაშასადამე, ციური სხეულის ორბიტა არის პარაბოლი, ღია უსასრულო მრუდი; ასეთ ორბიტაზე მოძრაობის სხეული მზეს უკვე აღარ დაუბრუნდება. სიჩქარეს განსაზღვრულს (8) განტოლებიდან, ეწოდება პარაბოლური სიჩქარე.

თუ $v^2 < \frac{2\mu}{r}$, მაშინ (7) განტოლების მიხედვით $a > 0$, $e < 1$; ორბიტა არის ელიფსი, სხეული იმობრავებს მზის გარშემო ჩაკეტილ ორბიტაზე.

თუ $v^2 > \frac{2\mu}{r}$, მაშინ ორბიტა ჰიპერბოლია; სხეული, ისე როგორც პირველ შემთხვევაში, არასოდეს აღარ დაუბრუნდება მზეს.

ამგვარად, ორბიტის სახე არ არის დამოკიდებული სიჩქარის მიმართულებაზე, არამედ დამოკიდებულია მხოლოდ მის სიდიდეზე.

ბ) ელიფსური ორბიტის დიდი ნახევარღერძი და გარემოქცევის დრო T (პერიოდი) აგრეთვე დამოკიდებულია მხოლოდ მოცემულ r მანძილზე v სიჩქარის სიდიდეზე და არა მის მიმართულებაზე.

მართლაც, (7) განტოლებიდან a განისაზღვრება მოცემული v და r -ით. ვიცით რა a , შესაძლოა განისაზღვროს გარემოქცევის T დროც კეპლერის მე-სამე კანონის ფორმულის საშუალებით [(4) და (4 ა) ტოლობანი].

აქედან გამომდინარეობს ასეთი საინტერესო მაგალითი: თუ რომელიმე წერტილიდან ყოველი მიმართულებით გაიფანტებიან ნაწილაკები ერთნაირი სიდიდის სიჩქარით და მასთან პარაბოლურზე ნაკლებით, მაშინ მათ მიერ შემოწერილ ყველა ელიფსს ექნება ერთნაირი დიდი ღერძი და გარემოქცევის ერთი და იგივე დრო; სხვანაირად რომ ვთქვათ, T დროს ვავლის შემდეგ ნაწილაკები კვლავ თავს მოიყრიან იმავე A წერტილში (ნახ. 80).

გ) წრიული სიჩქარე. (7) განტოლებაში დაეშვათ $r=a$, მივიღებთ

$$v_1 = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{a}}}{\sqrt{\frac{\mu}{a}}} \quad (9)$$

ამგვარად, სიჩქარე ცთომილისა, რომელიც წრეზე მოძრაობს, ცენტრალურ სხეულამდე მანძილიდან კვადრატული ფესვის უკუპროპორციულია.

(8) და (9) განტოლებათა შედარებით მივიღებთ

$$v_0 = v_1 \sqrt{2} \quad (10)$$

ასეთია ერთსა და იმავე წერტილში პარაბოლურ და წრიულ სიჩქარეთა შორის დამოკიდებულება. მაგალითად, დედამიწისათვის, თუ ჩავთვლით მის ორბიტას წრედ, მივიღებთ $v_1 = 29,8$ კმ/სექ, ხოლო პარაბოლური სიჩქარისათვის იმავე მანძილზე მზიდან $v_0 = 42,0$ კმ/სექ. ამ რიცხვების დამახსოვრება სასარგებლოა.

დ) სიჩქარის გამოთვლა მოცემული მანძილისათვის. ზოგად შემთხვევაში (7) ფორმულით გამოთვლის დროს საჭიროა მანძილი გამოვსახოთ სანტიმეტრებში, მასები კი—გრამებში; მაშინ k^2 -თვის უნდა ავიღოთ სიდიდე

$$k^2 = 6,67 \cdot 10^{-8} [(C) \text{ ტოლობა, § 166}]$$

და სიჩქარეს მივიღებთ სმ/სექ-ში.

სავარჯიშო. გამოვთვალოთ პარაბოლური სიჩქარე დედამიწის ზედაპირზე ($M + m = 6 \cdot 10^{27}$ გ, $r = 6,4 \cdot 10^8$ სმ).

პასუხი: 11,3 კმ/სექ. სხეული გასროლილი ასეთი სიჩქარით სამუდამოდ გაფრინდება დედამიწის ზედაპირიდან (თუ უგულვებელყვოფთ პაერის წინააღმდეგობას).

უმეტეს შემთხვევაში უფრო მოსახერხებელია მასის ერთეულად მზის მასის აღება, მანძილის ერთეულად—ასტრონომიული ერთეულისა, ხოლო სიჩქარის კმ/სექ-ში გამოსახვა; მასა m შეგვიძლია უგულვებელყვათ. მაშინ დედამიწის სიჩქარისათვის, იმ დაშვებით, რომ ის მოძრაობს წრეზე, ფორმულა (9) მოგვცემს, როდესაც $a=1$, $M=1$, $m=0$,

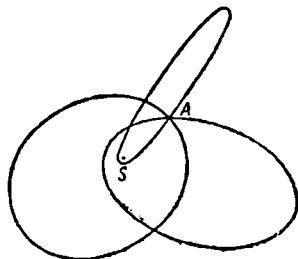
$$v_1 = k;$$

ამგვარად, მუდმივი k რიცხობრივად შეიძლება მივიღოთ დედამიწის წრიული სიჩქარის ტოლად: $k = 29,8$ კმ/სექ.

სიჩქარის გამოსაანგარიშებლად მივიღებთ ფორმულას

$$v = 29,8 \sqrt{(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}. \quad (11)$$

აქ m მოცემულია მზის მასებში, r და a —ასტრონომიულ ერთეულებში, v მიიღება კმ/სექ-ში.



ნახ. 80.

§ 166. **შეშფოთებანი.** კეპლერმა ცთომილთა მოძრაობების კანონები გამოიყვანა დაკვირვებებიდან, რომელთაც აწარმოებდნენ შეუიარაღებელი თვალით. როდესაც ტექნიკის განვითარებით ასტრონომიული იარაღების სიზუსტე გაიზარდა, გამოირკვა რომ კეპლერის კანონები სწორია მხოლოდ დაახლოებით. მაგრამ ნიუტონმა გვიჩვენა, რომ კეპლერის კანონებიდან გადახრები ისეთივე ბუნებრივი შედეგია მიზიდულობის ძალის მოქმედებისა, როგორც თვით ეს კანონები.

ცთომილზე რომ მხოლოდ მზის მიზიდულობა მოქმედებდეს, მაშინ ის იმოდრავებდა ზუსტად კეპლერის კანონების მიხედვით (ეგრეთ წოდებული ორი სხეულის ამოცანა). სინამდვილეში მას იზიდავს არა მარტო მზე, არამედ სხვა ცთომილებიც. მათი გავლენით ცთომილს მოძრაობა ირღვევა და ადგილი აქვს ზუსტი ელიფსური მოძრაობიდან გადახრებს. მათ უწოდებენ შეშფოთებებს ანუ უთანასწორობებს.

ცთომილის მოძრაობის განსაზღვრა, როდესაც მასზე მზის გარდა კიდევ ერთი „შემაშფოთებელი“ ცთომილი მოქმედებს, ეგრეთ წოდებულ სამი სხეულის ამოცანას შეადგენს. ეს ამოცანა ამჟამადაც არ არის გადაწყვეტილი პრაქტიკული გამოთვლებისათვის გამოსადეგი ფორმით. თუკი ცთომილის მოძრაობაზე მოქმედებს არა ერთი შემაშფოთებელი სხეული, არამედ ორი და მეტი, მაშინ ამოცანის სიძნელეები კიდევ უფრო იზრდება.

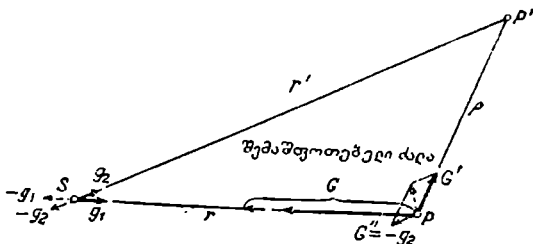
საბედნიეროდ, ცთომილთა სისტემას აქვს ისეთი თავისებურებანი, რაც აადვილებს ამოცანის მიახლოებით გადაწყვეტას: 1) ცთომილების ორბიტები მცირედ განსხვავდება წრეებისაგან; 2) ცთომილების მოძრაობა ხდება თითქმის ერთ სიბრტყეში; 3) ცთომილებს მასები უმნიშვნელოა მზის მასასთან შედარებით; 4) ცთომილთა შორის მანძილები ძალიან დიდია მათ სიდიდებთან შედარებით, ყველა ამ მიზეზის გამო ცთომილების მოქმედება ერთმანეთზე მზის მიზიდულობის ძალის უმნიშვნელო ნაწილს შეადგენს. ამიტომ ჩვეულებრივად იღებენ, რომ ცთომილი მოძრაობს ელიფსზე და მის მოძრაობას განსაზღვრავენ კეპლერის კანონების მიხედვით, ოღონდ ელიფსის ელემენტები (§ 156) არაა მუდმივი სიდიდეები, არამედ ყოველთვის იცვლება. ელემენტების ამ ცვლილებებს უწოდებენ ელემენტების შეშფოთებებს.

მიუხედავად ცთომილთა სისტემის ასეთი თავისებურებისა, შეშფოთებათა გამოთვლა მაინც მეტად რთული საქმეა. ნიუტონმა მოგვცა გეომეტრიული, თვისობრივი მეთოდები ყველაზე უფრო მეტად მნიშვნელოვან შეშფოთებათა განსაზღვრავად. მაგრამ შეშფოთებათა ზუსტი რაოდენობრივი აღრიცხვა შესაძლო შეიქმნა ანალიზური მექანიკის და ინტეგრალური აღრიცხვის განვითარების შედეგად. XVIII საუკუნის პირველ ნახევარში პეტერ-ბურგელმა აკადემიკოსმა ეილერმა ელემენტების შეშფოთებათა გამოსათვლელად შექმნა მათემატიკური მეთოდი „ნებისმიერი მუდმივების ვარიაციისა“. ამგვარად წარმოიშვა ახალი მეცნიერება—ცის მექანიკა. ფრანგმა მათემატიკოსმა ლაპლასმა ჩაატარა (1825 წლისთვის) ცთომილთა სისტემის ყველა მაშინ ცნობილი უთანასწორობის გამოთვლა. გამოირკვა, რომ თეორიულად განსაზღვრული ყველა შეშფოთება ზუსტად ემთხვევა მზის სისტემის

სხეულთა მოძრაობაში დაკვირვებიდან მიღებულ გადახრებს. ეს შეიქნა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის სისწორის საუკეთესო დამადასტურებელი.

§ 169. შემაშფოთებელი ძალა. განვიხილოთ, თუ როგორ მოქმედებენ m მასის მქონე P ცთომილზე S მზისა და P' ცთომილის მიზიდულობა. დავეშვათ, რომ მზისა და შემაშფოთებელი ცთომილის მასებია M და m' . მათი მანძილები მოცემული ცთომილიდან სათანადოდ r და r' -ით აღვნიშნოთ, მანძილი SP' უდრის r' -ს (ნახ. 81). ეს სამი სხეული მოქმედებს ერთმანეთზე და ურთიერთს ანიჭებს აჩქარებას ნიუტონის კანონის მიხედვით.

კერძოდ, მზე ღებულობს აჩქარებებს:



ნახ. 81.

$$g_1 = k^2 \frac{m}{r^2} \quad SP \text{ მიმართულებით,}$$

$$g_2 = k^2 \frac{m'}{r'^2} \quad SP' \text{ მიმართულებით.}$$

მზე ჩავთვალოთ უძრავად და გამოვიკვლიოთ P ცთომილის ფარდობითი მოძრაობა. ამისათვის სისტემის ყველა წერტილს მივანიჭოთ g_1 და g_2 სიდიდისა და საწინააღმდეგო მიმართულების აჩქარებანი, მაშინ P ცთომილზე იმოქმედებენ შემდეგი აჩქარებანი (ან ძალები m -ზე გამრავლების შემდეგ):

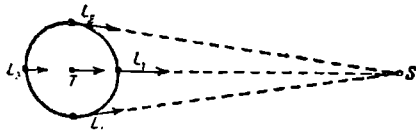
1. $G = k^2 \frac{M + m}{r^2} \quad PS \text{ მიმართულებით,}$
2. $G' = k^2 \frac{m'}{r'^2} \quad SP' \text{ მიმართულებით,}$
3. $G'' = k^2 \frac{m'}{r'^2} \quad P'S \text{-ის პარალელური მიმართულებით.}$

პირველი წევრი წარმოადგენს ფარდობითი მოძრაობის აჩქარებას, რომელიც გამოწვეულია მზის მიზიდულობით. ეს გვაძლევს მოძრაობას მზის გარშემო კეპლერის კანონებით, ანუ ორი სხეულის ამოცანას. მეორე და მესამე წევრი შეადგენს შემაშფოთებელ ძალას. ამგვარად, იგი შედგება ორი ძალისაგან: შემაშფოთებელი P' ცთომილის P ცთომილზე მოქმედებისაგან და P' ცთომილის მზეზე მოქმედებისაგან. რადგან უკანასკნელი ძალა თავისი ქვემარტივი მიმართულების საწინააღმდეგო მიმართულებით გადაიზომება, ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ შემაშფოთებელი ძალა წარმოადგენს შემაშფოთებელი სხეულის ცთომილზე და მზეზე მოქმედებათა გეომეტრიულ სხეობას.

აქედან გამომდინარეობს, რომ შემაშფოთებელი ძალა მიმართულია ზუსტად შემაშფოთებელ P' სხეულისაკენ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ცთომილები მზესთან ერთად ერთ წრფეზე მდებარეობს და მასთან ორივენი მის ერთ მხარეზე (ნიმდევრობით SPP' ან $SP'P$). თუკი ცთომილები იმყოფებიან მზიდან სხვადასხვა მხარეზე (PSP' სწორ ხაზზე), მაშინ შემაშფოთებელი ძალა მიმართულია შემაშფოთებელი სხეულიდან და თითქოს წარმოადგენს განზიდველ ძალას.

შემაშფოთებელი ძალის სიდიდე და მიმართულება ყოველთვის იცვლება. ამ ძალისა და მოძრაობაზე მისი გავლენის (ე. ი. შეშფოთების) განსაზღვრა ძალიან ძნელია; შეშფოთებათა ზუსტად გამოსათვლელად უნდა ვიცოდეთ ცთომილების ზუსტი მდებარეობანი; ესენი კი თავის მხრივ, შესაძლოა განსაზღვრულ იქნან მხოლოდ მას შემდეგ, რაც შეშფოთებები უკვე ცნობილია. მაგრამ მზის სისტემის სხეულთა უმრავლესობისათვის შემაშფოთებელ ძალებს უმნიშვნელო სიდიდე აქვს მზის მიზიდულობის ძალასთან შედარებით. ამით ადვილდება შეშფოთებათა გამოთვლა. დიდ შეშფოთებებს აქვს ადგილი მთვარის მოძრაობაში.

§ 170. მთვარის მოძრაობის შემაშფოთებელი ძალა. მთვარისათვის დედამიწა წარმოადგენს ცენტრალურ სხეულს, ხოლო შემაშფოთებელს—მზე. მზის M მასა 330000-ჯერ მეტია დედამიწის m მასაზე, ხოლო R მანძილი დედამიწიდან მზემდე 390-ჯერ მეტია r მანძილზე დედამიწიდან მთვარემდე. ამ მონაცემებიდან გამოდის, რომ მზის მიერ მთვარის მიზიდულობის ძალა დაახლოებით ორჯერ ზეტია დედამიწის მიერ მთვარის მიზიდულობის. ძალაზე (იხ. ქვემოთ, ამოცანა 17). მაგრამ დედამიწის მიმართ მთვარის მოძრაობაზე გავლენას ახდენს არა მზის მიზიდულობის ძალა, არამედ მზის მიერ



ნახ. 82.

მთვარისა და დედამიწის მიზიდულობის ძალთა სხვაობა, ე. ი. შემაშფოთებელი ძალა. უდიდესი მნიშვნელობა ამ ძალას აააღმთვარეობის დროს აქვს, როდესაც მთვარე იმყოფება მხესა და დედამიწას შორის (მდებარეობა L_1 , ნახ. 82). ამ მდებარეობაში g_1 შემაშფოთებელი აჩქარება, რომელიც უდრის მზის მთვარეზე და დედამიწაზე მოქმედებათა სხვაობას, გამოისახება ფორმულით

$$g_1 = \frac{k^2 M}{(R-r)^2} - \frac{k^2 M}{R^2} = k^2 M \frac{2Rr-r^2}{(R-r)R^2}.$$

რადგან r შედარებით R -თან მცირეა, ამიტომ $R-r$ მცირედ განსხვავდება R -საგან და ფრჩხილებში მოთავსებული გამოსახულება მნიშვნელში შეიძლება შევცვალოთ R^2 -ით. ზუსტად ასევე შეიძლება მრიცხველში უკუვადლოთ r^2 ; შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ:

$$g_1 = k^2 \frac{2rM}{R^3}. \quad (12)$$

• დედამიწის მიზიდულობის ძალის აჩქარება

$$G = k^2 \frac{m}{r^2},$$

ხოლო ამ ორი აჩქარების (ან ძალის) შეფარდებით მივიღებთ:

$$\frac{g_1}{G} = \frac{2 r^2 M}{R^3 m}.$$

ჩავსვათ რა რიცხვებს $r=1$, $m=1$, $M=330000$, $R=390$, მივიღებთ:

$$\frac{g_1}{G} = \frac{1}{90}.$$

ამგვარად, მთვარის მოძრაობის შემაშფოთებელ ძალას შეუძლია მიაღწიოს ცენტრალური სხეულის მიზიდულობის ძალის $1/90$ -ს. მიოლოდ XX საუკუნეში აღმოჩენილი იუპიტერის შორეული თანამგზავრები განიცდიან კიდევ უფრო დიდი შემაშფოთებელი ძალის მოქმედებას,

აღნიშნოთ (12) ფორმულის თავისებურება. შემაშფოთებელი ძალა უკუპროპორციულია არა შემაშფოთებელი სხეულის მანძილის კვადრატისა, არამედ კუბისა.

ახალმთვარეობის მომენტში L_1 (ნახ. 82) მზის მიზიდულობა აშორებს მთვარეს დედამიწას. სწორედ ზუსტად ასევე მოქმედებს იგი საესემთვარეობის დროს L_2 (აქ მზე აშორებს დედამიწას მთვარეს); მართლაც

$$g_2 = \frac{k^2 M}{R^2} - \frac{k^2 M}{(R+r)^2} = k^2 \frac{2 r M}{R^3} \text{ (დაახლოებით).}$$

პირველ და უკანასკნელ მეოთხედებში L_2 და L_1 -ში შემაშფოთებელი ძალა რამდენადმე აახლოებს მთვარესა და დედამიწას, რადგან ძალები, რომლებითაც მზე იზიდავს ამ სხეულებს, თანასწორნი არიან მხოლოდ სიდიდით, მაგრამ მათი მიმართულებები არაა პარალელური, არამედ ერთმანეთთან მახვილკუთხეს შეადგენს (ნახ. 82).

§ 171. მთვარის მოძრაობის შემოფოთება. მთვარის მოძრაობა წარმოადგენს ერთ-ერთ უძნელეს საკითხს გამოსაკვლევად ორი მიზეზის გამო: 1) მთვარის მოძრაობის შემაშფოთებელი ძალა ძალიან დიდია. 2) მთვარე ძალიან ახლოა დედამიწასთან და ამიტომ მის მოძრაობაში შესამჩნევია ისეთი გადახრები, რომლებიც შეუმჩნეველია უფრო მეტად დაშორებულ მნათობთა დაკვირვების დროს.

მზის მიზიდულობის გამო მთვარის ორბიტის ყველა ელემენტი განუწყვეტლივ იცვლება. ელემენტების ეს ცვლილებანი, რომელთაც სხვანაირად უწოდებენ შემოფოთებებს ანუ უთანასწორობებს, იყოფიან საუკუნეებრივად და პერიოდულად. საუკუნეებრივ შემოფოთებებად იწოდება შემოფოთებები, რომლებიც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იზრდებიან ერთი და იმავე მიმართულებით და ამიტომ მათ შეუძლიათ მიაღწიონ ძალიან დიდ სიდიდეს.

საუკუნეებრივი შეშფოთება აქვს: 1) კვანძის გრძელს და 2) მთვარის ორბიტის პერიგეუმის გრძელს (§§ 127, 130).

პერიოდული შეშფოთებები აქვს მთვარის ორბიტის ყველა ელემენტს. ასე იწოდება შეშფოთებები, რომლებიც მოქმედებენ ხან ერთი და ხან საწინააღმდეგო მიმართულებით, ასე რომ დროის შედარებით მოკლე შუალედის გავლის შემდეგ, რომელსაც უთანასწორობის პერიოდი ეწოდება, მოცემული ელემენტი ისევ თავის საშუალო მნიშვნელობას ღებულობს. მაგალითად, მთვარის ორბიტის დახრა, რომელიც საშუალოდ უდრის $5^{\circ} 9'$ -ს, განიცდის რხევას $4^{\circ} 58'$ -დან $5^{\circ} 20'$ -მდე და ამ რხევის პერიოდი ნახევარ წელზე რამდენადმე ნაკლებია.

მთვარის ორბიტის თითოეულ ელემენტს აქვს არა ერთი, არამედ რამდენიმე პერიოდული უთანასწორობა (ზოგჯერ ძალიან ბევრიც) სხვადასხვა პერიოდით და ამპლიტუდით. თანამედროვე ცის მექანიკა მთვარის გრძელის შეშფოთებებს წარმოადგენს რამდენიმე ასეული ასეთი უთანასწორობის ჯამის სახით. სამი მათგანი აღმოჩენილი იყო უშუალო დაკვირვებებით ჯერ კიდევ ტელესკოპის გამოგონებამდე; მათ აქვთ ამპლიტუდა $11'$ -დან $1^{\circ} 17'$ -მდე. ამათ შემდეგ აღმოჩენილი უთანასწორობანი გაცილებით მცირეა.

ცთომილების მიზიდულობა აგრეთვე გავლენას ახდენს მთვარის მოძრაობაზე, მაგრამ მათ მიერ გამოწვეული ცთომილთმიერი შეშფოთებანი შედარებით უმნიშვნელოა. ამათგან ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანზე—მთვარის საუკუნეებრივ აჩქარებაზე საუბარი გვექნება შემდეგ (§ 185).

§ 172. ცთომილთა შეშფოთებები. ცთომილთა შეშფოთებებიც იყოფა პერიოდულად და საუკუნეებრივად.

პერიოდული შეშფოთებები დამოკიდებულია ცთომილების ურთიერთ მდებარეობისაგან მათ ორბიტებზე. მაგრამ, რადგან ცთომილების ერთნაირი შეფარდებითი მდებარეობანი (მაგალითად, შეერთებანი) მეორედებიან განსაზღვრული დროის შუალედების შემდეგ, ამიტომ ამ შუალედების (პერიოდის) გავლის შემდეგ შეშფოთებების სიდიდეები ღებულობენ საწყის მნიშვნელობებს. მათემატიკურად ეს შეშფოთებანი გამოისახებიან წევრებით, მაგალითად, ასეთი სახის: $A \sin(Bt + C)$, სადაც t დრო შედის პერიოდულ ფუნქციის ნიშნის ქვეშ.

პერიოდული შეშფოთებები შედარებით მცირე სიდიდისაა. მაგალითად, დედამიწის (მზის) შეშფოთებები არ აღემატება $1'$ -ს. ყველაზე დიდი პერიოდული შეშფოთება ჩვენ სისტემაში ეს არის იუპიტერისა და სატურნის ე. წ. დიდი უთანასწორობა. ამ უზარმაზარ ცთომილებს შორის ურთიერთმიზიდულობის შედეგია ის, რომ სატურნს შეუძლია თანდათან წავიდეს გრძელზე წინ $50'$ -ით, ხოლო რამდენიმე ასეული წლის შემდეგ ამდენითვე ჩამორჩეს, მაშინ როდესაც უფრო მასიური იუპიტერი სატურნის მიზიდულობით გადაიხრება ამა თუ იმ მიმართულებით მხოლოდ $20'$ -ით. ამ შეშფოთების პერიოდი 900 წელზე მეტია. ამ მეტად შესამჩნევი უთანასწორობის ახსნა წარმოადგენს ლაპლასის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან აღმოჩენას.

საუკუნეებრივი შეშფოთებები დამოკიდებულია ცთომილთა ორბიტების ურთიერთმდებარეობაზე და არა ორბიტებზე ცთომილთა მდებარეობებისაგან.

მათემატიკურად ისინი გამოისახებიან Ml ან Nl^2 სახის წევრებით. მაშასადამე, l დროის დიდი მნიშვნელობებისათვის შეუძლიათ ზრდა უსაზღვროდ.

§ 17ჰ. მზის სისტემის მდგრადობა. ლაპლასისა და ლაგრანჟის გამოთვლებით გამოირკვა შემდეგი მნიშვნელოვანი შედეგი: მიუხედავად იმისა, რომ ცთომილთა ორბიტები შეზღოვებულა მოქმედებით ნელ-ნელა იცვლიან თავიანთ ფორმასა და მდებარეობას, ეს „უთანასწორობანი“ მეტწილად არიან არა საუკუნეებრივი, არამედ პერიოდული, მხოლოდ მეტად ხანგრძლივი პერიოდებით; ამიტომ მათ არ შეუძლიათ მიაღწიონ მნიშვნელოვან სიდიდეს. თუ, მაგალითად, ორბიტის ელიფსი დროთა ვითარებაში სულ უფრო და უფრო გაიწელება, მაშინ რამდენიმე ათეული ათასი წლის შემდეგ ექსცენტრისიტეტის ეს ზრდა შეიცვლება შემცირებით და ორბიტა მიიღებს წინანდელ ფორმას. მაგალითად, დედაიწის ორბიტის ექსცენტრისიტეტი არასოდეს არ იქნება 0,05-ზე მეტი, ამიტომ მზიდან უდიდეს და უმცირეს მანძილზე განსხვავება ტემპერატურაში ყოველთვის დარჩება უმნიშვნელო (ამემაღლეს სრულიად შეუმჩნეველია). ასევე, დედაიწის ორბიტის სიბრტყის (ეკლიპტიკის) დახრა, რომელიც ამემაღლეს უღრის $23^{\circ}27'$ -ს, 30000 წლის შემდეგ 2° -ით შემცირდება, შემდეგ ისევ დაუბრუნდება ახლანდელ მნიშვნელობას.

ცთომილთა ორბიტების ყველა ელემენტიდან მხოლოდ კენადის გრძელ (ℓ) და პერიპელიუმის გრძელ (π) აქვს საუკუნეებრივი შეზღოვებები (როგორც მთვარის შემთხვევაში). ყველა ცთომილის კენადები „უქან იხვევან“, ე. ი. მოძრაობენ ეკლიპტიკაზე ყოველთვის აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ცთომილთა უმეტესობის პერიპელიუმებს კი „პირდაპირი“ მოძრაობა აქვს. ეს მოძრაობები ძალიან ნელა წარმოებს: ერთი სრული გარემოქცევა ხდება რამდენიმე ათეული ათასი ან რამდენიმე ასეული ათასი წლის განმავლობაშიც კი.

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ლაპლასის შემდეგ თეორემას: ცთომილთა ორბიტების დიდ ნახევარღერძებს არა აქვს არც საუკუნეებრივი და არც გრძელ პერიოდის შეზღოვებები.¹ მაშასადამე, ცთომილთა გარემოქცევის დროები, რომელნიც დაკავშირებულია ნახევარღერძებთან კეპლერის III კანონით, რჩებიან უცვლელი და ცთომილთა ორბიტების შემცირება (რომელიც შესაძლოა დამთავრებულიყო ცთომილის მზეზე დაკეცვით), ისევე როგორც მათი გადიდება (რაც დამთავრდება ცთომილის გასვლით ვარსკვლავთშორის სიერკეში), აგრეთვე ორბიტთა დაახლოება (ცთომილთ დაჯახების საშიშროება)—შეუძლებელია.

§ 17ჟ. ნეპტუნის აღმოჩენა. ცის მექანიკის ყველაზე უფრო ბრწყინვალე ზეიმი იყო ცთომილი ნეპტუნის აღმოჩენა გამოთვლების მეშვეობით.

1781 წელს მუსიკოსმა პერშელმა, რომელიც შემდეგ ცნობილი ასტრონომი გახდა, სრულიად შემთხვევით აღმოაჩინა ახალი დიდი ცთომილი. მალე დამტკიცებულ იქნა, რომ ის მზიდან ორჯერ მეტად შორს იმყოფება, ვიდრე სატურნი, რომელიც ითვლებოდა ცთომილთა სისტემის მიჯნად. ახალ ცთომილს უწოდეს ურანი, აღმოჩნდა, რომ ურანის მდებარეობა დაკვირვებებიდან მრავალჯერ იყო განსაზღვრული თითქმის მთელი ასი წლის განმავლობაში

¹ ეს თეორემა სამართლიანია მხოლოდ პირველი მიხედვით. მზის სისტემის მდგრადობა დროის ძალიან დიდი შუალედებისათვის, მაგალითად რამდენიმე მილიარდი წლისათვის ჯერჯერობით გადაწყვეტილი არ არის. (კარტ. გამოც. რედ.)

მის აღმოჩენამდე, მაგრამ მას ყოველთვის ვარსკვლავად თვლიდნენ. ურანის ორბიტის ზუსტად განსაზღვრას ხელი მოჰკიდა პეტერბურგელმა აკადემიკოსმა პ. ი. ლეკსელმა. თავისი გამოთვლების დროს მან აღმოაჩინა გადახედვები ურანის მოძრაობაში და მათ ასახსნელად ივარაუდა, რომ ურანის შემდეგ უნდა იყოს ბევრად უფრო შორეული ცთომილი. ამნაირად, ლეკსელმა გვიჩვენა საცნებო სწორი გზა შორეული ცთომილების აღმოსაჩენად. მაგრამ 1784 წელს მისი ნადრევი სიკვდილის გამო ეს მუშაობა შეწყვეტილ იქნა.

XIX საუკუნის დასაწყისში საბოლოოდ დადასტურდა, რომ თეორიულად ურანის მოძრაობის გადახრები არ შეიძლება ახსნილიყო ყველა მაშინ ცნობილი ცთომილის მიზიდულობით. კვლავ გამოითქვა აზრი, რომ გადახრები გამოწვეულია უცნობი ცთომილის მოქმედებით, რომელიც უფრო შორსაა ურანზე. ასტრონომების წინაშე დაისვა ამოცანა: ურანის მოძრაობაში შემჩნეული გადახრებით განსაზღვროს შემაფოთებელი ცთომილის მდებარეობა და თან მითითებულ იქნეს, ცის რომელ ადგილას უნდა ვეძებოთ იგი.

ეს ძნელი მათემატიკური ამოცანა გადაწყვეტილ იქნა თითქმის ერთდროულად ლევერიესა და ადამსის მიერ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. რადგან ცთომილის დანახვა შეუძლებელი იყო უბრალო თვალთ, ლევერიემ თხოვნით მიმართა ბერლინის ობსერვატორიას, სადაც ტელესკოპური ვარსკვლავების დაწვრილებითი რუკები ჰქონდათ, მონახათ ახალი მნათობი. ასტრონომმა გალემ წერილის მიღების პირველსავე საღამოს, 1846 წ. 23 სექტემბერს იპოვა ცთომილი სულ 1⁰-ის მანძილზე ცის იმ წერტილიდან, რომელზედაც მიუთითა ლევერიემ თავისი გამოთვლებით. ამ ცთომილს უწოდეს ნებტუნი. დაიწყეს მისი გულმოდგინედ დამზერა და უკვე 1855 წ. რუსმა მეცნიერმა მ. ა. კოვალსკიმ მოგვცა ახალი ცთომილის მოძრაობის მათემატიკური თეორია სხვა ცთომილებით გამოწვეულ შემფოთებათა გათვალისწინებით და შეადგინა ცხრილები მის მდებარეობათა ზუსტად გამოსათვლელად.

ნებტუნის ასეთი არაჩვეულებრივი ხერხით აღმოჩენამ უდიდესი შთაბეჭდილება მოახდინა და ფართო მასების წინაშე მკაფიოდ დემონსტრირებულ იქნა ზუსტი მეცნიერების მეთოდების სიძლიერე.

§ 175. ცის სხეულთა მასების განსაზღვრა. მიზიდულობის კანონის ერთ-ერთ შესანიშნავ გამოყენებას წარმოადგენს მნათობების „აწონა“, მათი მასების განსაზღვრა. პირველად ამგვარი განსაზღვრები ჩატარებული იყო თვით ნიუტონის მიერ.

ა) დედამიწის მასის განსაზღვრა წარმოებს სხვადასხვა ცდის მეშვეობით. ამათგან ყველაზე ცნობილია კავენდიშის ცდა (1798 წ.). კავენდიშმა გაზომა ძალა, რომლითაც მასიური ტყვიის სფერო იზიდავს მის ახლო ჩამოკიდებულ მცირე ბურთულას. შეადარა რა ამ ძალის სიდიდე დედამიწის მიერ მცირე ბურთულის მიზიდულობის ძალას (ე. ი. მის წონას), მან გამოიანგარიშა, რამდენჯერ მეტია დედამიწის მასა ტყვიის სფეროს მასაზე. დედამიწის მასითა და მოცულობით განსაზღვრა მისი საშუალო სიმკვრივე. მისთვის მიიღო დაახლოებით 5,5; ეს ნიშნავს, რომ დედამიწის სფერო 5,5-ჯერ მძიმეა ასეთივე ზომის წყლის სფეროზე.

რადგანაც ჩვენთვის მისალწვე დედამიწის ქერქის ფენების სიმკვრივე საშუალოდ შეადგენს 2,7-ს, ე. ი, მთელი დედამიწის საშუალო სიმკვრივის ნახევ-

ვარზე ნაკლებს, აქედან დაასკვნეს, რომ დედამიწის ცენტრალურ ბ.რ.ტვს აქვს დიდი სიმკვრივე, დაახლოებით 8—9 გ/სმ³.

ბ) მზის მასის განსაზღვრა. მზის მასის განსაზღვრა შესაძლებელი ხდება იმის საშუალებით, რომ დედამიწას ჰყავს თანამგზავრი (მთვარე). ამ მიზნით იყენებენ კეპლერის მესამე კანონს მისი ზუსტი სახით [§ 165, (5)]:

$$\frac{A^3}{T^2(M+m)} = \frac{a^3}{t^2(m+m')} \quad (4)$$

აქ A და a არის დედამიწისა და მთვარის ორბიტების დიდი ნახევარღერძები; M , m და m' —მზის, დედამიწისა და მთვარის მასები, T —ვარსკვლავთმძიერი წელიწადი, t —ვარსკვლავთმძიერი თვე. (4) განტოლება შეიძლება გადაწერილ იქნას ასე:

$$\frac{M+m}{m+m'} = \left(\frac{A^3}{T^2}\right) : \left(\frac{a^3}{t^2}\right) = \frac{390^3}{13,4^2} = 330000 \text{ (დაახლოებით)}. \quad (1)$$

ამ განტოლებიდან განისაზღვრება ფაქტიურად მასათა ჯამების ფარდობა (მზე + დედამიწა და დედამიწა + მთვარე), მაგრამ თითოეული ჯამის მეორე წევრები მათ პირველ წევრებთან შედარებით მეტად მცირეა.

გ) ცთომილთა მასების განსაზღვრა. იგივე განტოლება საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ნებისმიერი ცთომილის, რომელსაც თანამგზავრები ჰყავს, მასის ფარდობა მზის მასასთან; ამ შემთხვევაში m , t , a ეკუთვნის შესაბამის ცთომილს.

შენიშნათ, რომ სიდიდე, რომელიც მოთავსებულია (B) განტოლების პირველ ფრჩხილებში, არის მთელ ცთომილთა სისტემისათვის მუდმივი, რომელიც მიიღება კეპლერის მესამე კანონიდან [ფორმულა (4) § 154], ხოლო სიდიდე მეორე ფრჩხილებში—ასეთივე მუდმივი ცთომილის თანამგზავრთა სისტემისათვის. ამგვარად, ამ მუდმივებს აქვთ ღრმა დინამიკური აზრი: ისინი განსაზღვრავენ ამ ორი სხეულის მასების ფარდობას.

თუ ცთომილს არა ჰყავს თანამგზავრები, მაშინ მისი მასის განსაზღვრა ძალიან ძნელია. ასეთ შემთხვევაში მასას განსაზღვრავენ შემოფოთებებით, რომლებსაც ცთომილი იწვევს სხვა ცთომილებას მოძრაობებში.

დ) მთვარის მასის ზუსტად განსაზღვრა შედარებით ძნელ ამოცანას წარმოადგენს. ეს პირველად გადაწყვიტა ეილერმა მთვარის დედამიწაზე მოქმედების მიხედვით. იგი ემყარებოდა იმას, რომ დედამიწამ მთვარის მიზიდულობის გავლენით, მთვარის მსგავსად, უნდა შემოწეროს თვის განმავლობაში ელიფსი დედამიწა-მთვარე სისტემის საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო.

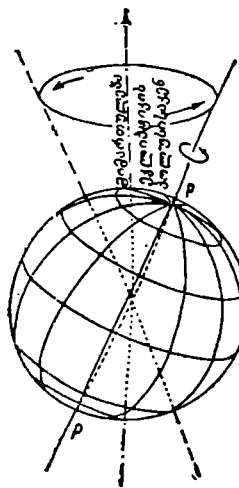
მზის მდებარეობის ზუსტმა განსაზღვრამ მართლაც გამოააშკარავა მის გრძელში ცვლილება თვიური პერიოდით. ეს „მთვარის განტოლება“ ვიჩვენებს, რომ დედამიწის ცენტრი თვის განმავლობაში აღწერს მცირე ელიფსს, რომლის დიდი ნახევარღერძი ნაკლებია დედამიწის რადიუსზე. აქედან შეგვიძლია გამოვიყვანოთ, რომ მთვარის მასა შეადგენს დედამიწის მასის $1/81$ -ს.

მთვარის მასის განსაზღვრის სხვა ხერხზე ლაპარაკი გვექნება შემდეგში (§ 183).

§ 176. დედამიწის ლერძის მოძრაობა. ცის დღელამური ბრუნვა და წელიწადის დროთა ცვლილებები მოწმობენ იმას, რომ დედამიწის სფეროს ლერძი მუდმივად ინარჩუნებს ერთსა და იმავე მიმართულებას, ანუ, სხვანაირად რომ ვთქვათ, გადაინაცვლებს „თავის თავის პარალელურად“. მაგრამ ეს სწორია მხოლოდ დროის შედარებით არახანგრძლივი დედამიწის სფეროს რამდენიმე ასეული წლის გასვლის შემდეგ აშკარავდება დედამიწის ლერძის მიმართულების ისეთი მნიშვნელოვანი ცვლილება, რომ ბერძენმა ასტრონომმა ჰიპარქემ ჯერ კიდევ მეორე საუკუნეში ჩვენ ერამდე აღმოაჩინა ეს.

მოძრაობა, რომელიც აქვს დედამიწის ლერძს, ადვილი წარმოსადგენია ჩვეულებრივ ბზრიალაზე. სახელდობრ, თუ ოდნავ ვუბიძგებთ მზრუნავ ბზრიალას, რომლის ლერძი ვერტიკალური იყო, მაშინ ლერძის ბოლო (პოლუსი) დაიწყებს ნელ-ნელა შემობრუნებას, აღწერს წრეებს, ხოლო მთელი ლერძი კი ვერტიკალური წრფის ირგვლივ დაიწყებს წრიული კონუსის ზედაპირის აღწერას.

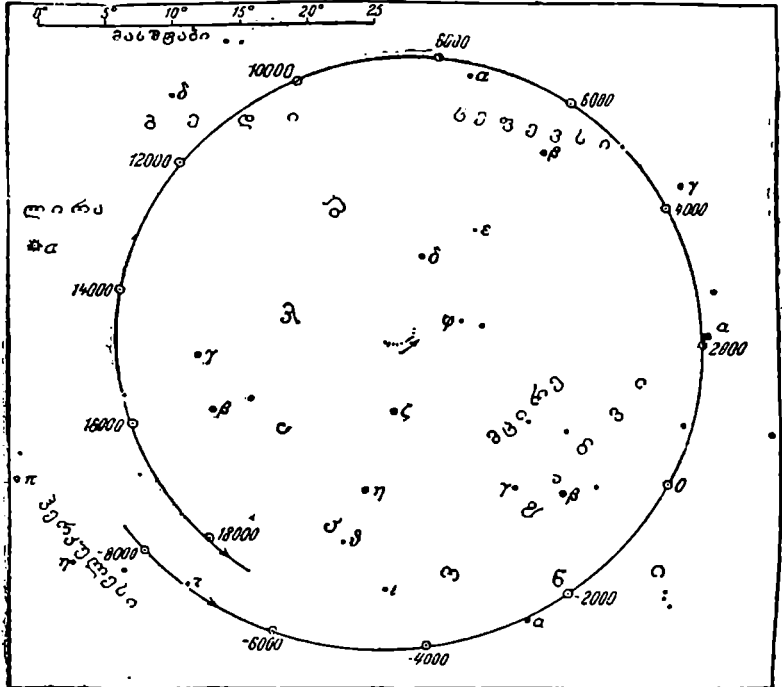
თუ დედამიწის ცენტრს ჩავთვლით უძრავად (ნახ. 83), მივიღებთ რომ დედამიწის pp' ლერძი დედამიწის ორბიტის სიბრტყის პერპენდიკულარის გარშემო აღწერს კონუსურ ფართეულს,



ნახ. 83.

ლიბტიკის პოლუსში, რომლის რადიუსი დაახლოებით $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. ამგვარად პოლუსი იმყოფება პატარა დათვის α ვარსკვლავის ახლოს და ამ ვარსკვლავს ახლა უწოდებენ პოლარულს. მაგრამ ეს არ იყო ყოველთვის ასე. 4000 წლის წინათ ყველა ვარსკვლავიდან პოლუსთან ახლო იყო დრაკონის α ვარსკვლავი. 12000 წლის შემდეგ პოლარულ ვარსკვლავად გახდება ვეგა (ლირის α)—ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავი (ნახ. 84).

2) რადგანაც სამყაროს ღერძის მიმართულება იცვლება, სათანადოდ შეიცვლება ცის ეკვატორის მდებარეობაც, რომლის სიბრტყე პერპენდიკულარულია ამ ღერძისა და პარალელურია დედამიწის ეკვატორის სიბრტყისა. ამიტომ ეკვატორის ეკლიპტიკასთან გადაკვეთის წერტილები (დღელამტოლობის წერტილები) ვარსკვლავთა შორის ნელ-ნელა გადაადგილდებიან დასავლეთით. დღელამტოლობის წერტილების ეს მოძრაობაც პრეცესიად იწოდება. ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყისში გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი მდებარეობდა ვერძის თანავარსკვლავედში და აღინიშნებოდა ამ თანავარსკვლავედის Ὠ ნიშნით. მას შემდეგ გაზაფხულის წერტილმა გადაინაცვლა თევზების თანავარსკვლა-



ნახ. 84.

ვედში, მაგრამ მისი აღნიშვნა დატოვეს უცვლელი. ამ წერტილის გადაადგილების სიჩქარე შეადგენს $\frac{360^\circ}{26000} = 50''$, 2-ს წელიწადში. ამ სიდიდეს ეწოდება საერთო წლიური პრეცესია.

3) რადგან დღელამტოლობის წერტილების მოძრაობა მიმართულია მზის წლიური მოძრაობის შემხვედრად, ამიტომ მზე მუდამ რამდენადმე ადრე გადის ამ წერტილებში, ვიდრე იმ შემთხვევაში გავიდოდა ისინი რომ უძრავნი ყოფილიყვნენ. აქედან მიიღო ამ მოვლენამ თავისი სახელწოდება; სიტყვა „პრეცესია“ ნიშნავს (დღელამტოლობის) „წინსწრებას“, ე. ი. დღელამტოლო-

ბის უფრო ადრე დადგომას (არ უნდა ავრიოთ დღელამტოლოობის სხვა რიცხვებში გადასვლასთან კალენდრის არასიზუსტის გამო). ამ მიზეზით ტროპიკული წელიწადი, ე. ი. დროის შუალედი გაზაფხულის დღელამტოლოობის წერტილი მზის ორ თანმიმდევარ ვავლას შორის გამოდის ხანმოკლე ვარსკვლავთმთიერ წელიწადზე, რომლის ვავლის შემდეგ მზე უბრუნდება ერთსა და იმავე ვარსკვლავს. განსხვავება დაახლოებით 20 მინუტს შეადგენს; ამდენი დრო სჭირდება მზეს, რომელიც აღმოსავლეთისაკენ დღელამტოლოობის 1°-ით გადაინაცვლებს, რომ გაიაროს 50",2.

ამა თუ იმ წლის ზუსტი სიდიდე შემდეგია (1950 წლისათვის):

ვარსკვლავთმთიერი წელი = 365 დღე-ღამეს, 6 ს., 9 მინ., 9 სექ. = 365,25636 საშ. დღე-ღამეს.

ტროპიკული წელი = 365 დღე-ღამეს, 5 ს., 48 მინ., 46 სექ. = 365,24219 საშუალო დღე-ღამეს.

სამოქალაქო ცხოვრებისათვის მნიშვნელობა აქვს მხოლოდ ტროპიკულ წელიწადს, რადგანაც მასთან დაკავშირებულია წლის დროთა ცვლა.

4) როგორც ვნახეთ, გაზაფხულის დღელამტოლოობის წერტილი წარმოადგენს ეკვატორულ და ეკლიპტიკურ კოორდინატთა სისტემაში ათვლის საწყისს. ამიტომ მისი დასავლეთისაკენ მოძრაობის გამო ყველა ვარსკვლავის გრძელი ყოველწლიურად დიდდება 50",2-ით, განედები კი არ იცვლება. ეს გვიჩვენებს, რომ პრეცესია ვავლენას არ ახდენს ეკლიპტიკის სიბრტყის მდებარეობაზე.

რაც შეეხება ეკვატორულ სისტემას, მისი ორივე კოორდინატი — პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა — მუდმივ იცვლება. მოცემული ადგილისათვის ვარსკვლავიერი ცის სახე იცვლება ნელა. ამის გამო, რამდენიმე ათასეული წლის შემდეგ ორიონი და სირიუსი არ ამოვლენ ჩვენთან¹ პორიზონტს მაღლა, სამაგიეროდ გამოჩნდება ევროპაში ამჟამად უხილავი სამხრეთის ჯვარი და სამხრეთ ნახევარსფეროს სხვა თანავარსკვლავედები.

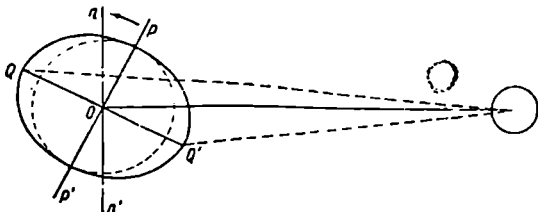
§ 178. პრეცესიის ახსნა. დედამიწას, შედარებით სწრაფი ბრუნვის შედეგად, სფეროიდის ფორმა აქვს, ან სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ეკვატორთან მასის სიჭარბე აქვს. ამ ჭარბ მასაზე მზისა და მთვარის მიზიდულობის მოქმედება იწვევს პრეცესიას.

დავუშვათ, ნახ. 85-ზე L არის მთვარე, O — დედამიწის ცენტრი, pp' მისი ღერძი. დედამიწა ზუსტად სფერო რომ იყოს, მაშინ მთვარე (და მზე) არ შეცვლიდა მის ბრუნვას, რადგან სფეროები ისე იზიდავენ ერთმანეთს, თითქოს მათი მასები თავმოყრილი იყოს მათ ცენტრებში (§ 163). მაგრამ დედამიწის სფეროიდი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც სფერო (აღნიშნული ნახაზე პუნქტირით), რომელსაც ეკვატორის გარშემო აკრავს დამატებითი მასა მასიური რგოლის სახით. აშკარაა, რომ მთვარე, რომელიც საზოგადოდ არ იმყოფება ეკვატორის სიბრტყეში, უფრო ძლიერად მიიზიდავს Q' წერტილს, როგორც ეკვატორული რგოლის მასთან უფრო ახლო ნაწილს, ვიდრე უფრო შორეულ Q ნაწილს.

¹ ავტორი გულისხმობს მოსკოვის განედს.

წარმოვიდგინოთ, რომ დედამიწა არ ბრუნავს, ხოლო (როგორც ეს სინამდვილეშია) მთვარე გარემოიქცევა დედამიწის გარშემო სიბრტყეში, რომელიც დახრილია ეკვატორული რგოლის სიბრტყესთან. ამ შემთხვევაში მთვარის მოქმედება აიძულებდა ეკვატორის რგოლს, მასთან ერთად მთელ დედამიწასაც, რხევა დაეწყო ფიზიკური საქანის მსგავსად ლერძის გარშემო, რომელიც გადის O ცენტრში ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარულად.

მთვარე რომ უძრავი ყოფილიყო, ეს რხევა გაგრძელდებოდა „ინერციით“ განუხაზღვრელი დროის განმავლობაში. მაგრამ დედამიწის გარშემო მთვარის ბრუნვის გამო, მისი მოქმედება ეკვატორულ რგოლზე მუდმივად



ნახ. 85.

იცვლება. ამიტომ დედამიწის რხევა თანდათან უნდა მიღებულიყო და ბოლოს და ბოლოს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყე მთვარის ორბიტის სიბრტყეს უნდა დამთხვეოდა.

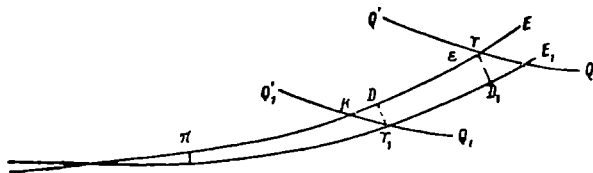
მაგრამ ვარდა ამ ბრუნვისა ლერძის გარშემო, რომელიც პერპენდიკულარულია ნახაზის სიბრტყისა, დედამიწას აქვს კიდევ სხვა ბრუნვა—დღე-ღამური ბრუნვა $p p'$ ლერძის გარშემო. ეს ლერძი პერპენდიკულარულია პირველი ბრუნვის ლერძისა. თუ ორივე ბრუნვას შევკრებთ მექანიკის წესით, მაშინ აღმოჩნდება, რომ ლერძის ჩრდილო p ბოლო შემობრუნდება არა „წერტილისაკენ ნახაზის სიბრტყეში, არამედ გაძოვა ამ სიბრტყიდან „ზემოთ“ მკითხველის მიმართულებით; მისი მანძილი კი $O n$ წრფიდან არ შეიცვლება. ამის შედეგად $O n$ ლერძის გარშემო დედამიწის ლერძი აღწერს კონუსს. დამკვირვებლისათვის, რომელიც იმყოფება ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. ლერძი იმოძრაეებს საათის ისრის მიმართულებით.

დედამიწასთან მთვარის სიახლოვის გამო მთვარის როლი პრეცესიაში მნიშვნელოვნად დიდია მზის როლზე. წელიწადში $50''$ საერთო ჯამიდან $16''$ მოდის მზის და $34''$ —მთვარის მოქმედებაზე.

§ 179. მთვარე-მზისმიერი და ცთომილთმიერი პრეცესია. პრეცესიას, რომელიც გამოწვეულია მზისა და მთვარის მოქმედებით, ეწოდება მთვარე-მზისმიერი პრეცესია. ვარდა ამისა, არსებობს ცთომილთმიერი პრეცესია. ცთომილთა მიზიდულობა საკმაოდ სუსტია იმისათვის, რომ ცვლილება გამოიწვიოს დედამიწის ლერძის მდებარეობაში. მაგრამ ის მოქმედებს მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობაზე და იწვევს დედამიწის ორბიტის სიბრტყის, ე. ი. ეკლიპტიკის სიბრტყის მდებარეობის ცვლილებას. მთვარე-მზისმიერი პრეცესია, რომელიც შემოაბრუნებს ეკვატორის სიბრტყეს, გადააადგო-

ლებს ეკვატორის ეკლიპტიკასთან გადაკვეთის (Υ) წერტილს წელიწადში $50''$, 37 -ით დასავლეთისაკენ; ცთომილთმიერი პრეცესია კი, რომელიც შემობარუნებს ეკლიპტიკის სიბრტყეს, იმავე წერტილს ყოველწლიურად $0''$, 13 -ით გადაადგილებს საწინააღმდეგო მიმართულებით. ორივე გადაადგილების შეკრების შედეგად ვლებულობთ საერთო წლიურ პრეცესიას, რომელიც უდრის $50''$, 24 -ს.

მთავარ-მზისმიერი და ცთომილთმიერი პრეცესიების ერთობლივი მოქმედება ნაჩვენებია 86 -ე ნახაზზე. NE ეკლიპტიკა რომ უძრავი ყოფილიყო,



ნახ. 86.

მაშინ გაზაფხულის დღელამტოლობის Υ წერტილი $Q'Q$ ეკვატორთან ერთად დასავლეთით გადაადგილებისას ერთი წლის შემდეგ გადავიდოდა K მდებარეობაში (ეკვატორის ახალი მდებარეობა— Q'_1Q_1 -ია). რკალი ΥK არის მთვარე-მზისმიერი პრეცესია $\psi' = 50''$, 368 .

მაგრამ ერთი წლის განმავლობაში თვითონ ეკლიპტიკა, ცთომილთა მიზიდულობის გამო, მობრუნდება რომელიღაც N წერტილის გარშემო მცირე კუთხით $\pi = 0''$, 47 და დაიკავებს NE_1 მდებარეობას. ამიტომ ეკვატორის ახალ მდებარეობის Q'_1Q_1 -ის გადაკვეთის წერტილი ეკლიპტიკის ახალ მდებარეობასთან იქნება Υ_1 . რკალი $K\Upsilon_1$ იწოდება ცთომილთმიერ პრეცესიად θ . ის უდრის $0''$, 134 -ს. მისი გეგმილი KD საწყის („უძრავ“) ეკლიპტიკაზე იქნება

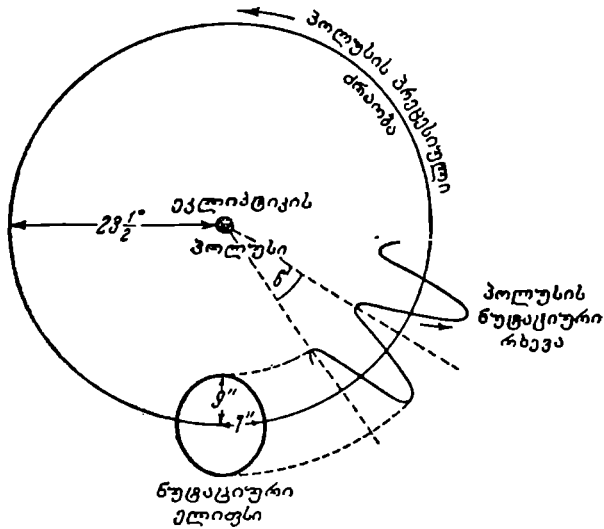
$$KD = \theta \cos \varepsilon = 0''$$
, $134 \cdot \cos 23^{\circ}27' = 0''$, 123 .

თუ დავაგეგმილებთ Υ წერტილს „მოძრავ“ ეკლიპტიკაზე D_1 წერტილში, მაშინ π კუთხის სიმცირის გამო შეგვიძლია დავუშვათ $D\Upsilon = D_1\Upsilon_1$; მაშასადამე, $D_1\Upsilon_1 = \psi' - \theta \cos \varepsilon = 50''$, $245 = \psi$. სწორედ ψ სიდიდეს ეწოდება საერთო წლიური პრეცესია. გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი ამ სიდიდით ყოველწლიურად გადაადგილდება „მოძრავ“ ეკლიპტიკაზე დასავლეთით.

ეკლიპტიკის მდებარეობის შეცვლის გამო იცვლება ეკლიპტიკის დახრაც ეკვატორთან, მაგრამ ნულა და მცირე საზღვრებში. ამჟამად დახრა ყოველწლიურად $0''$, 47 -ით მცირდება, რამდენიმე ათასეული წლის შემდეგ შემცირდება შეიცვლება გადიდებით, რადგან ეს შემუფთდება პერიოდულია.

§ 180. ნუტაცია. მზისა და მთვარის პრეცესიული ძალების სიდიდე მუდამ იცვლება; ისინი იქცევიან ნულად, როდესაც ორივე მნათობი ეკვატორის სიბრტყეში იმყოფება და მაქსიმუმს მათი უდიდესი დახრილობის დროს აღწევენ. ამიტომ პრეცესიის მოვლენა რთულდება: დღელამტოლობის წერტილებს წელიწადში $50''$, 2 -ით მოძრაობას უერთდება უფრო მოკლე პერიოდის მცირე რხევები. ყველა მათ უწოდებენ საერთო სახელს—ნუტაციას. მათ შო-

რის ყველაზე მთავარს (აღმოჩენილია 1747 წ. ბრადლეის მიერ) აქვს 18.6 წლიანი პერიოდი, რომელიც ტოლია მთვარის ნასკვების გარემოქცევის პერიოდისა (§ 127). ამ რხევის შედეგად პოლუსი აღწერს ცის სფეროზე ელიფსებს, რომელთა დიდი ნახევარღერძები ტოლია $18''$,42-ის და მცირე კი — $13''$,72-ისა. რადგანაც პოლუსი გადაადგილდება კიდევ ცის სფეროზე პრეცესიის შედეგადაც, ამიტომ სინამდვილეში პოლუსი აღწერს ტალღისებრ წირს (ნახ. 87).



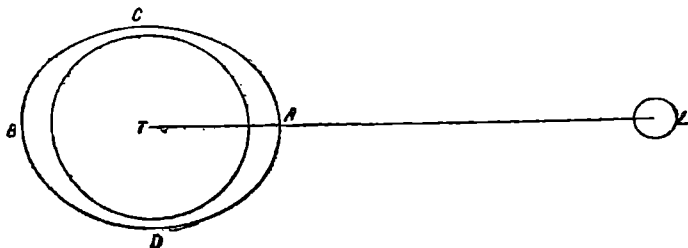
ნახ. 87.

§ 181. მთვარე და მოქცევა. დედამიწის ოკეანეების დონე მუდმივ რხევას განიცდის. დაახლოებით 6 საათის განმავლობაში იგი თანდათან მალდება, წყალი მოიწევს ნაპირისაკენ, ეს მოქცევაა. შემდეგ ღვება მიქცევა. წყალი 6 საათის განმავლობაში თანდათან დაიწევს, სანამ არ მიაღწევს ყველაზე დაბალ დონეს. ამის შემდეგ იწყება ახალი მოქცევა. ამგვარად, დღე-ღამის განმავლობაში ადგილი აქვს ორ მოქცევას და ორ მიქცევას; ამასთან ეს მოვლენა ყოველდღე მეორდება საშუალოდ 50 მინუტის დაგვიანებით. სწორედ ამდენით იგვიანებს მთვარის კულმინაცია (§ 124). ეს მიუთითებს მთვარესა და მოქცევას შორის რომელიღაც დამოკიდებულებაზე.

მოქცევათა ახსნა დამყარებულია იმაზე, რომ მთვარის მიზიდულობის ზეგავლენით დედამიწის ცენტრი (და მასთან ერთად დედამიწის მთელი მყარი სხეული) ღებულობს აჩქარებას მთვარისაკენ (§ 163, ბ), მაშასადამე, ყოველ მეყში რამდენადმე გადაადგილდება მთვარის მიმართულებით ერთი და იმავე სიდიდით; მაგრამ დედამიწის ოკეანეების ნაწილაკები გადაადგილდებიან რამდენადმე სხვანაირად.

დავუშვათ სიმარტივისათვის, რომ მთელი დედამიწა ოკეანითაა დაფარული. ვთქვათ, T დედამიწის ცენტრია, L —მთვარე (ნახ. 88). ცხადია, წყლის ნაწილაკი A , რომელიც უახლოესია მთვარესთან, მისკენ უფრო მეტად გადაადგილდება, ვიდრე დედამიწის ცენტრი T , ხოლო T თავის მხრივ—უფრო მეტად, ვიდრე B . ამიტომ მყარ დედამიწასთან შედარებით, A წერტილის ახლოს წყლის ნაწილაკები მთვარისაკენ საერთო მოძრაობაში წინ წავა და ამ მხარეზე წყალი აიწევს; აქ იქნება მოქცევა. მაგრამ ასეთივე მოქცევა იქნება ამავე მომენტში დედამიწის მოპირდაპირე მხარეზე, რადგანაც B წერტილი ცენტრიდან თითქმის იმდენით ჩამორჩება, რამდენითაც A წავიდა წინ.

შეიძლება დამტკიცებულ იქნეს, რომ მთვარის მიზიდულობის მოქმედებით დედამიწის წყლის გარსი მთვარის მიმართულებით გაჭიმული ელიფსოიდის ფორმას ღებულობს. A და B წერტილების ახლო იქნება მოქცევა, ყველაზე „მაღალი წყალი“, ხოლო მარჯვენა და მარცხენა ნახევარსფეროების სხლვარზე (მაგალითად, C და D წერტილებთან)—მიქცევა, „დაბალი წყალი“; დედამიწის ბრუნვის გამო მოქცევითი შეერილები ყოველ შემდგომ მომენტში უკვე დედამიწის ზედაპირის ახალ ადგილებზე წარმოიქმნება., ამიტომ მთვარის ერთი დღელამური ბრუნვის განმავლობაში (24 ს. 50 მინ.) ისინი შემო-



ნახ. 88.

უვლიან დედამიწის მთელ სფეროს; ამ ხნის განმავლობაში ყოველ ადგილზე დგება ორი მოქცევა და ორი მიქცევა.

ეს მსჯელობა სამართლიანია არა მარტო დედამიწის წყლის, არამედ ჰაერის გარსისათვისაც, ე. ი. ატმოსფეროსათვის, და დედამიწის მყარი სხეულისთვისაც. მათშიაც ხდება მოქცევები. ატმოსფერული მოქცევები დედამიწის ზედაპირთან ახლოს თითქმის შეუნიწეველია (იმის მსგავსად, როგორც შეუნიწეველია ზღვის მოქცევები ოკეანეთა ფსკერებზე). მათი აღმოჩენა ხერხდება მხოლოდ ატმოსფერული წნევის ცვლილებათა შესწავლით დროის ხანგრძლივი შუალედების განმავლობაში.

დედამიწის მყარი სხეულის მოქცევებზე დაკვირვებებს ახდენენ იმის მსგავსი იარაღებით, რომლებიც ემსახურებიან მიწისძვრათა რეგისტრაციას. „მყარი“ მოქცევები სამჯერ ნაკლებია ოკეანეებისაზე, მაგრამ მაინც დედამიწის

ზედაპირის წერტილები მათ გამო ღლე-ღამეში ორჯერ აიწვევა და დაიწვევა საშუალოდ რამდენიმე დეციმეტრით.

მოქცევის გამო მწვევი ძალის სიდიდე. ძალა, რომელიც იწვევს მოქცევას, გაცილებით ნაკლებია მთვარის მიზიდულობაზე. ის ისევე, როგორც ყოველი შემაშფოთებელი ძალა, უკუპროპორციულია არა მანძილის კვადრატისა, არამედ (დაახლოებით) მანძილის კუბისა (§ 170).

მაგალითად, მოქცევითი აჩქარებები A და B -სთვის, ე. ი. მთვარიდან დედამიწის ყველაზე ახლო და ყველაზე შორეული წერტილებისათვის, გამოისახება § 170-ში მოყვანილი (12) ფორმულით

$$g_1 = g_2 = k^2 \frac{2am}{r^2},$$

სადაც a დედამიწის რადიუსია, ხოლო r —დედამიწის ცენტრიდან მთვარემდე მანძილი.

§ 182. მოქცევის ტალღა. არ უნდა ვიფიქროთ, რომ მოქცევითი შევრთვების წარმოქმნა დაკავშირებულია ზღვების დინებათა წარმოშობასთან. მოქცევითი მოძრაობა არის არა დინება, არამედ ტალღა, იმ ტალღების მსგავსი, რომლებიც ჩნდება ქარისაგან ან გასროლილი ქვისაგან. ასეთი ტალღის გავრცელების დროს სტურაჲი საგანი არ წარიტაცება, ის მხოლოდ რსევას განიცდის ხან წინ, ხან უკან, ხან ზემოთ, ხან ქვემოთ; დროის განსაზღვრული შუალედების (ტალღის პერიოდი) შემდეგ მცურაჲი საგანი უბრუნდება წინანდელ მდებარეობას. ასევე ხდება მოქცევების დროს.

წყლის სიმაღლე ყველაზე უდიდესია, როდესაც მოცემულ ადგილზე მოქცევის ტალღის შევრილი გადის; როდესაც ტალღის ღრმული გადის, წყლის დონე ყველაზე უფრო დაბალია, მასთან წყლის თითოეული ნაწილაკი ირხევა ვერტიკალური და ჰორიზონტული მიმართულებებით, მხოლოდ უმნიშვნელო სიდიდით, ჩვეულებრივ, ერთი-ორი მეტრით (გამლილ ოკეანეში). მოქცევის ტალღის პერიოდი გაცილებით გრძელია ოკეანეების სივრცე ტალღების პერიოდზე: ის უდრის „მთვარის ღლე-ღამის“ ნახევარს, ე. ი. 12 საათსა და 25 წუთს.

§ 183. მზისმიერი მოქცევები. ნზე ახდენს მოქცევას ისევე, როგორც მთვარე, მაგრამ დიდი მანძილის გამო მზისმიერი მოქცევები $2\frac{1}{4}$ -ჯერ ნაკლებია მთვარისმიერ მოქცევებზე. მართლაც, აღვნიშნოთ მზისა და მთვარის მასები M და m -ით, ხოლო მათი მანძილები დედამიწიდან R და r -ით. თუ გამოვტოვებთ მუდმივ მამრავლს, მოქცევითი ძალებისათვის § 181-ის ფორმულით მივიღებთ გამოსახულებებს:

$$\text{მზის მოქცევის ძალა } \frac{M}{R^2}, \text{ მთვარის მოქცევის ძალა არის } \frac{m}{r^2}.$$

$$\text{ჩავსვათ რიცხვები: } M=330000 \text{ დედამიწის მასას, } m=\frac{1}{81} \text{ დედამიწის}$$

მასის, $R=390 r$. მეორე ძალის პირველთან თარღობა იქნება:

$$\frac{mR^3}{Mr^3} = \frac{1 \cdot 390^3}{(81 \cdot 330\,000)} = 2,2 \text{ (დაახლოებით).}$$

მზისმიერი მოქცევა ცალკე არ დაიმზივრება. ის მხოლოდ გავლენას ახდენს მთვარისმიერი მოქცევის სიდიდეზე. ახალმთვარეობის და სავსემთვარეობის (ეგრეთ წოდებული „სიზიგიების“) დროს მზისმიერი და მთვარისმიერი მოქცევები ერთდროულად დგება. ამგვარად, მზის და მთვარის მოქმედებები იკრძება და ადგილი აქვს ყველაზე დიდ მოქცევას. პირიქით, როდესაც მთვარე პირველ და უკანასკნელ მეოთხედშია („კვადრატურებში“), მაშინ მთვარისმიერი მოქცევის დროს ადგილი აქვს მზისმიერ მოქცევას, მთვარის მოქმედებას გამოაკლდება მზის მოქმედება და მოქცევა გამოდის უმცირესი.

აქვე შევნიშნოთ, რომ მთვარის მასის განსასაზღვრავად მთვარისმიერი და მზისმიერი მოქცევების სიმალეთა შედარება გვაძლევს მარტივ (მაგრამ არა სავსებით ზუსტ) ხერხს.

§ 184. მოქცევების მოვლენების სირთულე. § 181-ში განხილული თეორიიდან გამოდის, რომ ყველაზე დიდი მოქცევა უნდა იყოს წერტილებში, რომელთათვისაც მოცემულ მომენტში მთვარე იმყოფება ზედა ან ქვედა კულმინაციაში. სინამდვილეში ყველაზე მაღალი წყლის მომენტები დგება მთვარის ზედა კულმინაციის შემდეგ რამდენიმე საათით გვიან. ამ დაგვიანებას ეწოდება ნამატის საათი. ზოგჯერ იგი აღწევს 12 საათს. ეს დაგვიანება აიხსნება წყლის ნაწილაკების ხაუნით და სხვადასხვა ადგილობრივი პირობებით, მაგალითად, ზღვის ფსკერის ფორმით და ნაპირების მოხაზულობით, ამიტომ მისი სიდიდე სხვადასხვა ადგილისათვის ძალიან განსხვავებულია. ამავე მიზეზით მოქცევის სიმალლე სხვადასხვა ადგილზე არ არის ერთნაირი. შიგა ზღვებში, მაგალითად, შავსა და ბალტიისაში მოქცევები მცირეა, პირიქით, ოკეანეებში ბევრად უფრო დიდი. განსაკუთრებით დიდ მოქცევას აქვს ადგილი ვიწრო ყურეებში. ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი მოქცევა ხდება ხოლმე გიფიგინის უბეში (ოხოტის ზღვა), სახელდობრ 11 მეტრი. კანადის ერთ-ერთ ყურეში მოქცევა 16 მეტრს აღწევს.

მოქცევის სიმალლე იცვლება აგრეთვე მზისა და მთვარის დახრილობათა და მანძილების ცვლილებასთან ერთად. ამგვარად, მოქცევითი მოვლენები სინამდვილეში ძალიან რთულია. მიუხედავად ამისა, ამ მოვლენათა თეორია აყვანილია მაღალ სრულყოფამდე და საშუალებას იძლევა ვიწინასწარმეტყველოთ დიდი სიზუსტით მოქცევის დაწყების დრო და მოქცევის სიდიდე მოცემულ ნავსადგურში ნებისმიერი დღისათვის მრავალი წლით ადრე.

§ 185. ხსნის თუ არა მიზიდულობის კანონი მზის სისტემაში ყველა მოძრაობას? ნიუტონმა გამოთქვა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი, როგორც ბუნების საყოველთაო კანონი. ცის მექანიკის განვითარებამ მოგვცა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის სისწორის დამამტკიცებელი რიგი ბრწყინვალე მაგალითებისა, მაგრამ უკანასკნელ დრომდე დიდი ცთომილებისა და მთვარის მოძრაობაში დაიმზივრებოდა გადახრები (შეუსაბამობანი) თეორიული მდებარეობებიდან. ეს გადახრები თუმცა ძალიან მცირეა, მაგრამ უქვეყლად

რეალური იყო, რამდენადაც ისინი აღმატებოდნენ დაკვირვებათა შესაძლო ცდომილებებს. ამ გადახრებს შორის შეიძლება დავასახელოთ მერკურის პერიპელიუმის საუკუნეებრივი მოძრაობა, რომელიც თეორიით არ აიხსნება (43" საუკუნეში), მთვარის „საუკუნეებრივი“ შემოათობა (12" დაკვირვებების მიხედვით და 6" თეორიის თანახმად), ასევე შეუსაბამობანი დედამიწისა და იუპიტერის ტიპის ჯგუფის ცთომილების გრძელდებში. თეორიისა და დაკვირვებებს შორის შეუთანხმებლობა საეკვოს ხდიდა, რომ ნიუტონის მიზიდულობის კანონს შეუძლია ახსნას მზის სისტემაში დამზერილი ყველა მოძრაობა. ეს საკითხი მხოლოდ უკანასკნელ წლებში გახდა ნათელი.

ენიშტინის მიერ შექმნილმა ფარდობითობის ზოგადმა თეორიამ ახსნა მერკურის პერიპელიუმის მოძრაობა საუკუნეში 43"-ით. ფარდობითობის თეორიის მიზიდულობის კანონის თანახმად, მზესთან ახლოს ერთი ცთომილის არსებობის შემთხვევაშიც კი მის ორბიტს სულერთია მაინც არ ექნებოდა სივრცეში უძრავი მდებარეობა, არამედ იბრუნებდა მით უფრო სწრაფად, რაც უფრო ახლო იქნებოდა ცთომილი მზესთან. ორბიტის მობრუნება უნდა დაიშორებოდეს სხვა ცთომილებისათვისაც და არა მხოლოდ მერკურისათვის, მაგრამ მათთვის ეს მობრუნება გაცილებით მცირეა, რის გამოც დამკვირვებლების მიერ მისი აღმოჩენა ვერ ხერხდება.

იუპიტერის, სატურნის, ურანისა და ნეპტუნის მდებარეობათა განსასაზღვრავად „რიცხვითი ინტეგრაციის“ მეთოდებით, ნიუტონის მიზიდულობის კანონის საფუძველზე, ძალიან დიდი გამოთვლითი სამუშაო დამთავრდა 1950 წელს. აღმოჩნდა, რომ ყველა არსებული შეუსაბამობა ხდება ამ ცთომილების წინანდელი თეორიების ნაკლოვანებების გამო.

ბოლოს, შეუსაბამობანი მთვარისა და ცთომილების გრძელდებში აიხსნება დედამიწის ბრუნვის არათანაბრობით. დედამიწის ბრუნვა, ჯერ ერთი, ნელდება 0.0016 სეკ. ერთ საუკუნეში მოქცევითი ხახუნის გამო და, მეორეც, განიცდის არაწესიერ ფლუქტუაციებს, რომელთაც იჭერენ თანამედროვე კვარცის საათების საშუალებით, და რასაც მიუყვართ ცის მნათობების მოძრაობებში ხილულ უსწორობამდე. ეს ფლუქტუაციები, ალბათ, დაკავშირებულია სხვადასხვა დროს მოქცევითი ხახუნის არათანაბარ მოქმედებასთან და აგრეთვე მრავალრიცხოვანი ფაქტორის შეკრების შედეგებთან, რომელთაც შეუძლიათ გამოიწვიონ დედამიწაზე მასების გადანაწილება (მაგალითად, ჰაერის მასების სეზონურ მოძრაობებთან).

სავარჯიშოები VIII თავისათვის

1. კეპლერის მესამე კანონის ზუსტი ფორმულით განვსაზღვროთ იუპიტერის მიახლოებითი მასა; მზის მასა მივიღოთ 1-ის ტოლად, დედამიწის—0-ის, $T_1 = 4332,6$ დღე-ღამეს, $a_1 = 5,2028$, $T = 365,26$ დღე-ღამეს. პასუხი: $m_1 = 0,0009$, ე. ი. 1/1100 (ზუსტი მნიშვნელობა 1/1047).

2. გამოვთვალოთ მზის ზედაპირზე პარაბოლური სიჩქარე, თუ მზის რადიუსი $R = 1/215$ ასტრ. ერთეულს = 696000 კმ. პასუხი: 617 კმ/სეკ.

3. გამოთვალეთ მთვარის ზედაპირზე პარაბოლური სიჩქარე ($\lambda=0,27$ დედამიწის რადიუსისას, $\lambda l=1/81$ დედამიწის მასისას). პასუხი: 2,4 კმ/სეკ.

4. დავამტკიცოთ, რომ სხეულისათვის, რომელიც აღწერს ელიფსურ ორბიტას, უდიდესი სიჩქარე (პერიპელიუმში) ისე შეეფარდება უმცირესს (აფელიუმში), როგორც უდიდესი მანძილი მზიდან—უმცირესს.

5. დავამტკიცოთ, რომ სხეული, რომელიც აღწერს ელიფსურ ორბიტას a დიდი ნახევარღერძით, გაივლის მცირე ღერძის ბოლოზე სიჩქარით, რომელიც სიდიდით ტოლია წრიული სიჩქარისა იმავე წერტილში. მითითება: რას უდრის მანძილი მცირე ღერძის ბოლოდან ფოკუსამდე?

6. ა) დავამტკიცოთ, რომ a დიდი ნახევარღერძის მქონე ელიფსზე მოძრაობის უდიდეს სიჩქარეს და უმცირესს შორის საშუალო გეომეტრიული ტოლია a რადიუსიან წრეზე მოძრაობის სიჩქარისა; ბ) ორბიტის რომელ წერტილში აქვს სხეულს ასეთი სიჩქარე?

7. 1882 II კომეტის გარემოქცევის დრო $T=770$ წელს და პერიპელიუმის მანძილი 0,0078 ასტრ. ერთეულს. მონახეთ: 1) დიდი ნახევარღერძი, 2) ექსცენტრისიტეტი, 3) სიჩქარე პერიპელიუმში, 4) სიჩქარე აფელიუმში. პასუხი: პერიპელიუმში სიჩქარე 476 კმ/სეკ; აფელიუმში—22 მ/სეკ.

8. განვსაზღვროთ დიდი ნახევარღერძი, გარემოქცევის დრო, ექსცენტრისიტეტი და პერიპელიუმის მანძილი წარმოსახვითი კომეტისა, რომელსაც მზიდან 1 ასტრ. ერთ. მანძილზე ჰქონდა სიჩქარე, მიმართულებით წრიული სიჩქარის თანხედენილი, მაგრამ სიდიდით 10-ჯერ ნაკლები. პასუხი: $e=0,99$; $a=0,5025$, $T=0,36$ წელს, $q=0,005025$.

9. წრეებზე მოძრაეი ცთომილების ხაზოვანი v სიჩქარეები უკუბროპორციულია \sqrt{r} -ის (§ 167, გ). როგორაა დამოკიდებული r -ზე მათი სექტორული სიჩქარეები? კუთხური სიჩქარეები?

10. რამდენით შეიცვლებოდა იუპიტერის გარემოქცევის დრო, თუ მისი მასა გახდებოდა ნულის ტოლი (იხ. სავარჯიშო 1)?

11. რა დროის განმავლობაში გარემოქცეოდა დედამიწა მზის გარშემო, რომ მზის მასა n -ჯერ მეტი ყოფილიყო მის თანამედროვე მნიშვნელობაზე? ერთი მეთასედი ნაწილით მეტი რომ ყოფილიყო?

12. იუპიტერის მესამე თანამგზავრი მდებარეობს ცთომილიდან 1070000 კმ მანძილზე და სრულ გარემოქცევას მის გარშემო 7,15 დღე-ღამეში ასრულებს. იპოვეთ იუპიტერის მასა.

13. გამოთვალეთ მარსის მასა დედამიწის, მასასთან შედარებით მისი თანამგზავრის ფობოსის მოძრაობის მიხედვით, რომლისთვისაც $a=9300$ კმ, $T=0,32$ დღე-ღამეს. შესაბამისი სიდიდეები მთვარისათვის ტოლია 385000 კმ და 27,3 დღე-ღამის. პასუხი: დედამიწის მასის 0,103.

14. სამხრეთის გვირგვინის თანავარსკვლავედის დაახლოებითი კოორდინატებია $\alpha=18^\circ$, $\delta=-40^\circ$, ორიონის თანავარსკვლავედისა: $\alpha=6^\circ$, $\delta=0^\circ$. როგორაა ამ თანავარსკვლავედების ხილვადობის პირობები მოსკოვში ამჟამად? როგორ შეიცვლება მათი კოორდინატები და ხილვადობის პირობები 13000 წლის შემდეგ?

15. მთვარე აპოგეუმში $1/6$ -ით უფრო შორსაა, ვიდრე პერიგეუმში. რამდენი პროცენტითაა მეტი მოქცევის ძალა პერიგეუმში? პასუხი: 37% -ით.

16. რამდენჯერ მეტი უნდა იყოს თეორიულად მოქცევა სიზიგიების დროს კვადრატურების დროს მოქცევაზე? პასუხი: $2^2/3$ -ჯერ.

17. დაამტკიცეთ, რომ მზე იზიდავს მთვარეს დაახლოებით ორჯერ უფრო ძლიერად, ვიდრე დედამიწა.

18. როგორ იწარმოებდა მოქცევისა და მიქცევის მოვლენები დედამიწის სიმძიმის ცენტრს რომ არ შეეძლოს გადაადგილება?



სპექტრული ანალიზი და ფოტომეტრია

§ 186. **სპექტრული ანალიზი და მისი მნიშვნელობა.** ცის სხეულთა მოძრაობის შესასწავლად სრულიად საკმარისია ის მეთოდები და ინსტრუმენტები, რომლებიც აღწერილი იყო IV თავში. მაგრამ ეს მეთოდები უძლურია ახსნას მნათობთა ბუნება, მათი ქიმიური შედგენილობა და ფიზიკური თვისებები. დიდი ხნის განმავლობაში ეგონათ, რომ ეს თვისებები მულამ დარჩება ჩვენთვის შეუცნობადი.

ჯერ კიდევ 1842 წელს ფრანგი ფილოსოფოსი კონტი წერდა: „ვერასოდეს და ვერც ერთ შემთხვევაში ვერ შევძლებთ ჩვენ ცის მნათობთა ქიმიური შედგენილობის შესწავლას“. მაგრამ ოცი წელიც არ გასულა ამის შემდეგ, და ეს ამოცანა საესებით იქნა გადაწყვეტილი სპექტრული ანალიზის აღმოჩენის წყალობით. ამან გამანადგურებელი ლახვარი ჩასცა იდეალისტურ „თეორიებს“, რომელთა მიხედვით ადამიანის გონების მიღწევებს გარკვეული საზღვარი აქვს და რომლებიც „სამყაროს შეუცნობადობას“ ქადაგებდნენ.

ახალმა მეცნიერულმა მეთოდმა ჩქარა უდიდეს წარმატებას მიაღწია და ისეთი შედეგები მოგვცა, რომლებზედაც ასი წლის წინათ ოცნებაც კი არ შეიძლებოდა. იგი აწარმოებს მნათობთა არა მარტო ქიმიურ ანალიზს, არამედ მათი ტემპერატურების განსაზღვრას, ზომავს მათ სიჩქარეებს და მანძილებს, იჭრება არა მარტო მზის, არამედ უშორესი მზე-ვარსკვლავების სიღრმეში, იკვლევს მათი ცეცხლოვანი მასების შიგნით მოძრაობას და ამგვარად, მის მონაპოვარს თითქმის არა აქვს საზღვარი.

§ 187. **მარტივი და რთული სინათლე.** სინათლე, რომელსაც ჩვენი თვალი აღიქვამს, არის არა მარტო სხვადასხვა ძალის, არამედ სხვადასხვა ფერისა. ფერის სხვადასხვაობა გამოწვეულია სინათლის წყაროდან მომავალი სინათლის ტალღის სიგრძეთა შორის განსხვავებით, ანუ რაც იგივეა, სინათლის რხევის სიხშირეთა განსხვავებით. მაგალითად, იისფერი სინათლე გამოწვეულია უფრო სწრაფი რხევებით, ვიდრე წითელი და მისი ტალღები უფრო მოკლეა.

თუ სინათლის წყარო ერთ სექუნდში გზავნის *n* რხევას, მაშინ ერთი რხევის პერიოდი იქნება

$$T = \frac{1}{n}, \quad (1)$$

სადაც n რხევათა სიხშირეა.

რხევა ვრცელდება სინათლის c სიჩქარით და ერთი პერიოდის განმავლობაში გაივლის მანძილს

$$cT = \lambda. \quad (2)$$

ერთი პერიოდის განმავლობაში გავლილ λ მანძილს ტალღის სიგრძე ეწოდება. თუ გამოვიტყუოთ T -ს, მივიღებთ:

$$n = \frac{c}{\lambda}. \quad (3)$$

ამ ფორმულაში შემავალი სინათლის სიჩქარე წარმოადგენს ერთ უმნიშვნელოვანეს ფიზიკურ მუდმივთაგანს. მისი სიდიდე ტოლია

$$c = 299776 \text{ კმ/სეკ} \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ სმ/სეკ}.$$

სინათლის რხევის სიხშირე გამოსახება ძალიან დიდი რიცხვებით, ტალღის სიგრძე კი; პირიქით, მეტისმეტად მცირეთი. მაგალითად, მწვანე სინათლისათვის n ერთ სეკუნდში დაახლოებით ტოლია $6 \cdot 10^{14}$ რხევისა, საიდანაც მიიღება, რომ $\lambda = 0,00005$ სმ.

ტალღის სიგრძეებს უმეტესად გამოსახავენ ანგსტრემებში (\AA), ე. ი. მილიმეტრის მეათმილიონედ ნაწილებში. ტალღის სიგრძე ჩაიწერება შემდეგნაირად: $\lambda = 500 \text{ m}\mu = 5000 \text{ \AA}$ ან $\lambda 5000$. თვალისთვის ხილულ სინათლეს აქვს ტალღის სიგრძე λ 8000-დან (წითელი)— λ 4000-მდე (იისფერი).

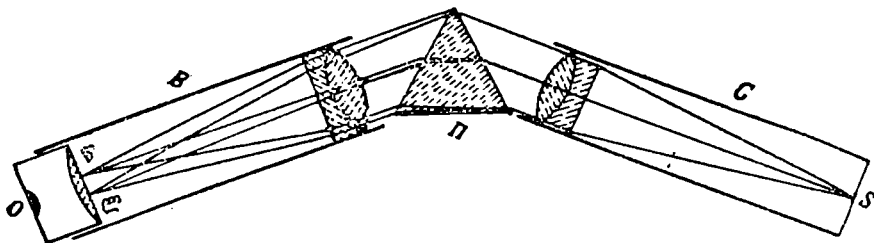
თუ მნათი სხეული გამოასხივებს სინათლეს მხოლოდ ერთი განსაზღვრული ტალღის სიგრძისას, ასეთ სინათლეს ეწოდება მარტივი ანუ მონოქრომატული და მის ფერს ჩვენ ვუწოდებთ წმინდას. წმინდა ფერები ბუნებაში ძალიან იშვიათად გვხვდება. ჩვეულებრივად, სინათლის წყარო ერთდროულად გზავნის სხვადასხვა სიგრძისა და სიხშირის სინათლის ტალღებს. სწორედ ასეთია მზის თეთრი სინათლე, რომელიც ყველა შესაძლებელი ელფერის სხივისაგან შედგება.

§ 188. სპექტრის მიღება. უმარტივეს ხელსაწყოს სინათლის სხივის ანალიზისათვის, წარმოადგენს მინის პრიზმა. პრიზმაში გავლის შემდეგ სხივი გარდატყდება, ე. ი. გადაიხრება პრიზმის კვეთაში მდებარე სამკუთხედის ფუძისაკენ. სხვადასხვა ფერის სხივები გარდატყდებიან სხვადასხვანაირად. ყველაზე ნაკლებად გადაიხრება წითელი სხივი, ხოლო ყველაზე მეტად — იისფერი. ამიტომ, თუ პრიზმას ეცემა თეთრი სინათლე, რომელიც შედგება ყველა შესაძლებელი ფერისაგან, ე. ი. ყველა შესაძლო გარდატყდების სხივისაგან, მაშინ თითოეული სხივი გადაიხრება სათანადო კუთხით, სხივები გაიშლებიან და, ამგვარად, თეთრი სინათლე დაიშლება. თუ ამ გაშლილ სხივთა გზაზე მოვათავსებთ თეთრ ეკრანს, მასზე მივიღებთ სპექტრს, ე. ი. ცისარტყელას მსგავს ზოლს (ნახ. 89, 1), სადაც ფერები განლაგებულია შემდეგი თანმიმდევრობით: წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცის-

ფერი, ლურჯი, იისფერი. მკვეთრი სპექტრის მისაღებად და მისი უკეთესად შესწავლის მიზნით გამოიყენება მთელი რიგი მოწყობილობები, რომელთა შორის ძირითადი არის შემდეგი:

1) სინათლის სხივს გაატარებენ პრიზმის გარდამტეხი წიბოს პარალელურ ვიწრო მართკუთხოვან კრილში. ასეთ შემთხვევაში სპექტრი მიიღება ფართო ზოლის სახით, რომელიც შედგება კრილის გამოსახულებათა უწყვეტი მწყრივისაგან ყველა შესაძლებელ ფერში. რაც უფრო ვიწროა კრილის სიგანე, მით უფრო წმინდაა ფერები.

2) კრილსა და პრიზმას შორის ათავსებენ აქრომატულ შემკრებ ობიექტივს ისე, რომ კრილი მოთავსებული იყოს მის ფოკუსში. ამის გამო კრილიდან სინათლე, გაივლის რა ობიექტივს, ეცემა პრიზმას არა გაშლილად, არამედ პარალელურ სხივთა კონად, რომლის სიგანე კრილის სიგრძის ტოლია. ეკრანს კრილით და ობიექტივს მილის ბოლოებში ათავსებენ და ამგვარად



ნახ. 90

რად აერთებენ ერთ მთლიანობაში, რომელსაც კოლიმატორს უწოდებენ (C ნახ. 90). სინათლის წყაროსაკენ მიმართულია მილის არა ობიექტივიანი, არამედ საწინააღმდეგო ბოლო (S კრილით).

3. სპექტრის ეკრანზე მიმართვის ნაცვლად, მას სამზერ მილში განიხილავენ ან ახდენენ მის ფოტოგრაფირებას. რადგან თითოეული მონოქრომატული სხივი პრიზმაში გადაიხრება გარკვეული კუთხით, რომელიც დამოკიდებულია მის ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ, პირიქით, სხივის გადახრით, ე. ი. მისი მდებარეობის მიხედვით სპექტრში შეიძლება განისაზღვროს სპექტრის ნებისმიერი წერტილის შესაბამისი ტალღის სიგრძე. ამ გარემოებას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს.

§ 189. მყარი სხეულების სპექტრი (უწყვეტი). ყოველი მყარი სხეული, რომელიც თვით ვარვარებამდე გაცხელებული ან გამდნარია ცეცხლოვან-თხევად მდგომარეობამდე, აგრეთვე გავარვარებული იონიზებული გაზის სქელი ფენა, გამოასხივებენ ყველა შესაძლო სიგრძის სინათლის ტალღებს და ამის გამო იძლევიან ერთიან ანუ უწყვეტ სპექტრს (ნახ. 89,1). მიღებული ზოლის სიგანე კრილის სიგრძის ტოლია. ის წარმოადგენს, არსებითად, კრილის გამოსახულებების უსასრულო სიმრავლეს ყველა შესაძლებელად

ბელ ფერში, რომელნიც მდებარეობენ ერთიმეორის გვერდით. ასეთი სპექტრი, რომელი მეტალი ან მინერალი არ უნდა ავიღოთ, გარეგნულად სრულიად ერთნაირი იქნება. ამიტომ შეუძლებელია განისაზღვროს შედგენილობა გავარვარებული მყარი ან თხევადი სხეულის, ანდა კიდევ ძლიერ შექუშული გაზისა მათი სპექტრების სახის მიხედვით.

§ 190. გაიშვიათებული ორთქლისა და გაზის გამოსხივების სპექტრები (ხაზოვანი და ზოლოვანი სპექტრები). გავარვარებული გაიშვიათებული გაზი და აგრეთვე ორთქლი, რომელნიც მყარ ან თხევად ნივთიერებათა ძლიერი გაცხელებით მიიღებიან, გამოასხივებენ უწყვეტი სპექტრის არა ყველა სხივს, არამედ ზოგიერთს. გაივლიან რა პრიზმაში ეს სხივები, სხვადასხვა კუთხით გარდატყდებიან და ეკრანზე იძლევიან ჭრილის რამდენიმე ცალკეულ გამოსახულებას სხვადასხვა ფერში. სპექტრი შემდგარი იქნება რამდენიმე ნათელი ხაზისაგან ბნელ ფონზე. რაც უფრო მცირეა ჭრილის სიგანე, მით უფრო ვიწრო იქნება სპექტრული ხაზები (ნახ. 89, 2, 3, 4).

ყოველ ელემენტს გაზოვან მდგომარეობაში აქვს თავისი განსაკუთრებული ხაზოვანი სპექტრი, ასე რომ სპექტრის სახის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს სინათლის წყაროს ქიმიური შედგენილობა. მაგალითად. ნატრიუმის ორთქლი იძლევა სპექტრს ნათელი ორმაგი ყვითელი ხაზით, რომელსაც მუდამ ერთი და იგივე ტალღის სიგრძე (λ 5890 და λ 5896) შეესაბამება; ჰელიუმის იძლევა 12 ხაზს, წყალბადი—7 ხაზს, რომელთაგან სამი მკვეთრად გამოიყოფა. სხვა ელემენტები იძლევიან უფრო რთულ სპექტრებს. მაგალითად, რკინის ორთქლის სპექტრი შედგება ყველა ფერის რამდენიმე ათასი ხაზისაგან. თუ ნივთიერება რთულია, ე. ი. წარმოადგენს რამდენიმე ქიმიური ელემენტის ნაერთს, დიდ ტემპერატურაზე ნაერთი ჩვეულებრივ იშლება და სპექტრში მოჩანს აღებული ნივთიერების ყველა ელემენტის ხაზები შენაცვლებით. თუ ნაერთი არ იშლება, მაშინ ის იძლევა თავის განსაკუთრებულ ე. წ. ზოლოვან სპექტრს, ფართო ფერად ზოლთა მწკრივს ბნელ ფონზე. თითოეული ზოლი შედგება ერთიმეორის გვერდით ძალიან ახლო ფანლაგებულ უამრავი ნათელი ხაზისაგან. ასეთია, მაგალითად, ნახშირწყალბადების სპექტრები. ისინი არ ჰგვანან არც ნახშირბადისა და არც წყალბადის სპექტრებს.

თუ ცნობილია ყველა ელემენტის სპექტრული ხაზების ზუსტი მდებარეობა, მაშინ რომელიმე ნივთიერების შესაბამის სპექტრულ ხაზთა ტალღის სიგრძეების გაზომვით შეიძლება განისაზღვროს ყველა ელემენტი, რომელთაგანაც შედგება ეს ნივთიერება, ე. ი. მოვახდინოთ მისი ანალიზი. სპექტრული ანალიზის ეს მეთოდი ქიმიისაში ასრულებს დიდად მნიშვნელოვან როლს და განსხვავდება არაჩვეულებრივი მგრძობიარობით. მან მთელი რიგი ახალი ქიმიური ელემენტების აღმოჩენამდე მიგვიყვანა.

ამ მეთოდის განსაკუთრებული მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ანალიზის წარმატება არ არის დამოკიდებული გამოსაკვლევი ნივთიერების მანძილზე: იქნება ის ლაბორატორიაში, თუ ვარსკვლავზე, ამას მნიშვნელობა არა აქვს, საჭიროა მხოლოდ, რომ მისგან წამოსული სინათლე იყოს საკმარისად ძლიერი სპექტრული გამოკვლევისათვის.

§ 191. შთანთქმის სპექტრი. მზისა და ვარსკვლავების სპექტრები არ მიეკუთვნება სპექტრების არც ერთ ზემოხსენებულ კლასს. ისინი ქმნიან მესამე განსაკუთრებულ ტიპს: ნათელი სპექტრის ფონზე მოჩანს მრავალრიცხოვანი ბნელი ხაზი (ნახ. 89, 5). ამ ხაზებს ეწოდება ფრაუნჰოფერის ხაზები ფიზიკოს ფრაუნჰოფერის პატივსაცემად, რომელმაც პირველმა შეისწავლა ისინი (1815 წ.). მზის სპექტრის განსაკუთრებულად მკვეთრი ხაზები აღნიშნეს ლათინური ასოებით (ნახ. 89, 5).

შემჩნეული იყო, რომ მზის სპექტრის ბევრი ბნელი ხაზი მოთავსებულია იმავე ადგილზე, სადაც ნათელი ხაზები ხაზოვან სპექტრებში. მაგალითად, მზის სპექტრის ყვითელ უბანში მოჩანს მეტად შესამჩნევი ორმაგი ბნელი ხაზი 1), რომელიც თავისი მდებარეობით ნატრიუმის ნათელ ყვითელ ხაზს ემთხვევა, ე. ი. რომელსაც λ 5890 და λ 5896 ტალღის სიგრძეები შეესაბამება (§ 190).

§ 192. კირხჰოფის აღმოჩენა. მზის სპექტრის ახსნა მოგვცა ფიზიკოსმა კირხჰოფმა 1858 წ. სპექტროსკოპის წინ მან მოათავსა სპირტის სანთურა, რომლის მკრთალ ალში აყრიდა სუფრის მარილს (ნატრიუმქლორს), ასე რომ სპექტროსკოპში გამოჩნდა ნატრიუმის ნათელი ყვითელი ხაზი, ნატრიუმის ალის უკან მან მოათავსა უფრო კაშკაშა და უფრო ცხელი სინათლის წყარო, რომელიც თავისთავად იძლეოდა სავსებით უწყვეტ სპექტრს, სახელდობრ, ე. წ. დრუმონდის სინათლე (მგრგვინავი გაზის ნაკადში სითეთრემდე გავარვარებული კირის ნატეხი). ამგვარად, გავარვარებული კირის სინათლე ნატრიუმის მკრთალ ალში გავლის შემდეგ შედიოდა სპექტროსკოპში. სანამ მარტო ეს ალი ანათებდა, სპექტროსკოპში მხოლოდ ნათელი ყვითელი ხაზი მოჩანდა. როცა უკან კიდევ დრუმონდის სინათლე აანთეს, სპექტროსკოპში გამოჩნდა ნათელი უწყვეტი სპექტრი, ხოლო იმ ადგილზე, სადაც ახლახან მოჩანდა ბრწყინვალე ყვითელი ხაზი, აღმოჩნდა სრულიად ისეთივე ბნელი ხაზი, როგორიც ფრაუნჰოფერის 1) ხაზია.

მან ეს ცდა გაიმეორა რკინის ორთქლზე, რომელიც მეტისმეტად რთულ სპექტრს იძლეოდა. მიიღო რა ისეთივე გადასვლა ნათელი ხაზებისა ბნელ ხაზებში, კირხჰოფმა ახსნა მის მიერ აღმოჩენილი მოვლენა, როგორც შედეგი აბალი ფიზიკური კანონისა. იგი წოდებულია კირხჰოფის კანონად:

თუ სინათლე წყაროდან, რომელიც უწყვეტ სპექტრს იძლევა, გაივლის უფრო ცივი გაზის (ან ორთქლის) ფენაში, მაშინ გაზის სპექტრის ყველა სხივიდან შთანთქავს იმ სხივებს, რომლებსაც თვითონ გამოასხივებს გავარვარებულ მდგომარეობაში. ასე, მაგალითად, ნატრიუმი, რომელიც იძლევა მხოლოდ ყვითელ სხივებს განსაზღვრული ტალღის სიგრძით, უწყვეტი სპექტრის ყველა სხივიდან შთანთქავს სწორედ ყვითელს და გაატარებს ყველა დანარჩენს. ანიტომ სპექტრის ყვითელ უბანში მიიღება ბნელი შუალედი ვიწრო ორმაგი ხაზის სახით. სინათლის ასეთ შთანთქმას ეწოდება შერჩევითი შთანთქმვა.

ამგვარად, შთანთქმის სპექტრი წარმოადგენს გავარვარებული მყარი ან თხევადი სხეულის, ან ძლიერად შეკუმშული გაზის სპექტრს, როდეს-

საც მათგან წამოსული სხივები გაივლიან უფრო დაბალი ტემპერატურის მქონე გაიშვიათებულ გაზში. რადგან გაზი შთანთქავს ყველა იმ სხივს, რომლებსაც თვითონ გამოასხივებს, ამიტომ უწყვეტი სპექტრის ფონზე მიიღება გაზის სრული სპექტრი; მაგრამ ეს არ იქნება ნათელი ხაზებისაგან შემდგარი სპექტრი (გამოსხივების სპექტრი), არამედ იქნება შთანთქმის სპექტრი—შედგენილი ბნელი ხაზებისაგან, რომელთა მდებარეობა და ინტენსივობა სრულიად ისეთივეა, როგორც პირველი სპექტრის ხაზებისა.

§ 193. მნათობთა კიმიური ანალიზი. რადგან მზისა და ვარსკვლავების სპექტრები წარმოადგენს შთანთქმის სპექტრებს, ამიტომ აშკარაა, რომ მნათობთა გავარვარებული სფერო გარემოცულია გაზოვანი გარსით, ატმოსფეროთი, რომელშიც წარმოიშვება ფრაუნჰოფერის ხაზები. ბნელი ხაზების მდებარეობის გაზომვით და მათი შედარებით დედამიწაზე არსებული ელემენტების ცნობილ ხაზებთან, შეიძლება განისაზღვროს ამ მნათობთა ატმოსფეროების ქიმიური შედგენილობა.

§ 194. ხაზების გადაადგილება და სხივური სიჩქარეები. სპექტროსკოპის დიდ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს მისი გამოყენება ცის მნათობთა მოძრაობების სიჩქარეთა გაზომვაში, ამასთანავე ისეთი მოძრაობების, რომელთა შემჩნევა სრულიად შეუძლებელია სხვა მეთოდებით. სწორედ სპექტრული დაკვირვებები იძლევა საშუალებას განვსაზღვროთ სიჩქარე მხედველობის სხივის გასწვრივ, ე. ი. ის სიჩქარე, რომლითაც ვარსკვლავი გვიახლოვდება ან გვეშორდება. ამ სიჩქარის გაზომვა დამყარებულია ე. წ. დოპლერის პრინციპზე. ეს პრინციპი ჩამოყალიბებული იყო 1847 წელს, მაგრამ დასავლეთ ევროპის თეორეტიკოსთა შორის დაეა გამოიწვია და საბოლოოდ დამტკიცებულ იქნა ლაბორატორიული ცდებით ა. ა. ბელოპოლსკის მიერ პულკოვოში 1900 წელს.

წარმოვიდგინოთ, რომ ვაკვირდებით სპექტრს ორი *A* და *B* მნათობისას, რომელთაგან პირველი უძრავია დედამიწის მიმართ და მეორე გვიახლოვდება ძალიან დიდი სიჩქარით. სიმარტივისათვის მივიღოთ, რომ თითოეული მნათობის სპექტრი შედგება მხოლოდ ერთი ნათელი ხაზისაგან, მაგალითად, ნატრიუმის ყვითელი ხაზისაგან. *B* მნათობის მოახლოების გამო, ჩვენს თვალში ყოველ სექუნდში *B* მნათობიდან მოხედება სინათლის ტალღების უფრო მეტი რაოდენობა, ვიდრე უძრავი *A* მნათობიდან, შუალედი ერთიმეორის მომდევნო ტალღებს შორის გამოდის უფრო მცირე და, მაშასადამე, ტალღათა სიხშირე უფრო მეტი, ვიდრე *A*-სათვის. მაგრამ სინათლე, რომლის რხევათა სიხშირე მეტია, ვიდრე ნატრიუმის ხაზისა, სხვა ფერის უნდა იყოს, ე. ი. არა ყვითელი, არამედ უფრო მომწვანო და მისი სპექტრის ერთადერთი ხაზი, ამგვარად, რამდენადმე მოკლე ტალღებისაქენ, ე. ი. იისფერი ბოლოსაკენაა გადაადგილებული. ეს გადაადგილება მით უფრო მეტი იქნება, რაც უფრო მეტია ვარსკვლავის სიჩქარე „მხედველობის სხივის“, ე. ი. მნათობისა და დამკვირვებლის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. გავზომავთ რა ამ გადაადგილებას და ვიცით რა სინათლის სიჩქარე, ადვილად გამოვთვლით ვარსკვლავის „სხივურ სიჩქარეს“.

თუ მნათობი გვეზოდება, მაშინ სპექტრული ხაზი ლაბორატორიებში განსაზღვრულ მის ნორმალურ მდებარეობასთან შედარებით სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ იქნება გადაადგილებული.

ეს მსჯელობა არ შეიცვლება, თუ სპექტრში გვექნება ნებისმიერი რაოდენობა ხაზებისა, და, თუ ამასთან, ეს ხაზები იქნება არა გამოსხივების, არამედ შთანთქმის, ე. ი. ბნელი ხაზები სპექტრის უწყვეტ ფონზე. ყველა ისინი აღმოჩნდებიან გადაადგილებულნი ამა თუ იმ მხარეს იმისდა მიხედვით, თუ როგორია სხივური სიჩქარის მიმართულება.

თუ მოვიგონებთ, რომ რხევის სიხშირე n დამოკიდებულია λ ტალღის სიგრძეზე მარტივი ფორმულით $n = \frac{c}{\lambda}$ (§ 187), გადაადგილების სიდიდე შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\lambda' - \lambda = \frac{v}{c} \lambda,$$

სადაც λ არის უძრავი წყაროს სინათლის ტალღის სიგრძე, λ' მხედველობის სხივის გასწვრივ მნათობის მოძრაობის გამო შეცვლილი ტალღის სიგრძეა, v მნათობის სიჩქარეა, ხოლო c —სინათლის სიჩქარე.

დოპლერის ფორმულის გამოყვანა

ვთქვათ, სინათლის წყარო ჩვენგან v სიჩქარით მოძრაობს და 1 სეკუნდის განმავლობაში n ტალღას გაუშვას. პირველი ამ ტალღათაგანი აღწევს ჩვენამდე d მანძილიდან, უკანასკნელი კი $d+v$ მანძილიდან; მაშასადამე, პირველი აღწევს ჩვენამდე d/c სეკუნდში, ხოლო მეორე — $(d+v)/c$ სეკუნდში, ე. ი. იგვიანებს v/c სეკუნდით. ამგვარად, დამკვირვებელი n რხევას მიიღებს არა ერთი სეკუნდის განმავლობაში, არამედ $1+v/c$ სეკუნდში. რხევათა სიხშირე (ე. ი. მათი რიცხვი 1 სეკუნდში) იქნება

$$n' = \frac{n}{1 + v/c};$$

ტალღის ახალი სიგრძე შესაბამისად იქნება

$$\lambda' = \frac{c}{n'} = \frac{c(1 + v/c)}{n} = \frac{c}{n} + \frac{v}{n}.$$

თუ n -ს შევცვლით $\frac{c}{\lambda}$ -თი [§ 187-ის (3) ფორმულის მიხედვით], მივიღებთ (4) ფორმულას. მნათობის მოახლოების შემთხვევაში v აიღება უარყოფითი ნიშნით.

სპექტრული ხაზების გადაადგილება, რომელიც გამოწვეულია მხედველობის სხივის გასწვრივ მოძრაობით, მეტისმეტად მცირეა, რადგან ციური სხივების v სიჩქარეები სინათლის სიჩქარესთან შედარებით ($c \approx 300\,000$ კმ/სეკ) მცირე სიდიდეებია. ამიტომ სხივურ სიჩქარეთა ზუსტი განსაზღვრა შესაძლებელი გახდა მხოლოდ იმის შემდეგ, რაც ვარსკვლავთ სპექტრების ფოტოგრაფია დაიწყო.

§ 196. გრავიტაციული გადაადგილება. ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ერთ-ერთ შედეგს წარმოადგენს დასკვნა, რომ რომელიმე სინათლის წყა-

როს მიერ გამოსხივებული სინათლის თვისებები დამოკიდებულია სიმძიმის ძალაზე. წარმოვიდგინოთ, რომ მონოქრომატული სინათლის წყარო, რომელიც 1 სექუნდის განმავლობაში დედამიწაზე რხევათა გარკვეულ რიცხვს აგზავნის, გადატანილია ცის სხვა სხეულზე, სადაც სიმძიმის ძალის აჩქარება მეტია. მაშინ, ფარდობითობის თეორიის თანახმად, სინათლის რხევები რაპიდენადმე შენელებდა და ტალღის სიგრძე შესაბამისად გადიდდება. ეს გამოიწვევს სპექტრული ხაზების სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ გადაადგილებას. გადაადგილების სიდიდე ადვილად გამოითვლება, თუ ცნობილია სინძიის ძალის აჩქარება მნათობის ზედაპირზე.

ეს გადაადგილება მზეზედაც კი უმნიშვნელოა და დაკვირვებებით ძლიერი ძლიობით იქნა აღმოჩენილი. მაგრამ არსებობს მზეზე ბევრად უფრო მეტი სიმკვრივის ვარსკვლავები, რომელთა ზედაპირზე სიმძიმის ძალის აჩქარება არაჩვეულებრივად დიდი უნდა იყოს. როდესაც მოხერხდა ასეთი ვარსკვლავის სპექტრის ფოტოგრაფირება (მაგ. სირიუსის თანამგზავრის, § 297), მისი სპექტრული ხაზები აღმოჩნდა შესამჩნევად გადაადგილებული სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ და ამასთან სწორედ ისეთი სიდიდით, რომელიც ადრევე ნაწინასწარმეტყველვე იყო ფარდობითობის თეორიით.

§ 196. სპექტრი და მნათობის ფიზიკური თვისებანი. მნათობის სპექტრის სახის მიხედვით შეიძლება გამოტანილ იქნეს დასკვნა არა მარტო მის ქიმიურ შემადგენლობაზე, არამედ მის ზოგიერთ ფიზიკურ თვისებაზედაც.

ა) ლაბორატორიული ცდები გვიჩვენებენ, რომ წნევის გადიდებით გაზის სპექტრული ხაზები განიცდიან გაგანიერებას და, გარდა ამისა, სპექტრში გამოჩნდება ახალი ხაზები. ამგვარად, სპექტრს შეუძლია მოგვცეს წარმოდგენა წნევაზე ვარსკვლავის ატმოსფეროში და აგრეთვე ამ ატმოსფეროს სისქეზე.

ბ) კიდევ უფრო ძლიერად იცვლება გაზის ხაზოვანი სპექტრი ტემპერატურის ცვლილებასთან ერთად. რამდენიმე ათასი გრადუსი ტემპერატურის პირობებში ატომები განიცდიან იონიზაციას, ე. ი. კარგავენ თავიანთი ელექტრონების ნაწილს. ამიტომ იონიზებული ატომი გამოასხივებს სინათლის ტალღებს სხვანაირად, ვიდრე იმავე ელემენტის ნორმალური, ანუ როგორც ჩვეულებრივ ამბობენ, „ნეიტრალური“ ატომი, და მისი სპექტრი იცვლება: მასში წარმოიშობიან მეტისმეტად ვიწრო ხაზები, რომლებსაც ნაპერვკლური ხაზები ეწოდება. ნეიტრალური ატომი კი იძლევა სპექტრს რკალური ხაზებით, ე. ი. უფრო დაბალი ტემპერატურის მქონე ელექტრული რკალის სპექტრული ხაზებით. გავარეარებული გაზის იონიზაცია მით უფრო ძლიერია (მისი ატომების მით უფრო მეტი პროცენტია იონიზებული), რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა და რაც უფრო ნაკლებია წნევა. სხვადასხვა ელემენტი იონიზდება სხვადასხვანაირად. ყველაზე ძნელად — მეტისმეტად მაღალი ტემპერატურის დროს — ჰელიუმი და წყალბადი. ამგვარად, იონიზაციის თეორია ხსნის ვარსკვლავთ სპექტრების ბევრ თავისებურებას.

გ) სპექტრის სახის მიხედვით შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა მაგნიტურ და აგრეთვე ელექტრულ ძალებზე, რომლებიც მოქმედებენ

ცის სხეულებზე. ფიზიკიდან ცნობილია, რომ თუ სინათლის წყაროს მოვათავსებთ ძლიერ მაგნიტურ ველში, სპექტრული ხაზები გაიყოფა (ზეემანის მოვლენა). ამასთანავე, თუ სხივი მოდის მაგნიტური ძალხაზების პარალელურად, ხდება სპექტრული ხაზების გაორება, მიიღება „დუბლეტები“; თუ სხივის მიმართულება ძალხაზების მართობულია, მაშინ ხაზები გადაიქცევიან „ტრიპლეტებად“. როგორც შემდეგში დავინახავთ, ყველაფერი ეს აღნიშნულია მზის და ვარსკვლავთ სპექტრებში.

§ 197. სპექტრული ხელსაწყოები. ა) საობიექტივო პრიზმა. რეფრაქტორის ობიექტივის წინ იდგმება პრიზმა. ის რომ არ იყოს, ყოველი ვარსკვლავი მოგვეჩვენა ობიექტივის ფოკუსში გამოსახულებას წერტილის სახით, სადაც თავს მოიყრიდა განსხვავებული გარდატეხის მქონე სხივები. პრიზმის მოქმედების შედეგად ეს სხივები გადაიხრებიან პრიზმის ფუძის მიმართულებით სხვადასხვა კუთხით, რომელთა სიდიდე დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე. ობიექტივი თავს უყრის რა სხივებს ფოკუსში, ყოველი ფერის სხივისათვის გამოსახულებას სხვა ადგილზე იძლევა, რის შედეგად ვარსკვლავის გამოსახულებას ვიწრო ცისარტყელასმაგვარი ზოლის სახე ექნება. მარტივი მოწყობილობის საშუალებით ხაზი შეიძლება გაეაგანიეროთ მისი სიგრძის შეუცვლელად და მივიღებთ ფართოზოლს—სპექტრს. წინათ ამ სპექტრს ლუბით (ოკულარით) განიხილავდნენ; ახლა კი ჩვეულებრივ ახდენენ მის ფოტოგრაფირებას, ათავსებენ რა ფირფიტას ობიექტივის ფოკუსში.

ეს ხელსაწყო მოხერხებულია იმით, რომ ერთდროულად შეიძლება მიღებულ იქნეს სპექტრები მილის მხედველობის არეში მოთავსებული ყველა ვარსკვლავისათვის. მაგრამ ცალკეულ მნათობთა სპექტრის დეტალურად შესასწავლად ის საკმარისი არ არის.

ბ) რთული სპექტროსკოპი (იხ. ნახ. 90) მოწყობილია, საერთოდ ისევე, როგორც ფიზიკური ლაბორატორიების სპექტროსკოპები. ის შედგება *A* კოლიმატორის, *B* პრიზმისა (ან რამდენიმე პრიზმის ან კიდევ ე. წ. დიფრაქციული მესერისაგან) და *B* სამზერი მილისაგან ობიექტივითა და *O* ოკულარით. მთელი აპარატი მიიღგმება ტელესკოპთან ისე, რომ კოლიმატორის *N* კრილი მილის ობიექტივის ფოკუსში მოთავსდეს. კრილზე მიიღება ვარსკვლავის გამოსახულება. რადგან კრილი მოთავსებულია კოლიმატორის ობიექტივის ფოკუსშიც. ამიტომ კრილიდან სხივები ობიექტივში გავლის შემდეგ ეცემიან პრიზმზე პარალელურ კონად, თითქოს უსასრულოდ დიდი მანძილიდან. შემდეგ *I*; მილის მოქმედება ისეთივეა, როგორც წინა (საობიექტივო პრიზმის) შემთხვევაში: მისი ობიექტივის ფოკუსში მიიღება სპექტრის გამოსახულება. რომელსაც დისკოს მქონე მნათობისათვის, მაგალითად მზისათვის, მეტნაკლებად განიერი ზოლის სახე აქვს. ვარსკვლავთათვის სპექტრი მიიღება ვიწრო ხაზის სახით. ეს სპექტრი შეიძლება განხილულ იქნას ოკულარში ან კიდევ გადაღებული ფოტოგრაფიულად. ამჟამად სპექტრს თითქმის უკლებლივ ფოტოგრაფიულად იღებენ, ასე რომ თანამედროვე ასტრონომიის ყველა სპექტრული აპარატი არსებითად სპექტროგრაფებია და არა სპექტროსკოპები.

თანამედროვე სპექტროგრაფები უმაღლეს სრულყოფამდეა აყვანილი. გამოგონებულია განსაკუთრებული მოწყობილობა იმისათვის, რომ ფოტოგრაფირებისას რამდენიმე საათის განმავლობაში ვარსკვლავის გამოსახულება მუდმივად რჩებოდეს ქრილზე, რომლის სიგანე ნაკლებია 0,1 მმ. ამასთან ნიღბულია ზომები, რომ მთელი გადაღების პროცესში ხელსაწყოს ტემპერატურა არ იცვლებოდეს 0°,1-ათც კი, წინააღმდეგ შემთხვევაში ფირფიტაზე სპექტრული ხაზები „გაიღდაბნებიან“. ამ ღონისძიებათა განხორციელებით მოპოვებულია განსაკუთრებული შედეგები, რომელთა შესახებ შემდეგ გვეჩვენება ლაპარაკი.

§ 198. მნათობთა ფოტომეტრია. ჩვენ შეგვიძლია არა მარტო ანალიზი გავუყუთოთ მნათობიდან წამოსულ სინათლეს, არამედ გავზომოთ მისი ძალა, ე. ი. სინათლის სიკაშკაშე. ასტრონომიის იმ დარგს, რომელიც ცის მნათობთა სიკაშკაშეს შეისწავლის, ცის სხეულთა ფოტომეტრია ანუ ასტროფოტომეტრია ეწოდება, ხოლო ხელსაწყობს, რომელიც ამ მიზნებს ემსახურება—ფოტომეტრები. ჩვენ შევხვებით მეცნიერების ამ უაღრესად მნიშვნელოვან და სწრაფ განვითარებაში მყოფი დარგის მხოლოდ ძირითად მეთოდებს და ხელსაწყობებს.

ა) სინათლის შემსუსტებელი ფოტომეტრები. ასეთი სახის ყველა ხელსაწყო ისეა მოწყობილი, რომ დამკვირვებელი მილის მხედველობის არეში იმ ვარსკვლავის გვერდით, რომლის სიკაშკაშე უნდა გაიზომოს, ხედავს აგრეთვე კიდევ „შესადარებელ ვარსკვლავს“, ჩვეულებრივ ხელოვნურს, რომელიც მიიღება, მაგალითად, ელექტრონათურის სინათლიდან. დაკვირვება მდგომარეობს იმაში, რომ ხელოვნური ვარსკვლავის სინათლეს ასუსტებენ მანამ, სანამ მისი სიკაშკაშე ნამდვილი ვარსკვლავის სიკაშკაშეს არ გაუთანაბრდება. სინათლის ასეთნაირად შესუსტების სიდიდე იზომება ზუსტად, რისთვისაც ცნობილია რამდენიმე მეთოდი. ხელოვნური ვარსკვლავის შესუსტების სიდიდის მიხედვით კი გამოითვლება დასაკვირვებელი ვარსკვლავის სიკაშკაშე. ასეთი ტიპის ყველა ინსტრუმენტში სინათლის სიკაშკაშის გაზომვა წარმოებს არსებითად ჩვენი თვალით. თვალი წყვეტს საკითხს, თანაბარია თუ არა ორივე შესადარებელი ვარსკვლავის სიკაშკაშე. ამიტომ ძალიან ზუსტი გაზომვები ამ მეთოდით შეუძლებელია.

ზუსტად რომ ვთქვათ, სინათლის ორი წერტილოვანი წყაროს შედარების დროს ჩვენ არ ვზომავთ მათ სიკაშკაშეს. ფიზიკაში ტერმინის „სიკაშკაშის“ ქვეშ იგულისხმება სინათლის ენერჯიის რაოდენობა, რომელსაც მნათობიექტი ზედაპირის ერთეულიდან ერთი სეკუნდის განმავლობაში გამოასხივებს. ფოტომეტრის საშუალებით (ან კიდევ შეუიარაღებელი თვალთ დაკვირვების დროს) ჩვენ ვაფასებთ განათებულობას, რომელსაც მნათობი და ხელოვნური ვარსკვლავი ქმნის ჩვენი თვალის ბაღურაზე. ტერმინოლოგიაში აბნეულობის თავიდან ასაცილებლად, ეს განათებულობა ახლა წოდებულია მნათობის ბრწყინვალებად (და არა ხილულ სიკაშკაშედ, ტერმინი, რომელიც შეიძლება შეგვხვდეს ბევრ წიგნში). შემდეგ გადმოცემაში ჩვენ ეისარგებლებთ ტერმინით „ბრწყინვალება“.

ბ) ფოტომეტრი „ხელოვნური თვალით“. XX საუკუნეში აგებული იყო ხელსაწყოები, რომლებიც მათზე დაცემული სინათლის სიკაშკაშის რხევებისადმი უფრო მგრძობიარეა, ვიდრე ადამიანის თვალი. აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთი მეტალის განათების დროს (სელენი, კალიუმი და სხვ.) წარმოიშვება სხვადასხვა ელექტრული მოვლენა, რომელთა ინტენსივობა კანონზომიერ დამოკიდებულებაში იმყოფება მეტალზე დაცემული სინათლის რაოდენობასთან. სწორედ ამ თვისებით სარგებლობენ ფოტომეტრიაში. ყველაზე ადრე აგებული იყო სელენის ფოტომეტრები—დაფუძნებული იმ თვისებებზე, რომ ელექტრულ წრედში ჩართული მეტალი სელენი სიბნელეში თითქმის არ ატარებს ელექტრულ დენს, ხოლო განათების დროს მისი წინააღმდეგობა მკვეთრად ეცემა და გაატარებს დენს.

ამჟამად ძალიან გავრცელებულია ფოტოელექტრული ფოტომეტრები. ამ ფოტომეტრებს საფუძვლად უდევს რუსი ფიზიკოსის ა. გ. სტოლეტოვის შიერ აღმოჩენილი (1890 წ.) ფოტოელექტრული დენის (ფოტოდენის) შემდეგი მოვლენა: კალიუმის (ან სხვა „ტუტე“ მეტალის) ფირფიტა, დამუხტული უარყოფითი ელექტრობით, სწრაფად კარგავს თავის მუხტს, თუ მას გაგანათებთ. თუკი მას გამტარით სხვა მეტალის ფირფიტასთან შევაერთებთ, განათების შემთხვევაში გამტარში გაივლის დენი. დაკვირვება, ორივე ტიპის ფოტომეტრების შემთხვევაში, მდგომარეობს იმაში, რომ ერთ-ერთი მეტალის პატარა ფირფიტას (პირველ შემთხვევაში „სელენის ელემენტი“, მეორე შემთხვევაში კი „ფოტოელექტრული ელემენტი“) ათავსებენ დიდ რეფრაქტორის ფოკუსში ისე, რომ მასზე ეცემოდეს ვარსკვლავის გამოსახულება; ასეთ პირობებში წარმოშობილ ელექტრულ მოვლენებს ლაბორატორიული ხელსაწყოებით ზომავენ.

მსგავსივე ფოტოელემენტის საშუალებით წარმოებს მერიდიანზე ვარსკვლავთ გავლის მონენტების ზემოაღწერილი ავტომატური რეგისტრირება (§ 80, ნ. ნ. პავლოვის მეთოდი).

გ) ფოტოგრაფიული ფოტომეტრია. ფოტომეტრიაში, ისე როგორც ასტრონომიის სხვა დარგებში, ფოტოგრაფიული მეთოდი ყოველწლიურად უფრო მეტ და მეტ გამოყენებას პოულობს. ფოტოგრაფიულ ნეგატივზე ვარსკვლავები გამოდის სხვადასხვა სიდიდისა და სხვადასხვანაირი სიშავის მქონე წრეების სახით: რაც უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი, მით უფრო დიდია მისი გამოსახულების დიამეტრი და გაშავებულობის ხარისხი. ამიტომ ვარსკვლავის ბრწყინვალეობა შეიძლება გამოითვალოს როგორც შესაბამისი წრის დიამეტრის გაზომვით, ისე გაშავებულობის ხარისხის განსაზღვრით. ამჟამად უმეტესად მიღებულია მეორე მეთოდი; ფირფიტაზე გაშავებულობის ხარისხის გასაზომად სარგებლობენ ხელსაწყოთი, რომელსაც მიკროფოტომეტრი ეწოდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფოტოგრაფიული ფოტომეტრიის შედეგები ხშირად არ თანხვდება თვალით განსაზღვრულ (ეგრეთ წოდებულ „ვიზუალურ“) სიდიდეებს, რადგან წითელი ვარსკვლავები ფოტოფირფიტაზე ბევრად უფრო მკრთალად გამოდის იმავე ვიზუალური ბრწყინვალეობის თეთრ ვარსკვლავებთან შედარებით.

ამჟამად ასტრონომიაში ფართოდ არის გამოყენებული სპეციალური ფოტოფირფიტები, გამგრძობიარებული სხვადასხვა ტალღის სიგრძის სხივებისადმი თვით ინფრაწითელ სხივებამდე, რომლებიც მდებარეობენ სპექტრის წითელი უბნის შემდეგ და თვალისათვის უხილავია. ამგვარად გამგრძობიარებულ ფოტოფირფიტებს სენსიბილიზებულს უწოდებენ.

§ 199. რადიოასტრონომია. რადიოასტრონომია ასტრონომიის ახალი დარგია, რომელიც აღმოცენდა და არაჩვეულებრივად განვითარდა უკანასკნელი ათი წლის განმავლობაში კოსმოსური ობიექტების შესასწავლად რადიოფიზიკური მეთოდების გამოყენების საფუძველზე. როგორც ცნობილია ცის სხეულები ინფრაწითელ, ხილულ და ულტრაიისფერ სხივებთან ერთად გამოასხივებენ რადიოტალღებსაც. ამჟამად ცის სხეულების რადიოგამოსხივება აღმოჩენილია ტალღის სიგრძეთა დიაპაზონში სანტიმეტრის რამდენიმე მეათედის ნაწილებიდან 10—20 მეტრამდე. უფრო მოკლეთალღოვანი გამოსხივება, რამდენიმე მილიმეტრის ტალღის სიგრძისა, შთაინთქმება წყლის ორთქლის მოლეკულების მიერ, რაც ჩვენს ატმოსფეროში ყოველთვის არსებობს. 10—20 მეტრზე მეტი ტალღის სიგრძის (მკვეთრი საზღვარი არ არსებობს) რადიოგამოსხივება კი აირეკლება და შთაინთქმება ღედამიწის იონოსფეროს მიერ.

ცის სხეულთა რადიოგამოსხივება შეიმჩნევა და გამოიკვლევა რადიოტელესკოპების (იხ. § 77) დახმარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ცის სხეულთა რადიოგამოსხივებას, როგორც წესი, უწყვეტი სპექტრი აქვს, ე. ო. შეიცავს ყველა სიხშირის (ტალღის სიგრძის) რადიოტალღებს; თუმცა ამჟამად მოხერხდა ვარსკვლავთშორისეთის წყალბადის მონოქრომატული გამოსხივების აღმოჩენაც. ამის შესახებ დაწვრილებით გადმოცემული იქნება § 322-ში.

რადიოასტრონომია საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ცის ობიექტების ტემპერატურა, მოძრაობის სიჩქარე და სხვა ფიზიკური მახასიათებლები.

მ ზ ე

§ 200. მზე ცთომილთა სისტემის ცენტრალური სხეულია. რადგანაც მზის სიდიდე და მასა ყველაზე დიდ ცთომილებთან შედარებითაც კი უზარმაზარია, ამიტომ მისი ძლიერი მიზიდულობა წარმოადგენს მთავარ ძალას, რომელიც განაგებს ჩვენს სისტემაში შემავალ სამყაროს სხეულთა მოძრაობას. კიდევ უფრო მეტად ენიშენელოვანია ის, რომ მზე წარმოადგენს ენერგიის უზარმაზარ წყაროს, რომელიც ყველა მიმართულებით განუწყვეტლივ გზავნის სითბოსა და სინათლის უდიდეს რაოდენობას. მზის მიერ გამოსხივებული მთელი ენერგიის ის უმნიშვნელო ნაწილი, რომელიც დედამიწაზე მოდის, წარმოშობს და ინახავს მთელ სიცოცხლეს მის ზედაპირზე.

სამყაროში კი მზე თავისი როლით უბრალოდ ვარსკვლავია, ისეთივე, როგორიც მილიონობით სხვა ვარსკვლავები. ჩვენ ახლა ვიცნობთ მრავალ ვარსკვლავს, რომლებიც ბევრად უფრო დიდია და კაშკაშა, ვიდრე მზე.

§ 201. მზის მანძილი, ხიდიდე და მასა. დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილი, ანუ ევრეთ წოდებული ასტრონომიული ერთეული (§ 117) 149,5 მილიონ კილომეტრს შეადგენს (თუ მზის პარალაქსს 8",80-ის ტოლად მივიღებთ). დედამიწის ორბიტის ელიფსურობის გამო ეს მანძილი პერიაპელიუმში (ინვარში) $2\frac{1}{2}$ მილიონი კილომეტრით ნაკლებია, აფელიუმში კი (ივლისში) ამდენადღე მეტი. დედამიწაზე არსებულ მანძილებთან შედარებით მზემდე მანძილი უზარმაზარია. ის თითქმის 400-ჯერ მეტია მთვარემდე მანძილზე და მას სინათლის სხივი 8 მინუტისა და 18 სექუნდის (თითქმის 50 სექუნდის) განმავლობაში გადის.

მას შემდეგ, რაც ვიცით ეზემდე მანძილი, ანდა პარალაქსი, ადვილად გამოვითვლით მის ჰემარიტ დიამეტრს ხილული კუთხური დიამეტრის საშუალებით, რომელიც $\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე ცოტათი მეტია, ანდა უფრო ზუსტად $31'59''$,3-ია. აქედან საშუალო კუთხური რადიუსი იქნება $\rho = 15'59''$,6 = $959''$,6.

ამ სიდიდისა და მზის პარალაქსის (8",80) § 111-ის (12) ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ მზის ხაზოვან რადიუსს (R_{\odot} -ს):

$$R_{\odot} = \frac{959'',6}{8'',80} R = 109,1 R,$$

სადაც R დედამიწის რადიუსია.

მაშასადამე, მზის დიამეტრი დამრგვალებულ რიცხვებში 109-ჯერ მეტია დედამიწის დიამეტრზე და შეადგენს თითქმის 1 400 000 კმ; თუ დედამიწას წარმოვიდგინებთ მზის ტოლ ცარიელ სფეროს ცენტრში, მაშინ მთვარე ამ სფეროს შიგნით მოთავსდებოდა ცენტრიდან ისეთ მანძილზე, რომელიც ცოტათი აღემატება სფეროს რადიუსის ნახევარს. მზის მოცულობა დედამიწის მოცულობაზე (109)²-ჯერ ანუ დაახლოებით 1306 000-ჯერ მეტია.

მზეს ისეთივე სიმკვრივე რომ ჰქონოდა, როგორც დედამიწას აქვს, მაშინ მისი მასა დედამიწის მასაზე 1306 000-ჯერ მეტი იქნებოდა. მაგრამ მზის მასა დედამიწის მასაზე მეტია მხოლოდ 330000-ჯერ (§ 175). მაშასადამე, მზის სიმკვრივე ტოლია $330\,000 : 1306\,000 = 0,256$, ანუ დედამიწის სიმკვრივის $\frac{1}{4}$ -ზე ცოტათი უფრო მეტია. წყალთან შედარებით მზის სიმკვრივე შეადგენს 1,4-ს. ასეთი მცირე სიმკვრივე მოწმობს იმას, რომ მზე არ არის მყარი სხეული.

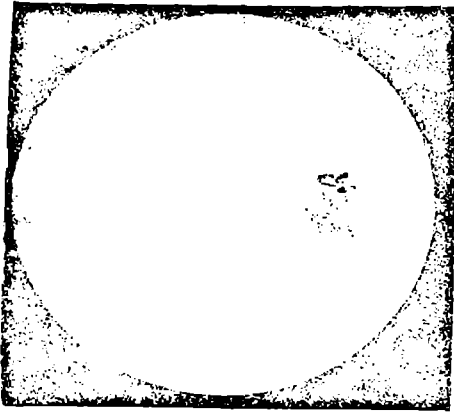
მზის ზედაპირზე სიმძიმის ძალა (ანუ მზის მიზიდულობის ძალა) დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალასთან შედარებით შეადგენს $330000 : (109,1)^2 = 27,9$.

§ 202. მზის საერთო სახე და სიკაშკაშე. სინათლის იმ წყაროებიდან, რომლებითაც აღამიანი სარგებლობს, ყველაზე უფრო ძლიერ წყაროს მზე წარმოადგენს. მისი ზედაპირის სიკაშკაშე 10-ჯერ მეტია ელექტრული რკალის ყველაზე უფრო ელვარე ადგილის სიკაშკაშეზე (სხვა სიტყვებით, მზის მთელ ზედაპირს ისეთივე სიკაშკაშე რომ ჰქონოდა, როგორც ელექტრული რკალის ამ წერტილს აქვს, მაშინ მზე 10-ჯერ უფრო ნაკლებ სინათლეს გამოგვიგზავნიდა, ვიდრე ახლა გზავნის).

სრულ მთვარესთან შედარებით მზე დაახლოებით ხუთას ათას-ჯერ უფრო მეტად კაშკაშაა. ეს შედეგი მიღებულია რამდენიმე სრულიად სარწმუნო ფოტომეტრიული ხერხით (§ 282), რომელთაგან ერთ-ერთი წარმოადგენს მოსკოვის უნივერსიტეტის პროფესორის ვ. კ. ცერასკის ორიგინალურ ხერხს. მან ეს ხერხი 1881 წელს გამოიყენა.

მზის მთელ დისკოს ერთნაირი სიკაშკაშე არა აქვს. სრულიად მარტივი დაკვირვებები გვიჩვენებენ, რომ სიკაშკაშე ცენტრში მეტია, ნაპირებისაკენ კითანაბრად კლებულობს (ნახ. 91). ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მზის ცენტრიდან მისი ნაპირისაკენ გადასვლისას ტემპერატურა კლებულობს და ამასთან, მზის წიაღისეული ნივთიერების მნიშვნელოვანი გაუმჟებარელობის გამო ჩვენ ვაკვირდებით არა მთელი მზის გამოსხივებას, არამედ მხოლოდ იმას, რომელიც გამომდინარეობს რომელიმე განსაზღვრული სისქის ზედაპირული ფენიდან. ამიტომ დედამიწაზე დამკვირვებლამდე მოღწეული გამოსხივება, მომავალი მზის დისკოს ცენტრიდან, მოდის უფრო ცხელი ფენებიდან, ვიდრე გამოსხივება ნაპირებიდან, რომელიც მომდინარეობს უფრო ზედაპირული და, მაშასადამე, უფრო ცივი და ნაკლებ კაშკაშა ფენებიდან (ნახ. 92).

მზეზე დაკვირვებას ართულებს სინათლისა და სითბოს უდიდესი რაოდენობა, რომელსაც ის გამოასხივებს. მასზე ტელესკოპით პირდაპირ ყურება არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება: ამას მოჰყვება მყისვე მზედველობის დაკარგვა. სუსტი ხელსაწყოების შემთხვევაში ოკულარს მუქი ფერის მინას მიახრახნიან, შედარებით ძლიერი ხელსაწყოებისათვის კი ეს უკვე საკმარისი აღარ არის და სინათლის შესასუსტებლად უფრო რთულ მოწყობილობებს ხმარობენ (ჰელიოსკოპურ ოკულარებს).

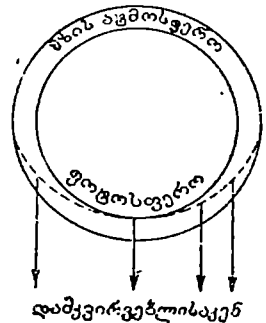


ნახ. 91

სავლეთისაკენ). ბრუნვის ღერძი არ არის ეკლიპტიკის სიბრტყის პერპენდიკულარული, არამედ ამ სიბრტყის პერპენდიკულართან შეადგენს დაახლოებით 7°-ს კუთხეს. უძრავი დამკვირვებლისათვის მზის ერთი სრული შემობრუნების დრო 25,2 დღე-ღამეს უდრის. ეს მზის ვარსკვლავიერი ბრუნვაა. რადგანაც დედამიწა თვითონ მოძრაობს თავის ორბიტზე იმავე მიმართულებით, საითაც მზე ბრუნავს, ამიტომ მზის ერთი ვარსკვლავიერი შემობრუნების განმავლობაში ის წავა წინ და მზე კიდევ რაღაც კუთხით უნდა შემოტრიალდეს, რომ წინანდელი ლაქა ისევ დედამიწისაკენ იყოს მოქცეული. ამიტომ მოძრავი დედამიწის მიმართ მზის ბრუნვის პერიოდი, ანუ სინოდური ბრუნვის დრო, რამდენადმე უფრო გრძელია და შეადგენს 27 დღე-ღამეზე ცოტა მეტს. მზის ვარსკვლავიერი ბრუნვა გამოითვლება დაკვირვებიდან მიღებული სინოდური ბრუნვის მიხედვით, სინოდური მოძრაობის განტოლების საშუალებით (§ 125).

მზის ბრუნვა მკვეთრად განსხვავდება დედამიწის ბრუნვისაგან. დედამიწის ზედაპირის ყველა წერტილი ერთ სრულ ბრუნვას ერთი და იმავე დროის განმავლობაში ასრულებს; გასაგებია, რომ მყარ სფეროს სხვანაირად არც შეუძლია ბრუნვა. მზის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილი კი ღერძის ირგვლივ

§ 203. მზის ბრუნვა. დაკვირვებებმა იმ ლაქებზე, რომლებიც მუდამ ჩნდებიან მზის დისკოზე, გვიჩვენეს, რომ მზე ბრუნავს ღერძის ირგვლივ აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ (თუ დედამიწიდან ვუყურებთ), ე. ი. იმავე მიმართულებით, როგორც დედამიწა (დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ).



ნახ. 92

გარემოიქცევა სხვადასხვა დროის განმავლობაში. ყველაზე სწრაფად ეკვატორული წერტილები ბრუნავენ, შემოწერენ რა ერთ სრულ წრეს 25 დღე-ღამის განმავლობაში; ყველა დანარჩენი წერტილი ჩამორჩება მათ.

რაც უფრო შორს არის წერტილი ეკვატორიდან, მით უფრო მეტია მისი გარემოიქცევის დრო და 40° განედზე უკვე 27,2 დღე-ღამეს შეადგენს. რადგანაც ლაქები ამ განედების ზევით არ ჩნდება, ამიტომ პოლუსის მახლობელი ადგილების ბრუნვის განსაზღვრა ტელესკოპური დაკვირვებით შეუძლებელია. მაგრამ, თუკი დაკვირვებით მზის დისკოს აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაპირების სპექტრულ ხაზებს, შეიძლება დოპლერის პრინციპით (§ 194) გავზომოთ სიჩქარე, რომლითაც გვიახლოვდებიან ან გვშორდებიან დისკოს განაპირა წერტილები. ასეთმა დაკვირვებებმა, რომლებიც ჩატარდა უმათავესად პულკოვოს ობსერვატორიაში აკადემიკოს ა. ა. ბელოპოლსკისა და მისი თანამშრომლების მიერ, გვიჩვენებს, რომ ბრუნვის შენელება გრძელდება 40°-ის იქითაც. 80° განედზე ბრუნვის დრო 34 დღე-ღამემდე აღწევს. ასეთნაირად მბრუნავი სხეული არ შეიძლება იყოს მყარი, მისი მაღალი ტემპერატურა კი (§ 218) საშუალებას არ გვაძლევს ის თხევადად ჩავთვალოთ.

§ 204. მზე გაზოვანი სფეროა. მზის ტემპერატურისა და ბრუნვის გამოკვლევებით დადგენილია, რომ მზე გავარვარებული გაზებისაგან შემდგარი სფეროა. ამ სფეროს არა აქვს მკვეთრი საზღვარი თავის გარემომცველ სივრცესთან, რადგანაც მზის ატმოსფეროს სიმკვრივე (დედანიწვის ატმოსფეროს სიმკვრივის მსგავსად) თანდათანობით ეცემა. მზის ცენტრიდან სხვადასხვა მანძილზე ნივთიერების ფიზიკური თვისებები (ტემპერატურა, წნევა, სიმკვრივე; ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარე და ა. შ.) არ არის ერთნაირი. ამის გამო მზის სფეროს ზედა ფენები შეიძლება დაიყოს რიგ კონცენტრულ გარსებად: ფოტოსფერო, ქრომოსფერო და კორონა. ასეთი დაყოფა საკმაოდ პირობითია, რადგანაც: 1) მზის ნივთიერება იმყოფება საკმაოდ რთული ხასიათის განუწყვეტელი მოძრაობის პროცესში, რომლის დროსაც ხდება ყველა შრის გაზების თითქმის მთლიანი შერევა, და 2) ამა თუ იმ ფენისათვის დამახასიათებელი პირობები (მაგალითად, ქრომოსფეროსი) სხვადასხვა გაზისათვის სხვადასხვა სიმაღლეზე დგება.

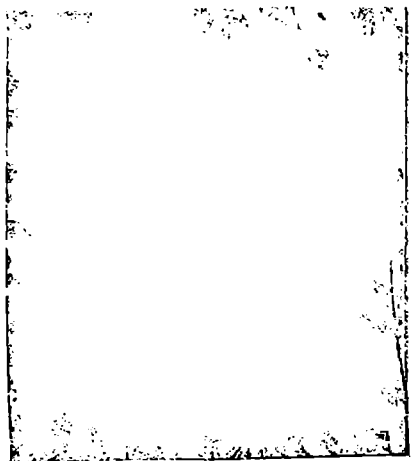
მზის ზედა გარსების გაზების მნიშვნელოვანი გამკვირვალობა იძლევა სხვადასხვა სიღრმეზე მოვლენების შესწავლის შესაძლებლობას.

§ 205. ფოტოსფერო. მზის თვალისმომკრელი ბრწყინვალე ზედაპირი ფოტოსფეროდ, ე. ი. სინათლის სფეროდ იწოდება. ძლიერ ტელესკოპში განხილვისას, ანდა ფოტოგრაფიულ სურათზე, ის არაერთგვაროვანი ჩანს, ამჟღავნებს მარცვლოვან აგებულებას, რომელსაც სხვანაირად გრანულაციას უწოდებენ (ნახ. 93); შედარებით მუქ ფონზე უწყსრიგოდ განლაგებულია ნათელი ლაქები, „გრანულები“, რომელთაც არაწყსიერი, უმეტეს შემთხვევაში მოგრძო ფორმა აქვთ, რის გამო მათ „ბრინჯის მარცვლებს“ ადარებენ. მათი კემპარიტი ზომები 200-დან 1000 კილომეტრამდეა.

ფოტოსფეროს ხშირმა, მომენტალურმა ფოტოგრაფირებამ გვიჩვენა, რომ გრანულები უწყსრიგოდ გადაადგილდებიან სკეუნდში რამდენიმე კილომეტრის სიჩქარით და თავიანთ ფორმას ისე სწრაფად იცვლიან, რომ 2 მი-

ნუტზე მეტი შუალედით გადაღებულ სურათებზე მათი გაიგივება უკვე აღარ შეიძლება.

ჩირალდნები. მზის დისკოს ნაპირებთან, სადაც ფოტოსფერო უფრო მუქად გვეჩვენება, ხშირად ჩანს ეგრეთ წოდებული ჩირალდნები—არეები, რომელთაც მეტი სიკაშკაშე აქვთ, ვიდრე გარემომცველ ფოტოსფეროს ზედაპირს.



ნახ. 93

გარემომცველ ფონთან შედარებით ჩირალდნების სიკაშკაშე აიხსნება იმით, რომ ისინი ფოტოსფეროზე რამდენადმე უფრო მაღლა აღიმართებიან და ამავე დროს მათი ტემპერატურა ფოტოსფეროს ტემპერატურაზე რამდენიმე ასეული გრადუსით მეტია. სწორედ ამიტომაც, რომ ჩირალდნები ჩანს არა მზის დისკოს ცენტრთან, არამედ ნაპირებთან.

ფოტოსფეროს ბუნება. ფოტოსფერო თავისთავად წმინდა უწყვეტ სპექტრს გამოასხივებს. ამასთანავე ფოტოსფერო არ შეიძლება იყოს არც მყარი და არც თხევადი. მაღალი ტემპერატურის (დაახლოებით 6000°-

მდე) შედეგად ის მთლიანად გახსივრე მდგომარეობაში იმყოფება და შედეგაყოველთაოდ კიმიური ელემენტის გაფარვარებული ორთქლისაგან. ეს ორთქლი ამოდის მზის წიაღიდან დაახლოებით რადიალურ ნაკადებად, რომელთა მწვერვალები გვეჩვენება როგორც გრანულები.

ფოტოსფეროს ბრწყინვალეობა, გაუმქვირვალეობა და უწყვეტი სპექტრი ამჟამად იმით აიხსნება, რომ მისი შენადგენელი გაზები იონიზებულია (იხ. § 196).

რადგანაც ფოტოსფეროს სპექტრი უწყვეტია, ამიტომ სპექტრული ანალიზით მისი კიმიური შემადგენლობის განსაზღვრა არ შეიძლება (§ 189), რის გამოც უკანასკნელი მხოლოდ არაპირდაპირი გზით განისაზღვრება.

§ 206. მზის ლაქები. ბნელი ლაქები ფოტოსფეროს ყველაზე უფრო შესამჩნევ წარმონაქმნებს წარმოადგენს. მათ ხედავენ ჩინელი და რუსი დამკვირვებლები ჯერ კიდევ სამზერი მილის აღმოჩენამდე, რის შესახებაც მათი ანებში არსებობს სათანადო ჩანაწერები.

სრულად განვითარებული ლაქა (ნახ. 94) შედგება დაახლოებით მრგვალი ფორმის ცენტრალური მუქი ბირთვისა, ანუ ჩრდილისაგან და მის ირგვლივ შედარებით ნათელი არშისაგან, ე. წ. ნახევარჩრდილისაგან. ძლიერი გადიდების დროს ნახევარჩრდილი, ისევე, როგორც დანარჩენი ფოტოსფერო, მარცვლოვან აგებულებას ამქლავნებს, ამასთანავე ნახევარჩრდილის „მარცვლებს“ წაგრძელებული „ბოჭკოების“ ფორმა აქვს, რომ-

ლებსაც ან ბირთვიდან ყოველმხრივ მიმართული სხივების სახე აქვთ, ანდა სხვადასხვანაირად გამრუდებული სხივების სახე. ბირთვი ჩვეულებრივ სრულიად შავად გვეჩვენება, მაგრამ ეს მხოლოდ „კაშკაშა“ ფოტოსფეროს ბრწყინვალეობასთან კონტრასტის შედეგად ხდება. სინამდვილეში ლაქების ბირთვები ფოტოსფეროს დანარჩენ ზედაპირთან შედარებით, სულ დიდი, სამჯერ უფრო მკრთალია. ზენიტის ახლოს მყოფი მზე მთლიანად ლაქებით რომ დაფარულიყო, მაშინ მისი საერთო ბრწყინვალეობა მხოლოდ იმდენად შემცირდებოდა, რამდენადაც ის მცირდება ხოლმე (დედამიწის ატმოსფეროს მიერ სინათლის შთანთქმის გამო), როდესაც იგი ჰორიზონტიდან 8 — 10°-ზე მდებარეობს.

ლაქების წარმოშობა. ლაქები მუდმივნი არ არიან, ისინი ხან გამოჩნდებიან, ხან კი ქრებიან. უმეტეს წილად ჩნდებიან ჯგუფებად. ასეთი ჯგუფის წარმოშობა იწყება ფოტოსფეროზე პატარა ბნელი წერტილების („ფორების“) გაჩენით, რომლებიც ხშირად ჩირაღდნებითაა გარშემორტყმული. შემდეგ ამ „ფორებისაგან“ ვითარდება ჩვეულებრივ ორი დიდი ლაქა, რომელთა შორის სივრცე შევსებულია დიდი რაოდენობის უფრო მცირე ზომის ლაქებით. აღსანიშნავია ის, რომ ჯგუფის „წინა“ (დასავლეთის) ლაქას შედარებით სწრაფი მოძრაობა აქვს, ისე რომ დროთა განმავლობაში ეს ჯგუფი იჭიმება. ხშირ შემთხვევაში „უკანა“ (აღმოსავლეთის) ლაქა მალე იწყებს ნაწილებად დაშლას (ნახ. 94) და ქრება, წინას კი შეუძლია დარჩეს კიდევ რამდენიმე თვის განმავლობაში.



ნახ. 94

ლაქის **ჩრებობის ხანგრძლიობა** საშუალოდ 2—3 თვეს შეადგენს. სხვადასხვა ლაქისათვის ეს დრო ძალიან განსხვავებულია: 1 დღიდან ერთ წლამდე და უფრო მეტი.

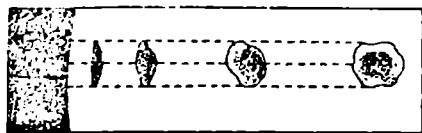
ლაქების **ზომებიც** აგრეთვე მეტისმეტად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან. ზოგჯერ გვხვდება ისეთი ლაქები, რომელთა განივკვეთი 100 000 კმ აღემატება, ე. ი. 8—10-ჯერ მეტია დედამიწის დიამეტრზე. თუ მივიღებთ ბნელეულობაში, რომ ასეთი ლაქები ჩნდებიან და ქრებიან რამდენიმე დღეში ანდა საათშიც კი, მაშინ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ იმ ცვლილებათა გრანდიოზულობა, რომლებსაც ადგილი აქვთ მზეზე. ასეთი ზომის ლაქები ადვილად ჩანს შეუიარაღებელი თვალითაც (მაგ., მზის ამოსვლის ან ჩასვლის დროს).

ლაქების **განაწილება** მზის ზედაპირზე სრულიად არათანაბარია. ისინი ჩნდებიან მზის მხოლოდ ეკვატორულ ზოლში, ჩრდილოეთისა და სამხრეთ

განედების დაახლოებით 30°-მდე, იშვიათად შეიძლება გამოჩნდნენ აგრეთვე 30° და 45° შორის, 45°-იან პარალელს შემდეგ კი აღარ ჩნდებიან სრულიად. ლაქები გადაადგილებიან მზის ზედაპირზე, მაგრამ ეს საკუთარი გადაადგილება უმნიშვნელო და ქაოსურია.

§ 207. მზის ლაქების ბუნება. მზის ლაქები წარმოადგენს ჩალრმავებებს ფოტოსფეროში, რომელთაც უფრო ხშირად ძაბრის ფორმა აქვთ. ლაქის ჩრდილი ძაბრის ძირია, ნახევარჩრდილი—მისი კედლები. ეს მტკიცდება ე. წ. ვილსონის მოვლენით (ნახ. 95), სახელდობრ, როცა დაახლოებით მრგვალი ფორმის ლაქა დისკოს ცენტრის ახლო მდებარეობს, მაშინ ბირთვის ნახევარჩრდილის შიგნით ცენტრალური ადგილი უჭირავს; მაგრამ, როცა ლაქა უახლოვდება დისკოს ნაპირს და პერსპექტივის შედეგად ელიფსურ ფორმას ლებულობს, მაშინ ნახევარჩრდილის ის ნაწილი, რომელიც მზის ცენტრთან უფრო ახლოს არის, თანდათან ვიწროვდება და ბოლოს და ბოლოს სრულიად ქრება. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ლაქა ჩალრმავებაა და დაახლოებით ძაბრის ფორმა აქვს.

სპექტრული დაკვირვებებით ლაქების ბირთვებში აღმოაჩინეს სეკუნდში 1—2 კილომეტრის სიჩქარით მოძრავი გაზების აღმავალი დენები. ნახევარჩრდილებში კი—გაზების მოძრაობა უპირატესად ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ. ამიტომ ამჟამად მიაჩნიათ, რომ მზის წიაღიდან განუწყვეტლევ ამოდიან გავარვარებული გაზების მასები, რომლებიც ფართოვდებიან, ცივდებიან და მიმოიღვრებიან რა ფოტოსფეროზე, წარმოქმნიან ლაქის ჩრდილს (ბირთვს). მაშასადამე, ლაქები გამოწვეული არის ძლიერი გრიგალისებრი მოძრაობებით, რომლებიც დედამიწის ატმოსფეროს ციკლონებს მოგვაგონებენ.



ნახ. 95



ნახ. 96

ზემოაღნიშნული დასტურდება დაკვირვებებით. სპექტროპელიოგრაფით მიღებული ფოტოგრაფიები (სპექტროპელიოგრაფები. § 215) ნათლად გვიჩვენებს გავარვარებული წყალბადის მასების მოძრაობას ლაქების ზემოთ და ხშირ შემთხვევაში გაზების გრიგალისებურ მოძრაობასაც. ამასთან გრიგალის ცენტრში ლაქა მდებარეობს (ნახ. 96).

§ 208. ლაქების მაგნიტიზმი. 1908 წელს დამტკიცებულ იქნა, რომ მზის ლაქების ირვლივ არსებობს მაგნიტური ველი. ველის არსებობა მქლავნდება ლაქების სპექტრში ხაზების გაყოფით (§ 196, გ). ხაზების გაყოფა სხვადასხვა-

ნაირი აღმოჩნდა, იმის მიხედვით იმყოფება ლაქა მზის დისკოს ცენტრში, თუ მის ნაპირზე.

ეს იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტური ველის ძალხაზები (ყოველ შემთხვევაში ლაქის ცენტრალურ ნაწილში) საერთოდ მიმართულია მზის ზედაპირის პერპენდიკულარულად. ამრიგად, თუ ლაქა დისკოს ცენტრის მახლობლად მდებარეობს, მაშინ მისი მაგნიტური ველის ხაზები მხედველობის სხივის მიმართულებით ვრცელდებიან და სპექტრში ხაზების გაორებას ვაჩვენებთ. პირიქით, დისკოს ნაპირზე მაგნიტური ველი მხედველობის სხივის პერპენდიკულარულია და ამიტომ სპექტრული ხაზები საპემადგენელ ნაწილად იმ-
ლება.

აღსანიშნავია, რომ ორმაგ ლაქებში, რომლებიც უფრო ხშირად გვხვდებიან, ვიდრე განცალკევებულნი, წყვილის შემადგენელი ორივე ლაქა საწინააღმდეგო მაგნიტური პოლარობისაა. ორმაგი ლაქა თითქოს ნაგნიტს წარმოადგენს, რომელსაც ორი—„ჩრდილოეთის“ და „სამხრეთის“ პოლუსი აქვს. ამასთანავე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ყველა „მაგნიტი“ განლაგებულია ერთნაირად (ყოველ წყვილში წინას, ე. ი. დასავლეთის ლაქას აქვს, მაგალითად, ჩრდილოეთის მაგნიტიზმი), ასევე სამხრეთ ნახევარსფეროშიც. მხოლოდ მაგნიტიზმი იქ შებრუნებულია (წინა ლაქას, ჩვენს შემთხვევაში, სამხრეთის მაგნიტიზმი აქვს).

ჰელის სამუშაო ჰიპოთეზის მიხედვით მზის შიგნით ჩნდება ჩვენი ატმოსფეროს ქარიშხლის მსგავსი გრძელი გრიგალები. ყველა ნაწილაკი ასეთი გრიგალისებრი „მილის“ შიგნით ბრუნავს ერთი მიმართულებით. მილი პოხრილია ნალის მსგავსად და ფოტოსფეროს ზედაპირზე მოჩანს მხოლოდ მისი ბოლოები: ორი „ხერელი“, ანუ ორი გრიგალური „ძაბრი“, იმათი მსგავსი, რომლებიც ხშირად ჩნდებიან ხოლმე წყლის ზედაპირზე. გასაგებია, რომ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ბრუნვა ამ ძაბრებში უნდა წარმოედგინოს საწინააღმდეგო მიმართულებებით. რადგანაც გრიგალის ნაწილაკები დაელექტროებულია, ამიტომ მათი ტრაექტორიების ირგვლივ წარმოიწვევა მაგნიტური ველი (ისევე, როგორც ელექტროდენის ირგვლივ); ამასთანავე ერთი გრიგალის ირგვლივ—„ჩრდილოეთის“ ველი, მეორის ირგვლივ კი—„სამხრეთის“. თითოეულ ძაბრში გაზოვანი მასები მოძრაობენ განშლად სპირალებზე, შიგნიდან გარეთ და, მაშასადამე, ფართოვდებიან. მაგრამ გაზების გაფართოებას ყოველთვის მოჰყვება მათი გაცივება; თუკი ეს გაცივება მნიშვნელოვანი იქნება, მაშინ გამომდინარე გაზოვანი მასები შესამჩნევად განუქდება და ჩვენ დაინახავთ ორმაგ ლაქას.

1946 წელს საბჭოთა მეცნიერებმა ლ. ე. გურვიჩმა და ა. ი. ლებედინსკიმ წამოაყენეს ჰიპოთეზა მზის ლაქათა მაგნიტური ველის წარმოშობის შესახებ. ამ ჰიპოთეზის თანახმად ლაქათა ძლიერ იონიზებული გაზების მაგნიტურ ველში მოძრაობისას (მაგალითად, მზის საერთო მაგნიტურ ველში) წარმოიქმნება ელექტრული ველი, რომელიც თავის მხრივ აინდუქციებს მაგნიტურ ველს; ეს უკანასკნელი კი აძლიერებს ან ასუსტებს საწყის ველს ლაქაში გაზის მიმართულების მიხედვით. იქ, სადაც ადგილი აქვს ლაქის ღერძისაკენ გაზის მოდენას, ველი ძლიერდება, სადაც უკუდენას—შესუსტებას.

ლაქებში ნივთიერებათა მოძრაობის მიზეზი ამ ჰიპოთეზაში არ განიხილება. დაახლოებით იმავე წლებში საინტერესო ცდა იყო წარმოებული მზის ლაქების მთელი რიგი თვისებების ასახსნელად შედგენ მცენიერის ალფვენის მიერ. ალფვენის ჰიპოთეზას საფუძვლად უდევს მაგნიტურ-ჰიდროდინამიკური ტალღების ტალღების (ჰიდროდინამიკურის) და ელექტრომაგნიტურისა, მსგავსი ტალღები აუცილებლად წარმოიშვებიან არაერთგვაროვან ელექტროგამტარ არეში მაგნიტური ველის არსებობისას.

ალფვენის მიხედვით ლაქათა ყველა ფიზიკური თვისება განპირობებულია მათი მაგნიტური ველით. თვით ლაქათა ველი კი წარმოიშვება მაგნიტურ-ჰიდროდინამიკური ტალღების მზის საერთო მაგნიტური ველის ძალხაზების გასწვრივ გავრცელების განსაზღვრულ პირობებში.

ყველა ჩამოთვლილი ჰიპოთეზა მზის ლაქათა ბუნების ახსნისას ხვდება მეტ-ნაკლებ სიძნელეს. ამიტომ არც ერთი მათგანი არ არის საყოველთაოდ აღიარებული.

§ 209. მზის მაგნიტური ველი. ჯერ კიდევ ჩვენი საუკუნის დასაწყისში იქნა გამოთქმული აზრი, რომ ლაქების მაგნიტურ ველთან ერთად არსებობს მზის საერთო მაგნიტური ველი. მაგრამ, მზის ლაქათა მინიმუმის წლებში მის აღმოსაჩენად სარეალურად წარმოებული სპეციალური გამოკვლევები იძლეოდნენ სრულიად საწინააღმდეგო შედეგებს. ამიტომ მზის საერთო მაგნიტური ველის არსებობა საეჭვო ხდებოდა. გამოითქვა მოსაზრება, რომ ეს ველი იცვლება, ზოგჯერ კი მთლიანად ქრება. მკვლევართა უმრავლესობის მიხედვით დაძაბულობა მზის მაგნიტური ველისა, თუკი ასეთი საერთოდ არსებობს, არ აღემატება 5 გაუსს.

მზეზე მაგნიტური ველების გამოკვლევებში საინტერესო შედეგები იქნა მიღებული უკანასკნელ წლებში, სპეციალური ფოტოელექტრული დანადგარის—მზის მაგნიტოგრაფის გამოყენების წყალობით. ეს ხელსაწყო საშუალებას იძლევა გაიზომოს ძლიერ სუსტი მაგნიტური ველები მზის დისკოს ნებისმიერ წერტილში.

ჩატარებული გაზომვების თანახმად მზის საერთო მაგნიტური ველი მუდამდებდა მაღალ განედებზე ($\geq \pm 55^\circ$); მის პოლარობას სხვადასხვა ნახევარსფეროში საწინააღმდეგო ნიშანი აქვს. ველის დაძაბულობა ოდნავ ირყევა 1 გაუსის საშუალო მნიშვნელობის ირგვლივ.

§ 210. ლაქების რიცხვისა და მათი მაგნიტიზმის პერიოდული ცვალებადობა. მზის ლაქების შესანიშნავ თვისებას წარმოადგენს მათი პერიოდულობა. არის წლები, როდესაც მზის დისკოზე ყოველდღიურად მრავალი ლაქა ჩანს ხოლმე. ამას ლაქების მაქსიმუმს უწოდებენ. შემდეგ, დაახლოებით 7 წლის განმავლობაში, მათი რიცხვი თანდათანობით კლებულობს, სანამ არ დადგება მინიმუმი: ამ დროს, ხშირად რამდენიმე თვის განმავლობაში, ერთი ლაქაც აღარ ჩნდება. მინიმუმის შემდეგ ლაქების რიცხვი ისევ სულ უფრო და უფრო იზრდება და 4 წლის გასვლის შემდეგ ახალი მაქსიმუმი დგება. ლაქების რიცხვის ცვალებადობის სრული პერიოდი შეადგენს საშუალოდ 11 წელს, უფრო ზუსტად კი— $11\frac{1}{8}$ წელს. მოგვყავს მაქსიმუმის

ეპოქები უკანასკნელი 130 წლის განმავლობაში წელიწადის მეთაფი ნაწილის აიზუსტიოთ.

ამ ცბრილიდან ჩანს, რომ პერიოდის ხანგრძლიობის ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობა მხოლოდ საშუალო სიდიდეა და რომ ქვეშაბრიტი პერიოდი შესაძლებელია 4 წლით მეტი ან ნაკლები იყოს ამ საშუალოზე. ამის გამო ლაქების უახლოესი მაქსიმუმის ან მინიმუმის დადგომის წელიც კი არ შეგვიძლია დაბეჯითებით ვიწინასწარმეტყველოთ.

დაკვირვებებმა გვიჩვენეს, რომ ლაქების მაქსიმუმის დროს მზის ზედაპირზე სხვა მოვლენებიც ძლიერდება, მაგალითად, ჩირალდნებისა და პროტუბერანციების წარმოშობა. ამიტომ ლაქების მაქსიმუმს ამჟამად მზის აქტივობის მაქსიმუმს უწოდებენ.

მინიმუმის გასვლისა და ახალი პერიოდის, ანუ მზის აქტივობის ახალი ციკლის* დასაწყისისას, თავს იჩენს შემდეგი მოვლენები:

1) ახალი ციკლის პირველი ლაქები ყოველთვის ჩნდება მზის ეკვატორიდან მოშორებით (უფრო მაღალ განედებში); დროთა განმავლობაში ლაქები თანდათან ეკვატორის მახლობლადაც წარმოიქმნებიან.

ამიტომ, მინიმუმის დროს, ზოგჯერ შეიძლება ორი ციკლის ლაქების ერთად დანახვა: ა) ეკვატორის ახლოს—წარმავალი ციკლის უკანასკნელი ლაქებისა და ბ) ეკვატორიდან მოშორებით—ახალი ციკლის პირველი ლაქების.

2) მზის აქტივობის ახალი ციკლის ლაქების მაგნიტიზმი წინამავალი პერიოდის მაგნიტიზმის საწინააღმდეგოა. სხვანაირად, ყოველი მინიმუმის შემდეგ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ლაქები მაგნიტური პოლუსების ისეთ განაწილებას ამლყვენებენ, როგორც მინიმუმამდე სამიწეთ ნახევარსფეროში იყო და პირიქით.

სახელდობრ, მაგნიტიზმის განაწილებამ ნიშანი შეიცვალა 1913 წლის მინიმუმის დროს, შემდეგ 10 წლის განმავლობაში უცვლელად დარჩა და ხელმეორედ შეიცვალა 1923 წელს. 1923—1933 წლებში მზეზე გამოჩენილი ლაქები იმავე კანონით იყო დამაგნიტებული, როგორც 1902—1913 წლების ციკლის დროს, 1933 წელს კი ნიშნის ახალი შეცვლა მოხდა.

ამრიგად, მზის აქტივობის სრული საშუალო პერიოდი არსებითად შეადგენს არა 11, არამედ 22 წელს. ლაქების არც პერიოდულობასა და არც მათი მაგნიტიზმის ცვლილებას ჯერჯერობით დამაკმაყოფილებელი ასნა არ მიუღია.

§ 211. მზის ლაქების კავშირი დედამიწის მოვლენებთან. მზის აქტივობა დიდ გავლენას ახდენს დედამიწის ატმოსფეროსა და მაგნიტური ველის მდგომარეობაზე. მზის აქტივობის მინიმუმის წლებში დედამიწის მაგნიტური ველი შესფოთებებს არ განიცდის; მაქსიმუმის წლებში კი დედამიწაზე ხში-

მინიმუმები	პერიოდი	მაქსიმუმები	პერიოდი
1810,6	12,7	1816,4	13,5
1823,3		1829,9	7,3
1833,9	10,6	1837,2	10,9
1843,5	9,6	1848,1	12,0
1856,0	12,5	1860,1	10,5
1867,2	11,2	1870,6	13,3
1878,9	11,7	1883,9	10,2
1889,6	12,1	1894,1	12,3
1901,7	10,7	1906,4	11,2
1913,6	11,9	1917,6	10,6
1923,6	10,0	1928,2	9,1
1933,9	10,3	1937,3	10,2
1944,3	10,4	1947,5	

რად ადგილი აქვს მაგნიტურ ქარიშხლებს, რომლებიც გამოვლინდებიან მაგნიტური ისრის ჩქარი და უწყსრიგო რხევებით. ამ წლებში ძლიერდება აგრეთვე მისი ჩვეულებრივი (დღელამური) რხევებიც. ამასთანავე შემჩნეულია, რომ დედამიწაზე მაგნიტურ ქარიშხალს იწვევს მზის დისკოს ცენტრზე განსაკუთრებით დიდი ლაქის ან ლაქათა ჯგუფის გავლა.

უქველთა აგრეთვე კავშირი ლაქების რიცხვისა და პოლარულ ნათებათა რიცხვის შორის; ამ ნათებებს, როგორც ცნობილია, ყოველთვის თანსდევს მაგნიტური ქარიშხლები. პოლარულ ნათებათა მაქსიმუმისა და მინიმუმის წლები ზუსტად ემთხვევა ლაქების მაქსიმუმისა და მინიმუმის წლებს.

პოლარული ნათებები წარმოიშევა მზიდან გამოტყორცნილი სხვადასხვა სახის ნაწილაკების (კორპუსკულების) მიერ დედამიწის ატმოსფეროს ზედა გაიშვიათებული ფენების „ბომბარდირების“ შედეგად.

ნაწილაკების ძირითადი მასა, როგორც ვეიჩვენეს პულკოვოს მეცნიერების ვ. ა. კრატისა და მ. ნ. გნევიშევის გამოკვლევებმა, წარმოადგენს ჰელიუმის ბირთვებს, რომლებიც, როგორც ცნობილია, ატარებენ ორ დადებით ელემენტარულ ელექტრულ მუხტს. დანარჩენი ნაწილაკები წარმოადგენს ელექტრონებს.

ცხადია, ლაქათა მაქსიმუმის წლებში ასეთი ნაწილაკების ამოფრქვევა განსაკუთრებით ენერგიულად წარმოებს. ამ წლებში ძლიერდება აგრეთვე მზის ულტრაიისფერი რადიაცია. ეს რადიაცია დედამიწის ზედაპირამდე ვერ აღწევს, ის მთლიანად შთაინთქმება ჩვენი ატმოსფეროს ზედა ფენების მიერ.

მისი მოქმედებით დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 80 კმ სიმაღლეზე იქმნება იონიზებული ვაზების ფენა, რომელსაც იონოსფეროს უწოდებენ და, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს რადიოკავშირში. ამის გამო მზის აქტივობის ყოველგვარი ცვლილებანი, მოქმედებენ რა ამ ფენის მდგომარეობაზე, გავლენას ახდენენ რადიოსამსახურის პირობებზედაც.

ლაქების რიცხვის ცვლილება ერთგვარ გავლენას ახდენს დედამიწის სხვა მოვლენებზეც. კერძოდ—აინინდზე (იხ. § 224).

§ 212. მზის სპექტრი და ქიმიური შემადგენლობა. მზის სპექტრი წარმოადგენს შთანთქმის ტიპიურ სპექტრს. სულ უკანასკნელ ხანამდე თვლიდნენ, რომ მზის სპექტრში შთანთქმის ხაზები წარმოიშევიან გავარვარებული ფოტოსფეროს სინათლის შთანთქმით ფოტოსფეროზე მდებარე უფრო ცივი გაზის შრეში—ეგრეთ წოდებულ შემბრუნებელ ფენაში.

ეს სახელწოდება ისტორიულად წარმოიშვა, როგორც მზის სრული დაბნელებების დროს მზის სპექტრის დაკვირვების შედეგი. თუ სპექტროსკოპს მივმართავთ მზის ნაპირის იმ წერტილისაკენ, რომელიც მთვარის დისკოთი ყველაზე ბოლოს იფარება, ვნახავთ, რომ ამ წერტილის დაფარვის მომენტში მზის სპექტრის უწყვეტი ფონი ერთბაშად გაქრება და ყველა ბნელი სპექტრული ხაზი ნათელ ხაზებად გადაიქცევა, შებრუნდება (სწორედ აქედან წარმოადგება „შებრუნებელი ფენის“ სახელწოდება). სპექტრის მთელ სიგრძეზე, იმ ადგილებში, სადაც ბნელი ხაზები მდებარეობდა, 2—3 სეკუნდით აინთება ათასობით კაშკაშა სხვადასხვა ფერის ხაზები („ანთების სპექტრი“. იხ. ნახ. 97).

მაგრამ უკანასკნელი ათეული წლის გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ „ნე-მბრუნებელი ფენის“ ცნების შენობება არ არის გამართლებული. სინამდვილეში ასეთი ფენა არ არსებობს. შთანთქმის ხაზები, მართლაც, წარმოიქმნებიან ფოტოსფეროს ყველაზე ზედა ფენებში, მაგრამ ყოველი ქიმიური ელემენტი-სათვის ეს ფენა იწყება სხვადასხვა სიღრმეში. ამას გარდა, იმავე ფენებიდან, სადაც წარმოიშვებიან შთანთქმის ხაზები, მოდის გამოსხივებაც, რომელიც ნაწილობრივ აპირობებს უწყვეტი სპექტრის ნათებას.

მზის სპექტრის ხაზების შედარებამ დედამიწის ნივთიერებათა სპექტრის ხაზებთან შესაძლებელი გახადა ძეგზე აღმოჩენილი დედამიწაზე ცნობილი სამოცზე მეტი ელემენტი. განსაკუთრებით უხვადაა შენ-დეგი ელემენტები: წყალბადი, ჰელიუმი, აზოტი, ნა-შირბადი, ჟანგბადი, რკინა, მაგნიუმი, კაეზი, კალ-ციუმი, ნატრიუმი-ლაქათა სპექტრებში აღმოჩენილია ზოგიერთი ქიმიური შენაერთების სუსტი ხაზები, მაგა-ლითად, ტიტანის ენგისა (TiO) და მომშხამაეი გაზის ციანისა (CN).

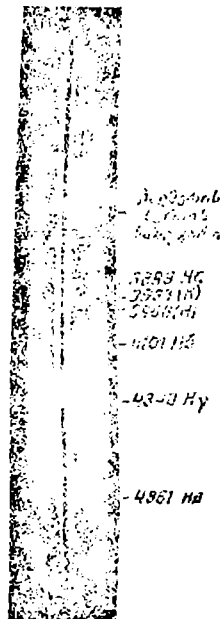
როგორც ამჟამად დადგენილია, მზის ნივთიერება განუწყვეტელი შერევის პროცესში იმყოფება. ამიტომ მზის ატმოსფეროს (ქრომოსფეროსი და კორონის, ი.ე. ქვემოთ) ქიმიური შემადგენლობა საერთოდ მზის ფო-ტოსფეროს შემადგენლობის მსგავსია. ქრომოსფეროს (ფოტოსფეროს ზემოდან მოსახლერე მზის ატმოსფე-როს ფენის) სპექტრის განხილვისას განსაკუთრებით გა-მოირჩევა წყალბადისა და იონიზებული კალციუმის ხაზები.

§ 213. მზის სპექტრის უცნობი და გამოუვლინე-ბელი ხაზები. მზის სპექტრის ზოგიერთი ხაზი ჯერჯე-რობით აუხსნელი რჩება, არ თანხვედება რა ლაბორა-ტორიებში შესწავლილ დედამიწისეულ ნივთიერებათა ხაზებს. მეორე მხრივ, ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის (მაგალითად, ქლორის, ბრომის) ხაზები მზის სპექტრში ჯერ კიდევ აღმოჩენილი არ არის; ეს შეიძლება ხდე-ბოდეს რამდენიმე მიზეზის გამო:

1) მზის ტემპერატურა ბევრად უფრო მაღალია იმ ტემპერატურაზე, რომელიც ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ ლაბორატორიებში. ამის გამო მზის ატმოსფეროში ზოგიერთი ელემენტის სპექტრი იმდენად შე-ცვლილია, რომ მისი გამოცნობა არ შეიძლება (§ 196, ბ).

2) ზოგიერთი ელემენტის, უმთავრესად მეტალიდების სპექტრებში, ყველაზე უფრო შესამჩნევი ხაზები სპექტრის ულტრაიისფერ ნაწილში პღე-ბარეობს, მზის სპექტრის ეს ნაწილი კი, დედამიწის ატმოსფეროს მიერ მისი ძლიერი შთანთქმის გამო, დაკვირვებისათვის ნაკლებ მისაწვდომია.

თავდაპირველად ფიქრობდნენ, რომ მზის სპექტრის აუხსნელი ხაზები დედამიწაზე ჯერ კიდევ აღმოუჩენელ ელემენტებს ეკუთვნის. ასეთი ახსნა შენ-



ნახ. 97

დღეში ნეცდომად იქნა აღიარებული. მიუხედავად ამისა, მეცნიერების ისტორიაში მან მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა იმდენად, რამდენადაც მიგვიყვანა ელემენტ ჰელიუმის აღმოჩენამდე. 1869 წელს ლოკაირმა მიუთითა, რომ მზის ეგრეთ წოდებულ ქრომოსფეროს სპექტრში (§ 214) არსებობს ხაზების ჯგუფი, რომელიც დედამიწაზე უცნობ ერთ რომელიღაც ელემენტს უნდა ეკუთვნოდეს. მან ამ ელემენტს ჰელიუმში უწოდა (რაც ბერძნულად „მზურს“ ნიშნავს). ხოლო 1895 წელს იქნა ჰელიუმში გამოყოფილი დედამიწის მინერალებიდან ძლიერ მსუბუქი გაზის სახით, რომელიც შესანიშნავი ფიზიკური თვისებებით ხასიათდება.

საკუთრად მზიური წარმოშობის ხაზების გარდა, მზის სპექტრში გვხვდება აგრეთვე დედამიწისეული (ე. წ. ტელურული) ხაზების დიდი რაოდენობა, რომლებიც გამოწვეულია სინათლის შთანთქმით დედამიწის ატმოსფეროს გაზებისა და ორთქლების, განსაკუთრებით კი წყლის ორთქლისა და ჟანგბადის მიერ.

§ 214. ქრომოსფერო და პროტუბერანცები. ფოტოსფეროს ზემოთ, მისგან რაიმე მკვეთრი საზღვრით გამოყოფის გარეშე, მდებარეობს ქრომოსფერო, ე. ი. „შეღებილი სფერო“. ის მზის სრული დაბნელებების დროს ჩანს ხოლმე მთვარის შავი დისკოს ირგვლივ ალისფერი ვიწრო არშიის სახით. ტელესკოპში შეიძლება შემჩნევა, რომ ეს არშია ძლიერ დაკბილულია

და შედგება წითელი ალის უამრავი ენისაგან, რომლებიც უმდომოვ მოძრაობაში იმყოფებიან.

სპექტროსკოპმა გვიჩვენა, რომ ქრომოსფერო უმთავრესად წყალბადისაგან შედგება, რომლის გარდა ადვილად შესამჩნევია აგრეთვე კალციუმი და ჰელიუმი. ქრომოსფეროს ქვედა ნაწილებში, რომლებ-



ნახ. 98

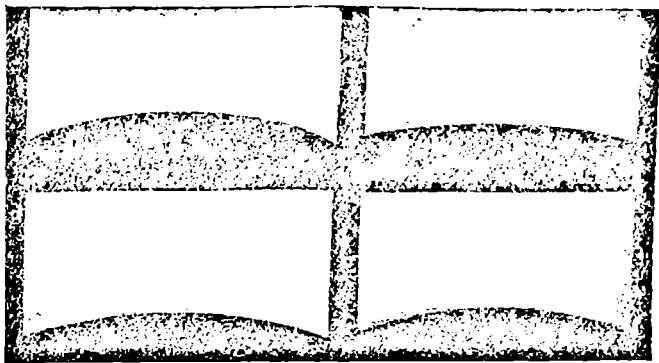
ბიც ესაზღვრებიან ფოტოსფეროს, მოიპოვება სხვა ელემენტებით.

ქრომოსფეროს სხვადასხვა ადგილას გავარვარებული წყალბადისა და კალციუმის მასები ქრომოსფეროს საშუალო დონეზე ბევრად უფრო მაღლა აღიან. ეს ეგრეთ წოდებული შვერილები ანუ პროტუბერანცები (ნახ. 98). მზის სრული დაბნელებების დროს ეს „ცეცხლოვანი ენები“ ხშირად შეუიარაღებელი თვალითაც მოჩანს.

პროტუბერანცები¹ ორ კლასად იყოფა: ღრუბლისებურებად და ამოტყორცნილებად (ერუპტიული) (ნახ. 99). პირველნი შედარებით ნაკლებად იცვლებიან, მეორენი, პირიქით, წარმოადგენენ ნამდვილ ცეცხლო-

¹ ასე ყოფდნენ პროტუბერანცებს პირველი დამკვირვებლები; ამჟამად კი შემუშავებულია მათი უფრო დაწვრილებითი კლასიფიკაცია.

ვან შადრევნებს, რომლებიც სწრაფად იცვლიან თავის სახეს (ნახ. 100). იაინი უეჭველად დაკავშირებულია ლაქებთან, მათ მსგავსად ნეტწილად მზის ეკვატორის მახლობლად ჩნდებიან და ამკლავნებენ თერთმეტწლიან პერიოდულობას. ერთპტიული პროტუბერანცების საქტრებში, გარდა წყალბადის ხაზებისა, მუდმივად გვხვდება აგრეთვე მეტალების ხაზებიც. ეს ნეტალები, ცხადია, ამოტყორცნილი არიან ქრომოსფეროს შედარებით დაბალი ფენებიდან. პროტუბერანცების საშუალო სიმაღლე დედამიწის 2—3 დიამეტრს შეადგენს, მაგრამ აღრიცხულია შემთხვევები, როდესაც ერთპტიული შვერილების სიმაღლე დედამიწის 60 დიამეტრზე მეტი ყოფილა. პროტუბერანცების შემად-

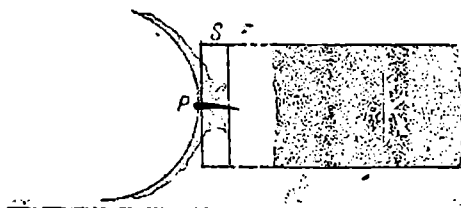
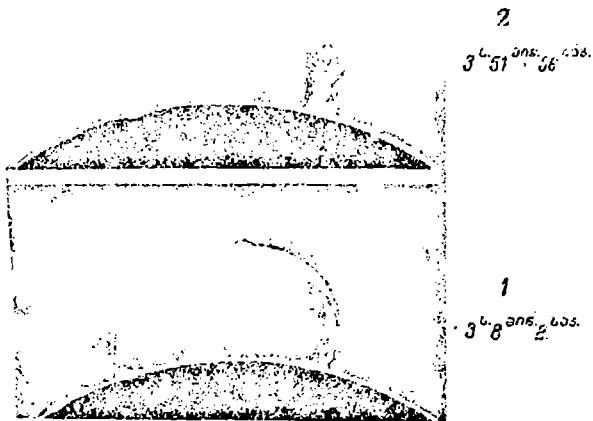
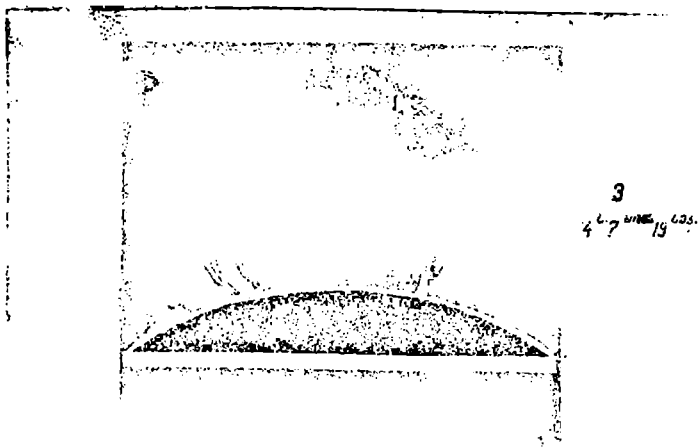


ნახ. 99

გენელ ნივთიერებათა მოძრაობის სიჩქარე შეადგენს ასობით კილომეტრს სეკუნდში. პროტუბერანცების ამოფრქვევისა და ამ უზარმაზარი სიჩქარეების გამომწვევი მიზეზი ჯერ კიდევ სულ მთლად ნათელი არ არის. დანამდვილებით ცნობილია, რომ მხოლოდ მზის სხივების განმზიდველი ანუ სინათლის წნევის ძალა ამისათვის სრულიად არ არის საკმარისი. აქ, ალბათ, დიდ როლს ასრულებენ შედარებით ახლახან აღმოჩენილი ელექტრომაგნიტური ძალები.

სპექტროსკოპის დახმარებით პროტუბერანცების დანახვა შეიძლება მზის დაბნელების გარეშეც. საქმე იმაშია, რომ პროტუბერანცების დანახვას გვიშლის ცის ნათელი ფონი, ე. ი. მზისაგან განათებული დედამიწის ატმოსფერო. ცის ამ ნათელი ფონის შესუსტება რომ შეგვეძლოს პროტუბერანცების ბრწყინვალეების შესუსტებლად, მაშინ ჩვენ მათ დავინახავდით. ამას აკეთებს სწორედ სპექტროსკოპი. მართლაც, დედამიწის ატმოსფეროს სინათლე არის მზის არეკლილი სინათლე, ამიტომ მისი სპექტრი უწყვეტია, დასერილი ბნელი ხაზებით.

რამდენადაც მეტია სპექტროსკოპის სინათლის გამბნევი ძალა, მით უფრო გრძელია მიღებული სპექტრი და, მაშასადამე, მით უფრო დიდია ფართი, რომელზედაც ნაწილდება სინათლე. ამის გამო ძლიერ სპექტროსკოპში



6sb. 100

დღის ცის უწყვეტი სპექტრი იქნება მეტად სუსტი. პროტუბერანციის სპექტრი კი, რომელიც ნათელი ხაზებისაგან შედგება, სინათლის გაბნევის გადიდებისას არ სუსტდება, რადგანაც ხაზებს „სიგანე არა აქვს“. აქ იზრდება მხოლოდ მათ შორის მანძილი: უწყვეტი სპექტრის შესუსტებულ ფონზე ნათელი ხაზები ისე ჩანს, როგორც ვარსკვლავები დღის ცაზე ტელესკოპით დაკვირვებისას..

თუ გაეაგანიერებთ სპექტროსკოპის S კრილს (ნახ. 100), მაშინ მიღებულ „ფანჯარაში“ გამოჩნდება P შევრილის „მონოქრომატული“ გამონახახის P_1 მონახულობა, ე. ი. P -ს მხოლოდ იმ ნაწილისა, რომელშიც მოცემული ხაზის წარმოშობი ელემენტი იმყოფება, მაგალითად, წყალბადი; კალციუმის შემთხვევაში შევრილის სახე შეიძლება სხვანაირი იყოს.

ამჟამად მზის დაბნელების გარეშე პროტუბერანცებზე დასაკვირვებლად იყენებენ კვარცის განსაკუთრებულ ფილტრებს, რომლებიც ატარებენ მხოლოდ სინათლის ისეთ სხივებს, რომელთა ტალღის სიგრძე ტოლია წყალბადის ნათელი ხაზის ტალღის სიგრძისა. მზის შესასწავლად ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე კინოგადაღება, რაც საშუალებას გვაძლევს აღვებქვით პროტუბერანციების განვითარების სხვადასხვა სტადია.

§ 215. ქრომოსფეროზე დაკვირვება მზის მთელი დისკოს გასწვრივ. 1892 წელს აღმოჩენილი იქნა ხერხი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი გახდა ქრომოსფეროს შესწავლა თვით მზის დისკოზე.

ამისათვის ააგეს რთული ხელსაწყო ე. წ. სპექტროოპტიკოგრაფი. მისი მოქმედება დამყარებულია იმაზე, რომ ფრაუნჰოფერის ბნელი ხაზები აბსოლუტურად შავი არ არის და ასეთად გვეჩვენება მხოლოდ უწყვეტი სპექტრის ნათელ ფონთან კონტრასტის გამო.

წარმოვიდგინოთ სპექტროსკოპი (§ 197, ბ), რომლის S ჰერიტე (კრილი) მდებარეობს ობიექტივის ფოკუსში (ობიექტივი ნახ. 90-ზე არა ჩანს). ხელსაწყო ისე არის მიმართული მზისკენ, რომ მისი ჰერიტე მზის დისკოს გამონახახს კვეთს, დაეშუათ ზევიდან ქვევით. სპექტროსკოპის B მილის ფოკალურ სიბრტყეში (ნახ. 90) ვიღებთ მზის დისკოს იმ ვიწრო ხოლის სპექტრის გამონახახს, რომლისკენაც მიმართულია ჰერიტე. ამ გამონახახს ვლენულობთ ფოკალურ სიბრტყეში მოთავსებულ ეკრანზე, რომელშიც გაკეთებულია სპექტროსკოპის კერიტისადმი ზუსტად პარალელური მერვე ჰერიტე. დაეშუათ, რომ მერვე ჰერიტეს ეყვება „ბნელი“ ხაზი, მაგალითად, კალციუმისა. ამ შემთხვევაში მთელ სინათლეს ეკრანი შეაკავებს, მერვე ჰერიტეში კი გავა მხოლოდ კალციუმის „ბნელი“ ხაზის სუსტი სინათლე. მოვათავსებთ რა ეკრანის უკან ფოტოგრაფიულ ფირფიტას, მივიღებთ მასზე ხაზის გამონახახს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუკი მზის მოცემული ადგილი შეიცავს კალციუმს. თუ ხელსაწყოს ისე ვამორჩევებთ, რომ ფირფიტას დაეცეს თანმიმდევრობით მზის დისკოს სხვადასხვა ერთმანეთის გვერდით მდებარე ვერტიკალური კვეთების გამონახახები, მაშინ მივიღებთ მზის მთელი, ჩვენსკენ მოქცეული ნახევარსფეროს გამონახახს მარტო კალციუმის სხივებში (ნახ. 101) და ღვიწინააბთ, თუ რომელ ადგილზეა ეს ელემენტი მეტი და რომელ ადგილზე ნაკლები. ასეთივე გადაღება შეიძლება ვაწარმოოთ წყალბადის (ნახ. 102), რკინის და სხვა სხივებში.

ამ მეთოდის გამოყენებამ მთელ რიგ მნიშვნელოვან აღმოჩენამდე მივყევანა:

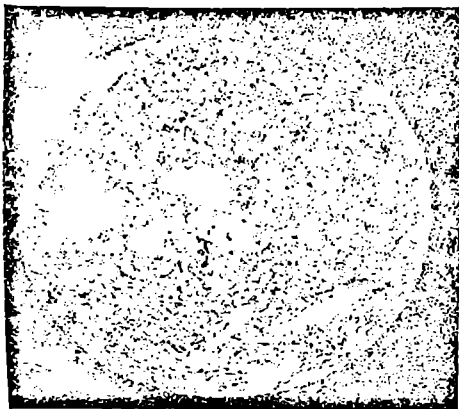
ა) აღმოჩნდა, რომ ფოტოსფეროს მსგავსად, ქრომოსფეროც მარცვლოვანი აგებულებისაა. ცალკეულ მარცვლებს, რომლებიც შეესაბამებიან ფოტოსფეროს „ბრინჯის მარცვლებს“, ფლოკულები (ქულები) უწოდეს.

წყალბადის ფლოკულების მოძრაობაზე დაკვირვების საშუალებით აღმოჩენილ იქნა, სხვათაშორის, მზის ლაქების ირგვლივ გრიგალისებრი მოძრაობა (§ 207, ნახ. 96).

ბ) გამოირკვა, რომ სპექტრის სხვადასხვა ხაზი მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა დონეზე ჩნდება. ამა თუ იმ სხივში სპექტროქელოგრაფიული

სურათის მიღებით, ვღებულობთ: ასე ვთქვათ, მზის ატმოსფეროს კვეთას განსაზღვრულ დონეზე და შესაძლებლობა გვეძლევა გამოვიკვლიოთ გაზოვანი მასების მოძრაობა სხვადასხვა „სიღრმეზე“.

გ) ქრომოსფეროს სულ ზედა ნაწილების სურათები ნათელ ფლოკულებს შორის გვაძლევენ გრძელ და მრუდ ბნელ ზოლებს, ე. წ. ბოქკოებს. ესენი პროტუბერანციებია, რომელთაც შედარებით ნათელ და ცხელ ქრომოსფეროს ფონზე ვხედავთ. ამრიგად, პროტუბერანციებზე დაკვირვება ახლა შეიძლება ვაწარმოოთ უკვე თვით მზის დისკოზედაც.



ნახ. 101

§ 216. ასტრონომიული მოვლენები მზის სრული დაბნელების დროს.

ა) მზის კორონა. მზეს, ქრომოსფეროს ზევით აკრავს ძლიერ გაიშვიათებული გარსი, მზის კორონა (გვირგვინი), რომელიც მხოლოდ მზის სრული დაბნელების დროს ჩანს. დაბნელების სრული ფაზის დაწყების მომენტში მთვარის შავი დისკოს ირგვლივ გამოჩნდება მოფერცხლისფრო მარგალიტის ელფერის უწყვეტი ნათება, რომელიც ვრცელდება მზის რამდენიმე დიამეტრის მანძილზე. მის ფონზე მოჩანს მზიდან სხვადასხვა მიმართულებით გამოშვებული მოლუნული სხივები, ანუ ნაკადები (ნახ. 103).

კორონის საერთო ბრწყინვალეობა შეადგენს სრული მთვარის ბრწყინვალეობის დაახლოებით ნახევარს. ფოტოსფეროსთან ახლოს მყოფი ნაწილები („შიგა“ კორონა), მისგან დაშორებულ ნაწილებთან, ე. წ. გარე კორონასთან შედარებით ბევრად უფრო კაშკაშაა; ამიტომ უკანასკნელ ხანს შიგა კორონის დაკვირვება მოხერხდა მზის დაბნელების გარეშეც, ცხადია. მაღალი მთებიდან და ისეთი ტელესკოპით, რომელშიც შეძლებისამებრ აცი-

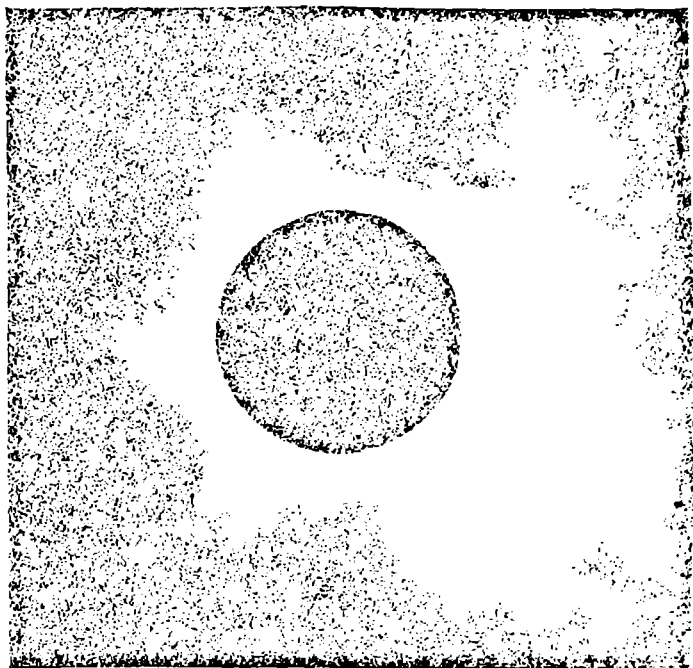


ნახ. 102

ლებული იყო დღის სინათლის გაპბნევი წყაროები (ნტვრის ნაწილაკები, განაქაწრები ობიექტივზე და სხვ.). ძლიერ რთული სხივისებრი აგებულების გარე კორონაზე დაკვირვება, როგორც წინათ, აბლაც ნხოლოდ მზის სრული დაბნელების დროს შეიძლება.

რუსმა ასტრონომმა ა. პ. განსკიმ აღმოაჩინა, რომ გარე კორონის ფორმა ლაქების მაქსიმუმისა და მინიმუმის დროს სხვადასხვანაირია: მაქსიმუმისას მისი საერთო ფორმა რგოლს უახლოვდება. მინიმუმში კი კორონისეული სხივები წაგრძელებულია მზის ეკვატორის გასწვრივ და შემოკლებულია პოლუსებისკენ.

გარე კორონის სპექტრი არის უწყვეტი სპექტრი ფრაუნჰოფერის ხაზებით; მაშასადამე, გარე კორონა შედგება მტვრის ნაწილაკებისა და თავისუფალი ელექტრონებისაგან, რომლებიც არეკლავენ მზის სინათლეს. შიგა კორონის



ნახ. 103

უწყვეტი სპექტრის ფონზე მოჩანს წყალბადის, ჰელიუმის და კიდევ რომელიღაც გაზის ნათელი ხაზები. ამ გაზის ხაზები არ თანხვდება დღევანდლამდე შესწავლილ ელემენტების ხაზებს. ერთხანს ფიქრობდნენ, რომ ეს არის ელემენტი, რომელიც დედამიწაზე ჯერ არ არის აღმოჩენილი და მას „კორონიუმიც“ კი დაარქვეს, მაგრამ მენდელეევის სისტემაში მისთვის ადგილი არ აღმოჩნდა.

1941 წელს დამტკიცდა, რომ ეს ხაზები ეკუთვნის მრავალგზის იონიზებულ რკინას, რომლის ატომებმა დაკარგეს 10 14 ელექტრონი (26-დან), და აგრეთვე ნიკელისა და კალციუმის მრავალგზის იონიზებულ ატომებს.

კორონას სხივური აგებულება აქვს. კორონის ცალკეული სხივები და „ნაკადები“ მოძრაობაში იმყოფებიან, ამიტომაც მისი ფორმა განუწყვეტელი იცვლება. ამ ცვლილებების აღმოჩენა ძლიერ ძნელია, რადგან თითოეულ ცალკეულ დამკვირვებელს დაბნელების პირობებში კორონის შესწავლისათვის სულ მხოლოდ რამდენიმე მინუტს ღირს აქვს. მიუხედავად ამისა, საბჭოთა ასტრონომებმა კორონის შესწავლის საკითხი წარმატებით გადაკრეს. ამას ხელი შეუწყო არა მარტო საუკეთესო ხელსაწყოების დამზადებამ, არამედ მუშაობაში გეგმიანობამ, ორგანიზაციამ და კოლექტიურობამ. მზის დაბნელება დედამიწის მოცემული ადგილისათვის სულ რამდენიმე მინუტს გრძელდება, მთვარის ჩრდილი კი დედამიწაზე გაცილებით დიდხანს მოძრაობს (§ 132). ასე, მაგალითად, 1936 წლის 19 ივნისის დაბნელებისას მთვარის ჩრდილმა იმოდრავა საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე შავი ზღვიდან წყნარ ოკეანემდე და ეს მანძილი გაიარა დაახლოებით 2 საათის განმავლობაში. ამ დაბნელებისათვის ჩვენმა ობტიკურმა ქარხნებმა, დ. დ. მაკსუტოვისა და ნ. გ. პონომარიოვის ხელმძღვანელობით, მთელი რიგი ზუსტი ობტიკური ხელსაწყოები დაამზადეს, მათ რიცხვში ექვსი ერთნაირი ტიპის ინსტრუმენტი კორონის ფოტოგრაფირებისათვის (სტანდარტული საბჭოთა კორონოგრაფები).

მზის დაბნელების მთელი ზოლის გასწვრივ 28 საბჭოთა ექსპედიცია განლაგდა. მათგან ექვსი შეიარაღებული იყო კორონოგრაფებით. ამ ექსპედიციებმა, თანმიმდევრულად, შავი ზღვიდან წყნარ ოკეანემდე მთვარის ჩრდილის გადაადგილების მიხედვით, მოახდინეს მზის კორონის ფოტოგრაფირება. ასეთი ორგანიზაციის მეშვეობით დაბნელებაზე დაკვირვება, საერთო ჯამში, დაახლოებით 2 საათს გაგრძელდა, რამაც საშუალება მისცა მეცნიერებს აღმოეჩინათ მზის კორონის განვითარება და მოძრაობა. კორონაში ცალკეული ნაკადების მოძრაობის სიჩქარე 50 კმ/სეკ-მდე აღწევდა.

1947 წ. საბჭოთა ექსპედიციამ ბრაზილიაში აღმოაჩინა მზის კორონის რადიოგამოსხივება ძირითადი ტალღის სიგრძით დაახლოებით 1,5 მეტრამდე.

გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კორონის სიმკვრივე არაჩვეულებრივად მცირეა—რამდენიმე მილიონჯერ უფრო ნაკლები, ვიდრე დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების სიმკვრივე. ეს დასტურდება აგრეთვე კომეტების მოძრაობით მზის მახლობლობაში: კომეტა შეიჭრება რა მზის კორონის ყველაზე უფრო ღრმა ფენებში სეკუნდში რამდენიმე ასეული კილომეტრის სიჩქარით, რამდენიმე საათის განმავლობაში შემოუვლის მზეს თითქმის ფოტოსფეროსთან და შემდეგ გამოდის ზუსტად იმავე ორბიტით, რომლითაც მასში შეიჭრა. მაშასადამე, კორონის ნივთიერება არავითარ შესამჩნევ წინააღმდეგობას არ უწევს მასში მოძრაე სხეულებს.

დედამიწაზე რომ მოვისურვოთ მოვნახოთ ნივთიერება, რომელიც რამდენადმე მაინც ისეთ მდგომარეობაში იქნება როგორშიც მზის კორონა, მაშინ ასეთი ნივთიერება შეიძლება იყოს ჰაერი ყველაზე უფრო სრულყოფილ ვაკუუმში, როგორის შექმნაც კი მისაღწევია ჩვენს ლაბორატორიებში. კო-

რონიესული ნაკადების მოძრაობა განოწვეულია ელექტრული ძალებითა და აგრეთვე სინათლის წნევის ძალით.

ბ) სინათლის სხივის გამრუდება. ნზის სრული დაბნელებები იმით არის კიდევ მნიშვნელოვანი, რომ ამ დროს შესაძლებელი ხდება თარ-დობითობის ზოგადი თეორიის შემოწმება (§ 164). ამ თეორიის მიხედვით მი-ზიდულობა მოქმედებს სივრცის გეომეტრიულ თვისებებზე; ძლიერ გრავიტა-ციულ ველში სწორი ხაზები მრუდდებიან და, რადგანაც სინათლის სხივი სი-ცარიელში სწორი ხაზია, ამიტომ 'შორეული ვარსკვლავიდან მომავალი სხი-ვი მზის ნაპირთან ახლოს გავლისას გამრუდდება, თითქოს მიიზიდება მზის მიერ და ამის გამო ვარსკვლავი გადაადგილებული მოგვეჩვენება. ეინშტეინმა გამოითვალა, რომ მზის დისკოს ნაპირთან ეს გადაადგილება 1'',7-ს უნდა შეადგენდეს. ამ დასკვნის შემოწმება. ცხადია, მხოლოდ მზის სრული დაბნე-ლების დროს შეიძლება. 1919 წლის დაბნელების დროს მიღებულმა მზის ირგვლივ მდებარე ვარსკვლავების ფოტოგრაფიებმა გვიჩვენეს, რომ ვარსკვ-ლავთა ასეთი გადაადგილება ნამდვილად არსებობს და თითქმის ზუსტად იმ სიდიდისაა, რაც ეინშტეინმა წინასწარ გამოითვალა. შემდეგი დაბნელებების დროს წარმოებულმა უფრო ზუსტმა დაკვირვებებმა ფაქტიური გადახრებისა-თვის უფრო დიდი მნიშვნელობა მოგვცეს. ვიდრე ეს თეორიულად იყო მი-ღებული. საბოლოოდ ეს მოვლენა დამტკიცებულ იქნა ა. ა. მიხაილოვის მიერ 1936 წლის დაბნელების დროს (იხ. ზევით). ამ მიზნით მან, დაბნელებიდან რამდენიმე თვის გავლის შემდეგ, როდესაც მზემ გადაინაცვლა ცის სხვა უბან-ში, კვლავ იმავე ადგილიდან, იმავე ინსტრუმენტით და ჰორიზონტიდან იმავე სინალზე გადაიღო იგივე ვარსკვლავები, რომლებიც დაბნელებისას მზის ახლოს იმყოფებოდნენ. მხოლოდ უკვე ღამით. დღისით და ღამით გადალე-ბულ სურათებზე ვარსკვლავთ მდებარეობების შედარებამ გვიჩვენა, რომ ეინ-შტეინის ეფექტი სინამდვილეში შეადგენს 2'',7-ს, ე. ი. რამდენადმე უფრო ნეტს, ვიდრე ამას გამოთვლები იძლევიან; თვით სინათლის სხივის გამრუდე-ბის ფაქტი საევეო აღარ არის.

საბჭოთა ასტრონომების მიერ 1936 წლის მზის დაბნელების დროს მი-ღებული შედეგები წარმოადგენდა როგორც ჩვენი მეცნიერების მიღწევათა ბრწყინვალე დათვალიერებას, ისე ჩვენი ოპტიკური მრეწველობისას, რომე-ლიც მეფისდროინდელ ხანაში სათვალეების მინებასაც კი ვერ აკეთებდა, ახ-ლა კი უმაღლესი ხარისხის რთულ ოპტიკურ ინსტრუმენტებს ამზადებს.

§ 217. მზის მუდმივი. ყველა მოსაზრება ნზის სითბოს რაოდენობის შესახებ დამყარებულია მზის მუდმივის განსაზღვრაზე. ასე იწოდება სითბოს ის რაოდენობა, რომელსაც მიიღებდა მზისაგან დედამიწის ზედაპირზე მზის სხივების პერპენდიკულარულად მოთაესებული 1 სმ² ფართობი 1 წინუტის განმავლობაში, დედამიწის ატმოსფერო სითბოს რომ სრულებით არ შთან-თქავდეს. უკანასკნელი განსაზღვრებით ის უდრის 1,94 მცირე კალორიას (ასე ეწოდება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელსაც შეუძლია 1 გრამი წყლის ტემ-პერატურის 10-ით გაზრდა). მზის მუდმივის სიდიდე რამდენადმე იცვლება მზის აქტივობის მაქსიმუმიდან მის მინიმუმამდე, ამასთანავე, მაქსიმუმისას მზის ნულმივი რამდენადმე მეტია, ვიდრე მინიმუმის დროს. ეს ინას ნიშნავს, რომ

მზე თავისი მოქმედების მაქსიმუმში, მიუხედავად ლაქების დიდი რაოდენობისა, ცოტაოდენ უფრო ცხელია და არა ცივი, რაც თითქოს მოსალოდნელი იყო. თუმცა ლაქები ფოტოსფეროსთან შედარებით უფრო ცივია, მაგრამ სამაგიეროდ მათი მაქსიმუმის დროს ჩირალდნების რიცხვის მაქსიმუმიც დგება; ამ უკანასკნელთა მიერ გამოყოფილი სითბო კი გადაჭარბებით ფარავს ლაქების საერთო ფართობის გადიდებით გამოწვეულ სითბოს დანაკარგს. ალბათ ამით არის გამოწვეული ის, რომ მზის „მუდმივი“ დღითი დღე მცირედ იცვლება.

§ 218. მზის ტემპერატურა. მზის ტემპერატურის გამოთვლა ძალიან ძნელია; სიძნელე მდგომარეობს შემდეგში: 1) მზის სხვადასხვა ფენას განსხვავებული ტემპერატურა აქვს, ასე რომ, არ შეიძლება საერთოდ ლაპარაკი მზის განსაზღვრული ტემპერატურის შესახებ, როგორც არ შეიძლება, მაგალითად, ლაპარაკი დედამიწის მთელი ატმოსფეროს ტემპერატურაზე; 2) იმისათვის, რომ განისაზღვროს შორეული სხეულის ტემპერატურა მისგან მიღებული სითბოს საშუალებით, საჭიროა ვიცოდეთ ამ სხეულის ზედაპირის ფიზიკური თვისებები, სახელდობრ, მისი გამოსხივების უნარიანობა. მზისთვის ეს სიდიდე უცნობია, ამიტომ შესაძლებელია განისაზღვროს მხოლოდ მისი ე. წ. ეფექტური ტემპერატურა. ეს არის ტემპერატურა, რომელიც უნდა ჰქონდეს მზის სიდიდის მქონე აბსოლუტურად შავ სხეულს (ე. ი. სხეულს, რომელიც მასზე დაკეპულ ყველა სხივს შთანთქავს), რომ მან გამოყოს იმავე რაოდენობის ენერგია, რასაც მზე იძლევა. ამასთანავე მიღებულია, რომ ასეთი სხეულის ზედაპირის ერთეულის მიერ გამოსხივებული ენერგიის საერთო რაოდენობა პროპორციულია მისი აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხისა (სტეფანის კანონი). აბსოლუტური ტემპერატურა T შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$S = \sigma T^4, \quad (1)$$

სადაც σ ცდით განსაზღვრული მუდმივია, S კი—მზის ზედაპირის 1 კვადრატული სანტიმეტრის მიერ 1 სექუნდში გამოსხივებული ენერგიის რაოდენობა. ეს სიდიდე ადვილად გამოითვლება მზის მუდმივის საშუალებით, რომელიც სექუნდში 0,0324 კალორიის ტოლია. იმისათვის, რომ მივიღოთ მზის ენერგიის მთელი რაოდენობა, რომელიც გადის მზესა და დედამიწას შორის საშუალო R მანძილის ტოლ რადიუსიან სფეროს ზედაპირზე 1 სექუნდის განმავლობაში, საჭიროა ზემოთ მოყვანილი რიცხვი გავამრავლოთ სფეროს ზედაპირზე, ე. ი. $4\pi R^2$ -ზე (კვადრატულ სანტიმეტრებში). მთელი ეს ენერგია გამოსხივდება r რადიუსიანი მზის სფეროს მიერ. თუკი მივღებთ რიცხვს გავყოფთ მზის ზედაპირის ფართზე $4\pi r^2$ -ზე, მივიღებთ, რომ $S = 0,0324 \cdot (R/r)^2 = 0,0324 \cdot 215^2 = 1500$ კალ. სმ⁻² სექ⁻¹ (დაახლოებით). σ მუდმივი ამავე ერთეულებში ტოლია: $\sigma = 1,374 \cdot 10^{-12}$; უკანასკნელი რიცხვების ჩასმით (1) ფორმულაში მივიღებთ:

$$T^4 = \frac{1500 \cdot 10^{12}}{1,374}, \quad T = 5750^\circ \text{ (დაახლოებით).}$$

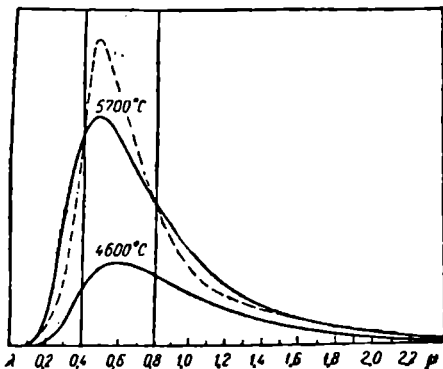
მზის ეფექტური ტემპერატურის განსაზღვრის მეორე ხერხი დამყარებულია წინის გადანაცვლების კანონზე: აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურის გადიდებისას სპექტრში ენერგიის მაქსიმუმი გადაადგილდება შედარებით მოკლე ტალღებისაკენ (ნახ. 104). ამასთანავე, გამოსხივების მაქსიმუმი შესაბამის ტალღის სიგრძე აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულია:

$$\lambda_m = \frac{a}{T},$$

სადაც a რომელიღაც მუდმივია.

ეს ხერხი არ მოითხოვს მზის მუდმივის განსაზღვრას, მაგრამ სამაგიეროდ საჭიროა მზის სპექტრში ენერგიის განაწილების ცოდნა. მზის ტემპერატურის განსაზღვრის საინტერესო მეთოდი მოგვცა ვ. კ. ცერასკიმ, რომელიც მზის სხივებს დიდი სარკის ფოკუსში კრებდა. ათავსებდა რა ფოკუსში სხედასხვა ძნელდნობად ნივთიერებას, ის დარწმუნდა, რომ წათი დნობის ტემპერატურა მზის ზედაპირის ტემპერატურაზე ნაკლებია.

თანამედროვე მეთოდებით მიღებული შედეგები კარგად ეთანხმება ერთმანეთს; ისინი მზის ეფექტური ტემპერატურისათვის გვაძლევენ სიდიდეს დაახლოებით 5700°C (აბსოლუტური სკალის დაახლოებით 6000°).



ნახ. 104

მზის ჭეშმარიტი ტემპერატურა არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება იყოს ეფექტურ ტემპერატურაზე ნაკლები, ალბათ, ის რამდენადმე მეტია. ზუსტად ასევე, მზის შიგა ფენების ტემპერატურა ბევრად აღემატება ეფექტურს და გამოისახება მილიონობით გრადუსით. პირიქით, სპექტრული ანალიზის მონაცემების მიხედვით მზის შემბრუნებელი ფენის ეფექტური ტემპერატურა ფოტოსფეროს ტემპერატურაზე უფრო დაბალია და არ უნდა აღემატებოდეს 5000°C -ს.

მზის ლაქები, რომლებიც მის შედარებით ღრმა ფენებში ჩნდებიან, $1000-2000^{\circ}$ -ით ნაკლები ტემპერატურისაა, ვიდრე მათი გარემომცველი ფოტოსფერო. ამ ფაქტს, რომელიც შედარებით დიდი ხანი არაა რაც დამტკიცდა, დიდი მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს მზის მოვლენების თეორიისათვის.

§ 219. მზის კორონის ტემპერატურა. შიგა კორონის სპექტრში რკინის, ნიკელის, არგონის ძლიერ იონიზებული ატომების ხაზების არსებობამ და აგრეთვე მზის რადიოგამოსხივების გამოკვლევამ შესაძლებელი გახადა შიგა კორონის ტემპერატურის განსაზღვრა. იგი აღმოჩნდა კოლოსალურად დიდი— $1\,000\,000$ გრადუსი. ამასთანავე, აქ ლაპარაკია, რა თქმა უნდა, არა ეფექტურ ტემპერატურაზე. ფიზიკური პირობები კორონაში და მასში მიმდინარე

პროცესები თ.თქმის უაზროს ხდის მის შედარებას აბსოლუტურად შავ სხეულთან.

მცირე სიმკვრივის პირობებში ელექტრონები და იონები, რომლებიც კორონის ქმნიან, მოძრაობენ უდიდესი სიჩქარით. მსგავს სიჩქარეთა დასახასიათებლად ფიზიკაში მიღებულია კინეტიკური ტემპერატურის ცნების გამოყენება, ე. ი. ტემპერატურისა, რომელიც განისაზღვრება მხოლოდ განსახილველი არის ნაწილაკების მოძრაობათა სიჩქარით და არა მისი გამოსხივების უნარიანობით.

სახელდობრ, კორონის კინეტიკური ტემპერატურაა ასე მაღალი: მისი ეფექტური ტემპერატურა კი მნიშვნელოვნად ნაკლებია ფოტოსფეროს და ქრომოსფეროს ტემპერატურაზე.

კორონის სიმკვრივე არაჩვეულებრივად მცირეა—მილიონებჯერ ნაკლები დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენების სიმკვრივეზე. როგორც გვიჩვენებს დკვირებებმა კომეტებზე, რომლებმაც გაიარეს კორონაში, კორონის ნივთიერება არ უწყევს მასში მოძრავ სხეულებს შესამჩნევ წინააღმდეგობას.

§ 220. მზის ენერჯია და დედამიწის სიცოცხლე. მზის გამოსხივების გრანდიოზულობაზე წარმოდგენა რომ მივიღოთ, გამოვითვალოთ § სიდიდე (§ 218) 1 კვადრატული მეტრისათვის, კალორიები გადაეკციოთ კილოგრამომეტრებში (1 კალორია = 0,425 კგმ) და გადავიღეთ ცხენის ძალა: ზე (1 ცხ. ძალა = 75 კგმ 1 სექ.ში), მაშინ გვექნება:

$$\frac{1500 \cdot 10^4 \cdot 0,425}{75} = 85000 \text{ ცხ. ძალა.}$$

ამრიგად, შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომ მზის ზედაპირის ყოველ კვადრატულ მეტრზე განუწყვეტლივ მუშაობს 85000 ცხენისძალიანი სიმძლავრის დანადგარი. მზის ზედაპირი 12 მეტრის სისქის ყინულოვანი გარსით რომ დაგვეფარა, ის მთლიანად დადნებოდა 1 მინუტის განმავლობაში.

მზე თავის ენერჯიას განუწყვეტლივ ყველა მიმართულებით ასხივებს. თითოეული ცთომილი სითბოს ამ დიდი რაოდენობიდან მხოლოდ უმნიშვნელოდ მცირე ნაწილს იღებს. ეს მცირე ნაწილი მზის სითბოს მთელ დანახარჯთან შედარებით იმდენჯერ არის ნაკლები, რამდენჯერაც ნაკლებია ცის თალის მთელ ზედაპირთან შედარებით მზიდან ხილული ცთომილის დისკოს „ფართი“. სითბოს ეს რაოდენობა გამოითვლება შეფარდებიდან:

$$\alpha = \frac{\pi p^2}{4\pi R^2} = \frac{1}{4} \left(\frac{p}{R} \right)^2. \quad (2)$$

აქ p -თი აღნიშნულია რკალის სეკუნდებში გამოსახული ცთომილის კუთხური რადიუსი, R კი—ოადიანია, ე. ი. $57^{\circ}, 3 = 206265''$. დედამიწისთვის $p = 8'', 8$ (§ 117). თუ ამ მნიშვნელობებს (2) ფორმულაში ჩავსვათ, დაახლოებით მივიღებთ, რომ

$$\alpha = \frac{1}{2,2 \cdot 10^9},$$

ე. ი. დედამიწისათვის ერთ ორმემილიარდედ ნაწილზე ნაკლებია. ასევე უმნიშვნელოა სხვა ცთომილების მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა, მთელი დანარჩენი ენერგია კი სამყაროს სივრცეში მიდის.

დედამიწაზე ეზის სხივებით მოტანილი სითბო დედამიწის მოვლენებისათვის ენერგიის თითქმის ერთადერთ წყაროს წარმოადგენს. მართლაც, მხოლოდ ზღვის მოქცევა, ვულკანური მოვლენები და მეტეორთა ვარდნა არ არის დაკავშირებული მზის სითბურ ენერგიასთან. დედამიწის ზედაპირზე არსებული ყველა დანარჩენი მოძრაობა კი მზის სხივების ენერგიის ხარჯზე წარმოებს. ენერგიის შენახვის კანონის საფუძველზე ეს შეიძლება ზუსტად დამტკიცდეს არა მარტო მეტეოროლოგიური და მექანიკური მოვლენებისათვის, არამედ მცენარეებისა და ცხოველთა სასიცოცხლო მოვლენებისათვისაც; კერძოდ, ენერგიის მთელი მარაგი, რომელიც თანამედროვე ტექნიკას მოუპოვება (გარდა ატომური ენერგიისა), წარმოადგენს მხოლოდ და მხოლოდ მზის გარდაქმნილ და „დაკონსერვებულ“ ენერგიას.

ყველა ამაზე იხარჯება დედამიწაზე მოსული მთელი სითბური ენერგიის ძლიერ მცირე ნაწილი (დაახლოებით 0,001), დანარჩენი ნაწილი კი უბრალოდ დედამიწის ზედაპირის გათბობაზე მიდის. ამ გათბობის გარეშე დედამიწის ტემპერატურა სწრაფად დაეცემოდა ცთომილთშორისი სივრცის ტემპერატურამდე, ე. ი. თითქმის აბსოლუტურ ნულამდე (-273°); მაშინ, როცა მისი ზედაპირის ე. წ. „საშუალო ტემპერატურა“ ბევრად უფრო მაღალია ($+15^{\circ}$).

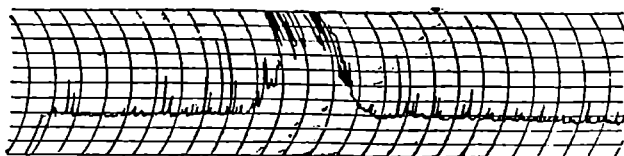
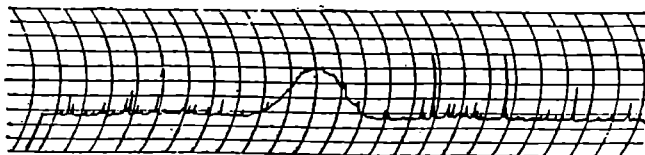
§ 221. მზის რადიოგამოსხივება. 1944 წელს დადგინდა იქნა, რომ მზე წარმოადგენს რადიოტალღების გამოსხივების წყაროს. ამ მოვლენის ასეთი გვიანი აღმოჩენა აიხსნება იმით, რომ მზის რადიოგამოსხივების მაქსიმალური სიმძლავრეც კი ფრიალ უმნიშვნელოა. ამის გამო მის აღმოსაჩენად საჭირო გახდა რადიოაპარატურის მგრძობიერების მნიშვნელოვანი გაზრდა და იმ გაუმჯობესებების შემოღება, რომლებიც განხორციელებულ იქნა მხოლოდ 10—12 წლის წინ. ამ გამოსხივების შემდგომმა გამოკვლევებმა სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე, დაიბაზონში 8 მმ-დან 12—16 მ-მდე, საშუალება მოგვცა იგი დაგვეყუ ორ მდგენელად: „შეუშფოთებელი“ მზის რადიოგამოსხივებად და „შეშფოთებული“ მზის რადიოგამოსხივებად (ნახ. 105).

შეუშფოთებელი მზის რადიოგამოსხივებას ისეთ განოსხივებას უწოდებენ, რომლის დროსაც მზეზე არ გვხვდება აქტიური წარმონაქმნები (ლაქები, ამოფრქვევები). საბჭოთა მეცნიერებმა ე. გინზბურგმა და ი. შკლოვსკიმ გვიჩვენეს, რომ ეს გამოსხივება მომდინარეობს არა ფოტოსფეროდან, არამედ ქრომოსფეროსა და კორონიდან.

შეუშფოთებელი მზის რადიოგამოსხივება თავისი ბუნებით წარმოადგენს ჩვეულებრივ სითბურ გამოსხივებას. კორონაში ეს გამოსხივება შეესაბამება მის მაღალ კინეტიკურ ტემპერატურას.

საჭიროა ხაზი გაესვას რადიომეთოდების დიდ მნიშვნელობას კორონის შესწავლისათვის: სხვადასხვა ტალღებზე რადიოგამოსხივების დაკვირვებები საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ კორონა დაბნელების გარეშე და ამასთანავე მზის ნაპირიდან სხვადასხვა მანძილზე.

შეშფოთებული მზის რადიოგამოსხივებას ადგილი აქვს იმ პერიოდებში, როცა მზეზე ჩნდებიან მზის აქტივობის მაქსიმუმის ეპოქისათვის დამახასიათებელი წარმონაქმნები: ლაქები და ამოფრქვევები. ამასთანავე რადიოგამოსხივების სიმძლავრე შეუშფოთებელი მზის რადიოგამოსხივებასთან შედარებით ასეულ და ათასეულზე მეტად იზრდება. რადიოგამოსხივების განსაკუთრებულად გრანდიოზული ფრქვევა კი აღინიშნება მზეზე ძლიერი ამო-



ნახ. 105

ფრქვევების დროს. რეგისტრირებულია შემთხვევები, როცა მზის რადიოგამოსხივების სიმძლავრე რამდენიმე წუთით მილიონებჯერ იზრდებოდა. მზეზე რადიოფრქვევის მოვლენას თან სდევს მოკლე ტალღებზე რადიოკავშირის დარღვევა და მაგნიტური ქარიშხლებისა და პოლარული ნათების მოვლენები, რომლებიც შეიმჩნევიან ფრქვევის მაქსიმუმიდან დაახლოებით ერთი დღე-ღამის შემდეგ. ამის გამო მზის რადიოდაკვირვებები დედამიწა-მზის პრობლემის გადასაწყვეტად განსაკუთრებულად საინტერესოა.

შეშფოთებული მზის რადიოგამოსხივების გამომწვევი ერთ-ერთი მიზეზთაგანია. ალბათ, მდგომარეობს დამუხტული ნაწილაკების—კორპუსკულების მოძრაობაში, რომელთა ნაკადები დიდი სიჩქარით მიემართებიან მზის ზედაპირიდან კორონაზე გავლით.

§ 322. მზის შინაგანი აღნაგობა. მზისა და ვარსკვლავების შინაგანი აღნაგობის თეორიის ამოცანებში შედის შესწავლა იმ პირობებისა, რომლებშიც იმყოფება ნივთიერება ამ ობიექტთა წიაღში და მათი გამოსხივების წყაროების გამოკვლევა.

არ შეიძლება უშუალოდ იმის გაგება, თუ როგორ იცვლება ტემპერატურა, წნევა, სიმკვრივე მზის ზედაპირიდან ცენტრისაკენ გადასვლისას. დაკვირვებები გვაძლევენ ცნობებს მხოლოდ იმ პირობებზე, რომლებიც გაბატონებულია მზის ზედა ფენებში. მაგრამ ამ მონაცემების და აგრეთვე ფიზიკისა და მექანიკის ზოგადი კანონების საფუძველზე შესაძლებელია მივიღოთ ზედა ფენის საინტერესო პრობლემის ამოხსნას არაპირდაპირი გზით.

ცნობილია, რომ მზე წონასწორობაში იმყოფება, ე. ი. ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იგი არც იკუმშება და არც ფართოვდება. მექანიკის

ძირითადი კანონების თანახმად სხეულის წონასწორობას ადგილი აქვს, თუ მასზე მომქმედდი ყველა ძალა ურთიერთს აწონასწორებს.

მზე გაზოვანი სფეროა; მაშასადამე, მზისა და ვარსკვლავთ აღნაგობის წესწავლის ამოცანა ახლოსაა გაზოვანი სფეროს წონასწორობის მექანიკის ამოცანასთან. თუმცა ეს წონასწორობა განსაკუთრებული სახისაა. ამოცანა მაინც საესებით ამოხსნაღია.

მზის ყოველ წერტილში მოქმედებს ძალა, რომელიც ცდილობს გააფართოვოს იგი, ეს არის გაზის წნევის ძალა. მაგრამ ყოველ წერტილშივე ამ ძალაზე უკუმოქმედებს სიმძიმის ძალა (ზედაფენების წონა), რომელიც ცდილობს მზის შეკუმშვას და რომელიც ცენტრისკენ მიახლოებისას თანდათან იზრდება. მაშასადამე, გაზის წნევაც სიღრმესთან ერთად მატულობს. მაგრამ გაზის წნევა დაკავშირებულია მის ტემპერატურასა და სიმკვრივესთან განსაზღვრული თანაფარდობით — გაზოვანი მდგომარეობის განტოლებით. ამიტომ. ვიცით რა წნევა მზისათვის და სიმკვრივის ცვლილების კანონი. თუნდაც მიახლოებით — შესაძლებელია განსაზღვროთ მესამე სიღიდე — ტემპერატურა.

მზის წონასწორობას იცავს კიდევ ერთი ძალა — სინათლის წნევის ძალა, რომელიც მოქმედებს გაზის წნევის მიმართულებით, ვინაიდან მზის ცენტრალური ნაწილებიდან განუწყვეტლივ გამოსხივდება ენერჯიის ნაკადი. მაგრამ სინათლის წნევა მცირეა გაზის წნევისთან შედარებით და მხოლოდ ძლიერ გაიშვიათებული გიგანტი ვარსკვლავებისათვის აუცილებელი ხდება გამოთვლებისას მისი მხედველობაში მიღება.

ჩვეულებრივ, მზის აღნაგობის განსაზღვრის ამოცანას შემდეგნაირად ამოხსნიან. მზის ტოლი მასის, რადიუსისა და ბრწყინვალეების მქონე ვარსკვლავისათვის თეორიულად გამოითვლიან კიმიურ შემადგენლობას მისი აღნაგობის შესახებ რაიმე წინადაშვების პირობებში. გამოთვლილ კიმიურ შემადგენლობას სპექტრული ანალიზის გზით შეადარებენ მზის ატმოსფეროს ნამდვილ შემადგენლობასთან; განსხვავების შემთხვევაში შეცვლიან გამოთვლების საწყის პირობებს მანამდე, ვიდრე თეორიული გამოთვლები არ დაემთხვევა დაკვირვებების შედეგებს. ანალოგიურად ამოიხსნება ამოცანა სხვა ვარსკვლავებისთვისაც. ასეთი გზით დადგინდია, რომ მზის ცენტრალურ ნაწილებში ტემპერატურა 20 მილიონ გრადუსს აღწევს. რადგანაც ტემპერატურა ახასიათებს ნივთიერების ნაწილაკების უწყესრიგო მოძრაობის სიჩქარეს, ეს ნიშნავს, რომ მზის წიაღში ატომები მოძრაობენ ასობით კმ/სეკ რიჯის სიჩქარეებით. ამასთანავე ისინი ერთმანეთს აუცილებლად ეჯახებიან და განიცდიან იონიზაციას.

იონიზაციის მაღალი ხარისხის შედეგად ნივთიერება მზის წიაღში შედგება არა ჩვეულებრივი ნეიტრალური ატომებისაგან, არამედ ატომური „ნარჩენებისაგან“, ე. ი. ისეთი ატომური ბირთვებისაგან, რომელთაც ელექტრონების უმეტესი ნაწილი დაკარგეს და აგრეთვე ცალკეული ელექტრონებისაგან. ატომური „ნარჩენის“ განიკვეთი ათასებჯერ ნაკლებია ნეიტრალური ატომის განიკვეთზე. იმ მოცულობაში, რომელშიც ჩვეულებრივ პირობებში ათეული ატომი თავსდება, იმყოფება ატომური „ნარჩენების“ ასეულები და ათა-

სეულები. ამასთან, სიმკვრივე ნინიშენელოვნად იზრდება, თუმცა მანძილი ცალკეულ ნაწილაკებს შორის მათ ზომებთან შედარებით ჯერ კიდევ უზარმაზარია და ნივთიერება შეინარჩუნებს ჩვეულებრივი გაზის ყველა თვისებას. ამიტომ. თუმცა ნივთიერება მზის წიაღში წყალთან შედარებით ათეულჯერ უფრო მკვრივია, ის მაინც ინარჩუნებს გაზის ყველა თვისებას.

§ 223. მზის ენერჯის წყაროები. ა) პირველი პიპოთენები. გეოლოგია გეოსწავლის, რომ ასეული მილიონი წლების წინ, მზე დაახლოებით ისევე ანათებდა და ათბობდა დედამიწას, როგორც ახლა. მაშასადამე, მზის ტემპერატურა ძალიან დიდი ხნის განმავლობაში თითქმის მუდმივი რჩება.

ამავე დროს სითბოს იმ უზარმაზარი რაოდენობის ხარჯვისას, რასაც მზე განუწყვეტლივ აწარმოებს, როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, ის ყოველწლიურად რამდენიმე გრადუსით უნდა გააცივებულიყო. მაგრამ, რადგანაც ეს ასე არ ხდება, ამიტომ, ცხადია, რომ გამოსხივების გამო სითბოს დანაკარგი განუწყვეტლივ უნდა ივსებოდეს რომელიღაც წყაროდან.

მზის სითბოს წყაროების საკითხი ერთი უმნიშვნელოვნის საკითხთაგანია მეცნიერებაში. მისი გადაწყვეტის ძიებაში XIX საუკუნის ფიზიკოსებმა მოსინჯეს ენერჯის ყველა ცნობილი წყარო, მაგალითად, ქიმიური რეაქციები (უბირველეს ყოვლისა წვა), მეტეორიკთა ჩამოვარდნა და სხვა; ყველა ისინი არასაკმარის აღმოჩნდნენ, რადგანაც მათ სითბოს დანაკარგის დაფარვა შეუძლიათ, სულ დიდი, რამდენიმე მილიონი წლის განმავლობაში.

ბ) შეკუმშვის თეორია (კონტრაქციული თეორია). რადგანაც მზე ზედაპირიდან ცივდება, ამიტომ ის უნდა იკუმშებოდეს. შეკუმშვისას კი გამოიყოფა სითბო. შეიძლება ეს სითბო საკმარისი აღმოჩნდეს დანაკარგის შესავსებად? შეკუმშვის პროცესში მყოფი გაზოვანი სფეროს ტემპერატურა, მიუხედავად სითბოს დაკარგვისა, შეიძლება გაიზარდოს კიდევ გარკვეულ პირობებში. ეს თეორია მისაწვდომი არის მათემატიკური დამუშავებისათვის. მისმა გამოყენებამ მზის მიმართ მოგვცა ქვემოთ აღნიშნული შედეგები. საკმარისია მზის დიამეტრი ყოველწლიურად სულ მხოლოდ 100 მეტრით შემცირდეს, რომ ასეთი შეკუმშვით წარმოშობილმა სითბომ დაფაროს გამოსხივებით გამოწვეული მთელი დანაკლისი. ეს შეკუმშვა შეადგენს 1"-ს 14000 წლის განმავლობაში, ისე, რომ უახლოეს მომავალში კონტრაქციული თეორიის სისწორის შემოწმება უშუალო დაკვირვებებით შეუძლებელია. მაგრამ გამოთვლები გვიჩვენებს, გაზოვანი მზის სფეროს დიამეტრი ოდესღაც ტოლი რომ ყოფილიყო, მაგალითად, ყველაზე უფრო შორეული ცთომლის ორბიტის დიამეტრისა, შემდეგ კი თანდათან შეკუმშულიყო და მიეღო თავისი ახლანდელი ზომა, მაშინ ასეთი შეკუმშვით მიღებულ სითბოს რაოდენობას შეეძლო დაეფარა სულ დიდი 25 მილიონი წლის დანაკარგი. მზის ხნოვანება კი ბევრად უფრო მეტია და მილიარდი წლებით განისაზღვრება.

გ) ენერჯის სრულიად არასაკმარის წყაროს წარმოადგენს აგრეთვე ატომების რადიოაქტიური დაშლა (მაგალითად, რადიუმის გარდაქმნა ტყვიად).

დ) ელემენტთა გარდაქმნა. ატომბირთვული ფიზიკის განვითარებამ მიგვიყვანა ქიმიური ელემენტების გარდაქმნის აღმოჩენამდე.

ატომბირთვების გარდაქმნის პროცესებს ატომბირთვულ ოეაე-
ციებს უწოდებენ. ამ რეაქციებს მივყევართ არა მარტო, მსუბუქი ქიმიური
ელემენტების ბირთვების გარდაქმნაშდე უფრო მძიმე ელემენტების ბიოთე-
ბად, არამედ ძირითადი ელემენტების იზოტოპების წარმოქმნამდეც.

ასე, მაგალითად, თუ ქიმიური ელემენტის ატომის ბირთვში ნეიტრონი
(ელემენტარული ნაწილაკი, რომელიც მასით პროტონის ტოლია. ნაგრან არა
აქვს ელექტრული მუხტი) შეიქრბა, წარმოიშვება ამ ელემენტის იზოტოპი,
რადგანაც მისი ატომური წონა ერთეულით გაიზრდება (პროტონის ატომუ-
რი წონა), ელექტრული მუხტების რიცხვი კი არ შეიცვლება. მაშასადამე,
ატომის ქიმიური თვისებები არ შეიცვლება.

ნეიტრონს მუხტი არა აქვს და ამიტომ მას შედარებით თავისუფლად
შეუძლია შეიქრბას ატომის ბირთვში, რადგანაც ბირთვის ელექტრული (და-
დებითი) ველი მასზე არ მოქმედებს. ამით აიხსნება ბუნებაში იზოტოპების
ხშირი გავრცელება. მენდელეევის პერიოდული სისტემის ზოგიერთი ელემენ-
ტი შედგება მხოლოდ ერთი მდგრადი იზოტოპისაგან; ბერს ორი, სამი და
მეტი იზოტოპი აქვს (ქალას 11!).

სულ სხვაგვარად წარმართება ატომბირთვული პროცესი, თუ ატომის
ბირთვში პროტონი შეიქრბა. პროტონს აქვს დადებითი მუხტი და ამიტომ
ატომის ბირთვის ელექტრული ველი წინააღმდეგობას უწევს მის შექრბას.
ბირთვში შექრბისათვის პროტონს უნდა ჰქონდეს ელექტრული ველის ვან-
შეიდველი ძალების გადასალახავად საკმარისი დიდი კინეტიკური ენერჯია.

შეიქრება რა ბირთვში, პროტონი აწარმოებს ბირთვის გარდაქმნას.
პროტონი არა მარტო აღიდებს ბირთვის ატომურ წონას, არამედ ანაქებს
მას ზედმეტ ელექტრულ მუხტს, რასაც მოყვება ატომის ქიმიური თვისებების
შეცვლა; წარმოიშვება ახალი ქიმიური ელემენტი.

სხვადასხვა ქიმიური ელემენტის მრავალრიცხოვანი ბირთვების აოსებო-
ბის შემთხვევაში პროტონებით ბომბარირებასა და გარდაქმნას პირველ
რიგში განიცდიან უფრო მსუბუქი ელემენტების (ლითიუმი, ბერილიუმი) ბირ-
თვები, რადგანაც მათ მძიმე ელემენტების ბირთვებთან შედარებით უფრო
სუსტი ელექტრული ველი აქვთ. მსუბუქი ელემენტების ბირთვების გარდა-
ქმნა წარმოებს უკვე 2-3 მილიონ გრადუს ტემპერატურაზე.

მზის წიაღის ტემპერატურა 20 მილიონამდე გრადუსს აღწევს, რაც აპი-
რობებს პროტონების ენერჯიას, რომელიც საკმარისია შედარებით მძიმე ქი-
მიური ელემენტების ბირთვებში მათ შესაქრელად.

პროტონის ასეთი შექრბისას ბირთვის გარდაქმნა შეიძლება წარმოადგინოს
შემდეგი სამი მიმართულებით (ეს დამოკიდებულია ატომის ბირთვის შექრბი-
როების სიმტკიცეზე):

1) პროტონი ბირთვში რჩება; ბირთვის ატომური წონა გაიზრდება ერ-
თი ერთეულით და ის შეიძენს ახალ დადებით მუხტს; წარმოიშვება ახალი
ქიმიური ელემენტის ბირთვი.

2) ბირთვში დარჩენილი პროტონი გარდაიქმნება ნეიტრონად, ამასთან-
ნავე გამოიყოფა ერთი პოზიტრონი, ელემენტარული ნაწილაკი დადებითი

ერთეულოვანი მუხტით e^+ და ელექტრონის ნასის ტოლი მასით (პროტონის ნასის $\frac{1}{1840}$ ნაწილი); ამ შემთხვევაში წარმოიშვება აღებული კიმიური

ელემენტის იზოტოპი, რადგანაც ბირთვის ატომური წონა ერთი ერთეულით გაიზრდება, ხოლო მუხტი უცვლელი დარჩება.

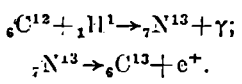
3) არამდგრადობის გამო ბირთვის შეუძლია დაიშალოს და წარმოშვას ახალი ელემენტების ბირთვები, ამასთანავე ერთ-ერთი მათგანი აუცილებლად ჰელიუმის ბირთვი იქნება.

რამდენადაც მზეში ბევრია წყალბადი, ამდენად მის წიაღში იმყოფება მნიშვნელოვანი რაოდენობის თავისუფალი პროტონები, რომლებსაც საკმარისი ენერგია აქვთ, რათა სხვა ელემენტის ბირთვებთან დაჯახებისას გამოიწვიონ უკანასკნელთა გარდაქმნა.

გულდასმითმა გამოთვლებმა და ლაბორატორიებში ხელოვნური გზით მიღებულ რეაქციებთან შედარებებმა საშუალება მოგვცეს დაგვედგინა, რომ მზისა და მეტწილ ვარსკვლავთა წიაღში ატომური ენერგია თავისუფლდება ოთხი პროტონის ჰელიუმის ერთ ბირთვად გარდაქმნის შედეგად. წყალბადის გარდაქმნა ჰელიუმად წარმოებს არა უშუალოდ, არამედ მთელი რიგი საშუალოდ რეაქციების გავლით, რომლებშიც ნაშეირბადის ატომის ბირთვები კატალიზატორის როლს ასრულებენ.

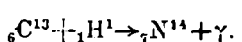
ეს რეაქციები მიმდინარეობენ შემდეგნაირად:

1. პროტონი (H^1) შეიჭრება 12 ატომური წონის ნახშირბადის (C^{12}) ბირთვი და წარმოშობს აზოტის არამდგრადი (რადიოაქტიური) იზოტოპის ბირთვს (N^{13}), რომელიც გამოასხივებს პოზიტრონს (e^+) და გარდაიქმნება ნახშირბადის იზოტოპის ბირთვად 13 ატომური წონით (C^{13}):

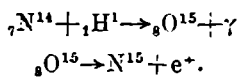


აქ γ (გამა) რენტგენის სხივების გამოსხივების ქვანტია.

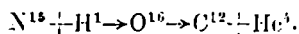
2. როდესაც შემდეგი პროტონი (H^1) შეიჭრება ნახშირბადის იზოტოპის (C^{12}) ბირთვში, წარმოიშვება აზოტის ბირთვი 14 ატომური წონით (N^{14}).



3. აზოტის (N^{14}) ბირთვში პროტონის შეჭრისას წარმოიშვება ჟანგბადის არამდგრადი იზოტოპის ბირთვი ატომური წონით 15 (O^{15}), რომელიც გამოასხივებს პოზიტრონს (e^+) და გარდაიქმნება აზოტის იზოტოპის ბირთვად ატომური წონით 15 (N^{15});

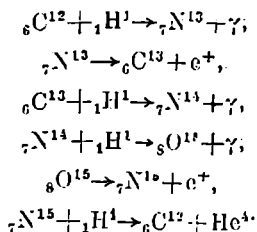


4. ახალი პროტონი (H^1) შეიჭრება რა N^{15} ბირთვში, გვაძლევს (O^{16}) ჟანგბადის ბირთვს, რომელიც მაღალი ტემპერატურის დროს მაშინვე იშლება ნახშირბადის (C^{12}) და ჰელიუმის (He^4 ანუ α ნაწილაკი) ბირთვებად:



ამრიგად, სრულ ციკლს, საბოლოო ჯამში მიეყვება წყალბადიან (H) ჰელიუმის (He) წარმოშობამდე, ამასთანავე ნახშირბადის (${}_{6}C^{12}$) რაოდენობა უცვლელი რჩება; სხვა სიტყვებით, ნახშირბადი კატალიზატორის როლს ასრულებს, თუმცა ამ შემთხვევაში თვითონ უშუალოდ მონაწილეობს ატომბირთვულ რეაქციებში.

ბეტეს სრულ ციკლს (ასე ეწოდება მისი პირველი აღმოჩენი მცენიერის სახელის მიხედვით) შემდეგი სახე აქვს:



ამრიგად, მზეზე განუწყვეტლივ წარმოებს წყალბადის რაოდენობის შენეობა და ჰელიუმის პროცენტული შემადგენლობის გადიდება. ან ატომბირთვულ გარდაქმნათა ხარჯზე დიდი რაოდენობით გამოიყოფა ატომბირთვული (ატომური) ენერგია, რომელიც თანდათანობით ვრცელდება მზის ზედაპირისკენ და უხვად გამოსხივდება სამყაროს სივრცეში.

გამოსხივების ეს ენერგია შეიძლება გამოთვლილ იქნეს, რადგანაც ფარდობითობის თეორიის თანახმად მასასა და ენერგიას შორის არსებობს დამოკიდებულება:

$$E = mc^2,$$

სადაც E არის ენერგია, m — მასა, c — სინათლის სიჩქარე სივარცელში.

ბეტეს რეაქციის შედეგად ოთხი პროტონისაგან (წყალბადის ბირთვებისაგან) წარმოიშვება ჰელიუმის ატომის ერთი ბირთვი — α ნაწილაკი.

რადგანაც წყალბადის ბირთვის მასა 1,008-ია (ატომურ წონებში). ამიტომ ოთხი პროტონი შეადგენს $4 \times 1,008 = 4,032$ მასას.

ამავე დროს წარმოშობილი ჰელიუმის ბირთვის მასა 4,004-ია. ატომბირთვულ რეაქციაში მონაწილე წყალბადის მასის შემცირებას $\Delta m = 4,032 - 4,004 = 0,028$ სიდიდით თან სდევს ენერგიის გამოყოფა, რომელიც ტოლია $E = \Delta m \times c^2$ და რომელიც აქ განზილული ელემენტების გრამ-ატომებისათვის შეადგენს:

$E = 0,028 \times (3 \times 10^{10})^2 = 252 \times 10^{17}$ ერგს, ანუ 252×10^{10} ჯოულს, რაც დაახლოებით უდრის სითბოს 60×10^7 დიდ კალორიას. ამ ენერგიას შეუძლია 6000 ტონა წყლის ტემპერატურა 0° -დან $100^\circ C$ -მდე გაზარდოს.

ასეთი ძლიერ დიდი გამოსხივების გამო მზის მასა ყოველ სეკუნდში 4×10^8 ტონით მცირდება და მისი მასა მაინც იმდენად დიდია (2×10^{27} ტონა), რომ თუკი ის მომავალშიც ასე უხვად დახარჯავს თავის ენერგიას, მას შეუძლია მკვეთრად ანათოს 2×10^{13} წლის განმავლობაში.

ამრიგად, მზის გამოსხივების უდიდესი ენერჯის წყაროს მზის წიაღში მიმდინარე ატომბირთვული პროცესები წარმოადგენენ. მსგავსი პროცესები იწვევენ სხვა ვარსკვლავების გამოსხივებასაც.

§ 24. დედამიწა-მზის პრობლემა. მზეზე ჩვენ მატერიას ისეთ პირობებში ვსწავლობთ, რომლებსაც, სრულიად შესაძლებელია. დედამიწაზე ვერასლოდის ვერ განვხილავთ. ამის გამო მზის შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ფიზიკისა და ქიმიისათვის. შემდეგ, მზე—ეს ერთი ვარსკვლავთაგანია, ხოლო ვარსკვლავები სამყაროს მთავარ სხეულებს წარმოადგენენ; მზის აგებულების გამოკვლევით ჩვენ ვიკვლევთ ვარსკვლავთ ბუნებას საერთოდ. ამაშია მზის შესწავლის მნიშვნელობა ასტრონომიისათვის. გარდა ამისა, სულ უფრო და უფრო ირკვევა, რომ მზის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. უკვე დამტკიცებულია კავშირი მზის მოვლენებსა და დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ნაწილებში (სტრატოსფეროში, § 211) მიმდინარე ცვლენებს შორის. როგორც ჩანს, მზის გამოსხივების ენერჯის საერთო ოდენობა განიცდის მუდმივ რხევას (§ 217); ეს ცვლილებები უნდა მოქმედებდეს დედამიწის ტენზორატორის ცვლილებებზეც. საბჭოთა მეცნიერებისა და პირველ რიგში ბ. ნ. რუბაშოვის შრომებით დადგენილია, რომ მზის აქტივობა აუცილებლად გავლენას ახდენს ჰაერის არქტიკული, ცივი მასების მოძრაობაზე; ეს კი უშუალო კავშირშია დედამიწის სხვადასხვა არეში ამინდის მდგომარეობასთან. შემდეგ, მზის აქტივობა მოქმედებს რადიოსიგნალების სენანდობაზე, წყვეტს მუშაობას ტალღის ზოგ სიგრძეზე, უზრუნველყოფს რა შეუფერხებელ მუშაობას სხვა სიგრძის ტალღებისათვის. ცხადია, ყველა ეს ნოვლენა საბჭოთა მეცნიერების მიერ გულდასმით უნდა იქნეს შესწავლილი, რათა ისინი გამოვიყენოთ სოციალისტური მშენებლობის პრაქტიკაში.

ამიტომ არის, რომ საბჭოთა მეცნიერებანი ფართოდ დასვა დედამიწა-მზის პრობლემა, ე. ი. პრობლემა მზის აქტივობის კავშირის შესახებ დედამიწის ყოველგვარ მოვლენასთან. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად უკანასკნელ ხანს მთელ რიგ საბჭოთა ობსერვატორიებში, სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მთავარი ასტრონომიული ობსერვატორიის ხელმძღვანელობით, მოეწყო ე. წ. მზის სამსახური. ის განუწყვეტლივ აღრიცხავს მზის აქტივობის ყველა მოვლენას და შემდეგ ამუშავებს სტატისტიკურად ისევე, როგორც ამას ასრულებს მეტეოროლოგიური მოვლენებისათვის ამინდის სამსახური. ეს საჭიროა იმისათვის, რომ დაკვირვებათა საფუძველზე შეიქმნას ნწყობრი თეორია, რომლის საშუალებით შესაძლებელი გახდება სხვადასხვა ვეოფიზიკური მოვლენის დაწყების წინდაწინ გამოანგარიშება. ამ მოვლენების წინასწარ ცოდნასა და აღრიცხვაში კი დაინტერესებულია ჩვენი კავშირის მრავალრიცხოვანი დაწესებულება და ორგანიზაცია.

თავი მეთერთმეტი

მთავარი

§ 225. მთვარის სიდიდე. დედამიწასთან შედარებითი სიახლოვის გამო მთვარე იმავე სიდიდის გვეჩვენება, როგორც მზე. სინამდვილეში კი ის ბევრად უფრო პატარაა არა მარტო მზეზე, არამედ დედამიწაზედაც. მთვარის ხაზოვანი დიამეტრი შეადგენს თითქმის 3500 კმ-ს, ე. ი. დედამიწის დიამეტრის 0,27 ნაწილს (მეოთხედზე ცოტა მეტს); ზედაპირი — დედამიწის ზედაპირის $\frac{1}{13}$ -ს, მოცულობა კი — დედამიწის მოცულობის $\frac{1}{49}$ -ს.

მთვარის მასა (§ 175) დედამიწის მასის დაახლოებით $\frac{1}{81}$ -ის ტოლია. თუ ამ რიცხვს მოცულობაზე გავყოფთ, მივიღებთ მთვარის სიმკვრივეს დედამიწის სიმკვრივესთან შედარებით, სახელდობრ 0,6-ს. წყალთან შედარებით მთვარის სიმკვრივე შეადგენს 3,3-ს (დედამიწის — 5,5-ს). ეს ნიშნავს, რომ მთვარის შიგნით არ არის ისეთი მკვრივი ბირთვი, როგორსაც ჩვენი დედამიწისათვის ვარაუდობენ.

მთვარის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის გამოთვლა შეგვიძლია იმავე ფორმულით, რომლითაც მზისთვის ვანგარიშობთ (§ 201). ასეთი გზით მიღებული მისი მნიშვნელობა დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის დაახლოებით $\frac{1}{6}$ -ს უდრის. მაშასადამე, მთვარეზე ყველა საგანი იმაზე ნაკლებს აიწონიდა, რასაც დედამიწაზე იწონის (ზამბარაიან სასწორზე აწონისას).

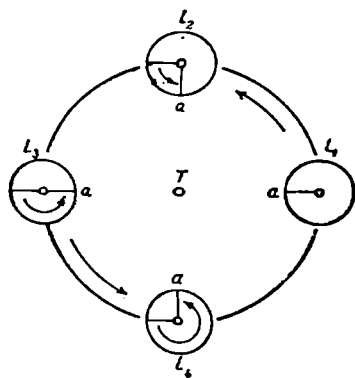
§ 226. მთვარის ბრუნვა. ჩვენ გვეჩვენება, რომ მთვარე თითქოს არ ბრუნავს ღერძის ირგვლივ, რადგანაც მის დისკოზე ყოველთვის ერთი და იგივე ლაქები ჩანს და ამასთანავე ერთსა და იმავე ადგილზე. მთვარე, მაშასადამე, დედამიწისაკენ მუდამ ერთი მხრით არის მომართული; ჩვენ შეგვიძლია დავაკვირდეთ მის მხოლოდ ერთ ნახევარს ფეროს.

სინამდვილეში ეს იმას ნიშნავს, რომ მთვარე ბრუნავს თავის ღერძის ირგვლივ და ერთ სრულ ბრუნვას ანდომებს იმდენსავე დროს, რამდენსაც დედამიწის გარშემო ერთ სრულ გარემოქცევას. მთვარის დღე-ღამე ზუსტად მთვარის თვის ტოლია.

წარმოვიდგინოთ რომ მთვარემ თავისი ორბიტის მეოთხედის გავლისას L_1 -დან L_2 -მდე გადაინაცვლა (ნახ. 106). თუ ამასთანავე ის თავის ღერძის

ირგვლივაც სრული ბრუნვის მეოთხედით მობრუნდება. მაშინ მისი ზედაპირის a წერტილიც, რომელიც პირველ მომენტში მთვარის დისკოს შუა ადგილას იმყოფებოდა, 90° -იან რკალს შემოწერს და, მაშასადამე, ისევ დედამიწისაკენ იქნება მომართული. ასევე გაგრძელდება შემდეგაც: ეს წერტილი ყოველთვის დედამიწიდან ხილული დისკოს ცენტრში რჩება. პირიქით, მთვარე რომ არ ბრუნავდეს, მაგალითად, a წერტილი რომ მუდამ იმ მდებარეობას ინარჩუნებდეს, რომელიც მას პირველ მომენტში ეჭირა, მაშინ მოგვეჩვენებოდა თითქოს ის თვეში ერთხელ ასრულებს სოულ შემობრუნებას.

მთვარის ღერძის მდებარეობა. მთვარის სფეროს ბრუნვის ღერძი მთვარის ორბიტის სიბრტყის ზუსტად პერპენდიკულარული არ არის: მთვარის ეკვატორის სიბრტყე ორბიტის სიბრტყესთან $6^{\circ}39'$ კუთხეს ქმნის. აღსანიშნავია, რომ ამ ორი სიბრტყის გადაკვეთის დაზი ემთხვევა მთვარის ორბიტის კვანძთა ხაზს და მასთან ერთად მოძრაობს. ამრიგად, სამივე სიბრტყე (მთვარის ეკვატორისა, ეკლიპტიკისა და მთვარის ორბიტისა) ყოველთვის ერთ



ნახ. 106

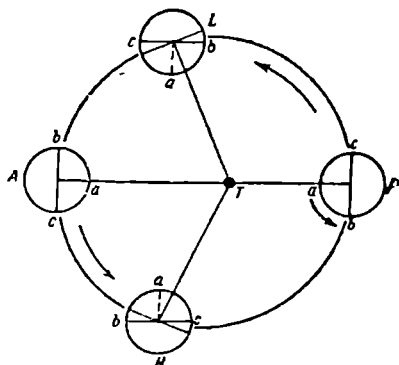
სწორ ხაზზე იკვეთება. I და II სიბრტყეებს შორის მოთავსებული კუთხე $1^{\circ}30'$ -ს უდრის, II და III შორის — $5^{\circ}9'$ -ს, რაც ჯანში სწორედ $6^{\circ}39'$ -ს იძლევა. ეს ეგრეთ წოდებული კასინის კანონია.

§ 227. რატომ არის, რომ მთვარე დედამიწისაკენ ერთი მხრივთაა მომართული? შემთხვევითი არ არის დედამიწის გარშემო მთვარის მოძრაობის პერიოდის დანთხვევა ღერძის ირგვლივ მისი ბრუნვის პერიოდთან. ის დედამიწის მიზიდულობის მოქმედებით არის გამოწვეული და ჯერ კიდევ იმ დროს წარმოიშვა, როდესაც მთვარე თხევად

ნდგომარეობაში იმყოფებოდა. თუ იმ დროს მთვარე სწრაფად ბრუნავდა ღერძის ირგვლივ, მაშინ, რადგანაც დედამიწის მასა 81-ჯერ აღემატება მთვარისას, დედამიწის მიზიდულობა მთვარეზე იმაზე ბევრად უფრო ძლიერ მოქცევებს გამოიწვევდა, ვიდრე მთვარე იწვევს დედამიწაზე. ამასთანავე მოქცევითი შეერილები განლაგებული იყო ხაზის გასწვრივ, რომელიც დედამიწისაკენ მიმართულებას არ ემთხვეოდა. გამდნარი მასის სიბლანტის შედეგად შეერილები ერთბაშად არ ჩნდებოდნენ; კერძოდ დედამიწისაკენ მომართული შეერილი ამოწვევას მხოლოდ იმ დროისათვის ასწრებდა, როდესაც მთვარის ზედაპირის შესაბამის წერტილი მთვარის ბრუნვის გამო წინ გადაიწეოდა. ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი დედამიწის მოქცევებშიც, სწორედ ამის შედეგად ვლელულობთ „ნამატ საათს“ (§ 184).

დედამიწა ამ უახლოეს შეერილს უფრო ძლიერად იზიდავდა. ვიდრე მის მოპირდაპირეს. შედეგად, როგორც პრეცესიის მოვლენაში (§ 178, ნახ. 85), წარმოიშვა ძალა, რომელიც ცდილობდა მოქცევის ელიფსოიდის დიდი ღერძის მობრუნებას დედამიწისაკენ და, ამრიგად, მთვარის ბრუნვის საწინააღ-

დეგოდ იყო მიმართული. ეს ძალა — მოქცევითი ხახუნის, მოქმედებდა რა განუწყვეტელი დროის უზარმაზარი შუალედის განმავლობაში, თანდათანობით ანელებდა მთვარის ბრუნვას, სანამ ბოლოსდაბოლოს ერთ-ერთი მოქცევითი შვერილი (იმ დროისათვის უკვე გამაგრებული) სამუდამოდ არ დარჩა მომართული დედამიწისაკენ. აქედან გამომდინარეობს, რომ მთვარე რამდენადმე გაკვირვული უნდა იყოს დედამიწის მიმართულებისაკენ; მაგრამ ეს წაგრძელება სრულიად უმნიშვნელოა, არაუმეტეს 3 კილომეტრისა, ე. ი. მთვარის დიამეტრის 0,001-ზე ნაკლები.



ნახ. 107

§ 228. მთვარის ლიბრაცია. ხანდახან საშუალება გვეძლევა დავინახოთ მთვარის ჩვენგან მიქცეული ნახევარსფეროს მცირე ნაწილი. ეს შესაძლებელია ე. წ. მთვარის ლიბრაციის (ე. ი. „რხევის“) გამო.

ა) ლიბრაცია გრძელზე გამოწვეულია იმით, რომ მთვარის ბრუნვა ღერძის ირგვლივ სრულიად თანაბარია, ორბიტზე მოძრაობა კი — არათანაბარი: ეკლერის მეორე კანონის (§ 153) თანახმად მთვარე პერიგეუმთან ახლოს უფრო ჩქარა მოძრაობს, ვიდრე აპოგეუმთან. ამიტომ P პერიგეუმზე გავლის შემდეგ მეოთხედი თვის განმავლობაში მთვარე გაივლის PL მანძილს (ნახ. 107), რომელიც მეოთხედი ორბიტის მეოთხედზე მეტია; ღერძის ირგვლივ კი ის ზუსტად 90° -ზე შემობრუნდება. მაშასადამე, დედამიწაზე მყოფ დამკვირვებელს მოეჩვენება, რომ a წერტილი, რომელიც პერიგეუმში დისკოს ცენტრში იყო, ახლა მარცხნივ (აღმოსავლეთისაკენ) გადაიხარა, აქეთკენე იქნება გადახრილი წერტილი, რომელიც მარჯვენა (დასავლეთის) ნაპირზე იმყოფებოდა. ამრიგად ჩვენ საშუალება მოგვეცემა გავიხედოთ ხილული ნახევარსფეროს დასავლეთ ნაპირის იქითაც.

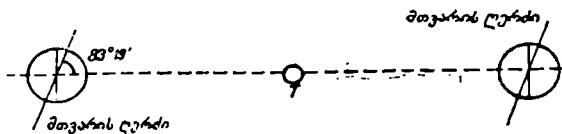
მთვარის სურათი A აპოგეუმში იგივე იქნება, რაც პერიგეუმში, მაგრამ კიდევ მეოთხედით მობრუნების შემდეგ მთვარის დისკოს ყველა წერტილი დასავლეთისაკენ გადაინაცვლებს და ჩვენ დავინახავთ მისი ზედაპირის ნაწილს აღმოსავლეთი ნაპირის იქითაც.

ამ ლიბრაციის უდიდესი შესაძლო სიდიდე $7^\circ 54'$ -ს შეადგენს. მისი პერიოდი ე. წ. ანომალისტური თვის ტოლია, ე. ი. მთვარის პერიგეუმზე ორ თანმიმდევარ გავლას შორის დროის შუალედისა.

ბ) ლიბრაცია განედზე. მთვარის ბრუნვის ღერძი მისი ორბიტის სიბრტყის პერპენდიკულარული არ არის (§ 226). ამის გამო ერთი თვის განმავლობაში დედამიწისკენ გადმოხრილია რიგრიგობით ღერძის ხან სამხრეთით, ხან ჩრდილოეთით ბოლო (მსგავსად იმისა, როგორც დედამიწის ღერძის დახრის გამო მისი ხან ჩრდილოეთით და ხან სამხრეთით ნახევარსფეროა ხოლ-

მე მიმართული მზისაკენ). ეს ჩვენ საშუალებას გვაძლევს გავიხედოთ ხან ჩრდილოეთის, ხან კი სამხრეთის პოლუსის იქით (ნახ. 108). ამ ლიბრაციის პერიოდი დრაკონული თვის ტოლია, ე. ი. კვანძში მთვარის ორ თანმიმდევარ გავლას შორის დროის შუალედისა. განედზე ლიბრაციის სიდიდე, თუ მხედველობაში მივიღებთ შეშფოთებებს, $6^{\circ}51'$ -ს აღწევს.

ბ) დღე დამური ანუ პარალაქტური ლიბრაცია. დედამიწასთან მთვარის შედარებითი სიახლოვის გამო მთვარის ზედაპირი დედამიწის



ნახ. 108

სხვადასხვა წერტილიდან არაერთნაირად მოჩანს. თუ მთვარეს ერთდროულად ორი დამკვირვებელი უყურებს, მაგალითად, დედამიწის ეკვატორის ორი მობირდაპირე წერტილიდან, მაშინ ეს დამკვირვებლები მთვარეს უფრო სხვანაირად დაინახავენ, ვიდრე მათ შორის მყოფი მესამე დამკვირვებელი; დასავლეთით მყოფ დამკვირვებელს, რომლისთვისაც მთვარე უკერ მხოლოდ ამოდის, შეუძლია განიხლოს მთვარის დასავლეთ ნაპირის იქით, აღმოსავლეთისკენ მყოფს კი (რომლისათვისაც მთვარე უკვე ჩადის) — აღმოსავლეთ ნაპირის იქით. აქედან გამომდინარეობს პარალაქტური ლიბრაცია, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ მთვარის ამოსვლისას ჩვენ მისი დასავლეთის ნაპირის იქით შეგვიძლია გავიხედოთ, ჩასვლისას კი — აღმოსავლეთ ნაპირის იქით, გრძედის გაყოლებით, დაახლოებით 1° -ზე.

ღ) ფიზიკური ლიბრაცია. ლიბრაციის ზემოთ აღწერილი ყველა სახე იწოდება ოპტიკურ ანუ ხილულ ლიბრაციად, რადგანაც ამ დროს მთვარე სინამდვილეში არაერთნაირად „ჩხედავს“ არ აწარმოებს. მაგრამ არსებობს ქემარტი ანუ ფიზიკური ლიბრაცია, რომელიც იქიდან წარმოდგება, რომ მთვარის ელიფსოიდის (§ 227) დიდი ნახევარღერძი ზოგჯერ დედამიწისაკენ მიმართულებიდან გვერდზე გადაიხრება (გრძედზე ლიბრაციის ტოლი სიდიდით, იხ. ამ პარაგრაფის ა პუნქტი), დედამიწის მიზიდულობა კი ცდილობს მის დაბრუნებას პირვანდელ მდგომარეობაში. ამ ლიბრაციის სიდიდე უმნიშვნელოა და მისი აღმოჩენა მხოლოდ განსაკუთრებით ზუსტი დაკვირვებებით არის შესაძლებელი.

ყველა ლიბრაციის საერთო მოქმედების შედეგად საბოლოო ჯამში ჩვენ შეგვიძლია დავაკვირდეთ მთვარის ზედაპირის არა ნახევარს, არამედ მის $0,59$ ნაწილს (თითქმის $\frac{3}{5}$ -ს) ¹.

§ 229. მთვარის ატმოსფერო უმნიშვნელოა. ტელესკოპური დაკვირვებებით უკვე დიდი ხანია დაასკვნეს, რომ თუკი მთვარის ირგვლივ არსებობს

¹ იხ. შენიშვნა, გვ. 249.

ატმოსფერო, მაშინ მისი სიმკვრივე დედამიწის ატმოსფეროს სიმკვრივესთან შედარებით რამდენიმე ათასჯერ ნაკლები უნდა იყოს.

მრავალი გზით შეიძლება დამტკიცდეს მთვარის ატმოსფეროს ასეთი სიმცირე.

ა) მთვარეზე გაბნეული სინათლე არ არსებობს. დედამიწაზე ატმოსფეროს არსებობის გამო დღე ან ღამე ერთბაშად არ დგება. ჩვენ რომ შეგვეძლოს დედამიწისათვის შეხედვა სამყაროს სივრციდან, დავინახავდით, რომ მისი განათებული (სადაც დღეა) ნაწილი ჰკვეთად არ არის გამოყოფილი ბნელი (სადაც ღამეა) ნაწილისაგან, მათ შორის იქნებოდა თანდათანობითი გადასვლა — ბინდის ზოლის სახით. გარდა ამისა, დედამიწაზე ის საგნებიც მოჩანს, რომლებიც უშუალოდ არ არიან განათებული მზის სხივებით და მდებარეობენ ჩრდილში. ისინი განათებულია ცისფერი ცისა და ღრუბლების გაბნეული სინათლით. მთვარეზე არაფერი ამის მსგავსი არ არის. ნათელსა და ბნელ ნაწილებს შორის არსებული სინათლის საზღვარი (ტერმინატორი) იქ ძლიერ მკვეთრია (ნახ. 111) და ამრიგად არაერთარ ბინდს ადგილი არა აქვს. გაბნეული სინათლის არარსებობის გამო მთვარეზე ყველა ჩრდილი (მთებისა) სრულიად შავია (ნახ. 109).

ბ) ვარსკვლავთა დაფარვის მოვლენა. როგორც უკვე § 131-ში იყო ნათქვამი, მთვარის მიერ რომელიმე ვარსკვლავის დაფარვის დროს უკანასკნელის გაუჩინარება მთვარის კიდის უკან ყოველთვის მომენტალურად ხდება, ყოველგვარი თანდათანობითი შესუსტების გარეშე. ვარსკვლავს რომ ჯერ მთვარის ატმოსფერო მოფარებოდა, მაშინ ვარსკვლავი თავდაპირველად შეიცვლიდა თავის ფერსა და მდებარეობას (მთვარის ატმოსფეროს მიერ გამოწვეული რეფრაქციის შედეგად), შემდეგ კი გაქრებოდა თანდათანობით.

გ) მთვარის სპექტრი სრულიად ანალოგიურია მზის სპექტრისა და, მაშასადამე, მის უბრალო ანარეკლს წარმოადგენს. მზის სინათლეს მთვარის ატმოსფეროში რომ გაეელო, ეს გავლენას მოახდენდა მზის სპექტრის შთანთქმის ხაზებზე. მაგრამ ამის მსგავსი არაფერი ხდება.

ვ. გ. ფესენკოვისა და ი. ნ. ლიპსკის შრომები მთვარის ატმოსფეროს სიმკვრივის განსაზღვრის შესახებ. 1943 წ. საბჭოთა აკადემიკოსმა ვ. გ. ფესენკოვმა მთვარის ატმოსფეროს გამოაშკარავების ძლიერ მგრძნობიარე ფოტომეტრიული ხერხი წამოაყენა. ეს ხერხი დამყარებულია ცის რმ ფონის პოლარიზაციის ხარისხის განსაზღვრაზე, რომელიც გეგმილდება გაუნათებელ ფართზე მთვარის დისკოს ცენტრში (პირველი ან უკანასკნელი მეოთხედის დროს). ამ ხერხით ი. ნ. ლიპსკიმ 1949 წელს მიიღო მთვარის ატმოსფეროს ვერტიკალური სვეტის მასის დედამიწის ატმოსფეროს ასეთივე სვეტის მასასთან ფარდობისათვის დაახლოებით $\frac{1}{2000}$. ეს კი მთვარის ზედაპირთან 1 სმ³ მოცულობაში არსებულ

მოლეკულთა რიცხვისათვის ისეთივე მნიშვნელობას გვაძლევს, როგორსაც ადგილი აქვს დედამიწის ატმოსფეროში 75 — 80 კმ-ის სიმაღლეზე. დედამიწის ცოცხალ არსებაათათვის ასეთი ატმოსფერო უპაერო სივრცისაგან პრაქტიკულად არც კი იქნებოდა განსხვავებული. მიუხედავად ამისა, მან მნიშვნელოვ-

ნად უნდა დაამუხრუქოს მასში შეკრიბილი მეტეოროლოგიური სხეულები: დედამიწაზე მეტეოროლოგია ნათება ხომ უკვე 120 კმ-ის სიმაღლეზე ჩანს. ადვილი გამოსათვლელია, რომ „მთვარის მეტეოროლოგია“ ანთების დანახვა დედამიწიდან, მთვარემდე დიდი მანძილის გამო, შეუძლებელია.

§ 230. მთვარის ატმოსფეროს ზედი. რადგანაც მთვარე და დედამიწა, ალბათ, კოსმოსური ნივთიერების ერთი გორგალისაგანაა წარმოშობილი, ამიტომ მთვარე დედამიწას უნდა ჰგავდეს, ამასთანავე ოდესღაც მასავეთ მკვრივი ატმოსფეროც შეეძლო ჰქონოდა. ატმოსფეროს თითქმის მთლიანად გაქრობა ახსნება გაზების კინეტიკური თეორიის საფუძველზე, რომლის მიხედვითაც გაზი შეუჩერებელი ყოველი მიმართულებით მოძრაი მოლეკულებისაგან შედგება. მოლეკულათა სიჩქარეები დამოკიდებულია მათ მასასა და ტემპერატურაზე. წყალბადისათვის ეს სიჩქარეები უდიდესია, ეანგბადისა და წყლის ორთქლისათვის კი—ბევრად ნაკლები. მეორე მხრივ, ცის ყოველი სხეულისათვის არსებობს ე. წ. პარაბოლური ანუ კრიტიკული სიჩქარე (§ 167, დ), რომელიც ამ სხეულის მასაზე დამოკიდებულია. ეს ის ზღვრული სიჩქარეა, რომლის დროს სხეულს თავისი მიზიდულობით ჯერ კიდევ შეუძლია დააკავოს მის მახლობლობაში მოძრაი ნაწილაკი; დედამიწის ზედაპირისათვის ეს სიჩქარე 11,3 კმ/სეკ შეადგენს; ნაწილაკები, რომლებიც ამაზე უფრო ჩქარა მოძრაობენ, სამყაროს სივრცეში გაფრინდებიან. ნორმალურ პირობებში გაზებს 11,3 კმ/სეკ-ზე ბევრად უფრო ნაკლები სიჩქარეები აქვს, ამიტომ დედამიწა მათ ადვილად აკავებს. მთვარისათვის კი, რომლის ზედაპირზე კრიტიკული სიჩქარე სულ 2,4 კმ/სეკ შეადგენს, ეს გაზები ძლიერ მჭროლაგნი არიან, რადგანაც მზის სხივებით გახურებისას დიდ სიჩქარეებს იძენენ და ამიტომ მთვარის სუსტ მიზიდულობას უკვე აღარ შეუძლია მათი დაკავება.

ამრიგად, თუკი მთვარე ოდესღაც გარემოცული იყო მნიშვნელოვანი ატმოსფეროთი, მაშინ ეს ატმოსფერო თანდათანობით უნდა გაფანტულიყო სამყაროს სივრცეში. ამ მსჯელობას მივყევართ მნიშვნელოვან ზოგად დასკვნამდე, რომელიც დაკვირვებებითაც დასტურდება. ცის მკირე მასის მქონე სხეულებს (მაგალითად, ცთომილების თანამგზავრებს) არ შეუძლია ჰქონდეს შესამჩნევი ატმოსფერო.

§ 231. წყალი მთვარეზე არ შეიძლება არსებობდეს თხიერ მდგომარეობაში, რადგანაც ატმოსფეროს გარეშე ის ძლიერ ჩქარა აორთქლდებოდა და წყლის ორთქლის ატმოსფეროს შექმნიდა, რომელიც თავის მხრივ სივრცეში გაიბნეოდა. მართლაც, მთვარის ზედაპირზე ამჟამად წყლის აუზები, მაგალითად ზღვები და ტბები, არ არსებობს. არ არის იქ არც წყლის ორთქლი. მთვარეზე არასოდეს არ ჩნდება არც ღრუბლები და არც ნისლი. მთვარეზე წყალი ყინულის ან თოვლის სახითაც არ შეიძლება რომ არსებობდეს, რადგანაც თოვლი და ყინული მცხუნვარე მზის სხივებით ასევე უნდა აორთქლდეს, ვინაიდან ატმოსფეროსაგან დაუცველი მთვარის ზედაპირი მზისგან +120°C-მდე ხურდება.

რადგან მთვარეზე ჰაერი და წყალი არ არის, ამიტომ მასზე სიცოცხლე შეუძლებელია.

§ 232. მთვარის სინათლე და სითბო. სრული მთვარე თითქმის 500 000-ჯერ უფრო სუსტად ანათებს, ვიდრე მზე. მაშასადამე, მთელი ცა რომ სრული მთვარის დისკოებით დაიფაროს, მაშინაც კი მისი საერთო სინათლე 5-ჯერ უფრო სუსტი იქნებოდა, ვიდრე მზის სინათლეა.

სხვა ფაზების დროს მთვარის ბრწყინვალეობა ბევრად ნაკლებია; მაგალითად, მეოთხედებში ის სრული მთვარის ბრწყინვალეობის 1/2-ს კი არ შეადგენს, არამედ მხოლოდ 1/8-დან 1/10-მდე. ამის მთავარი მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ პირველსა და უკანასკნელ მეოთხედებში მთვარის მნიშვნელოვანი ნაწილი განათებულია მზის დახრილი სხივებით; რადგანაც მთვარის ზედაპირი მეტისმეტად უსწორმასწოროა, ამიტომ დახრილად განათებისას მისი მთებისა და ნიადაგის პატარა-პატარა ბორცვების ჩრდილები ჯამში მთვარის ნამგლის მთელი ფართობის მნიშვნელოვან ნაწილს იჭერს.

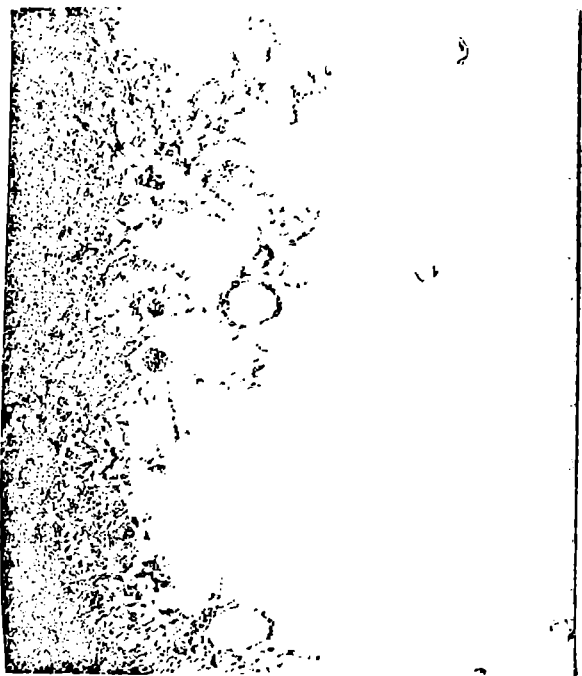
მთვარისაგან მიღებული სითბოს აღმოჩენა და გაზომვა შესაძლებელი გახდა მთვარის სინათლის შეკრებით უზარმაზარი სარკეების ფოკუსში. დაკვირვებებით გამოირკვა, რომ მთვარის დღის განმავლობაში, რომელიც 15 ჩვენ დღე-ღამეს გრძელდება, მთვარის ზედაპირი $+120^{\circ}\text{C}$ -მდე ხურდება, ღამით კი ატმოსფეროს თითქმის უქონლობის გამო, ტემპერატურა ძლიერ სწრაფად ეცემა და ნულს ქვევით 160° -მდე ჩადის. მთვარის ზედაპირის ტემპერატურის განსაკუთრებული ჩქარი დაცემა მთვარის დაბნელებათა დროს ხდება ხოლმე.

§ 233. მთვარის ზედაპირის აგებულება. მთვარის სიახლოვის გამო მისი ზედაპირის ჩვენსკენ მომართული ნაწილი შეუდარებლად უფრო კარგად გვაქვს შესწავლილი, ვიდრე ყველა სხვა მნათობის ზედაპირი. დედამიწის მრავალი ადგილისათვის ჯერჯერობით არა გვაქვს ისეთი დაწვრილებითი და ზუსტი რუკები, როგორიც უკვე დიდხანია შედგენილია მთვარის მთელი ხილული ნახევარსფეროსათვის.

ა) ზღვები. მუქ ლაქებს, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით მოჩანს, გალილიემ ზღვები უწოდა. სინამდვილეში ისინი წარმოადგენენ დიდ დაბლობებს, რომელთა დონე რამდენადმე უფრო დაბალია დანარჩენი ზედაპირის საშუალო დონესთან შედარებით. უფრო მცირე მუქი ლაქები „ტბებად“ და „უბებად“ არის წოდებული. ზღვებს, ტბებსა და უბეებს უცნაური სახელები ეწოდა. მაგალითად, წვიმების ზღვა, დარის ზღვა, სიკვდილის ტბა და ა. შ. (ნახ. 109).

ბ) კრატერები (ცირკები). მთვარის მთელი დანარჩენი შედარებით ნათელი ზედაპირი მეტისმეტად მთიანი და ბევრად უფრო უსწორმასწოროა, ვიდრე დედამიწის მატერიკების ზედაპირი. ამასთანავე მთვარის მთები დიდად განსხვავდება დედამიწის მთებისაგან. მთვარეზე მთების მთავარ სახეებს წარმოადგენს არა ისეთი მთაგრეხილები, როგორიც დედამიწაზე გვხვდება, არამედ უწყსრიგოდ გაბნეული და ძლიერ ხშირი კრატერები, ანუ რგოლისებრი მთები. ისინი დედამიწის ზოგიერთი ვულკანის კრატერს ემსგავსებიან, მაგრამ მათგან უზარმაზარი სიდიდითა და შედარებით ბრტყელი ფსკერით განსხვავდებიან. დედამიწის ყველაზე დიდი კრატერების დიამეტრი ჩვეულებრივ რამდენიმე კილომეტრს შეადგენს, მაშინ როდესაც მთვარეზე

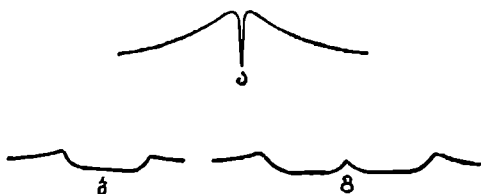
გვხვდება ბევრი „კრატერი“, რომელთა დიამეტრები 100 — 200 კმ-ს აღწევს. უდიდესი კრატერების შიგნით შეიძლება მოთავსდეს მთელი სახელმწიფო, როგორც, მაგალითად, ბელგიაა. ნახ. 110-ზე გამოსახულია: ა) დედამიწის



ნახ. 109

კრატერი, ბ) მთვარის ნორმალური კრატერი და გ) მთვარის კრატერი ცენტრალური ბორცვით (სქემატურ კვეთაში).

მთვარის კრატერებს ჩვეულებრივ მრგვალი ფორმა აქვს; ისინი გარშემორტყმულია მაღალი მთების რგოლებით, რომლებიც გარედან მცირედაა დაქანებული, შიგნიდან კი ციცაბოს წარმოადგენენ. კრატერის ცენტრში ხშირად ერთი „ცენტრალური ბორცვი“ მდებარეობს, ზოგჯერ კი რამდენიმე. ეს ბორცვები ყოველთვის გარე შემალე-



ნახ. 110

ბაზე უფრო დაბალია. კრატერებს ასტრონომებისა და ფილოსოფოსების სახელები დაარქვეს. ასე, მაგალითად, კოპერნიკი, ტიხო, არისტარქე. კრატერების

რიცხვი აუარებელია (ნახ. 111, მთვარე პირველ მეოთხედში); დაწვრილებით რუკებზე 30000-ზე მეტი კრატერია აღნიშნული. უმეტესობას შედარებით მცირე დიამეტრები აქვს — ერთიდან რამდენიმე კილომეტრამდე (დედამიწაზე ასეთი კრატერებიც ფრიად მოზრდილებად ჩაითვლებოდა).

კ) მთავრები, მხოლოდ არა ისეთი ქედები, როგორც დედამიწაზე, არამედ უბრალოდ ციცაბო მწვერვალების გროვები, მთვარეზე ბევრად უფრო იშვიათად გვხვდება, ვიდრე კრატერები. ამ მთავრებილთა ცალკეული მწვერვალები ისეთსავე სიმაღლეს აღწევს, როგორსაც დედამიწის უმაღლესი მთები — 8 კილომეტრამდე. მთვარის მთავრებილთა დედამიწისეული სახელები მიიღეს; ასე, მაგალითად, მთვარის რუკებზე ჩვენ შეგვიძლია ვიპოვოთ კავკასიონი, ალპები, აპენინები და სხვ.

დაბოლოს, მთვარეზე არსებობს ისეთი წარმონაქმნებიც, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზე სრულიად არ გვხვდება. ესენია კვლები და სხივები.

ღ) კვლები (ნაპრალიები) ვიწრო და ბნელ დაკლანხილ ხაზებს წარმოადგენს, რომელთა სიგანე რამდენიმე კილომეტრია. როგორც ეტყობა ეს მთვარის ქერქის ღრმა ბზარებია, რომლებიც რამდენიმე ასეულ კილომეტრზეა გაჭიმული.

ე) ნათელი სხივები — ეს არც ჩაღრმავებებია და არც ამაღლებული ადგილები, არამედ ცალკეული კრატერებიდან სხვადასხვა მხრივ მიმართული განიერი ნათელი ზოლებია. ისინი ვადადიან მთებზე, სწორ ადგილებსა და კრატერებზე, სიგანისა და მიმართულების ყოველგვარი ცვლილების გარეშე. სხივთა ყველაზე უფრო ლამაზი სისტემა ტიხოს კრატერიდან იშლება და მისი ზოგიერთი სხივი ათას კილომეტრზე შორს ვრცელდება. სრული მთვარის დროს ტიხოს კრატერი თავისი სხივებით ადვილად მოჩანს დურბინში (დისკოს სამხრეთის, ე. ი. ქვედა ნაპირთან).



ნახ. 111

§ 234. მთვარის მთების წარმოშობა. მთვარის კრატერების ფორმის ასახსნელად ამჟამად ორი ჰიპოთეზა არსებობს. ერთი მათგანის მიხედვით მთვარის კრატერები წარმოადგენს ოდესღაც მოქმედ, ხოლო შემდეგ ჩამქრალი ვულკანების კრატერებს. მართლაც, მთვარის კრატერებიანი ზედაპირის ფოტოგრაფიები ძლიერ ჰგავს დედამიწის ჩამქრალი ვულკანების რაიონთა აეროფოტოსურათებს. მაგალითად, ნეაპოლის მახლობლად არის ადგილი, სადაც გვხვდება „მთვარის“ ცირკების მრავალრიცხოვანი ჯგუფი, ამასთანავე ზოგიერთ მათგანში შემჩნეულია ცენტრალური ბორცვიც. მთვარის მთაგრეხილები ქერქის ისეთივე ძერის შედეგად წარმოიშვნენ, როგორსაც ადგილი ჰქონდა (და ახლაც აქვს) დედამიწაზე. ზღვები მთვარის ვრცელი დაბლობებია, რომლებიც ბუნებრივად აღმოცენდნენ მთების წარმოშობის იმ შორეულ ეპოქაში, როდესაც მთვარის შინაგანი ბირთვი ჯერ კიდევ გამდნარ მდგომარეობაში იმყოფებოდა. მეორე ჰიპოთეზის მიხედვით კრატერები წარმოშობილი უნდა იყვნენ მთაგრეხე უზარმაზარი მეტეორიტების დავარდნისა და აფეთქებებისაგან, მსგავსად იმისა, როგორსაც ვხვდებით საარტილერიო კურვით აფეთქებისას. ამ ჰიპოთეზის საფუძველი იმაში მდგომარეობს, რომ მთვარეს დედამიწასავით მკერძივ ატმოსფერო არ აკრავს და, მაშასადამე, მეტეორიტები მის ზედაპირზე ძლიერ დიდი სიჩქარით ვარდებიან, რის შედეგად მათ შეუძლიათ დიდი ნგრევების გამოწვევა. თუმცა მაინც ძნელი წარმოსადგენია, რომ თუნდაც საკმარისად მოზრდილ მეტეორიტებს შეეძლოს 200 კმ დიამეტრის მქონე (როგორც, მაგალითად, პტოლემეს კრატერი) კრატერის წარმოშობა, ამასთანავე ამ შემთხვევაში გაუგებარია ცენტრალური ბორცვების წარმოშობაც. მთვარის ქერქში მცირე ხერხელების (ფორების) წარმოშობა კი საეცებით შესაძლებელია აქხსნათ ამ მეტეორიტული ჰიპოთეზით. მაშასადამე, უნდა ჩავთვალოთ, რომ მთვარის დიდი კრატერები ვულკანური მოქმედების შედეგადაა წარმოშობილი, მცირე ზომის ფორები კი — მთვარის ზედაპირზე მეტეორიტთა ვარდნისა და აფეთქების შედეგად.

§ 235. ცვლილებები მთვარეზე. მთვარის ზედაპირი არ ამჟღავნებს გამოფიტვისა და გამორეცხვის არავითარ ნიშნებს. ამიტომ უნდა ვფიქროთ, რომ მთვარეზე არასოდეს არ ყოფილა არც მნიშვნელოვანი ატმოსფერო და არც წყლის შესამჩნევი რაოდენობა. ვულკანური ამოფრქვევებიც აგრეთვე დიდხანია რაც შეწყდა. ამჟამად მთვარე მკვდარი კლდოვანი უდაბნოა, სადაც თითქმის არავითარი ცვლილებები არ ხდება*, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მეტეორიტთა ვარდნის შედარებით იშვიათ შემთხვევებს. ტემპერატურის მკვეთრი რხევების (§ 232) შედეგად მხოლოდ კლდეები უნდა სკდებოდნენ, თანდათანობით და ზოგჯერ შეიძლება კიდევაც ინგრეოდნენ, თუმცა მთვარის ზედაპირზე ჯერ არ მომხდარა არც ერთი შესამჩნევი ცვლილება.

§ 236. მთვარის გავლენა დედამიწაზე. მთვარის ერთადერთ ზემოქმედებას დედამიწაზე ზღვის მოქცევები და მიქცევები (§ 181) წარმოადგენს. არავითარ სხვა გავლენას მთვარე დედამიწაზე არ ახდენს. კერძოდ, ძლიერ გავრცელებული რწმენა, თითქოს ამინდი იცვებოდეს მთვარის ფაზების ცვლილებასთან ერთად, სრულებითაც არ არის სწორი. ამინ-

* იხ. შენიშვნა, გვ. 249.

დი იცვლება ყოველთვის, მაგრამ ამ რწმენის მომხრენი ბუნებრივია ისეთ ცვლილებებს იმან-სოვრებენ, რომელთაც ადგილი ჰქონდა მთვარის ფაზების შეცვლის ახლოს (ასეთი შემთხვევები კი, ცხადია, ბევრია). ყველა დანარჩენს კი ივიწყებენ.

§ 237. მთვარის რადიოგამოსხივება. 1946 წელს 1,25 სმ ტალღაზე აღმოჩენილ იქნა მთვარის რადიოგამოსხივება. თუმცა მთვარე წარმოადგენს ცივ სხეულს, მაგრამ ის სულ მთლად ცივი არ არის (ზედაპირიდან), რადგანაც იღებს და შთანთქავს მზის სხივების ენერჯიას. მიღებული ენერჯიის ნაწილს მთვარე გამოსხივებს უკანვე თბური (ინფრარწითელი) გამოსხივებისა და რადიოტალღების სახით. საინტერესოა, რომ მთვარის დისკოს განათებული და ბნელი ნაწილების „რადიოსიგნალებზე“ მცირეთი განსხვავდება ერთმანეთისაგან, ასე რომ მთვარის საერთო რადიოგამოსხივების სიდიდე მცირეთა დამოკიდებული მთვარის ფაზებისაგან. ეს გვიჩვენებს, რომ მთვარის რადიოგამოსხივება ჩვენთან მოდის არა თვით მთვარის ზედაპირიდან, არამედ ფენიდან, რომელიც ძვეს მთვარის ზედაპირიდან რომელიმე სიღრმეზე.

§ 238. მთვარის რადიოლოკაცია. რადიოლოკაციის ტექნიკის განვითარებასთან ერთად წარმოიშვა რეალური შესაძლებლობა ციურ სხეულებზე — მზის სისტემის წევრებზე — რადიოსიგნალების გაგზავნის და არეკლილი რადიოსიგნალების მიღებისა. ბუნებრივია, რომ ყველაზე მარტივი იყო „რადიო-ეხოს“ მიღება მთვარიდან — ჩვენთან უახლოეს ციურ სხეულიდან. უკვე 1943 წელს საბჭოთა მეცნიერებმა აკად. ლ. მანდელშტამმა და აკად. ნ. პაპალეკსიმ დაამტკიცეს მთვარიდან არეკლილი რადიოსიგნალის მიღების რეალური შესაძლებლობა. 1946 წელს ეს ექსპერიმენტი თითქმის ერთდროულად იყო შესრულებული უნგრეთში პროფ. ბლაისა და მისი თანამშრომლების მიერ, აგრეთვე ამერიკელი სპეციალისტების მიერ ამერიკის შეერთებულ შტატებში.

¹ ამჟამად უკვე მიღებულია მთვარის დედამიწიდან უხილავი ნახევარსფეროს ფოტოგრაფიები. მათი მიღება განხორციელდა ცთომილთშორისი ავტომატური სადგურის საშუალებით, რომელიც მთვარის გარშემო ორბიტზე გაიყვანა საბჭოთა კავშირიდან 1959 წლის 4 ოქტომბერს წარმატებით გაშვებულმა მრავალსაფეხურიანმა რაკეტამ.

მიღებული ფოტოგრაფიების წინასწარმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ მთვარის ჩვენგან მიქცეულ ნახევარსფეროზე ჰარბობს მთიანი რაიონები, ხოლო ზღვები (მთვარის ხილული ზედაპირის ზღვების მსგავსი) ძალიან მცირე რაოდენობითაა; მკვეთრად გამოიყოფა სამხრეთ და ეკვატორის მახლობელ ადგილებში კრატერული ზღვები.

მიღებული ფოტოგრაფიების დამუშავება და გამოკვლევა ამჟამადაც გრძელდება.

* უკანასკნელ დროს თითქოს შემჩნეულ იქნა მთვარეზე გარკვეული ცვლილებები, რომლებსაც ვულკანურ მოქმედებებს მიაწერენ. მის დასადასტურებლად დაკვირვებები კვლავ გრძელდება. (ქართ. გამოც. რედ.).

ხვარჯიშოები XI თავისათვის

1. როგორ მოჩანს დედამიწა იმ წარმოსახვითი დამკვირვებლისათვის, რომელიც მთვარის ხილული ნახევარსფეროს ცენტრის მახლობლად იმყოფება? როგორ გავლენას ახდენს მისთვის ლიბრაცია დედამიწის ხილულ მდებარეობაზე?

2. შეიძლება თუ არა მთვარიდან დედამიწის ამოსვლა-ჩასვლაზე დაკვირვება?

3. §§ 130 და 228 მონაცემების მიხედვით გამოითვალეთ ანომალისტური თვის ხანგრძლიობა, ანუ გრძელზე ლიბრაციის პერიოდი (სიზუსტით დღე-ღამის მესამედ ნაწილამდე).

4. გამოთვალეთ განედზე ლიბრაციის პერიოდი (დრაკონული თვე). რატომ არის, რომ დრაკონული თვე ვარსკვლავთმეორზე ხანმოკლეა, ხოლო ანომალისტური — ხანგრძლივი?

5. როგორ წარმოებს მთვარეზე მნათობთა დღედამური მოძრაობა? რამდენ ხანს გრძელდება იქ დღე და ღამე?

6. ისე ძლიერად იცვლება თუ არა მთვარეზე დღის ხანგრძლიობა წლის დროთა მიხედვით, როგორც დედამიწაზე?

7. აქვს თუ არა მზეს ისეთივე სახე მთვარიდან, როგორც დედამიწის ზედაპირიდან?

8. როგორ წარმოებს მთვარეზე „ვარდნილ ვარსკვლავთა“ მოვლენა?

9. რამდენ ხანში შემობრუნდებოდა მთვარე თავისი ღერძის ირგვლივ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის, მთვარის ბრუნვის ჰემსფერიტი პერიოდი ნახევარი თვე რომ ყოფილიყო (პირდაპირი მიმართულებით ბრუნვისას)? რომ ყოფილიყო ერთი თვე, ხოლო ბრუნვა საწინააღმდეგო მიმართულების?

10. რამდენ ხანში უნდა შემობრუნებულიყო მთვარე თავისი ღერძის ირგვლივ, რომ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მისი ბრუნვის პერიოდი ტოლი ყოფილიყო მისივე ბრუნვის ჰემსფერიტი პერიოდისა? ახსენით პასუხი და იპოვეთ ანალოგიური ამოცანა VII თავის სავარჯიშოებში.

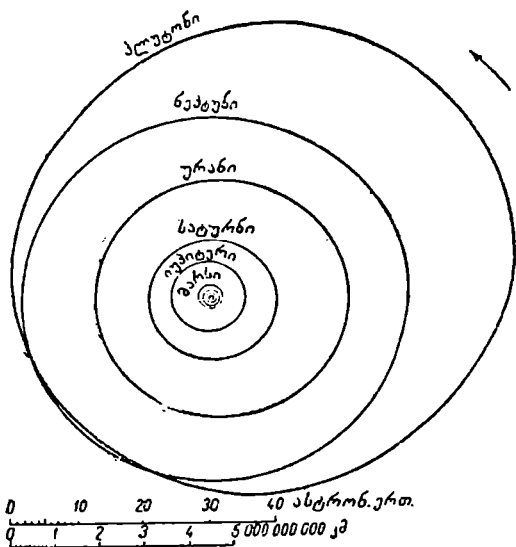


ცთომილები

§ 239. ცთომილთა სისტემის მიმოხილვა. დღესდღეობით ჩვენ ვიცით ცხრა დიდი ცთომილი და 1600-ზე მეტი მცირე ცთომილი, ე. წ. ასტეროიდი, რომელთა ორბიტები ცნობილია¹. ყველა ეს სხეული მოძრაობს მზის ირგვლივ ერთი მიმართულებით (დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ); ცთომილთა უმრავლესობის ორბიტების სიბრტყეები ერთმანეთთან ძლიერ ახლოს არის. მათი ორბიტები ელიფსებია, რომლებიც უფრო ხშირად წრეებისაგან მცირედ განსხვავდებიან (ნახ. 112).

დიდი ცთომილები, მზიდან მათი დაშორების მიხედვით შეიძლება ორ ჯგუფად გაეყოთ, ამასთანავე თითოეული ჯგუფის წევრები ერთმანეთს სხვა მხრივაც ჰგავს.

პირველ ჯგუფს ეკუთვნის მზესთან უფრო ახლო ბელი ოთხი ცთომილი: მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი. ყველა ეს ცთომილი შედარებით მცირეა. მათგან დედამიწა ყველაზე დიდია. რადგანაც ისინი საერთოდ დედამიწას ჰგვანან, ამიტომ მათ ზოგჯერ დედამიწის ტიპის ცთომილებსაც უწოდებენ. მეორე ჯგუფს ეკუთვნის



ნახ. 112

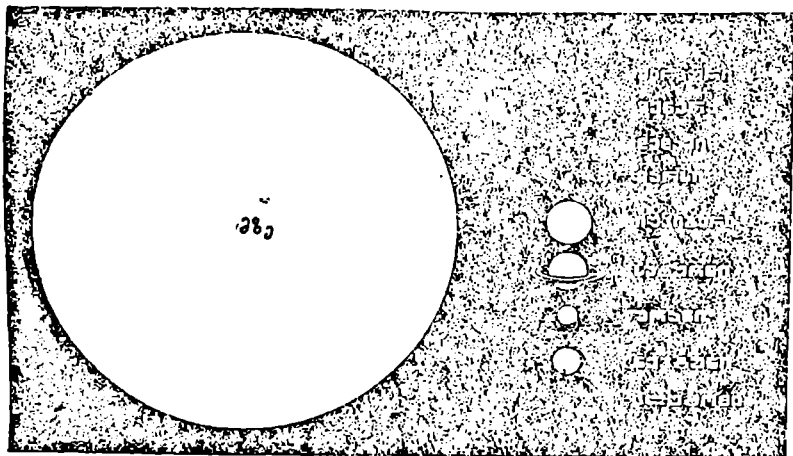
მეორე ჯგუფს ეკუთვნის მზესთან უფრო ახლო ბელი ოთხი ცთომილი: მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი. ყველა ეს ცთომილი შედარებით მცირეა. მათგან დედამიწა ყველაზე დიდია. რადგანაც ისინი საერთოდ დედამიწას ჰგვანან, ამიტომ მათ ზოგჯერ დედამიწის ტიპის ცთომილებსაც უწოდებენ. მეორე ჯგუფს ეკუთვნის

¹ მცირე ცთომილების საერთო რაოდენობა დაახლოებით 200 ათასი უნდა იყოს.

მზიდან უფრო და შორეული ოთხი კთომილი: იუპიტერი, სატურნი, ურანი და ნეპტუნი¹. ისინი როგორც მზისაგან, ისე ერთმანეთისაგან ძლიერ დიდ მანძილებზე იმყოფებიან. მათი ზომები უზარმაზარია, რის გამოც ამ ჯგუფს გიგანტ-კთომილების (ნახ. 113) ჯგუფს უწოდებენ. მარსსა და იუპიტერს შორის, ე. ი. სწორედ ორი ჯგუფის საზღვარზე, მცირე კთომილების, ანუ ასტეროიდების არე იმყოფება.

კთომილთა შორის განცალკევებულია პლუტონი, რომლის შესახებაც ცნობები ჯერ კიდევ ძალიან ცოტაა.

ერთად აღებული ყველა კთომილის მასა მზის მასის დაახლოებით 1/750 ნაწილს შეადგენს. სწორედ ამაში მდგომარეობს მზის სისტემის მდგრადობის ერთ-ერთი უმთავრესი მიზეზი: კთომილთა მოძრაობის წარმმართვე-



ნახ. 113

ლი მთავარი ძალა არის მზის მიზიდულობის ძალა და მასთან შედარებით ცალკეულ კთომილთა ურთიერთმიზიდულობა გაცილებით ნაკლებ მნიშვნელობის როლს ასრულებს.

ფიზიკურად ყველა კთომილი ერთმანეთს ჰგავს იმით, რომ საკუთარ სინათლეს არ ასხივებს და მოჩანს მხოლოდ იმის წყალობით, რომ ნათდება მზით. ამის გამო ისინი ტელესკოპში ყოველთვის წესიერი წრეების სახით კი არ ჩანან, არამედ წარმოგვიდგებიან სხვადასხვა ფაზაში. ქვედა კთომილები (§ 140) გადიან ფაზების სრულ ცვლას, მსგავსად მთვარისა. ზედა კთომილებიდან (§ 141) ფაზები ემჩნევა მხოლოდ მარსს.

კთომილთა გარდა მზის სისტემას ეკუთვნის კიდევ: 1) კთომილების თანამგზავრები, 2) კომეტები და 3) მეტეორული სხეულები. ამ სხეულთა

¹ მერკურის, ვენერას, მარსის, იუპიტერის და სატურნის ქართული სახელწოდებებია შესატყვისად: ოტარიდი, აპირიოზი, მარნი, მუშთარი, ზუალი.

მოდრაობა, მსგავსად ცთომილთ მოძრაობისა, მსოფლიო მიზიდულობის კანონს ემორჩილება.

§ 210. ტიკუხის წესი. კეპლერის მესამე კანონი (§ 153) ცთომილთ მახასიათებელ რიცხვებს შორის სხვა დამოკიდებულებათა ძიების საბაზი გახდა. 1766 წელს ნაჩვენები იქნა, რომ მზიდან ცთომილებამდე საშუალო მანძილების მიახლოებითი მნიშვნელობები მიიღება, თუ ავიღებთ რიცხვთა მწკრივს (არა პროგრესიას): 0, 3, 6, 12, 24, ... და თითოეულ წევრს მივუმატებთ 4-ს. მოგვყავს მიღებული ნწკრივი ცთომილთ კემმარტი მანძილებთან ერთად; ამასთანავე დედამიწის მანძილი მიღებულია 10-ის ტოლად:

ამ წესის მიღებისას (*)-ით აღნიშნული ცთომილები ჯერ კიდევ არ იყო ცნობილი. ურანის, მარსსა და იუპიტერს შორის მცირე ცთომილების აღმოჩენამ თითქოს დაამტკიცა „კანონის“ სისწორე, მაგრამ ნეპტუნი მას არ აკმაყოფილებს,

ცთომილები	თეორიული მანძილები	კემმარტი მანძილები
მერკური .	0 + 4 = 4	3,9
ვენერა .	3 + 4 = 7	7,2
დედამიწა .	6 + 4 = 10	10,0
მარსი .	12 + 4 = 16	15,2
*მცირე ცთომილები	24 + 4 = 28	15 — 53
იუპიტერი .	48 + 4 = 52	52,0
სატურნი .	96 + 4 = 100	95,5
*ურანი .	192 + 4 = 196	192,5
*ნეპტუნი .	—	301,1
*პლუტონი .	384 + 4 = 388	396

ფილებს, პლუტონი კი დააკმაყოფილებდა ნეპტუნი რომ არ ყოფილიყო. ვარდა ამისა, არც მერკური თავსდება ზუსტ მათემატიკურ მწკრივში. ამის გამო ტიკუხის წესის შედარებაც კი არ შეიძლება კეპლერის მესამე კანონთან, რომელსაც ღრმა დინამიკური აზრი აქვს (§ 161); ეს მხოლოდ და მხოლოდ ცთომილთა მანძილების დამახსოვრების მიახლოებითი წესია (ისიც არა ყველას).

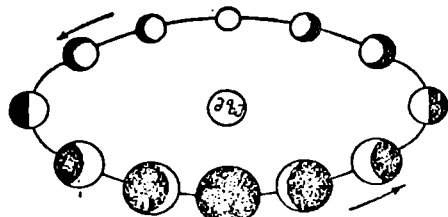
§ 241. მერკური მზესთან ყველაზე უახლოესი და „დიდებს“ შორის ყველაზე პატარა ცთომილია; მისი დიამეტრი დედამიწის დიამეტრის 0,4-ს შეადგენს, მასა თითქმის 20-ჯერ ნაკლებია დედამიწის მასაზე, სიმკვრივე დაახლოებით 5 გ/სმ³-ია. მერკურის საშუალო მანძილი მზიდან 57,8 მილიონი კილომეტრია, ვარსკვლავიერი გარემოქცევის დრო კი სულ 88 დღე-ღამეს უდრის.

რადგანაც მზიდან მისი უდიდესი ელიონგაცია (§ 140) არასოდეს არ აღემატება 28°-ს, ამიტომ ცთომილი თითქმის ყოველთვის დამალული რჩება რიჟრაფის ან საღამოს ბინდის სხივებში და მისი დანახვა ჩვენი განედებიდან იშვიათად არის შესაძლებელი. ამის გამოა, რომ მისი ბუნების შესახებ ძლიერ ცოტა რამ ვიცით.

შეუიარაღებელი თვალთ მერკური პირველი სიდიდის ვარსკვლავივით მოჩანს, ზოგჯერ კი უფრო კაშკაშადაც. ბრწყინვალეების მაქსიმუმში ის თითქმის ცის ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავს, სირიუსს, უტოლდება. ტელესკოპში მერკური, მთვარის მსგავსად, ამგლავნებს ფაზებს (ნახ. 114). ეს ფაზები მზის მიმართ მის მდებარეობაზეა დამოკიდებული. ზედა შეერთების მახლობლობაში, შორს მზის უკან, მას თითქმის სრული პატარა რგოლის სახე აქვს, უდიდესი ელიონგაციის ახლოს პირველი ან უკანასკნელი მეოთხედის

მთვარეს ჰგავს, ქვედა შეერთებასთან კი (მზესა და დედამიწას შორის) შედარებით დიდ, მაგრამ ვიწრო ნამგლის ფორმას ღებულობს.

მერკურზე დაკვირვება ძალიან ძნელია. გვაქვს საფუძველი ვიფიქროთ, რომ თავისი ბუნებით (ისევე როგორც ზომითაც) ის მთვარეს უფრო ჰგავს,



ნახ. 114

ვიდრე დედამიწას. ის მოკლებულია ატმოსფეროს. ღერძის ირგვლივ ბრუნვის პერიოდი მერკურისათვის ჯერ ზუსტად არ არის განსაზღვრული. უფრო მოსალოდნელია, რომ ეს პერიოდი მზის ირგვლივ მერკურის გარემოქცევის დროის ტოლია, ე. ი. 88 დღე-ღამისა. ეს ნიშნავს, რომ ცთომილი მზისკენ ყოველთვის ერთი

მხრით არის მიმართული ისევე, როგორც მთვარე დედამიწისაკენ. ამის გამო მერკურის ერთი ნახევარსფერო მზის სხივებით ძლიერ არის გახურებული (როგორც პირდაპირი გაზომვები გვიჩვენებს 400°C ტემპერატურამდე); მასზე მუდმივი დღეა, მეორე ნახევარსფეროზე კი — მუდმივი ღამე და სიცივე. თანამგზავრები მერკურს არა ჰყავს.

§ 242. ვენერა. „დილისა“ და „სალამოს“ ეს ბრწყინვალე ვარსკვლავი, მზისა და მთვარის შემდეგ, ცის ყველაზე კაშკაშა მნათობია. თავისი უდიდესი ბრწყინვალეობისას ის სირიუსზე 13-ჯერ მეტად კაშკაშაა. ამ დროს ვენერას ბრწყინვალეობა იმდენად დიდია, რომ მზის ჩასვლის შემდეგ მისგან განათებული სხეულები ადვილად შესამჩნევ ჩრდილებს იძლევიან, ღლისით კი, მზის სრული ნათების დროს, მისი დანახვა შეიძლება შეუიარაღებელი თვალით. თუ მის ბრწყინვალეობას ვარსკვლავიერი სიდიდებით (§ 282) შევადარებთ, მივიღებთ უარყოფით რიცხვებს. ბრწყინვალეობის მაქსიმუმში ვენერა მინუს მე-4 სიდიდის ვარსკვლავით მოჩანს, მინიმუმში კი მინუს 3-ისა.

სიდიდით ვენერა თითქმის დედამიწის ტოლია: მისი დიამეტრი მხოლოდ 3% -ითაა ნაკლები დედამიწის დიამეტრზე, მასა კი დედამიწის მასის $4/5$ -ს შეადგენს. ვენერა მზიდან დაშორებულია საშუალოდ 108,1 მილიონი კილომეტრით. მზის ირგვლივ იგი გარემოქცევა 225 დღე-ღამის განმავლობაში.

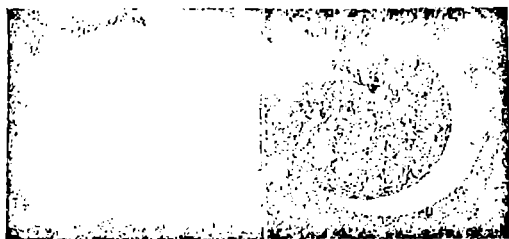
ტელესკოპებში კარგად მოჩანს ვენერას ფაზები, რომელთა ცვლა ისევე წარმოებს, როგორც მერკურისათვის, მხოლოდ ვენერას დისკოს ხილული დიამეტრი უფრო მეტად იცვლება, ვინაიდან ქვედა შეერთების დროს ცთომილი ჩვენთან ექვსჯერ უფრო ახლოს არის, ვიდრე ზედა შეერთებისას. ქვედა შეერთებაში ვენერა დედამიწას 40 მილიონ კმ-ზე უახლოვდება, ე. ი. იმყოფება ცის ყველა სხვა სხეულზე უფრო ახლოს, გარდა მთვარისა და ზოგიერთი მცირე ცთომილისა, რომელნიც შეუიარაღებელი თვალით არ მოჩანან. მაგრამ ამ დროს ვენერა დედამიწისაკენ თავისი ბნელი ნახევრით არის მომართული, როგორც მთვარე ახალმთვარეობისას. ასე რომ, ამ მომენტში მისი ზედაპირის დაკვირვება შეუძლებელია.

ცთომილის კაშკაშა თეთრ ზედაპირზე არავეითარი განსაზღვრული ლაქები არ ჩანს, რომელთა მიხედვით შეიძლება ღერძის ირგვლივ მისი ბრუნვისათვის თვალყურის დევნება. ამიტომ ამ ბრუნვის პერიოდი დღევანდლამდე უცნობია. ფიქრობენ, რომ ვენერა ბრუნავს ნელა და ერთ სრულ შემობრუნებას დაახლოებით ერთ თვეს ანდომებს. იმასაც ფიქრობდნენ, რომ ეს ცთომილი ყოველთვის ერთი მხარით არის მიქცეული მზისაკენ, მაგრამ ამ აზრს ამჟამად არ იზიარებენ.

ვენერას ზედაპირის გაცნობაში ხელს გვიშლის მისი ატმოსფერო. იგი აღმოჩენილია მ. ვ. ლომონოსოვის მიერ 1761 წლის 6 ივნისს ცთომილის გავლის დროს მზის დისკოზე (§ 243). ვენერას ატმოსფეროს არსებობა ყველაზე უკეთ მტკიცდება მისი სახით, რომელიც მას ქვედა შეერთების მახლობლობაში აქვს, როცა მზე ცთომილის უკან მდებარეობს. ამ დროს ვენერა ხშირად მოჩანს არა ვიწრო ნამგლის სახით, რომელიც როგორც ახალი მთვარისათვის 180°-ზე უნდა ვრცელდებოდეს (ნამგლის ერთი ბოლოდან მეორე ბოლომდე), არამედ როგორც თითქმის სრული წრეხაზი (ნახ. 115). ეს მოვლენა შეიძლება აიხსნას მხოლოდ სინათლის გარდატეხით ცთომილის მკვერივ ატმოსფეროში.

ვენერას ატმოსფერო ძლიერ ნისლოვანია, ისე რომ თვით მის ზედაპირს მეტისმეტად იშვიათად ვხედავთ და ისიც მხოლოდ ატმოსფეროში მოძრავ

ღრუბლებს შორის. შემადგენლობის მიხედვით ვენერას ატმოსფერო დიდად განსხვავდება დედამიწის ატმოსფეროსაგან. ამ ცთომილის სპექტრში ჯერჯერობით არ არის აღმოჩენილი არც ჟანგბადის და არც წყლის ორთქლის ხაზები, სა-მაგიეროდ არსებობს ნახ-



ნახ. 115.

ში ო რ მ ე ა ვ ა გა ზ ის განიერი ინტენსიური ზოლები, რომლებიც დედამიწის ატმოსფეროს სპექტრში სრულიად შეუმჩნეველია. მაშასადამე, ვენერას ატმოსფერო ამ მიმე გაზის ბევრად უფრო მეტ რაოდენობას შეიცავს, ვიდრე ჩვენი ატმოსფერო და ძირითადად მისგან შედგება. ვენერას, ისევე, როგორც მერკურს, თანამგზავრები არა ჰყავს. ვენერა მზისაგან ორჯერ უფრო მეტ სითბოს იღებს, ვიდრე დედამიწა და ამის გამო მზისგან განათებულ მის ნახევარსფეროზე ტემპერატურა მნიშვნელოვნად მეტია (100°C-მდე), ვიდრე დედამიწაზე. ცთომილის ლამის მხარეზე თერმოვლემენტით გაზომილი ტემპერატურა ტოლი აღმოჩნდა დაახლოებით — 25°C-ის. ეს ერთხელ კიდევ ადასტურებს იმას, რომ ვენერას ბრუნვის პერიოდი ღერძის ირგვლივ ბევრად უფრო ნაკლებია 225 დღე-ღამეზე (მზის ირგვლივ ვენერას გარემოქცევის დროზე).

§ 24მ. მერკურისა და ვენერას გავლა მზის დისკოზე. რადგანაც ორივე ეს ცთომილი მოძრაობს ისეთ ორბიტებზე, რომლებიც დედამიწის ორბი-

ტის შიგნით არიან მოთავსებულნი, ამიტომ ისინი ზოგჯერ ზუსტად მზესა და დედამიწას შორის გადაიან. ამ დროს ცთომილის შემჩნევა შეიძლება მზის დისკოზე პატარა შავი რგოლის სახით. მერკურის ასეთი გავლა საუკუნეში საშუალოდ 13-ჯერ ხდება, ამასთანავე, მხოლოდ მაისსა და ნოემბერში. უახლოესი გავლა მოხდა 1960 წლის 7 ნოემბერს. ვენერას გავლა, რომელიც მხოლოდ ივნისსა და დეკემბერში ხდება, ბევრად უფრო იშვიათად წარმოებს ხოლმე. მისი გავლა პერიოდულად მეორდება 8 წლის, 105 $\frac{1}{2}$, კიდევ 8 და 121 $\frac{1}{2}$ წლის შუალედებით. გავლის უკანასკნელ წყვილს 1874 და 1882 წლების დეკემბერში ჰქონდა ადგილი; შემდეგი წყვილი მოხდება მხოლოდ 2004 და 2012 წლების ივნისში.

მერკურის გავლაზე დაკვირვებას მნიშვნელობა აქვს მისი მოძრაობის გამოსაკვლევად, რომელიც ცის მექანიკის თვალსაზრისით დიდად საინტერესოა (§ 185). ვენერას გავლას უწინ გულმოდგინედ აკვირდებოდნენ, რომ განესაზღვრათ მზის პარალაქსი, ახლა კი ეს მეთოდი, თავისი ნაკლები სიზუსტის გამო, აღარ იხმარება.

§ 244. დედამიწა-მთვარე. მზიდან მანძილის მიხედვით მესამე ადგილი უჭირავს მზის სისტემის ერთადერთ ორმაგ ცთომილს — ჩვენს დედამიწას მთვარიერთ. მართლაც, მთვარე არ არის იმდენად უმნიშვნელო სიდიდის დედამიწასთან შედარებით, რომ ის ჩათვალოს იმავე კატეგორიის თანამგზავრად, როგორც ყველა სხვა ცთომილის თანამგზავრები. ვენერაზე მყოფ დამკვირვებელს დედამიწა მთვარიერთ არაჩვეულებრივი სილამაზის ორმაგ ვარსკვლავად წარმოუდგება: მთავარი მნათობი მნიშვნელოვნად უფრო ბრწყინვალეა, ვიდრე დედამიწიდან ვენერა; თანამგზავრს კი დაახლოებით იუპიტერის სიკაშკაშე აქვს, ამასთანავე მათ შორის მანძილი არასოდეს არ აღემატება $\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს. დედამიწის, როგორც ცის სხეულის, თვისებებიდან ჩვენ მხოლოდ ერთს განვიხილავთ (§ 245).

§ 245. დედამიწის პოლუსების მოძრაობა. 1884 წ. კიუსტენერმა აღმოაჩინა, რომ დედამიწის ზედაპირის წერტილების განედები პერიოდულად იცვლება. მალე ეს დადასტურდა სხვა ასტრონომების შრომებითაც, განსაკუთრებით კი მოსკოვის უნივერსიტეტის ობსერვატორიის განედის ზუსტი, სისტემატური განსაზღვრებით, რომლებიც შესრულებული იქნა 1892 — 1895 წლებში პ. კ. შტერნბერგის მიერ.

მთელი დედამიწის სფეროს ირგვლივ ერთსა და იმავე განედზე მდებარე მთელი რიგი პუნქტების განედების შემდგომმა სისტემატურმა განსაზღვრამ გვიჩვენა, რომ თითოეული წერტილის განედის ცვლილება წარმოებს ყველა სხვა წერტილთან ზუსტი შესაბამისობით; მაგალითად, როდესაც რომელიმე *A* წერტილის განედი იზრდება, მაშინ იმავე პარალელის დიამეტრულურად მოპირდაპირე *B* წერტილის განედი ამდენადვე მცირდება. ამის ახსნა შეიძლება მხოლოდ პოლუსების მოძრაობით დედამიწის ზედაპირზე. მოცემულ შემთხვევაში ჩრდილოეთის პოლუსი *A* წერტილს უახლოვდება და ამდენადვე შორდება *B* წერტილს. ასეთივე მოძრაობა ახასიათებს, ცხადია, სამხრეთის პოლუსსაც; მაშასადამე, ეს მოვლენა იმაში მდგომარეობს, რომ დედამიწის ღერძი იცვლის თავის მდებარეობას დედამიწის სხეუ-

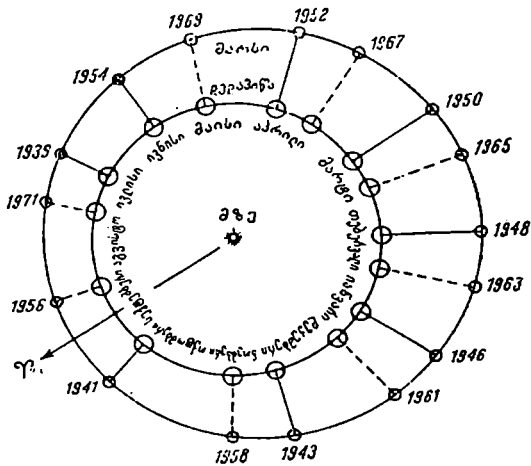
ლის მიმართ (ეს მოძრაობა არ უნდა ავიწყლოთ სამყაროში დედამიწის ბრუნვის ღერძის მდებარეობის პრეცესიულ ცვლილებაში).

პოლუსების გადაადგილება უმნიშვნელოა. თითოეული წერტილის განედით იცვლება არა უმეტეს 0'',7-ისა. დედამიწის ზედაპირზე მოძრაობისას პოლუსი ყოველთვის რჩება კვადრატის შიგნით, რომლის გვერდი 30 მ-ს უდრის. ამ კვადრატში ჰემსპარტიტი პოლუსი საშუალო პოლუსის ირგვლივ ყოველთვის ერთი და იმავე მიმართულებით გარემოიქცევა. მათემატიკური გამოკვლევების შედეგად ირკვევა, რომ პოლუსის მიერ აღწერილი რთული მრუდი შედგება რამდენიმე უფრო მარტივი მრუდისაგან, რომელთაგან უმთავრესია: 1) ელიფსზე მოძრაობა წლიური პერიოდით და 2) მოძრაობა წრეზე იმავე მიმართულებით, დაახლოებით, 14 თვიანი პერიოდით. წლიური მდგენელი, ალბათ, დაკავშირებულია წლის დროთა ცვლილებებთან (თოვლისა და ყინულის მომატება და დნობა რიგრიგობით ხან ჩრდილოეთ და ხან სამხრეთ ნახევარსფეროში). თოთხმეტთვიანი პერიოდის მიზეზი შეიძლება დედამიწის სფეროში მასების არა სავსებით თანაბარი განაწილება იყოს.

§ 246. მარსი, მისი მოძრაობა და სიკაჟაჟე. მარსი ეკუთვნის უკვე ზედა კტომილთა რიცხვს; ამის გამო მისი ხილვადობის პირობები უფრო

ბელსაყრელია, ვიდრე მერკურისა და ვენერასი. სახელდობრ, მარსი ხანგამოშვებით ნახესთან პირისპირ დგომაშია (§ 141); ამ დროს ის დედამიწასთან უახლოეს მანძილზე მოდის, კულმინაციას აღწევს შუალისას და დაკვირვებისათვის მისაწვდომია მთელი ღამის განმავლობაში. მარსის ვარსკვლავიერი გარემოქცევა მზის ირგვლივ 687 დღე-ღამეს შეადგენს, ე. ი. ორ წელიწადზე ცოტა ნაკლებს. ეს გარემოქცევა ზუსტად ორ წელს რომ შეადგენდეს, მაშინ მარსის ერთი სრული შემობრუნებისას დედამიწა ორჯერ შემოუვლიდა მზეს და პირისპირდგომები ყოველ ორ წელიწადში მოხდებოდა. მაგრამ, რადგანაც მარსი რამდენაღმე უფრო სწრაფად მოძრაობს, ამიტომ დედამიწას დამატებით კიდევ ოთქქმის 50 დღე-ღამე სჭირდება იმისათვის, რომ მას დაეწიოს. ამის გამო ორ პირისპირდგომას შორის დროის შუალედი ანუ ე. წ. სინოდური გარემოქცევის დრო (§ 148) საშუალოდ 2 წელიწად და 50 დღე-ღამეს შეიცავს.

ყველა პირისპირდგომა ერთნაირად არ არის ხელსაყრელი. მარსის ორბიტის შედარებით დიდი ექსცენტრისიტეტის (0,09) გამო მისი მანძილი მზი-



ნახ. 116

დან საკმარისად ვრცელ საზღვრებში ირყევა (ნახ. 116). ამიტომ, თუ პირის-პირდგონა ნოხდა იმ დროს, როდესაც მარსი თავისი აფელიუმის ახლოს იმყოფება, მაშინ დედამიწიდან მანძილი 100 მილიონამდე კილომეტრი იქნება; თუ პირისპირდგონა პერიპელიუმთან ახლო მოხდა, მაშინ ეს მანძილი თითქმის ორჯერ ნაკლები იქნება, სახელდობრ, სულ 55 მილიონი კილომეტრი. ეს უკანასკნელი დიდ პირისპირდგომად იწოდება და მეორდება ყოველ 15 ან 17 წლის შემდეგ, ამასთანავე ყოველთვის ივლის-სექტემბერში. უკანასკნელი დიდი პირისპირდგონა 1956 წელს იყო, შემდეგი კი 1971 წელს იქნება.

შეუიარაღებელი თვალით მარსი მოჩანს როგორც კაშკაშა წითელი ვარსკვლავი.

დედამიწიდან მარსამდე მანძილის ძლიერი ცვალებადობის გამო მისი ბრწყინვალეობა მეტისმეტად ირყევა: შეერთების მახლობლად, მზიდან შორს, მეორე მხარეს ის ჩანს სულ მხოლოდ მეორე სიდიდის ვარსკვლავით. დიდი პირისპირდგომის დროს კი მცირე ხნით ცის ყველაზე უფრო კაშკაშა ობიექტად გვევლინება ვენერას შემდეგ.

მარსი დედამიწაზე თითქმის ორჯერ პატარაა, მისი დიამეტრი შეადგენს 6900-მდე კილომეტრს, მასა კი დედამიწის მასაზე დაახლოებით 8-ჯერ ნაკლებია. სიმკვრივე ტოლია 3,84 გ/სმ³, ანუ დედამიწის სიმკვრივის 0,71-ისა, სიმძიმის ძალა კი მის ზედაპირზე 5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწაზე.

§ 247. მარსის ზედაპირი. დედამიწასთან მსგავსება. ეს ცთომილი განსაკუთრებით საინტერესოა რადგან ზოგიერთი მხრივ ის დედამიწას ჰგავს.

მარსის ზედაპირზე მუდმივი ლაქები მოჩანს (ნახ. 117); მათზე დაკვირვებამ გვიჩვენა, რომ მარსი თავისი ლერძის გარშემო ერთ შემობრუნებას თითქმის იმდენსავე ხანს ანდომებს, რამდენსაც დედამიწა, სახელ-



ნახ. 117.

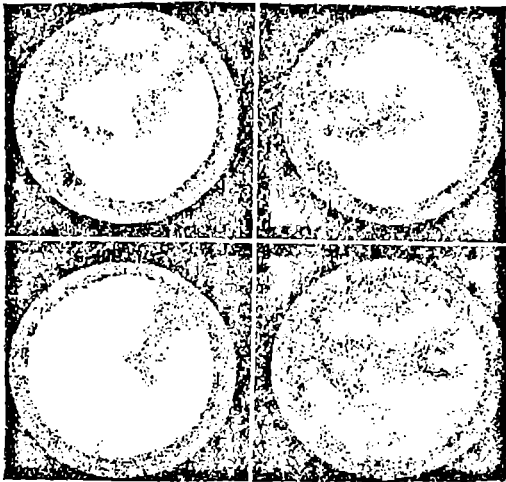
დობრ 24 საათს, 37 მიწუტს და 23 სეკუნდს. ცთომილის ბრუნვის ლერძი მისი ორბიტის სიბრტყის პერპენდიკულართან შეადგენს დაახლოებით 25°-ს (დედამიწისათვის ეს კუთხე 23 $\frac{1}{2}$ °-ის ტოლია). ამის შედეგად მარსზედაც წლის დროთა ისეთივე ცვლილება ხდება, როგორც დედამიწაზე, მხოლოდ იქ წლის თითოეული დრო თითქმის ორჯერ მეტხანს გრძელდება, რადგან მარსის წელიწადიც თითქმის ორჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწისა.

მარსის ატმოსფეროს შემადგენლობა ჯერ გაურკვეველია. სანდოდ არის დადგენილი მხოლოდ ნახშირორჟანგა გაზის არსებობა ორჯერ უფრო მეტი რაოდენობით.

დენობით, ვიდრე დედამიწაზე. ჟანგბადი და წყლის ორთქლი აღმოჩენილი არ არის, თუმცა თანამედროვე სპექტროგრაფებით შესაძლებელი იყო მათი აღმოჩენა, ჟანგბადი და წყალი მარსის ატმოსფეროში ათასჯერ ნაკლებიც რომ ყოფილიყო, ვიდრე დედამიწის ატმოსფეროშია. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ჟანგბადი და წყლის ორთქლი მარსის ატმოსფეროში იმის $0,1\%$ -ზე მეტი არ არის, რაც დედამიწის ატმოსფეროში გვხვდება. ატმოსფერული წნევა მარსის ზედაპირთან უნდა შეადგენდეს ვერცხლის წყლის სვეტის 60—70 მმ-ს, რაც შეესაბამება დედამიწის ატმოსფეროს სიმკვრივეს ზღვის დონიდან 18—20 კმ სიმაღლეზე. ტემპერატურის განაწილება მარსის ატმოსფეროში აგრეთვე ნკვეთრად განსხვავდება დედამიწის ატმოსფეროში მისი განაწილებისაგან.

მარსის დისკოზე თვალში გვეცემა ორი თეთრი ლაქა, ერთი — ჩრდილოეთის პოლუსის ირგვლივ, მეო-უე კი — სამხრეთის. თითოეული ამ ლაქათაგანი იზრდება, როდესაც მოცემულ ნახევარსფეროზე ზამთარია; ზაფხულის დადგომასთან ის პირიქით, მცირდება და ხშირად სრულიადაც ქრება (ნახ. 118).

ჩვენ რომ შევეძლოს დედანიწას შევხედოთ სამყაროს სივრციდან, მაშინ მისი პოლუსების ირგვლივაც დაეინახავდით თეთრ ლაქებს; ეს ლაქები



ნახ. 118

ზამთარში დიდი გამოჩნდებოდა, ზაფხულში კი უფრო პატარა. ამრიგად, მარსის არა მარტო ატმოსფეროში, არამედ მის ზედაპირზედაც არსებობს წყალი, მაგრამ ბევრად ნაკლები რაოდენობით, ვიდრე დედამიწაზე; ეს იქიდან ჩანს, რომ მარსის პოლუსების ირგვლივ თეთრი ლაქები ჩქარა დნება და ხშირად საესებით ისპობა, რასაც დედამიწაზე არასოდეს არა აქვს ადგილი. ცხადია, მარსის პოლარული ფენა ბევრად უფრო თხელია, ვიდრე დედამიწისა. ტიხოვის გამოკვლევებით მარსის პოლარული ქუდები უმთავრესად ყინუ-

ღისაგან შედგება და არა თოვლისაგან, რადგანაც მათ, სწორედ რომ ვთქვათ, უფრო მოლურჯო ფერი აქვთ.

ღია ფერის პოლარული ლაქების გარდა, მარსზე ჩანს კიდევ მუქი ლაქები, რომლებსაც საერთოდ არ შეუცვლიათ თავიანთი მოხაზულობა ტელესკოპური დაკვირვებების მთელი დროის განმავლობაში. ცთომილის რუკებზე ისინი ზღვებადაა წოდებული; დედამიწისაგან განსხვავებით მარსის „ზღვებს“ ცთომილის მთელი ზედაპირის ნახევარზე ნაკლები უჭირავს (ნაპ. 117). მარსის მონარინჯისფრო-ყვითელი „მატერიკებზე“ შეიძლება დავინახოთ ბნელი ზოლები, რომლებიც სხვადასხვა მიმართულებით ვრცელდებიან. იტალიელმა ასტრონომმა სკიაპარელმა, რომელმაც პირველმა მიაქცია ყუარდლება ამ ზოლებს 1877 წელს, მათ „არხები“ უწოდა (იტალიურად ეს ნიშნავს „სრუტესაც“ და არა მარტო ხელოვნურ არს).

ფიზიკური პირობები მარსზე მნიშვნელოვნად განსხვავდება დედამიწის პირობებისაგან. უპირველეს ყოვლისა, მარსი მზისგან ორჯერ უფრო ნაკლებ სითბოს იღებს, ვიდრე დედამიწა. ცთომილის ეკვატორზეც კი წინა ზედაპირის ტემპერატურა დღისით, ასტროფიზიკოსების გაზომვების მიხედვით; მხოლოდ დაახლოებით $+10^{\circ}$ -მდე აღის, მზის ჩასვლისას ნულამდე ეცემა, ღამით კი სულ მცირე — 50° -მდე დადის. მარსის „ზღვები“ სრულიად სხვა ბუნებისაა, ვიდრე დედამიწის ზღვები და ოკეანეები. აკადემიკოსმა ვ. გ. ფესენკოვმა დაამტკიცა, რომ მარსზე არ არის დიდი ზომის ღია წყალსატევები. საბჭოთა მეცნიერების გ. ა. ტიხოვის, ვ. გ. ფესენკოვის, ე. ლ. კრინოვისა და ლ. ნ. რადლოვის გამოკვლევებით დადგენილია მარსისა და დედამიწის ზედაპირების მსგავსება მზის სხივების არეკლაში მარსის უბნების არეკლის უნარიანობის შესწავლის საფუძველზე. მონარინჯისფრო-ყვითელი „მატერიკები“ დედამიწის უდაბნოების მსგავსია. ვ. ა. ტიხოვის აზრით, მიუხედავად მკაცრი ბუნებრივი პირობებისა, მარსზე შესაძლოა ჩვენი მაღალმთიანი ან ტუნდრის მცენარეულობის ტიპის არსებობა.

არხების ბუნების საკითხი ჯერ კიდევ ახლახან დიდ დავას იწვევდა. ლოველი დაჟინებით იცავდა იმ აზრს, რომ ისინი შექმნილია გონიერ არსებათა — მარსის მცხოვრებლების მიერ. მაგრამ ახლა გამოირკვა, რომ უძლიერეს ხელსაწყობში არხები უკეთესად კი არა, უარესად მოჩანს, ვიდრე შედარებით სუსტებში. ბევრ შემთხვევაში აღმოჩნდა, რომ იმ ადგილზე, სადაც ლოველი სწორ ხაზს ხატავდა, ძლიერ ხელსაწყობში ჩანს მხოლოდ დაახლოებით ერთ წრფეზე განლაგებული რამდენიმე არაწესიერი ფორმის ლაქა. სუსტ მილში არც ერთი ამ ლაქათაგანი ცალკე არა ჩანს და ყველა მათგან საერთო შთაბეჭდილება მკრთალი სწორი ხაზის სახით მიიღება. ამრიგად, სინამდვილეში მარსის ზედაპირს სრულიად ბუნებრივი სახე აქვს, არხების წესიერი გეომეტრიული ქსელის გარეშე, ისე რომ მათი ხელოვნურად წარმოშობის საკითხი თავისთავად იხსნება.

§ 246. მარსის თანამგზავრები. 1877 წლის დიდი პირისპირდგომის დროს აღმოაჩინეს მარსის ორი პატარა თანამგზავრი, რომელთაც ფობოსი და დეიმოსი უწოდეს („შიში“ და „საშინელება“; ასე იწოდებოდა ძველ მითოლოგიაში ომის ღმერთის — მარსის თანამგზავრები). ამ თანამგზავრთა და-

ნახვა შეიძლება მხოლოდ უძლიერესი ხელსაწყოებით და დიდი ექსპოზიციებით გადაღებულ ფოტოგრაფიებზე, რადგანაც მათი დიამეტრი მცირეა და საექ-
ვოა აღემატებოდეს 20 — 30 კმ-ს. მარსის თანამგზავრების პირველი ფოტოგ-
რაფიები მიიღო რუსმა ასტრონომმა ს. კ. კოსტინსკიმ პულკოვოში. განსაც-
ვიტრებელია ცთომილთან მათი მეტისმეტი სიახლოვე და ამის გამო ძლიერ
სწრაფი გარემოქცევა. ასე, მაგალითად, ფობოსი მარსის ზედაპირიდან
60-ჯერ უფრო ახლოს იმყოფება, ვიდრე მთვარე დედამიწიდან და ერთ სრულ
გარემოქცევას სულ 7 საათსა და 39 მინუტს ანდომებს. მაშასადამე, მისი „თვე“
სამჯერ უფრო მოკლეა მარსის „დღე-ღამეზე“. თავისი მოძრაობით ფობოსი
უსწრებს ცთომილის ბრუნვას და ცთომილზე მყოფი დამკვირვებლისათვის
ის ძლიერ სწრაფად გადაადგილდება ცის დღელამური ბრუნვის საწინააღ-
დეგო მიმართულებით, ე. ი. ამოდის დასავლეთიდან და რამდენიმე საათის
შემდეგ ჩადის აღმოსავლეთით. დეიმოსი ცთომილს დაშორებულია 24000
კმ-ით და მისი გარემოქცევის პერიოდი 30 საათს შეადგენს. მარსის ზედაპირი-
დან ორივე თანამგზავრი ჩვენს მთვარეზე ბევრად უფრო მკრთალი გამოჩნ-
დებოდა.

§ 249. მცირე ცთომილები. ტიციუსის წესმა (§ 240) წარმოშვა აზრი
მარსსა და იუპიტერს შორის ცთომილის არსებობის შესახებ. 1801 წლის
1 იანვარს ასეთი ცთომილი მართლაც აღმოჩენილ იქნა იტალიელი ასტრო-
ნომის პიაცის მიერ და მას ცერერა ეწოდა. მისმა აღმოჩენამ არა მარტო
დიდი ინტერესი გამოიწვია, არამედ უდიდესი როლიც შეასრულა ასტრონო-
მიის განვითარებაში. როდესაც ცთომილი მისი აღმოჩენიდან ცოტა ხნის
შემდეგ შიხს სხივებში დიმალა, გაუსმა პიაცის მცირე რაოდენობის დაკვირ-
ვებათა მიხედვით გამოითვალა მისი ორბიტი და მიუთითა ცის ის ადგილი,
სადაც იგი უნდა ეძებნათ. მეთოდი, რომლითაც მან გადაწყვიტა ამოცანა
„სამი დაკვირვებით ცთომილის ორბიტის განსაზღვრა“, დღევანდლამდე წარ-
მატებით გამოიყენება თეორიულ ასტრონომიაში ცის სხეულთა ორბიტების
განსასაზღვრავად.

აღმოჩნდა, რომ ცერერა არის მხოლოდ ერთ-ერთი იმ მრავალრიც-
ხოვან მცირე ცთომილთაგან ანუ ასტეროიდთაგან, რომლე-
ბიც გარემოქცევიან მზის ირგვლივ მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შო-
რის. პომდევნო წელს აღმოჩენილ იქნა მეორე ცთომილი — პალადა; დღეს-
დღეობით უკვე 1600-ზე მეტი ასტეროიდია ცნობილი¹, და აღმოჩენები კიდევ
განუწყვეტლივ გრძელდება — ყოველ წელს რამდენიმე ახალ ცთომილს პოუ-
ლობენ. მათ აღნიშნავენ ფრჩხილებში ჩასმული ნომრებით და სახელებით,
მეტწილად ქალებისა. პირველად ამ სახელებს ბერძნული და რომაული მითო-
ლოგიიდან იღებდნენ, შემდეგ კი უბრალოდ სხვადასხვა ხალხის ქალების სა-
ხელებს უწოდებდნენ. ამჟამად მცირე ცთომილებს გამოჩენილი მოღვაწეების
სახელებს არქმევენ. ბევრ ცთომილს მინიჭებული აქვს გამოჩენილ რუს და
საბჭოთა პოლიტიკურ და მეცნიერ მოღვაწეთა სახელები. ერთ-ერთ მათგანს.
მშრომელთა დიდი ბელადის ვლადიმერ ილიას-ძე ლენინის სახელი მიენიჭა.

¹ რხ. შენიშვნა. გვ. 251.

ის იწოდება „ვლადილენად“. სხვა ცთომილებს უწოდეს: „მოროზოვია“ (ნ. ა. მოროზოვის პატივსაცემად), „ბრედიხინა“ (ფ. ა. ბრედიხინის პატივსაცემად), „ბელოპოლსკია“ (ა. ა. ბელოპოლსკის პატივსაცემად), „ბელიაესკია“ (ს. ი. ბელიაესკის პატივსაცემად). „მტერნბერგია“ (პ. კ. მტერნბერგის პატივსაცემად) და სხვ. იმ ცთომილებს, რომლებიც დანარჩენებისაგან გამორჩევიან თავიანთი ორიბტებით ანდა სხვა რაიმე მახასიათებლებით, არქმევენ ნამკაც-თა სახელებს.

ამჟამად ახალი ცთომილების აღმოსაჩენად თითქმის მხოლოდ და მხოლოდ ფოტოგრაფიულ მეთოდს იყენებენ. მათგან ყველაზე მარტივი იმაში მდგომარეობს, რომ აწარმოებენ ეკლიპტიკის მახლობელი ცის რომელიმე უბნის ფოტოგრაფირებას ერთსაათიან ან მეტი ხნის ექსპოზიციით; ამასთანავე ხელსაწყო საათიერი მექანიზმის საშუალებით იმგვარად მოძრაობს, რომ ვარსკვლავთ გამონასახები გადაღების მთელი ხნის განმავლობაში ფოტოგრაფიული ფირფიტის ერთსა და იმავე ადგილზე მოდიოდეს, რის შედეგადაც ფოტოგრაფიაზე ისინი მცირე რგოლების ან წერტილების სახით გამოვლენ. ცთომილი, თუკი ის არსებობს ცის ამ ნაწილში, იმის გამო, რომ მას აქვს საკუთარი მოძრაობა, აღიბეჭდება როგორც პატარა ხაზი. საკმარისია ფოტოფირფიტაზე ერთი შეხედვა, რომ ცთომილი გამოვარჩიოთ სურათზე გამოსულ ასობით ვარსკვლავში. მაგრამ ეს მეთოდი გამოუსადეგარია სუსტი ცთომილების აღმოსაჩენად: ასეთი ცთომილის მიერ ფოტოფირფიტაზე აღნიშნული მოკლე ხაზი შეიძლება თითქმის, ანდა სრულიად შეუპოვ-ველი გამოვიდეს. ამიტომ ამჟამად უფრო ხშირად მცირე ცთომილთა მოძებნის შემდეგი ხერხი იხმარება: ტელესკოპი, რომლის ფოკუსშიც ფოტოფირფიტაა მოთავსებული, საათიერი მექანიზმის საშუალებით მოძრაობს არა ისე, როგორც ვარსკვლავი დღეღამური ბრუნვის შედეგად, არამედ როგორც ჯერ კიდევ აღმოუჩენელი ცთომილი (პირისპირდგომის მახლობლობაში საწუ-ალო ხილული მოძრაობა პირდაპირი ადვლენის მიხედვით კარგად არის ცნობილი). ამის შედეგად ვარსკვლავები ფოტოფირფიტაზე მოკლე ხაზების სახით აღიბეჭდება, ცთომილიდან სინათლე კი ფირფიტის ერთსა და იმავე ადგილზე ეცემა და, მაშასადამე, ის წერტილის სახით გამოდის. ასეთი მეთოდით საბჭოთა მეცნიერებმა 300-ზე მეტი ცთომილი აღმოაჩინეს. მათგან უმეტესობა აღმოჩენილია სიმეიზის (ყირიმის) ობსერვატორიაში, რომელსაც მცირე ცთომილთა შესწავლაში მსოფლიოში წამყვანი ადგილი უჭირავს.

პირველად აღმოჩენილი ცთომილები ყველაზე კაშკაშაც არის. 1807 წელს აღმოჩენილი ვესტა (4) უბრალო თვალთაც ჩანს ხოლმე; დანარჩენები კი, განსაკუთრებით უკანასკნელ ხანს აღმოჩენილნი, ძლიერ მკრთალებია. მათგან ყველაზე დიდს — ცერერას (1) დაახლოებით 800 კმ დიამეტრი აქვს. ყველაზე პატარას — 1 კმ-ზე ნაკლები. ცთომილებიდან, ყველაზე პატარებს არაწესიერი ფორმა აქვს და არა სფეროსმაგვარი. ესენი წარმოადგენენ გიგანტურ „ნამსხვრევებს“ ანუ „ლოდებს“, რომლებიც მოძრაობისას ბრუნავენ. ამით აიხსნება ბევრ მათგანზე შემჩნეული ბრწყინვალეების არაწესიერი ცვლილება. დღევანდლამდე ცნობილი ყველა ცთომილის საერთო მასა დედამიწის მასაზე რამდენიმე ასეულჯერ უფრო მცირე უნდა იყოს.

ასტროიდეების ელიფსურ ორბიტებს ხშირად შედარებით დიდი ექსცენტრისიტეტები აქვს, მნიშვნელოვნად მეტი, ვიდრე თვით მერკურსაც კი, რომლისთვისაც ის 0,2-ს უდრის; არის რამდენიმე ცთომილი, რომელთა ექსცენტრისიტეტი 0,5-ზე მეტია, ისე რომ ეს უკანასკნელი სრულიად ისევე მოძრაობენ, როგორც პერიოდული კომეტები (§ 261). ასევე მათი ორბიტების სიბრტყეების დახრა ეკლიპტიკისადმი უმეტესად ძლიერ დიდია, დაახლოებით ნახევრისათვის 10° -ზე მეტი (§ 250, გ).

მზის ირგვლივ გარემოქცევის დრო ასტროიდეების უმრავლესობისთვის 4-დან 5 წლამდე განისაზღვრება, მაგრამ გვხვდება ყოველნაირი პერიოდის, დაწყებული 2 წელზე ნაკლები დროით (როგორც მარსს), 12 წლამდე (იუპიტერის გარემოქცევა) და კიდევ მეტიც. უახლოეს და უშორეს მცირე ცთომილთა ამ ზღვრულ შემთხვევებს ჩვენ ცალკე განვიხილავთ.

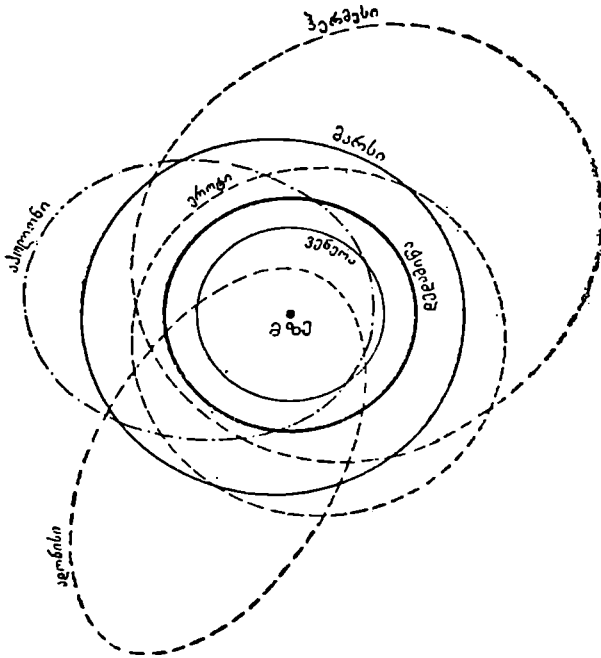
§ 250. ყველაზე უფრო საინტერესო მცირე ცთომილები. ა) ცთომილი ეროტი. 1898 წ. აღმოჩენილი ეროტი (433) მოძრაობს ელიფსზე, რომლის დიდი ნახევარღერძი (1,46) რამდენადმე ნაკლებია მარსის დიდ ნახევარღერძზე (1,52). ამრიგად, სწორად რომ ვთქვათ, ცთომილი მოძრაობს მარსსა და დედამიწას შორის. მაგრამ იმის გამო, რომ ეროტის ელიფსი ბევრად უფრო გაქიმულია, ვიდრე მარსის მიერ აღწერილი ელიფსი, ამიტომ მისი გზის ნაწილი მარსის ორბიტის შიგნით არის მოთავსებული, ნაწილი კი მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის (ნახ. 119). ზოგჯერ ეს ცთომილი დედამიწასთან $2\frac{1}{2}$ -ჯერ უფრო ახლო მოდის, ვიდრე მარსი, სახელდობრ, 22 მილიონ კმ-ის მანძილზე. ასე იყო, მაგალითად, 1931 წელს. დედამიწასთან ასეთი მნიშვნელოვანი მოახლოების შედეგად ეროტი ერთი ყველაზე უფრო მოხერხებული ცთომილთაგანია მზის მანძილის (§ 116) განსასაზღვრავად. მისი დიამეტრი 20 კმ-ს არ აღემატება.

XX საუკუნეში აღმოაჩინეს რამდენიმე ცთომილი, რომლებსაც, როგორც პირველი პირისპირდგომის დაკვირვებების მიხედვით წარმოებულმა გაანთვლებმა გვიჩვენა, შეუძლიათ მოუახლოვდნენ დედამიწას ისევე, როგორც ეროტს და კიდევ უფრო ახლოც. მათაც მამაკაცთა სახელები დაარქვეს (ალბერტი, აპოლონი, ადონისი, ჰერმესი; ნახ. 119). შემდეგი პირისპირდგომების დროს ზოგიერთი მათგანის პოვნა აღარ მოხერხდა.

ბ) იუპიტერის ჯგუფის ცთომილები. ცის მექანიკის თვალსაზრისით განსაკუთრებით საინტერესოა ის ცთომილები, რომელთა საშუალო მანძილი და გარემოქცევის დრო დაახლოებით ისეთივეა, როგორც იუპიტერისა. უკანასკნელ დროს ათზე მეტი ასეთი ცთომილი აღმოაჩინეს და ყველას ტროიანელთა ომის გმირების სახელები უწოდეს (აქილესი, ჰექტორი და ა. შ.), მათ „ტროიანელთა ჯგუფს“ უწოდებენ. ისინი საინტერესოა შემდეგი თვალსაზრისით: ლაგრანჟმა გვიჩვენა, რომ „სამი სხეულის ამოცანა“ შეიძლება ამოიხსნას, თუკი ერთმანეთის მიმზიდველი სამი წერტილი საწყის მომენტში ტოლგვერდა სამკუთხედს ქმნის და განსაზღვრული სიჩქარეები აქვს. ამ შემთხვევაში ისინი მუდამ ერთნაირ ურთიერთმდებარეობას შეინარჩუნებენ; სამკუთხედი იბრუნებს, მისი ფორმა უცვლელი იქნება, შეიცვლება მხოლოდ მისი ზომა. აღმოჩნდა, რომ „ტროიანელთა ჯგუფის“ თითოეული

ცთომილი. მზე და იუპიტერი მუდამ თითქმის ტოლგვერდა სამკუთხედს ქმნიან (სხვა სხეულთა მიზიდულობა შეიძლება უგულვებელყოთ). ამრიგად, მათემატიკოსის მიერ ნაპოვნი მოძრაობის თეორიული შემთხვევა ნამდვილად ხორციელდება.

დღემდის აღმოჩენილი „ტროიანელები“ ორ ჯგუფად მოძრაობენ, ამასთანავე ორივე ჯგუფში ცთომილთა თითქმის თანაბარი რაოდენობა შედის.



ნახ. 119

პირველი ჯგუფის მათემატიკური „ცენტრი“ ყოველთვის 60° -ით წინ მიდის იუპიტერზე, მეორე ჯგუფის ცენტრი კი ამდენადღე ჩამორჩება. მათემატიკურად თითოეული ცთომილის მოძრაობა გამოისახება, როგორც „ლაგრანჟის წერტილების“ ირგვლივ ძლიერ ნელი გარემოქცევა.

გ) ცთომილი გიდალგო (944). მას საესებით ისეთივე ორბიტი აქვს როგორც კომეტებს. მისი ორბიტის ექსცენტრისიტეტი ტოლია 0,65-ის, ეკლიპტიკასთან დახრა — 43° -ის. მისი საშუალო მანძილი (5,71) და გარემოქცევის დრო მეტია, ვიდრე იუპიტერისა. აფელიუმში ცთომილი მზეს 9,4 ასტრ. ერთეულით შორდება, ე. ი. თითქმის სატურნის ორბიტამდე, პერიჰელიუმში კი მარსის ორბიტთან ბრუნდება.

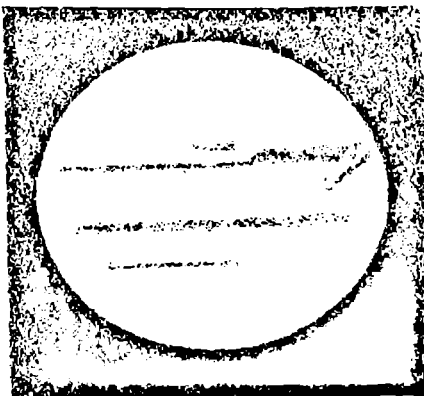
ნესაძლებელია, ცთომილის ორბიტმა ასეთი ფორმა იუპიტერის მიზიდულობის გავლენით მიიღო, რომელიც საერთოდ მცირე ცთომილების მოძრაობებში ძალზე დიდ შეშფოთებებს იწვევს.

§ 251. ოთხი შორეული ცთომილის ზოგადი დახასიათება. ოთხი შორეული ცთომილი (გიგანტები) ძლიერ განსხვავდება დედამიწის ჯგუფის ცთომილებსაგან. ერთმანეთს კი, როგორც ჩანს, ძლიერ უნდა ჰგავდნენ. უზარმაზარ წოცულობასთან ერთად მათ ძალზე მცირე სიმკვრივე (დედამიწის სიმკვრივის $\frac{1}{4}$ -დან $\frac{1}{3}$ -მდე) და ღერძის ირგვლივ ძლიერ სწრაფი ბრუნვა ახასიათებთ. ყველა მათგანი ძლიერ მკვერივ ატმოსფეროში არის გახვეული, ისე რომ ჩვენ მათ ზედაპირს ვერასოდეს ვერ ვხედავთ. ცთომილთა სპექტრებში ეს ატმოსფეროები იძლევიან შთანთქმის განიერ ზოლებს, რომლებიც დიდი ხნის განმავლობაში გამოუცნობი იყვნენ. მხოლოდ 1933 წ. დამტკიცდა, რომ ისინი ამიაკს (აზოტის შენაერთი წყალბადთან) და მომზხამე გახსნ — მეთანს (ერთ-ერთ ნახშირწყალბადთაგანს) ეკუთვნიან.

ამ ცთომილების ფიზიკური ბუნება ჩვენთვის ჯერ კიდევ საესებით ნათელი არ არის, თუმცა უტყუარად არის დამტკიცებული, რომ ისინიც გაცივებულ სხეულებს წარმოადგენენ: მათგან გამოგზავნილი სითბოს პირდაპირი გაზონვებით დამტკიცდა, რომ მათ ატმოსფეროებს დაბალი ტემპერატურა აქვთ (იუპიტერზედაც კი — 100°C-ზე ქვევით, უფრო შორეულებსათვის კიდევ ნაკლები), რაც მოსალოდნელი იყო მზიდან მათი დიდი დაშორების გამო.

§ 252. იუპიტერი. ეს გიგანტი ცთომილი (ნახ. 120) თავისი მასით აჭარბებს ერთად აღებულ ყველა დანარჩენ ცთომილს. დიამეტრით ის 11-ჯერ უფრო დიდია დედამიწაზე; მოცულობით — 1300-ჯერ, მაგრამ ამავე დროს მისი მასა დედამიწის მასას მხოლოდ 318-ჯერ აღემატება; ამრიგად, ამ ცთომილის სიმკვრივე დედამიწის სიმკვრივის 0,25-ს შეადგენს და დაახლოებით მზის სიმკვრივეს უდრის. იუპიტერი მზიდან საშუალოდ 5,2 ასტრონომიული ერთეულით არის დაშორებული. და მის ირგვლივ გარემოცევას თითქმის 12 წელიწადს ანდომებს. ცთომილებში იუპიტერი ყველაზე ადვილი შესამჩნევია. ბრწყინვალეებით ის მხოლოდ ვენერას ჩამორჩება; იმის მიხედვით, თუ რა მანძილზე იმყოფება, მისი ბრწყინვალეობა — 2,5-დან — 1,5 ვარსკვლავიერი სიდიდემდე იცვლება.

სუსტ სამზერ მილშიც იუპიტერის დისკოზე მოჩანს ზოლები, რომლებიც ცთომილის ეკვატორის პარალელურადაა განლაგებული. ისინი ხშირად ღრუბლებისმაგვარი ცალკეული ლაქებისაგან შედგებიან. მათი ფორმა განუწ-



ნახ. 120

ყვეტლივ იცვლება, რის გამო იუპიტერის რუკის შედგენა შეუძლებელია. შედარებით უფრო მუდმივია ეგრეთ წოდებული „წითელი ლაქა“. მას ყურადღება პირველად 1878 წელს ნიაქციუს. ის განსაკუთრებით გულმოდგინედ ბრედინინმა გამოიკვლია. ლაქას ოვალური ფორმა აქვს და მისი დიდი დიამეტრი თითქმის სამჯერ აღემატება დედამიწის დიამეტრს. დროგამოშვებით ლაქა ქრება, შემდეგ კი ისევ გამოჩნდება ხოლმე. თანამედროვე შეხედულებით ის ცივი ამიაკის უზარმაზარ შემკვრივებას წარმოადგენს და ცთონილის ზედაპირის მახლობლად ნახშირ-წყალბადოვან ატმოსფეროში დაკურავს.

იუპიტერის ბუნება. შექველია რომ ყველაფერი, რასაც ჩვენ იუპიტერის დისკოზე ვხედავთ, ცთომილის ზედაპირზე გარშემორტყეულ ღრუბლოვან გარსს წარმოადგენს. წინათ შესაძლებლად თვლიდნენ, რომ დედამიწის ქერქის მსგავსი მყარი ზედაპირი იუპიტერს ჯერ კიდევ არ შექმნილია და რომ ის საკუთარი სითბოს დიდ მარაგს ინარჩუნებს. ეს მტკიცდებოდა ღერძის ირგვლივ იუპიტერის დამახასიათებელი ბრუნვით, რომელსაც იგივე თავისებურება აქვს, რაც მზის ბრუნვას: ცთომილის ეკვატორული ზოლი ერთ შემობრუნებას 9 ს. 50 მინ. ასრულებს, შედარებით მაღალი განედები კი—9 ს. და 55 მინ., ე. ი. რამდენადმე ნელა. მყარ სხეულს ასე ბრუნვა არ შეუძლია. ცთომილის ბრუნვის ღერძი თითქმის პერპენდიკულარულია მისივე ორბიტის სიბრტყისადმი (და ეკლიპტიკისადმი); იუპიტერის ეკვატორი პირველ სიბრტყესთან სულ მხოლოდ 3°-ით არის დახრილი, რის გამოც წლის დროთა ცვლა (დედამიწისა და მარსისაგან განსხვავებით) იქ არ წარმოებს.

ამეამად ყველაზე უფრო შესაძლებლად თვლიან, რომ ცთომილი შედგება ცენტრალური მკვრივი ბირთვისაგან, რომლის მოცულობა ჩვენ მიერ ბილული იუპიტერის სფეროს შედარებით მცირე ნაწილს შეადგენს. ყველაფერი დანარჩენი ძლიერ რთული აგებულების გიგანტური ატმოსფეროა. დაკვირვებისათვის მისაწვდომია ამ ატმოსფეროს მხოლოდ ზედა ფენები. ბუნებრივია, რომ ატმოსფეროს სხვადასხვა ადგილს ღერძის ირგვლივ სხვადასხვა სიჩქარით ბრუნავს: რაც უფრო ახლოს იმყოფებიან ისინი პოლუსთან. მით ბრუნვის დრო მეტია. ცთომილის ჩქარი ბრუნვის შედეგია მისი ძლიერი შებრტყელება. მართლაც, იუპიტერის შეკუმშულობა $\frac{1}{15}$ -ს შეადგენს და ტელესკოპში დაკვირვებისას მაშინვე შესამჩნევია.

§ 353. იუპიტერის თანამგზავრები. 1610 წელს გალილეიმ იუპიტერის ოთხი თანამგზავრი აღმოაჩინა. ისინი ძლიერ კაშკაშა არიან და ცთომილის სინათლე რომ არ გვიშლიდეს, შეუიარაღებელი თვალითაც გამოჩნდებოდნენ. მათგან ორი უდიდესი, მერკურზე დიდია, ყველაზე პატარა კი თითქმის ჩვენი მთვარის ტოლია. ეს თანამგზავრები იუპიტერის ირგვლივ გარემოქცევისას მრავალ საინტერესო მოვლენას ამჟღავნებენ: ისინი ხან ცთომილის უკან იმალებიან (დნფარვა), ხან კი, პირიქით, მის დისკოს წინ გადიან, ზოგჯერ ცთომილის ჩრდილში მოექცევიან (დაბნელება), ზოგჯერ კი ჩრდილს თვითონ იძლევიან მასზე (მზის დაბნელება იუპიტერზე). ამ მოვლენათა მომენტებზე დაკვირვებას პრაქტიკული მნიშვნელობაც აქვს: ეს გვაძლევს გრძელისა და საათის შესწორების (§ 100) განსაზღვრის მარტივ, თუნცა არა ძლიერ ზუსტ, მეთოდს. ანავე დაკვირვებებიდან შეიძლება გამოვითვალოთ სი-

ნათლის სიჩქარის სიდიდე (რემერი 1675 წ.) და აბერაციის მუდმივი (§ 122).

გალილეისეული თანამგზავრები თითქმის ზუსტად იტანა რის ეკვატორის სინტრეში მოძრაობენ. მათი ორბიტები ძალიან ახლოა წრეებთან. ამ თანამგზავრთა გარემოქცევის პერიოდები $1\frac{3}{4}$ დღე-ღამედან (I თანამგზავრის) 16 დღე-ღამემდე (IV თანამგზავრის). მათი მანძილები კი ჩვენი მთვარის მანძილის 0,5-დან 5-მდე საზღვრებშია მოთავსებული. თანამგზავრთა ურთიერთმიზიდულობა მათ მოძრაობებში იწვევს ძლიერ შეშფოთებებს, რომელთა შესწავლაც მრავალ საინტერესო მოვლენას გვიჩვენებს. მაგალითად, თუკი თითოეული თანამგზავრის კუთხურ სიჩქარეებს (მაგალითად, ერთ დღელამეში) აღვნიშნავთ II-ით და იუპიტერიდან ათვლილ გრძედებს I-ით, მაშინ პირველი სამი თანამგზავრისათვის მივიღებთ შემდეგ მათივე ტოლობებს:

$$u_1 + 2u_2 = 3u_3, \quad (1)$$

$$l_1 + 2l_2 = 3l_3 + 180^\circ. \quad (2)$$

ლაპლასმა დაამტკიცა, რომ ეს ტოლობები შემთხვევითი არ არის და რომ თანამგზავრთა ორბიტების ყოველგვარი ცვლილების დროს ისინი დაუკლები უნდა იყვნენ.

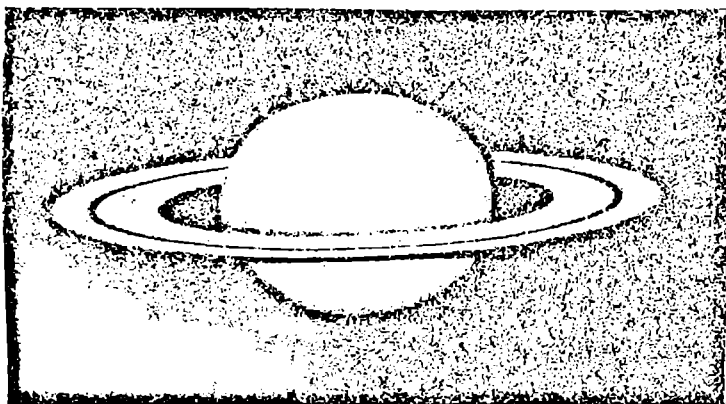
(2) ტოლობის ერთ-ერთი შედეგი ასეთია: პირველი სამი თანამგზავრი არ შეიძლება ერთდროულად იყოს დაბნელებული.

XIX — XX საუკუნეებში იუპიტერის კიდეც 8 ძლიერ სუსტი თანამგზავრი აღმოაჩინეს, რომლებსაც აღნიშნავენ ნომრებით მათი აღმოჩენის რჯვის მიხედვით.

ერთ-ერთი მათგანი, სახელდობრ 1892 წელს აღმოჩენილი V თანამგზავრი შედარებით უფრო ახლოს არის ცთომილთან, ვიდრე გალილეისეული თანამგზავრები. იგი ერთ სრულ გარემოქცევას მხოლოდ 12 საათს ანდობებს. დანარჩენი შვიდი, პირიქით, ძლიერ შორს არის. ისინი, როგორც ჩანს, ორ განსხვავებულ ჯგუფს ქმნიან; პირველს ეკუთვნის VI, VII და X თანამგზავრები. ისინი პირდაპირი მიმართულებით გარემოქცევიან, 250-დან 260 დღე-ღამემდე პერიოდით. VIII, IX, XI და XII თანამგზავრები კი შეებრუნებულნი მიმართულებით, აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ. პირველი ჯგუფის თანამგზავრების გარემოქცევისა და თვით ცთომილის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ მოძრაობენ. ისინი იუპიტერისაგან იმდენად შორს არიან (2 წლამდე გარემოქცევის პერიოდით), რომ ცთომილის მიზიდულობა უკვე ძლიერ შესუსტებულია და მით უფრო ძლიერია მზის შემაშფოთებელი მოქმედება. ამის გამო მათი მოძრაობა ძალიან რთულია და ცოტად თუ ბევრად მუდმივი ორბიტები მათ არა აქვთ. შესაძლებელია ისიც, რომ მათი მოძრაობა არ იყოს მდგობრივი: მზის მიზიდულობა როდისმე გამოგლეჯს მათ იუპიტერის მიზიდულობის სფეროდან და დამოუკიდებელ პატარა ცთომილებად გადააქცევს.

§ 254. სატურნი. შეუიარაღებელი თვალით სატურნი პირველი სიდიდის ვარსკვლავად მოჩანს. ზომით ის ყველაზე დიდი ცთომილია იუპიტერის შემდეგ. მისი დიამეტრი დედამიწისას 9,5-ჯერ აღემატება, მასა კი — 95-ჯერ.

მზის ირგვლივ ერთ შემობრუნებას სატურნი 29¹/₂ წელიწადს ანდომებს. სატურნს, ისევე როგორც იუპიტერს, აკრავს ამიაკისა და მეთანის შემცველი მკვრივი ატმოსფერო, რომელიც მზიდან ცთომილის დიდი დაშორების გამო მკრთალად არის განათებული და მასში თითქმის არაფრის გარჩევა არ შეიძლება გარდა ეკვატორის გასწვრივ გაყოლებული სუსტი ზოლებისა. ალბათ, ის ძლიერ ჭვავს იუპიტერს: თავისი ლერძის ირგვლივ თითქმის იმავე ხნის განმავლობაში ბრუნავს, როგორც იუპიტერი (10 ს. და 15 მინ.) და შებრტყელებულია თითქმის მასზე უფრო მეტად (მისი შეკუმშულობა ტოლია $\frac{1}{10}$ -ის). ალსანიშნავია მისი მცირე სიმკვრივე: ის დედამიწის სიმკვრივის 0,13-ის ტოლია; ამოიგად. სატურნი წყალზე უფრო მსუბუქია. მაგრამ სატურნის წლიურ სიმკვრივე აიხსნება მხოლოდ იმით, რომ მისი მოცულობა განსაზღვრულია კოოილის დისკოს ზომის მიხედვით, ატმოსფეროს ჩათვლით. ცთო-



ნახ. 121

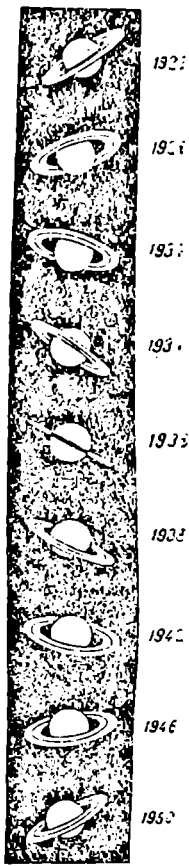
მილს მყარი ბირთვის ქემბარიტი სიდიდე, ცხადია ნაკლებია და, მაშასადამე, ამკვრივც დედამიწის სიმკვრივის 0,13-ზე ბევრად მეტი.

სატურნის რგოლი. სატურნს აქვს არაჩვეულებრივი დანამატი — სრულიად წესიერი, მათემატიკურად ზუსტი ფორმის რგოლი, რომელიც ცთონილს მეტისმეტად თავისებურ სახეს აძლევს (ნახ. 121).

რგოლი (აღმოჩენილი 1658 წ. ჰიუგენსის მიერ) ძლიერ განიერი და ბრტყელია, ცთომილს ეკვატორის გასწვრივ აკრავს (უკანასკნელი ეკლიპტიკის მიმართ შედარებით დიდი კუთხით არის დახრილი, სახელდობრ 27°-ით); რგოლი ცთომილს არსად არ ეხება და თავისუფლად მოძრაობს სივრცეში. რგოლის ზედაპირი უწყვეტი არ არის; ბნელი შუალედები მას სამ კონცენტრულ რგოლად ყოფს. მათგან ყველაზე შესანიშნავია ცთომილთან უახლოესი ე. წ. ბნელი რგოლი, რომელიც მხოლოდ ძლიერ ინსტრუმენტებში მოჩანს: ის გამჭვირვალეა და მის უკან ცთომილის ნაპირის დანახვაც შეიძლება. რგოლი ძლიერ თხელია; როდესაც ის დედამიწისაკენ წიბოთი მობრუნდება, მაშინ

ძლიერი ტელესკოპებისათვისაც კი უჩინარი ხდება; ამ დროს შეიძლება ს. ბურ-
ნის ურგოლოდ დანახვა. სხვა დროს რგოლი მეტად ან ნაკლებად განიერი ვკვჩვე-
ნება იმის მიხედვით, თუ რა მდებარეობაში იმყოფება ცთომილი დედამიწის
მიმართ (ნახ. 122).

დიდი ხნის განმავლობაში სატურნის რგოლები მყარ სხეულებად ითვ-
ლებოდა. მაგრამ ლაპლასმა დაამტკიცა, რომ წესიერი ფორმის ერთგვაროვა-
ნი რგოლი, რომელიც არ ეხება ცთომილს და
ბრუნავს ამ მიმზიდველი ცთომილის გარშემო,
საზოგადოდ არ შეიძლება იმყოფებოდეს მდგრადი
წონასწორობის მდგომარეობაში. უმწეო აღმოჩნდა
თხევადი რგოლის ჰიპოთეზაც. შენდგომ რანდენი-
მე მეცნიერმა წამოაყენა თეორია, რომ სატურნის
რგოლის აგებულება მსგავსია მარსსა და იუპიტერს
შორის მცირე ცთომილთა რგოლის აგებულებისა.
ის უნდა შედგებოდეს მრავალრიცხოვანი ცალკე-
ული „თანამგზავრისაგან“, რომელთაგან ყოველი
მოდრაობს ცთომილის ირგვლივ თავის ორბიტზე.
„თანამგზავრები“ იმდენად მცირე ზონისაა, რომ მა-
თი ცალ-ცალკე დანახვა ჩვენ არ შეგვიძლია. ეს თეო-
რია მკაცრად და სრულად დაამუშავა ს. ვ. კოვალე-
სკაიამ 1885 წელს. მალე აღნიშნული თეორია და-
დასტურებულ იქნა ა. ა. ბელოპოლსკის მიერ სპექ-
ტრული დაკვირვებებით, რგოლის სპექტრში ხაზე-
ზის გადაადგილების მიხედვით (დოპლერის პრინ-
ციპით; § 194). ბელოპოლსკიმ გაზომა ცთომილ-
თან რგოლის ახლობელი და შორეული წერტილე-
ბის სიჩქარეები და დაამტკიცა, რომ სხვადასხვა
წერტილი სხვადასხვა დროს განმავლობაში გარე-
მოიქცევა სატურნის ირგვლივ კეპლერის მესამე
კანონის შესაბამისად: ნაშასადამე, რგოლი არ შე-
იძლება იყოს მთლიანი და მყარი, ის შედგება მე-
ტეორიული სხეულებისაგან. „რგოლში“ ნივთიე-
რების საერთო მასა მთვარის მასის მეოთხედზე
ნაკლები უნდა იყოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში
რგოლის მიზიდულობა გამოიწვევდა შესაძინე შეშ-
ფოთებებს სატურნის თანამგზავრთა მოძრაობებში.
საბჭოთა ასტროფიზიკოსის ვ. ვ. სობოლუევის უკა-
ნასკნელ შრომებს მიუყვებართ იმ დასკვნამდე, რომ
სატურნის რგოლები შედგება მცირე სიდიდის მეტეორიტებისაგან, ზონი 6
მეტრამდე.



ნახ. 122

§ 235. სატურნის თანამგზავრები. გარდა მრავალრიცხოვანი პატარა
თანამგზავრებისა — მეტეორიტებისა, რომლებიც რგოლს ქმნიან, სატურნისათ-
ვის ცნობილია კიდევ ცალკეული ცხრა დიდი თანამგზავრი. ისინი იტპი-

ტყრის თანამგზავრებთან შედარებით მნიშვნელოვნად სუსტებია. აღსანიშნავია, რომ სატურნის თანამგზავრთა სისტემას ერთგვარი მსგავსება აქვს ცთომილ-თა სისტემასთან. ასე, მაგალითად, მეექვსე (ცთომილიდან მანძილის მიხედ-ვით) თანამგზავრი ტიტანი (ამ თანამგზავრთა შორის პირველად აღმოჩენილი) თავისი ზომით და მასით ბევრად აღემატება ყველა დანარჩენ თანამგზავრს ერთად აღებულს, მსგავსად იმისა, როგორც მეხუთე ცთომილი იუპიტერი აღემატება ყველა დანარჩენ ცთომილს. ტიტანის მასა თითქმის იუპიტერის მესამე თანამგზავრის მასის ტოლია, ე. ი. ჩვენი მთვარის მასაზე ორჯერ მე-ტი. ტიტანი ჯერჯერობით ერთადერთი თანამგზავრია ჩვენს სისტემაში, რომლის იოგვლივაც ატმოსფეროს აღმოჩენა მოხერხდა. 1944 წელს გადა-ღებულმა სპექტროგრამებმა დაანტიკეს მასზე მეთანის არსებობა, იხივე რო-გორც თვით სატურნის ატმოსფეროშია (§ 254). ტიტანი მცირე ტელესკოპ-შიც მოჩანს. ბრწყინვალეების მიხედვით ტიტანის მომდევნოს და აღმოჩენის რიგით ნეორეს — იაფეტს (8) საინტერესო თავისებურება ახასიათებს: ცთო-ნილიდან აღმოსავლეთ მხარეზე გადასვლისას ის რამდენჯერმე უფრო მკრთა-ლი იდება იმასთან შედარებით, რაც დასავლეთ მხარეზე იყო. ამას იმით ნანიან. რომ ის თავის ლერძის გარშემო იმდენსავე ხანში შემობრუნდება, რამდენსაც ანდომებს ცთონილის ირგვლივ შემოვლას (როგორც ჩვენი მთვა-რე). ამასთანავე მისი ერთი ნახევარსფერო, რატომღაც, შეუდარებლად უფ-რო ბნელია მეორეზე. ფიქრობენ, რომ ლერძის ირგვლივ ბრუნვისა და ცთო-ნილის გარშემო გარემოქცევის პერიოდების ანალოგიურ თანხვედნას ადგი-ლი აქვს სატურნისა და იუპიტერის სხვა თანამგზავრებშიც; შესაძლოა, რომ ეს ჩვენი სისტემის ყველა თანამგზავრისათვის საერთო წესია. სატურნის უპე-ლოესი თანამგზავრი თითქმის რგოლის ზედ დაპირთან მოიარაობს ერთ დღე-ღამეზე ნაკლები პერიოდით; ყველაზე დაშორებული 70-ჯერ უფრო შორს არის და ერთ გარემოქცევას 1¹/₂ წლის განმავლობაში ასრულებს. მისი მოძ-რობა შებრუნებულია იუპიტერის შორეული თანამგზავრების მსგავსად.

§ 255. ურანი და ნეპტუნი. ორივე ეს ცთომილი ბრწყინვალეებით ძლიერ მკრთალია და ამიტომ მათ ძველად არ იცნობდნენ. ურანი აღმოჩენილ იქნა ჰერშელის მიერ 1781 წელს, სრულიად შემთხვევით. ნეპტუნის მდებარეობა 1846 წელს მათემატიკურად გამოითვალა ლევერიემ და მისგან დამოუკიდებ-ლად ადამსმა (§ 174). ხოლო 1846 წლის სექტემბერს, ამ გამოთვლებზე დაყრ-დნობით, ის იპოვა ასტრონომმა გალემ. ორივე ცთომილი თითქმის ერთი და იმავე ზომისაა: ისინი სიდიდით იუპიტერსა და სატურნზე ნაკლებია, დედა-ნიწახე კი მეტი. მათი დიამეტრი დაახლოებით 4-ჯერ მეტია დედამიწის დია-მეტრზე. ურანის მასა დედამიწის მასაზე 15-ჯერ მეტია, ნეპტუნისა კი — 17-ჯერ. ურანი მზის ირგვლივ გარემოიქცევა 84 წლის, ხოლო ნეპტუნი — 165 წლის განმავლობაში.

ურანი კარგად ჩანს დურბინდში, მახვილი მხედველობის მქონემ კი შე-იძლება შეუიარაღებელი თვალითაც მოძებნოს, რადგანაც მას მე-8 სიდიდის ვარსკვლავის ბრწყინვალეობა აქვს. ნეპტუნი (მე-8 სიდიდისაა) შედარებით სუსტ სამზერ მიღშიც ჩანს, ამ შორეული ცთომილების სუსტად განათებულ პატარა დისკოებზე თითქმის არაფრის გარჩევა არ შეიძლება, რის გამოც ღერ-

ძის ირგვლივ მათი ბრუნვის პერიოდი დისკოებზე პირდაპირი დაკვირვებებით დღემდე არ არის განსაზღვრული. 1934 წელს საბჭოთა მეცნიერმა პ. პ. პარენაგომ ურანის ბრუნვის პერიოდი ცვალებად ვარსკვლავებზე დაკვირვების მეთოდით განსაზღვრა, ისარგებლა რა იმით, რომ ურანის სიკაშკაშე იცვლება წესიერი პერიოდით. მან ურანის ბრუნვის პერიოდისათვის მიიღო 10 ს. და 40 მინ: სპექტრული დაკვირვებები (დოპლერის პრინციპის მიხედვით) ურანის ბრუნვისათვის 10 ს. და 48 მინ. დროს იძლევა. იგივე მეთოდი ნეპტუნის ბრუნვის პერიოდისათვის იძლევა დაახლოებით 15 საათს, მხოლოდ უფრო ნაკლები დამაჯერებლობით.

ურანის ბრუნვას ის თავისებურება ახასიათებს, რომ მისი ღერძი თითქმის ორბიტის სიბრტყეში მდებარეობს, ეკვატორის სიბრტყე კი, მასასადაამე, თითქმის ორბიტის სიბრტყის პერპენდიკულარულია (დახრა დაახლოებით 98°). ჩქარი ბრუნვის გამო ურანი თითქმის ისევე შებრტყელებულია პოლუსებთან, როგორც იუპიტერი, მაგრამ მისი შეკუმშვის შემჩნევა შეიძლება მხოლოდ იმ წლებში, როდესაც ცთომილის ეკვატორის სიბრტყე დაახლოებით მზეზე და, მასასადაამე, დედამიწაზედაც გადის. როდესაც მზისკენ მიმართულია ურანის ერთი პოლუსთაგანი, მაშინ დედამიწიდან ცთომილი სრულიად მრგვალად გვეჩვენება. ორივე ცთომილი გარემოცულია მეთანის ატმოსფეროთი. ამ ცთომილთა ატმოსფეროებში ამიაკი არ არის აღმოჩენილი, ის, ალბათ, ვერც იარსებებს იქ, რადგანაც მზიდან ძლიერ დიდი დაშორების გამო მათ ზედაპირზე ტემპერატურა ახლო არის — 200°C-თან; ამ პირობებში ამიაკი სრულიად იყინება.

ურანისათვის ცნობილია ხუთი ძლიერ მკრთალი თანამგზავრი, ნეპტუნისათვის — ორი. ყველა ამ თანამგზავრს, გარდა ნეპტუნის II თანამგზავრისა, იუპიტერის VIII, IX, XI და XII თანამგზავრების მსგავსად შებრუნებული მოძრაობა აქვს. ამასთანავე ურანის თანამგზავრები მისი ორბიტის თითქმის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში მოძრაობენ, რომელიც ცთომილის ეკვატორის სიბრტყეს ზუსტად არ ემთხვევა (თანამგზავრთა ორბიტების დახრა ცთომილის ორბიტთან თითქმის 98°-ს შეადგენს).

§ 257. პლუტონი. რამდენჯერმე გამოითქვა აზრი იმის შესახებ, რომ ნეპტუნის იქით ცთომილები კიდევ უნდა არსებობდეს და ცდილობდნენ მოეძებნათ ისინი იმავე მეთოდით, რომლითაც ნეპტუნი იპოვეს, ე. ი. ფორიულად გამოთვლილი მოძრაობებიდან ნეპტუნის და აგრეთვე ურანის გადახრების მიხედვით. ეს გადახრები კი ფრიად უმნიშვნელოა და ამიტომ საესეებით შეიძლება აიხსნას დაკვირვებების არასიზუსტით; ამის გამო გამოთვლებით მიღებულ ადგილას არაერთი ცთომილი არ აღმოჩნდებოდა ხოლმე. ერთ-ერთმა ასეთმა გამოთვლამ, რომელიც ლოველმა აწარმოვა ურანის მოძრაობაში გადახრების მიხედვით, ეკლიპტიკაზე მოგვცა ორი წერტილი (თითქმის ერთმანეთისაგან 180°-ით დაშორებული), რომლებშიც შეიძლებოდა ყოფილიყო ცთომილი. 1930 წელს, ფოტოგრაფიული გზით, ერთ-ერთ ამ წერ-

ტილიდან 30 ის მოშორებით ცთომილი მართლაც აღმოჩენილ იქნა. მას ალუტონი უწოდეს.

პლუტონი მზის ირგვლივ 248 წლის განმავლობაში გარემოიქცევა. მისი ორბიტის დიდი ნახევარღერძი 40 ასტრონომიულ ერთეულს უდრის, ე. ი. $1\frac{1}{2}$ -ით მეტია, ვიდრე ნეპტუნის დიდი ნახევარღერძი. ეს ახალი ცთომილი განსაკუთრებულია მრავალმხრივ. მისი ორბიტის ექსცენტრისიტეტი მეტია, ვიდრე მერკურისა და 0,25-ს უდრის, ასე რომ პლუტონი პერიპელიუმში მზესთან რამდენადმედაც კი უფრო ახლოს იმყოფება, ვიდრე ნეპტუნი, აფელიუმში კი მზეს 50 ასტრონომიული ერთეულით შორდება (ნახ. 112, გვ. 251). ამ ცთომილის ორბიტის დახრა ეკლიპტიკისადმი მეტია, ვიდრე ყველა სხვა დიდი ცთომილისათვის და 17-ს შეადგენს. თუმცა პლუტონი გიგანტი ცთომილების არეში მოძრაობს. მაგრამ თავისი სიდიდით დედამიწის ჯგუფის ცთომილებს ეკუთვნის. ის მისაწვდომია მხოლოდ უძლიერესი ტელესკოპებისათვის, რომლებშიც მე-15 სიდიდის ვარსკვლავივით მოჩანს, ცთომილის დისკოს ყოველგვარი ნიშნის გარეშე. ეს ნიშნავს, რომ ცთომილი პლუტონი ზომით შეიძლება დედამიწას ან მარსსაც კი შევადაროთ. ცხადია, ასეთ პატარა ცთომილს მასაც მცირე უნდა ჰქონდეს და ამიტომ მას ურანის მოძრაობაში შესამჩნევი შეშფოთებების გამოწვევა არ შეუძლია. ამრიგად, პლუტონის ორბიტის მსგავსება იმ ორბიტთან, რომლითაც ის იპოვეს, სრულიად შემთხვევითია.

სავარჯიშოები XII თავისათვის

(ქვემოთ ნოყვანილ ამოცანათა ამოსახსნელად საჭირო რიცხობრივი მონაცემები მოყვანილია წიგნის ბოლოს, ცხრილი IV; ორბიტები წრეებად ჩავთვალოთ).

1. რა კუთხით მოჩანს დედამიწიდან ვენერა მზის დისკოზე გავლის დროს? რა კუთხით მოჩანს დედამიწა ვენერადან ამ დროს? მთვარე ვენერადან?

2. რატომ უნდა ჩანდეს დედამიწა ვენერადან უფრო კაშკაშა, ვიდრე იმავე მომენტში ვენერა დედამიწიდან? სწორია თუ არა ეს ყოველთვის? (ორივე ცთომილისათვის როგორც დიამეტრები, ისე არეკვლის უნარი ერთნაირად ჩავთვალოთ).

3. როგორი კუთხური დიამეტრი აქვს მზეს ნეპტუნიდან? რამდენჯერ უფრო სუსტად ანათებს მზე ნეპტუნს დედამიწასთან შედარებით?

4. დამტკიცეთ, რომ საშუალო პირისპირდგომის დროს მარსს დედანიწიდან თითქმის ზუსტად ისეთივე კუთხური დიამეტრი აქვს, როგორც მთვარეს ვენერადან (სავარჯიშო 1). რატომ არის, რომ ასეთ პირობებში მთვარე ვენერადან უფრო კაშკაშად უნდა მოჩანდეს, ვიდრე მარსი დედამიწიდან?

5. რა კუთხური მანძილით შეუძლია დაშორდეს დედამიწა მზეს მარსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის? იგივე ნეპტუნზე მყოფი დამკვირვებლისათვის?

6. როგორ წარმოებს მარსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მარსის თანამგზავრის — დედომისის დღელამური მოძრაობა? პასუხი: ერთი ბრუნვა წარმოებს დედანიწის $5\frac{1}{2}$ დღე-ღამის განმავლობაში.

7. როგორ წარძობებს იუპიტერზე მყოფი დამკვირვებლისათვის V თანამგზავრის დღელამური მოძრაობა, თუ მისი გარემოქცევის დრო 12 საათია და იუპიტერის ბრუნვის პერიოდი კი დაახლოებით 10 საათი?

8. როგორ არის განლაგებული იუპიტერის I, II და III თანამგზავრები მაშინ, როდესაც იუპიტერი ეზიდან „თანამგზავრების გარეშე“ მოჩანს (§ 253)?

9. ცთომილი ნებტუნი ისეთივე ზომისა და ფიზიკური თვისებებისაა, როგორც ურანი, მაგრამ მასზე, 1,5-ჯერ უფრო შორს არის აზიდან. აასენით, რატომ გვეჩვენება ნებტუნი საშუალოდ დაახლოებით 5-ჯერ უფრო მკრთალად, ვიდრე ურანი?

10. რატომ არის, რომ ზედა ცთომილებს ფაზები ნაკლებად ემჩნევათ? რატომ მარსისთვისაც კი დანაკლისი არასოდეს არ აღწევს ნახევარს?

11. არის თუ არა განსხვავებული იუპიტერის სახე მზესა და ტროიანელთა ცთომილზე (§ 250, ბ) მყოფი ორი წარმოსახვითი დამკვირვებლისათვის: ა) შეუიარაღებელი თვალისათვის? ბ) ტელესკოპში? ნუ მიიღებთ მხედველობაში იუპიტერის შიკუმშულობას და მიახლოებით დაბახეთ ცთომილის ტელესკოპური მოხაზულობა უკანასკნელი დამკვირვებლისათვის.

12. როგორ გავლენას ახდენს პარალაქსი ფობოსის ამოსვლასა და ჩასვლაზე დამკვირვებლისათვის მარსის ეკვატორზე? (იხ. თავი V, სავარჯიშო 13).



კომიტეტი და ვარდნილი ვარსკვლავები

§ 258. კომიტეტის ზოგადი დახასიათება. ვარსკვლავიერი ცის ჩვენთვის ნაცნობი სურათი ზოგჯერ არაჩვეულებრივი ფორმის მნათობების გამოჩენით ირღვევა: ცის თალზე მოჩანს დიდი ვარსკვლავი, რომელსაც გრძელი, ნათელი კული აქვს. ეს არის კომეტა. კომეტები მეტწილად მოულოდნელად გამოჩნდებიან ხოლმე (ასტრონომისთვისაც კი), ჩქარა იცვლიან სახეს და ზომას. ვარსკვლავიერ ცაზე აღწერენ გზებს, რომლებიც ხშირად სრულებით არა გვანან ცთომილების მოძრაობის გზებს და რამდენიმე კვირის ან თვის შემდეგ ისევ უჩინარდებიან.

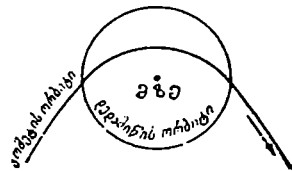
გარეგნული სახით და მოძრაობით კომეტები იმდენად განსხვავდებიან სხვა მნათობებისაგან, რომ ძველ დროში მათ დედამიწის ატმოსფერულ მოვლენებად თვლიდნენ და არა ცისა. მხოლოდ XVI საუკუნის ბოლოს ტიხობრაჰენ დაამტკიცა, რომ კომეტები მთვარეზე უფრო შორს იმყოფებიან და, მაშასადამე, სამყაროს სივრცეში მოძრაობენ. ასი წლის შემდეგ კი ნიუტონმა უჩვენა, რომ კომეტების მოძრაობა, მსგავსად ცთომილების მოძრაობისა, მსოფლიო მიზიდულობის კანონს ექვემდებარება.

კომეტები არა იშვიათად გვევლინებიან. ამჟამად ყოველწლიურად რამდენიმე კომეტას აღმოაჩენენ ხოლმე, ზოგჯერ ათზე მეტსაც. მათი უმრავლესობა ტელესკოპურ, ანუ შეუიარაღებელი თვალით უხილავ კომეტების რიცხვს ეკუთვნის.

მოცემულ წელს აღმოჩენილი ყოველი კომეტა აღინიშნება ჯერ მისი აღმომჩენის სახელით, აღმომჩენის წლის ნომრითა და აღმომჩენის რიგის მიხედვით ლათინური ასოთი. კომეტის ორბიტის გამოთვლის შემდეგ ასოებს ცვლიან რომაული ციფრებით, კომეტების პერიპელიუმზე გავლის რიგის მიხედვით. მაგალითად, 1916 წელს აღმოჩენილი პირველი კომეტა და ამასთანავე მეორე იმ შვიდი კომეტიდან, რომლებიც პულკოვოს ასტრონომმა გ. ნ. ნეუმიინმა აღმოაჩინა, ჯერ აღნიშნული იყო: ნეუმიინის კომეტა 1916ა. შემდეგ კი საბოლოოდ აღნიშნულ იქნა: ნეუმიინის კომეტა — 2 (1916 II), რადგანაც 1916 წლის ყველა კომეტას შორის ის პერიპელიუმზე გავლის დროის მიხედვით პირველი კი არ იყო, არამედ მეორე.

§ 259. კომეტების მოძრაობა. კომეტები მზის სისტემის წორეული ადგილებიდან მოდიან. სადაც ისინი უძლიერეს ტელესკოპებისთვისაც კი მიუწვდომელი არიან; რამდენიმე ხნის შემდეგ ეს სხეულები იქითენვე იმალებიან. ამის გამო თითოეულ კომეტას შეიძლება ვუთვალოთ ვალთაოთ პისი ორბიტის მხოლოდ მცირე ნაწილზე; სანამ ის ახლოს არის მზესა და დედამიწასთან. ორბიტის ნიახლოებითი განსაზღვრა (§ 156) ჩვეულებრივ გვაძლევს, რომ ამ უბანში კომეტა მოძრაობს პარაბოლურად, ე. ი. ღია უსასრულო პარაბოლურად (ნახ. 123). ამრიგად, თუკი კომეტა მართლაც პარაბოლურად მოძრაობს, მაშინ ის მზეს არასდროს აღარ დაუბრუნდება. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში კომეტები ჩვენი სისტემის მუდმივი წევრები არაა, არაპდ შემთხვევით ხვდებიან მზის მიზიდულობის სფეროში, მზისკენ „ვარდებიან“ და მის ირგვლივ ერთხელ შემოწევენ რა პარაბოლს, გვერდებიან და შემდგომ შეიძლება მოექცნენ სხვა რომელიმე მზის მიზიდულობის გავლენის ქვეშ.

მაგრამ ამაჟამად დამტკიცებულია, რომ კომეტების ქვეშარბიტი ორბიტები პარაბოლები კი არა. არამედ მეტისმეტად გაწეილი ელიფსებია (ნახ. 124), რომლებზედაც მრავალი ნათგანი გარემოქცევას რამდენიმე ათეული და ასეული ათასი წლის განმავლობაში ასრულებს, 1914 V კომეტა კი გარემოქცევას 24 10⁶ წელიწადს უნდება. კომეტების მიერ მათი ხილვადობის რამდენიმე თვეში აღწერილი მცირე რკალის მიხედვით ასეთი ელიფსის გარჩევა პარაბოლისაგან შეუძლებელია. კომეტის მოძრაობა ასეთ გაწეილ ელიფსზე ზუსტად ემორჩილება კეპლერის კანონებს; მისი სიჩქარის სიდიდე პერიპელიუმში შეიძლება რამდენიმე ასეულ კმ/სეკ-ს აღწევდეს, აფელიუმის მახლობლობაში კი უმნიშვნელოდ მცირე იყოს.



ნახ. 123.

რადგანაც კომეტის ელიფსის ნამდვილი ფორმა და ექსცენტრისიტეტი ჩვეულებრივ უცნობია, ამიტომ ამჯობინებენ მეტი წილი კომეტებისათვის წლებითა პარაბოლური მოძრაობის ფორმულებით გამოითვალონ, რომელიც მათემატიკურად უფრო მარტივია, ვიდრე ელიფსური მოძრაობა. რადგან პარაბოლის ექსცენტრისიტეტი ერთის ტოლია, ამიტომ კომეტის ორბიტისათვის საჭიროა მხოლოდ ხუთი ელემენტის (და არა ექვსისა, როგორც ელიფსისათვის) ცოდნა, ამასთანავე ორბიტის სიდიდე განისაზღვრება არა მდინი ნახევარღრძობით, რომელიც პარაბოლისთვის უსასრულობის ტოლია, არამედ პერიპელიუმის მანძილით q (ე. ი. მზიდან კომეტის უმცირესი მანძილით). ამრიგად, კომეტის ორბიტა განისაზღვრება შემდეგი ელემენტებით: i , e , π , q , t_0 (§ 156). ის კომეტები, რომელთა ორბიტები მნიშვნელოვნად არ განსხვავდებიან პარაბოლისაგან, პარაბოლურებად იწოდება.

§ 260. კომეტების ორბიტა ცვლილება. ცთომილების, განსაკუთრებით უზარმაზარი იუპიტერის, მიზიდულობა კომეტების ორბიტებში სხვადა-

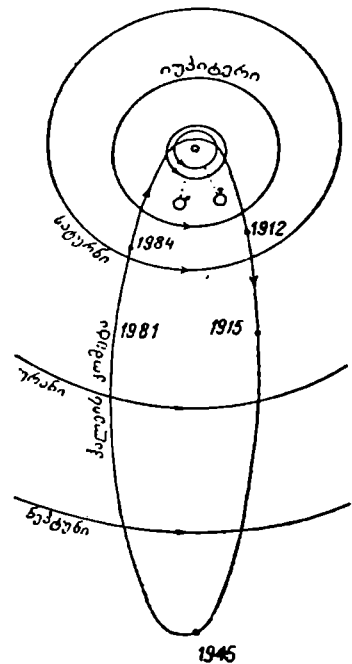
სხვა შემოთავაზებებს იწვევს. განვიხილოთ ასეთი შემოთავაზებების ორი ნიუკლიუსის შემთხვევა.

ა) ცთომილი თავისი მიზიდულობით აჩქარებს კომეტის მოძრაობას. სიჩქარის გადიდებით, როგორც ეს § 167-ის (7) და (8) ფორმულებიდან ჩანს, უნდა გადიდდეს ელიფსის დიდი ნახევარღერძი და გარემოქცევის დრო:

ამგვარად ელიფსი კიდევ უფრო მეტად გაიწელება. თუკი ამ დროს სიჩქარე პარაბოლურ სიჩქარეს (§ 167, ა) გადააქარბებს, მაშინ ორბიტი ჰიპერბოლად გადაიქცევა და კომეტა სამუდამოდ წაეა ჩვენი სისტემიდან. ასეთი სახის მოვლენები შემჩნეული იყო.

ბ) ცთომილი ანელებს კომეტის მოძრაობას. აქ კომეტის ელიფსი ნაკლებად ექსცენტრული ხდება, დიდი ნახევარღერძი და გარემოქცევის დრო მცირდება. იშვიათ შემთხვევებში, როდესაც კომეტა განსაკუთრებით ახლოს მივა ცთომილთან, შემოფოთება შეიძლება ისეთი ძლიერი აღმოჩნდეს, რომ კომეტის გარემოქცევის დრო ამდენიმე წლამდე შემცირდეს. პარაბოლისაგან მკვეთრად განსხვავებულ ასეთ არადიდ ელიფსებზე მოძრავ კომეტებს, პერიოდულ კომეტებს უწოდებენ. კომეტების ორბიტა ცვლილებების მაგალითები იხ. § 269, ე.

§ 261. პერიოდული კომეტები ყველა ცნობილი კომეტის საერთო რაოდენობის ერთ მეათედ ნაწილზე ცოტა მეტს შეადგენს. ამათ შორის მოძრაობა ზუსტად არის განსაზღვრული მხოლოდ იმათთვის, რომ-



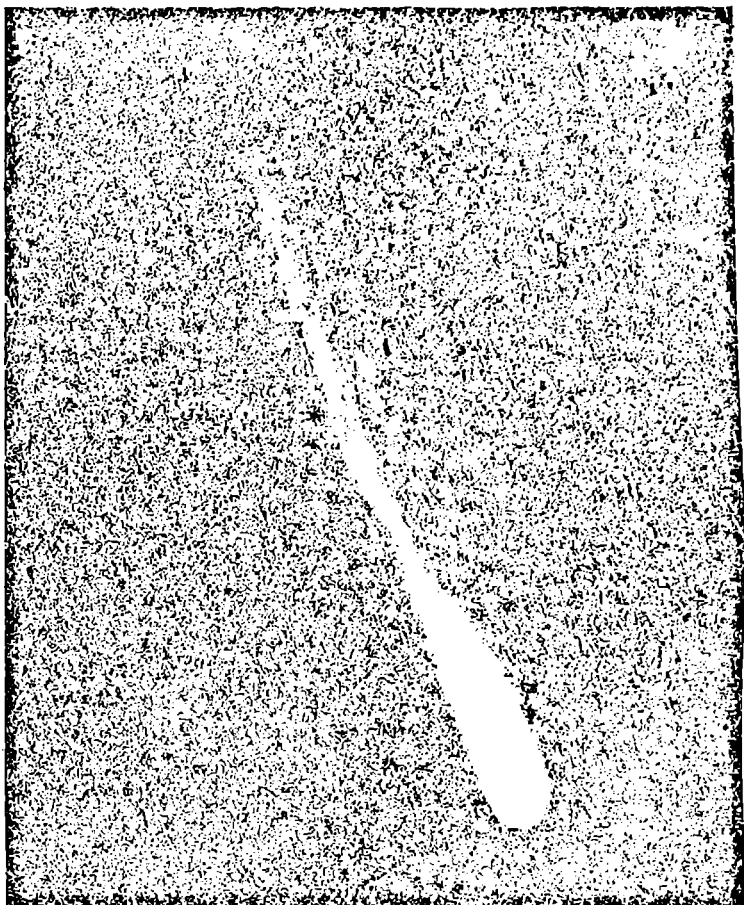
ნახ. 124.

ლებიც მხესთან რანდენჯერმე დაბრუნებისას ყოფილან დამზერილი. ამჟამად 37 ასეთი კომეტაა ცნობილი. ამ ჯგუფის კომეტებიდან გარემოქცევის ყველაზე უფრო დიდი დრო, სახელდობრ 76 წელიწადი, ჰალეის კომეტას აქვს (მისი პერიოდულიობა დაამტკიცა ნიუტონის თანამედროვე ინგლისელმა ასტრონომმა ჰალეიმ), ყველაზე მცირე კი, სულ $3\frac{1}{3}$ წელიწადი—ენკე-ბაკლუნდის კომეტას. ამ კომეტების უმრავლესობის გარემოქცევის დრო 5-დან 7 წლამდეა, ამასთანავე მათი ორბიტების აფელიუმები იუპიტერის ორბიტის მახლობლობაში იმყოფება. ესენი იუპიტერის „კომეტურ ოჯახს“ შეადგენენ.

მეტი წილი პერიოდული კომეტების ორბიტების სიბრტყეები ეკლიპტიკასთან მაინცდამაინც დიდ კუთხეებს არ შეადგენს (დაახლოებით ისეთსავეს, როგორაც მცირე ცთომილების ორბიტები). კომეტების მოძრაობის მიმართულება, როგორც წესი, პირდაპირია, იქითკენ, საითაც

კთონილების მოძრაობაა ნიმართული. მცირე გამონაკლისთაგან ერთ-ერთს ჰალეის კომეტა წარმოადგენს; მისი მოძრაობა შებრუნებულია.

კომეტების ელიფსების ექსცენტრისიტეტი ჩვეულებრივ 0,5-ზე მეტია, ისე რომ მათი ორბიტები ბევრად უფრო გაწეილია, ვიდრე ცთომილებისა (იხ. ნახ. 124). მაგრამ არსებობს რამდენიმე კომეტა, რომელთა ორბიტები სრულიად არ განსხვავდება მცირე ცთომილთა ორბიტებისაგან. აღმოჩენილია აგრეთვე ისეთი კომეტები, რომელთა ორბიტები დიდ ცთო-



ნახ. 125.

ნილთა ორბიტების მსგავსია. ერთ-ერთი მათგანი იუპიტერისა და სატურნის ორბიტებს შორის მოძრაობს ისეთ ორბიტზე, რომელიც წრეს უახლოვდება და. ცთომილების მსგავსად, ყოველ წელიწადს ჩანს თავისი პირისპირდგომის

მახლობლად (შვასმან-ვახანის კომეტა 1925 II). მეორე (ოტერმის კომეტა) მოძრაობს თითქმის წრიულ ორბიტზე მარსისა და იუპიტერის ორბიტებზე შორის და ასტეროიდებისაგან მხოლოდ თავისი ნისლოვანი გარსით განსხვავდება. ჰალეის კომეტის გარდა ყველა დანარჩენი პერიოდული კომეტა ძლიერ სუსტია.

§ 262. კომეტის სახე. ყოველი კომეტის მთავარ ნაწილს დაახლოებით მრგვალი ფორმის მნათი გამკვირვალე მასა წარმოადგენს. მისი სიკაშკაშე ჩვეულებრივ მეტრია შუაში, ნაპირებისკენ კი თანდათან სუსტდება. ხშირად ამ „ცენტრალურ შემჭიდროებას“ ისეთი ვარსკვლავის სახე აქვს, რომელიც თითქოს ნისლში ანათებდეს. ასეთ შემთხვევაში კომეტის ამ ნაწილს მის ბირთვს უწოდებენ, ბირთვის გარემომცველ ნისლეულს კი — გარსს, ანუ კომას. ბირთვი გარსთან ერთად კომეტის თავსა ქმნის (ნახ. 125). ტელესკოპურ კომეტებს ხშირად არც ბირთვი აქვს და არც მკვეთრად გამოსახული ცენტრალური შემჭიდროება.

კომეტის თავის ნისლოვანი ნივთიერება, წაგრძელებდა რა ერთ მხარეს, გადადის მნათ ზოლში — კუდში, რომელიც ჩვეულებრივ თანდათან სუსტი და განიერი ხდება თავიდან დაშორების მიხედვით. კუდს, ბოლის სვეტის მსგავსად, მკვეთრი ბოლო არა აქვს (ნახ. 125; ჰალეის კომეტა). კუდი მდებარეობს კომეტის ორბიტის სიბრტყეში და ყოველთვის მიმართულია მზის საწინააღმდეგო მხრისაკენ, ისე რომ კომეტა წასვლისას მოძრაობს კუდით წინ. ზოგჯერ კომეტას რამდენიმე კუდი აქვს, რომლებიც კომეტების ორბიტის სიბრტყეში მარაოსავით იშლებიან.

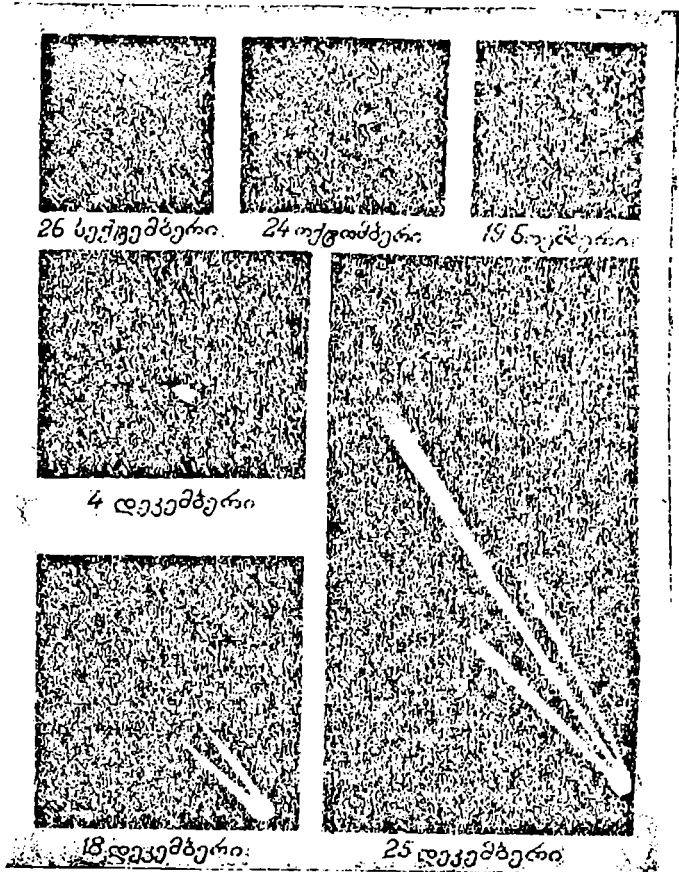
კუდის ხილული სიგრძე მეტისმეტად სხვადასხვანაირია. ტელესკოპურ კომეტებს კუდი ჩვეულებრივ ან სრულიად არა აქვს, ანდა თუ აქვს — ძლიერ სუსტი; კაშკაშა კომეტებისათვის კი კუდი ზოგჯერ 90°-ზე მეტ მანძილზე ვრცელდება (ჰორიზონტიდან ზენიტამდე).

§ 263. კომეტის კუდის წარმოშობა. კუდი კომეტის მუდმივი ნაწილი არ არის; ის მზის სხივების მოქმედებით წარმოიქმნება სულ მცირე დროით, სანამ კომეტა ახლოა მზესთან (პერიპელიუმის მახლობლად).

როდესაც კომეტა ჯერ კიდევ შორს არის მზიდან, მას მკრთალი წრიული ლაქის სახე აქვს; ამ დროს ის, ალბათ, მხოლოდ მზის არეკლილი სინათლით ანათებს. ბევრი კომეტა ასეთ ფორმას ინარჩუნებს ხილვადობის მთელი პერიოდის განმავლობაში, ზოგი კი მზესთან მიახლოებისას თანდათანობით იცვლება (ნახ. 126). ბირთვი და მთელი თავი უფრო კაშკაშა ხდება; ბირთვიდან იწყებენ „აორთქლებას“ მნათი გაზოვანი მასებით, რომლებიც დანარჩენ კომასთან შედარებით უფრო კაშკაშაა. მეტწილად ეს გამონათქვამები გროვდებიან ბირთვის იმ მხარეზე, რომელიც მზისაკენ არის მიმართული და მისკენ ნაკადებისა და „გარსების“ სახით წაგრძელებულიან, ანათებენ რა საკუთარი სინათლით.

მაგრამ ეს „ამონაორთქლი“ კომეტის თავში არ რჩება; მზიდან გამომდინარე განმზიდეელი ძალის მოქმედებით ის გაიტყორცნება შორს, მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ასე ჩნდება კომეტის კუდი. მისი შედ-

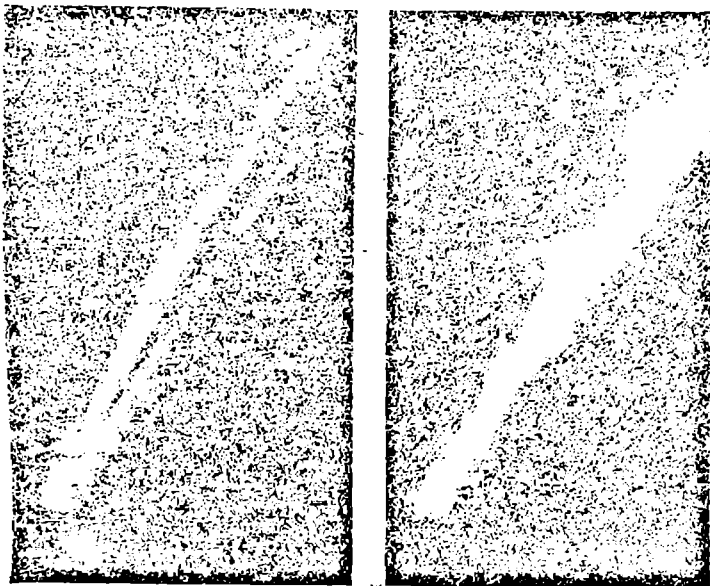
გენილობა, მაშასადანე, მუდმივად ახლდება ორთქლმავლის მილის თავზე ბოლის სვეტის მსგავსად; კუდი, რომელსაც ვაკვირდებით დღეს, ნაწილობრივ უკვე ახალი ნაწილაკებისაგან შედგება და არა მხოლოდ იმ ნაწილაკებისაგან, რომლებსგანაც გუშინ იყო შედგენილი.



ნახ. 126.

კუდის ნაწილაკთა ამ მოძრაობას შეიძლება უშუალოდ დავაკვირდეთ ფოტოგრაფიების დახმარებით. კაშკაშა კომეტების სურათებზე ჩანს, რომ მათი კუდები მეტად რთული აღნაგობისაა, ხშირად რამდენიმე ადგილას დაწყვეტილად, ცალკეული მნათი შემკიდრობების, ანუ „ღრუბლოვანი მასების“ სახით გვეჩვენება. თუ შევადარებთ ერთმანეთს რამდენიმე საათის შუალედებით გადაღებულ ფოტოგრაფიულ სურათებს, შეგვიძლია შევამ-

ჩნით, რომ ეს მასები გადაადგილდება და გამოვიტვალთ კიდევ მათი გადაადგილების სიჩქარე კილომეტრებში (იხ. ნახ. 127, მორაპუზის კომეტის ერთი კვირის შუალედით გადაღებული ორი ფოტოსურათი). მოძრაობა კომეტის თავიდან ყოველთვის კუდის გასწვრივ არის მიმართული; ის აჩქარებულია და იით უფრო სწრაფია, რაც უფრო შორს წარმოებს კონეტის თავიდან. სიჩქარენ, რომლითაც ღრუბლოვანი მასები მორადებიან ბირთვის, შეიძლება 100 კმ/სეკ-ს მიაღწიოს. რაც უფრო უახლოვდება კომეტა მხეს, მით უფრო ენერგიულად მიმდინარეობს კუდის წარმოშობის პროცესი; უდიდესი სიგრძე კუდს ჩვეულებრივ პერიოქლიუმზე გავლის ცოტა ხნის შემდეგ აქვს,



ნახ. 127.

მერე თანდათანობით მცირდება და ბოლოს სრულიად ქრება; კომეტა ისეთივე ნისლოვანი სახით მიდის, რა სახითაც ის თავდაპირველად გამოჩნდა.

§ 264. კომეტების ხიდიღე და მასა. კომეტები მზის სისტემის ყველაზე დიდი სხეულებია. კუდს სრულიად მოკლებული, საესებით მკრთალი ტელესკოპური კომეტებიც კი ბევრად აღემატება დედამიწას. ვიცით რამდენიმე კომეტა (ერთი მათგანი — 1811 წლის ცნობილი კომეტა), რომელთა თავები მზეზე დიდი იყო. კუდის სიგრძე რამდენიმე ათეული და ასეული მილიონი კილომეტრია, ზოგჯერ დედამიწის ორბიტის დიამეტრზე მეტიც. კუდის სიგანე და სისქეც აგრეთვე მილიონი კილომეტრებია. ამრიგად, კომეტის მოცულობა უზარმაზარია.

მით უფრო გასაოცარია მათი მასების უკიდურესი სიმცირე. აქამდე ერთხელაც არ ყოფილა შემჩნეული, რომ რომელიმე ცთომილთან მიახლოებულ კომეტას ამ ცთომილის მოძრაობაში რაიმე, თუნდაც სულ მცირე, შეშფოთება გამოეწვიოს. ცნობილია ისეთი შემთხვევებიც, როდესაც კომეტამ იუპიტერის თანამგზავრებს შორის გაიარა და მათ მოძრაობებში არავითარი ცვლილება არ გამოიწვია. ამის გამო კომეტების მასების გამოთვლა არაჩვეულებრივად ძნელია და ამიტომ მათი უძრავესობისათვის მასები დღევანდლამდე უცნობია.

მიუხედავად ასეთი სიძნელეებისა, პროფ. ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვმა შეიმუშავა დიდი კომეტებისა სიდიდის, მასებისა და ბირთვების აღნაგობის განსაზღვრის მოხდენილი მეთოდი. გამოიკვლია რა თავისი მეთოდით ძალის კომეტა, პროფ. ვორონცოვ-ველიამინოვმა გვიჩვენა, რომ ამ კომეტის (ერთი უდიდესთაგანის) ბირთვის აქვს განივკვეთი 60 კილომეტრის რივისა და შედგება ცალკეული ბელტებისაგან. რომელთაგან თითოეული 100 მეტრამდე ზომისაა.

ძალის კომეტის ბირთვის მასა მცირე ზომის ასტეროიდის მასის ტოლი აღმოჩნდა.

პროფ. ვორონცოვ-ველიამინოვის გამოკვლევები ამტკიცებს, რომ კომეტების მასები რამდენიმე მილიონჯერ (და შეიძლება რაზდენიმე მილიარჯერაც) ნაკლებია დედამიწის მასაზე.

მაშასადამე, მათი სიმკვრივე წარმოუდგენლად უმნიშვნელოა, შეუძლებლად უფრო ნაკლები, ვიდრე დედამიწის ატმოსფეროს სიმკვრივე.

§ 26ა. კომეტების სპექტრი. თითქმის ყველა კაშკაშა კომეტას შეიძლება აღმოუჩინოთ უწყვეტი სპექტრი, რომელშიც ხელსაყრელი პირობების დროს შესამჩნევია ფრაუნჰოფერის ბნელი ხაზებიც კი. ეს ნიშნავს, რომ კომეტაში არის მყარი ნაწილაკები. რომლებიც მზის სინათლეს არეკლავენ.

უწყვეტ სპექტრთან ერთად ბირთვის სპექტრში — და ხშირად კუდშიც — მოჩანს თვითმნათი გაზების ნათელი ხაზები და ზოლები. კომეტის თავში ნაპოვნია ნახშირბადი C_2 , ციანი CN და ნახშირბადის ზოგიერთი სხვა შენაერთი. კუდში აღმოჩენილია იონიზებული ნახშირჟანგი CO^+ და იონიზებული მოლეკულარული აზოტი N_2^+ .

ამ გაზების ნათების მიზეზი ჯერ კიდევ არ არის გამოკვლეული; როგორც ეტყობა, ეს ლუმინესცენციის მოვლენა უნდა იყოს: გაზზე დაკუმული მზის სხივები „ალაგზნებენ“ გაზის ატომებს და აიძულებენ მათ გამოასხივონ სინათლის ტალღები. შესაძლოა აგრეთვე, რომ ნათება გამოწვეული იყოს კომეტის გაზების ბომბარდირების შედეგად მზიდან წამოსული დაელექტრონებული ნაწილაკებითა და ელექტრონებით, იმის მსგავსად, როგორც ჩვენი ატმოსფეროს პოლარული ნათება ჩნდება. ამით შეიძლება აიხსნას სიკაშკაშის გაძლიერების შემთხვევები, როდესაც მზიდან ძლიერ დაშორებული ზოგიერთი კომეტის სიკაშკაშე მოულოდნელად იზრდებოდა რამდენიმე ათეულჯერ (მაგალითად, შვანმან-ვანმანის კომეტისა, § 261).

დიდი ხანია რაც შემჩნეულია, რომ კომეტების სპექტრი ისეთივეა, როგორც მეტეორიტებისა. თუ მეტეორიტის ნატეხებს უპაერო მილში

მოვთავსებთ და მასში ელექტროდენს გავატარებთ, მილი ნათებას დაიწყებს და ზუსტად კომეტის სპექტრის მსგავს სპექტრს მივიღებთ.

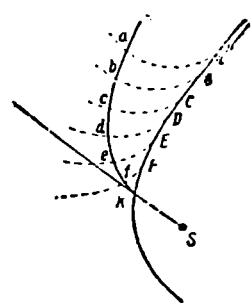
§ 266. კომეტების ბუნება. კომეტა წარმოადგენს შედარებით მცირე ზომის მქონე მეტეორული სხეულების გროვას, რომელსაც დიდი სივრცე უჭირავს, ისე რომ სხეულებს შორის მანძილები მათ ზომებთან შედარებით ძალზე დიდია. ეს მტკიცდება, სხვათა შორის, კომეტის განსაკუთრებული გამჭვირვალობით: არა მარტო კუდის, არამედ თავის იქითაც ვარსკვლავები ყოველგვარი შესუსტების გარეშე მოჩანს. 1910 წელს ჰალის კომეტის თავმა ზუსტად დედამიწასა და მზეს შორის გაიარა: „მზის დისკოზე კომეტის გავლის“ ამ მომენტში მზის ზედაპირს სრულიად ჩვეულებრივი სახე ჰქონდა და კომეტის არავითარი კვალი, თვით უძლიერეს ტელესკოპებშიც კი, არ იყო შემჩნეული. ამასთანავე, კომეტის ბირთვში სულ რამდენიმე კილომეტრიანი დიამეტრის გაუმჭვირვალე სხეულები რომ ყოფილიყო, ისინი მზის დისკოზე შავი წერტილების სახით გამოჩნდებოდნენ. ეს ადასტურებს ვორონცოვ-ველიამინოვის დასკვნებს, კომეტის თავის შემადგენელი მეტეორული სხეულების მცირე ზომების შესახებ (§ 264) და გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ტელესკოპური კომეტების ბირთვები შედგება მცირე ზომის ქვებისა და ქვიშის მარცვლებისაგან. კომეტის კუდი შედგება გაზებისა და მტვრისაგან, ამასთანავე მისი სიმკვრივე იმდენად მცირეა, რომ სივრცის თითოეულ კუბურ კილომეტრზე; ალბათ, ერთ ათეულზე ნაკლები მტვრის ნაწილაკი მოდის.

თავისი გარემოქცევის დიდი ხნის განმავლობაში მეტეორულ სხეულთა ეს „უუნდი“ წარმოადგენს ბნელ, ცივსა და, მაშასადამე, უხილავი ბელტებისა და ნაწილაკების გროვას. მზესთან მიახლოებისას ის ხილული ხდება ჯერ მხოლოდ მზის მიერ განათების გაძლიერების გამო, შემდეგ მზის სხივების მიერ გახურების შედეგად; მეტეორული სხეულების ფორებში არსებული გაზები ბირთვიდან გამოიყოფიან და იწყებენ ნათებას. კომეტის ბირთვის მიერ ამოსროლილი გაზოვანი მასები თავს იყრიან უმთავრესად ბირთვის მზისკენ მიქცეულ მხარეზე და იქ რალაც რთულ და ძლიერ მოძრავე ატმოსფეროსმაგვარ სურათს ქმნიან. მზის განმზიდეველი ძალა ამ ატმოსფეროს ნაწილაკებს უკან, მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით გასტყორცნის და ამრიგად კუდის გაჩენას იწვევს. გაზებთან ერთად განმზიდველი ძალის გავლენით ბირთვს შორდება აგრეთვე წვრილი მტვერი, რომელიც უხვად შედის მის შედგენილობაში. ამრიგად, კუდი შედგება გაზებისა და მტვრისაგან.

მაშასადამე, კუდის გაჩენას ყოველთვის თან სდევს ნივთიერების დაკარგვა და ამ მოვლენამ ბოლოს და ბოლოს კომეტის დაშლა უნდა გამოიწვიოს. ეს მით უფრო ჩქარა მოხდება, რაც უფრო ხშირად განუვითარდება კომეტას კუდი. ამიტომ არის, რომ ყველა მოკლე პერიოდიანი კომეტა, რომლებიც მზესთან, შესაძლოა, რამდენიმე ათასჯერ დაბრუნებულიან, ამჟამად ძლიერ სუსტია და თითქმის უკუდო. კუდის გაჩენის გარდა კომეტებში სხვა ნგრევითი პროცესებიც მიმდინარეობს, სახელდობრ, კომე-

ტის ბირთვის შემადგენელი მეტეორული სხეულების გაბნევა სივრცეში (§ 269).

§ 247. კულების სხვადასხვა ტიპი, კომეტების კულების მექანიკური თეორია შექმნილ იქნა უმთავრესად ცნობილი რუსი ასტროფიზიკოსის თ. ა. ბრედინინის შრომებით. იგი 1890—1895 წლებში პულკოვოს ობსერვატორიას ხელმძღვანელობდა. ეს თეორია შემდეგში მდგომარეობს: კომეტის ბირთვიდან განსაზღვრული სიჩქარით ხდება განუწყვეტლივ უწყვილესი ნაწილაკების ამოტყორცნა. კომეტასთან კავშირის დაკარგვის გამო, ისინი კომეტის ბირთვის მოძრაობისაგან განსხვავებულ მოძრაობას იწყებენ. რადგანაც მათზე მზიდან მომდინარე ორი ძალა მოქმედებს: 1) მზის ნიუტონისეული მიზიდულობის ძალა და 2) მზის განხილულობის ძალა, რომელიც შესამჩნევ გავლენას მხოლოდ ძლიერ მცირე ნაწილაკებზე ახდენს (იხ. § 268); კომეტის ბირთვი მარტო პირველი ძალის მოქმედების შედეგად ისევე მოძრაობს, როგორც ცის სხვა სხეულები, ვინაიდან მასზე მეორე ძალის მოქმედება უმნიშვნელოა. ვიცით რა მზის განმზიდველი ძალის სიდიდე და კომეტის ბირთვიდან ამოსროლილი ნაწილაკების საწყისი სიჩქარე, ადვილად შეიძლება გამოვითვალოთ ის მდებარეობანი, რომელთაც მოცემულ მომენტში დაიკავებენ წინა რამდენიმე დღის განმავლობაში განუწყვეტლივ ამოსროლილი ნაწილაკები. ეს ჩვენ გვადლევს კულის ფორმას მოცემული მომენტისათვის (ნახ. 128). 128 ნახაზზე A, B, C, \dots ასოებით აღნიშნულია კომეტის სხვადასხვა მდებარეობა მზის (S) მახლობლობაში მოძრაობისას. კომეტის A, B, C, \dots წერტილებში მდებარეობის დროს ბირთვიდან ამოსროლილი ნაწილაკები მოძრაობენ შესაბამისად Aa, Bb, Cc ტრაექტორიებით და დროის მოცემული მომენტისათვის, როდესაც კომეტა K წერტილში იმყოფება, ისინი იკავებენ მდებარეობებს a, b, c, \dots , რაც დამკვირვებელს მოლუნული კულის სახით წარმოუდგება. შეიძლება გადაწყდეს შებრუნებული ამოცანაც: დაკვირვებიდან მიღებული კულის ფორმის საშუალებით განისაზღვროს განმზიდველი ძალის სიდიდე.

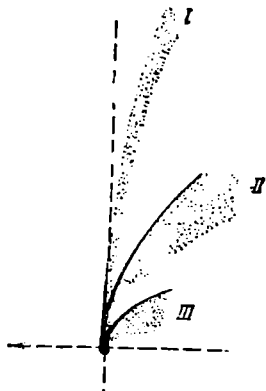


ნახ. 128.

ბრედინინმა გვიჩვენა, რომ სხვადასხვა კომეტისათვის განმზიდველ ძალას სხვადასხვა, მაგრამ არაუოველნაირი, მნიშვნელობა აქვს. მრავალრიცხოვანი კომეტის კულების გამოკვლევებით მან იპოვა, რომ ისინი სამ ძირითად კლასად (ან ტიპად) შეიძლება გაერთიანდნენ (ნახ. 129).

I ტიპის კულებისათვის მზის განმზიდველი ძალა 20--200-ჯერ აღემატება მზისავე მიზიდულობის ძალას, II ტიპისათვის ის ტოლია 0,5-დან 2,5-მდე მიზიდულობის ძალისა, ხოლო III-სთვის 0,1-დან 0,3-მდე. ასევე სიჩქარეც, რომლითაც ნაწილაკები ბირთვიდან ამოიტყორცნებიან, განსხვავებულია სხვადასხვა ტიპისათვის: I ტიპის კულებისათვის ის ერთ სექუნდში რამდენიმე კილომეტრს შეადგენს, დანარჩენი ტიპებისათვის კი ჩვეულებრივ

კმსეკ-ს არ აღემატება. რაც უფრო ნაკლებია განზიდველი ძალის სიდიდე, მით მეტია კულის სიმრუდე: I ტიპის კულები თითქმის სწორი ხაზებია და მათი მიმართულება ახლოა კომეტის რადიუს-ვექტორის მიმართულებასთან; II ტიპის კულები შესამჩნევადაა მოხრილი უკან, იმ მხარეს, საიდანაც მოძრაობს კომეტა; III ტიპისათვის ეს გამრუდება კიდევ უფრო მეტია.



ნახ. 129.

განზიდულობის ძალის სიდიდე, მიზიდულობის ძალისაგან განსხვავებით, დამოკიდებულია არა მარტო კულის ნაწილაკთა მასაზე, არამედ მათ ფიზიკურ და ქიმიურ ბუნებაზედაც. ასე, მაგალითად, I ტიპის კულები შედგება უფრო მსუბუქი ნივთიერებებისაგან (თანამედროვე მონაცემების მიხედვით გაიშვიათებული გაზების—ნახშირჟინგისა და აზოტისაგან), II და III კი — შედარებით მძიმეთაგან (კოსმოსური მტვერი). ამით აიხსნება. მაგალითად, ერთი და იმავე კომეტისათვის სხვადასხვა ტიპის რამდენიმე კულის გაჩენა.

ზოგიერთი კომეტისათვის შეჩინებული იყო აგრეთვე მზისკენ მიმართული მარაოსებური მოკლე კულები. ასეთი კულები ანონალიურად იწოდება. ისინი, ალბათ, კიდევ უფრო მსხვილი

ნაწილაკებისაგან უნდა შედგებოდნენ. რომლებზედაც მზის განზიდველი ძალა უმნიშვნელოდ მოქმედებს.

უკანასკნელი დროის კომეტების ფოტოგრაფიებმა I ტიპის ზოგიერთ კულში ისეთი განზიდულობის ძალა განოააშკარავა, რომელიც მიზიდულობის ძალას რამდენიმე ათასჯერ აღემატება. სხვა მხრივ ბრედინინის თეორია დაკვირვებიდან მიღებულ ყველა მიჯღენას კარგად ხსნის. უკანასკნელ ხანს კომეტების კულების თეორია მნიშვნელოვნად განავითარა და სრულყო სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ს. ვ. ორლოვმა. ს. ვ. ორლოვის შრომებს კომეტების შესწავლის შესახებ მიენიჭა სტალინური პრემია.

ს. ვ. ორლოვმა მექანიკისა და ფიზიკის უკანასკნელი მიღწევების საფუძველზე, კომეტების ფოტომეტრიისა და სპექტროსკოპიის შედეგების მხედველობაში მიღებით, შეიმუშავა კომეტების ჯორმების თანამედროვე თეორია, შექმნა რა ამრიგად: კომეტების კულების ფიზიკური თეორია. მან გვიჩვენა, რომ კომეტის თავში არსებული ნივთიერება განიზიდება არა მარტო მზის, არამედ კომეტის ბირთვის მოქმედებითაც. ამან შესაძლებელი გახადა ბირთვის ზომისა და მასის მიახლოებითი განსაზღვრა; მასისთვის მიღებულ იქნა დედამიწის მასის 10^{-15} -დან 10^{-10} -მდე მნიშვნელობა. ორლოვმა დააზუსტა სხვადასხვა ტიპის კულების წარმოშობის პროცესები და მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ I ტიპის კულები ვაზისებურია, II და III ტიპები კი — მტვრი-სებური.

I ტიპის კულებების წარმოშობისას მოცემული გაზის მოლეკულები გავრცელებიან ბირთვიდან განუწყვეტელი ნაკადით. მაშასადამე, დროის სხვადასხვა მომენტში, მაგრამ მოძრაობენ ერთნაირი განზიდველი ძალის მოქმედებით. ამის გამო ყველა ასეთი ნაწილაკი თავსდება სინდინამაზე, ე. ი. „თანაბარ ძალთა“ ხაზზე. რადგანაც კომეტის ბირთვიდან სხვადასხვა კიმიური ბუნების გაზები გამოიყოფიან და თითოეული სახის გაზის მოლეკულები თავთავიანთ სინდინამების გასწვრივ ლაგდებიან, ამიტომ I ტიპის კული წარმოადგენს ასეთი სინდინამების კონას.

თუკი კომეტის ბირთვიდან ერთბაშად დიდი რაოდენობის და სხვადასხვა ზომის მყარი ნაწილაკები (მტვრი) გამოიტყორცნა, ე. ი. მოხდა „აფეთქება“, მაშინ ამ ერთდროულად გამოტყორცნილი ნაწილაკების ღრუბელი შედგომი მოძრაობისას დამკვირვებლისათვის გაეკიშება მრუდ ხაზად, რომლის ერთ ბოლოზე მოექცევიან ისეთი ნაწილაკები, რომლებმაც უდიდესი განზიდველი აჩქარება მიიღეს, მეორეზე კი — ნაწილაკები უმცირესი აჩქარებით. ეს ხაზები წოდებულია სინქრონებად, ე. ი. „ერთი დროის“ ხაზებად (ბირთვიდან ერთდროულად გამოფრქვევის გამო). II და III ტიპის კულები შედგება მთელი რიგი ასეთი სინქრონებისაგან. ისინი მტვრისებური არიან და არეკლავენ მზის სპექტოს.

§ 268. განზიდველი ძალის არსი ჯერ მხოლოდ II და III ტიპის კულებისათვის არის გამორკვეული — ეს არის მზის სხივების განზიდველი ძალა, ანუ სინათლის წნევა. როგორც ცნობილი რუსი ფიზიკოსის პ. ნ. ლეხედევის ცდებმა გვიჩვენა. სინათლე ახდენს წნევას მის მიერ განათებული ყველა საგანზე. ჩვეულებრივი ზომის სხეულთათვის ეს წნევა უმნიშვნელოა, მეტისმეტად მცირე ზომის სხეულებისათვის კი (მტვრის ნაწილაკები, გაზის მოლეკულები) სინათლის წნევის ძალა შეიძლება დიდად აღემატებოდეს მზის მიზიდულობის ძალას და ამრიგად, ნაწილაკი მზის მიერ კი არ მიიზიდება, არამედ განიზიდება, განსაკუთრებით თუ ის მზესთან ახლოა.

მართლაც, თუ გვაქვს ერთეული სიმკვრივის სხვადასხვა ზომის ბურთულები, რომლებიც მზიდან ერთსა და იმავე მანძილზე იმყოფებიან, მაშინ სინათლის წნევა მით მეტი იქნება, რაც მეტია ბურთულის ზედაპირი. მაშასადამე, სხვა თანასწორ პირობებში ის ბურთულის რადიუსის კვადრატის პროპორციულია: $D = c_1 r^2$.

მზის მიზიდულობის ძალა კი პროპორციულია ბურთულის მასისა; ნუღმივი სიმკვრივისას ის, მაშასადამე, პროპორციულია მოცულობისა. ე. ი. რადიუსის კუბისა:

$$F = c_2 r^3.$$

განზიდველი ძალის ფარდობა მიზიდულობის ძალასთან გამოიხატება ფორმულით:

$$\frac{D}{F} = \frac{c_1}{c_2} \frac{1}{r}.$$

$\frac{c_1}{c_2}$ მუდმივი ძლიერ მცირეა, ამიტომ ჩვეულებრივ განზიდულობა ნიბიდულობასთან შედარებით უმნიშვნელოა. მაგრამ, როგორც უკანასკნელი

უორხულა გვიჩვენებს, ძლიერ მცირე რადიუსიანი ბურთულის შემთხვევაში განზიდულობამ შეიძლება მიზიდულობასაც კი გადააქარბოს. ამას ადგილი აქვს ისეთი ნაწილაკებისათვის, რომელთა დიამეტრი სანტიმეტრის მესამე-თასედი ნაწილებით გამოისახება (მეტრისათვის).

რაც შეეხება I ტიპის კუდებს, მათში შემჩნეული განმზიდველი ძალები მნიშვნელოვნად აქარბებს თეორიულს. უეჭველია, რომ სინათლის წნევა მათ-შიაც დიდ როლს ასრულებს, მაგრამ მარტო სინათლის წნევის ძალით I ტი-პის კუდის ფორმის ასხნა შეუძლებელია. ცხადია, აქ აგრეთვე ელექტრული წარმოშობის ძალები მოქმედებენ, რაზედაც ჯერ კიდევ მ. ვ. ლომონოსოვი უთითებდა.

§ 269. ზოგიერთი შესანიშნავი კომეტა. ა) ჰალეის კომეტა. ეს პოპულარი კომე-ტაა, რომლისთვისაც ნაწინასწარნეტყველვეი იქნა დაბრუნება. როდესაც ის 1682 წელს გამოჩნდა. ჰალეიმ მიაქცია ყურადღება მისი ორბიტის მსგავსებას 1607 და 1531 წლებში დაბრუნებულ კომეტების ორბიტთან. ამან ჰალეი მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ სა-ნივე კომეტა ძლიერ გაწვლილ ელიფსზე მოძრაობს, ერთი და იმავე კომეტის სამ ცალკეულ გამოჩენას წარმოადგენს, რომლის გარემოქცევის პერიოდი დაახლოებით 75 წელია და მან, ანის გამო. მისი დაბრუნება 1758 წლისათვის იწინასწარმეტყველა. დაბრუნების დროს უფრო ზუსტი განაზღვრისათვის საჭირო შეიქნა გამოთვლილიყო ცთომილების მიერ გამო-წვეული ყველა შემოთება 75 წლის განმავლობაში. ეს სამუშაო შესრულდა უკვე ჰალეის შემდეგ, გამოიჩქვა, რომ იუპიტერისა და სატურნის მიერ გამოწვეული შემოთებების შე-დეგად კომეტამ უნდა დაიგვიანოს ერთ წელზე მეტი. მართლაც, ის ზუსტად, გამოთვლის შესაბამისად, დაბრუნდა 1759 წ., შემდეგ 1835 წელს. უკანასკნელი ყველაზე უფრო შესანიშ-ნავი დაბრუნება 1910 წელს მოხდა; 19 მაისს კომეტამ მზესა და დედამიწას შორის გაიარა, დედამიწიდან დაახლოებით სულ 24 მილიონ კილომეტრის მანძილზე და რადგანაც მისი კუდი აღნიშნულ მანძილზე ბევრად უფრო გრძელი იყო და მიმართული, როგორც ყოველ-თვის, მზის მოპირდაპირე მხრისაკენ, ამიტომ დედამიწამ კომეტის კუდში გაიარა. დედამი-წასთან კომეტის სიახლოვის გამო კუდს 140°-ზე მეტი კუთხური სიგრძე ჰქონდა. ჰალეის კომეტის დაბრუნებებს შეიძლება თვალი ვადევნოთ უძველესი მატინაეების მიხედვით 2000 წლის მანძილზე. მივლი ამ ხნის განმავლობაში მისი სიკაშკაშე თუკი შემცირდა კიდევ. ალბათ მხოლოდ უმნიშვნელოდ, პერიოდი კი, შემოთებების გამო. შეიცვალა 74 $\frac{1}{2}$ -დან 79 $\frac{1}{2}$ წლამდე, კომეტის შემდეგი დაბრუნება მზესთან 1986 წელს მოხდება (ნახ. 124).

ბ) ენკე - ბაკლუნდის კომეტა — XVIII საუკუნის ბოლოდან ცნობილი. პერი-ოდული, სუსტი კომეტა მხოლოდ და მხოლოდ თავისი მოძრაობით არის საინტერესო. მის გარემოქცევის ყველაზე მოკლე პერიოდი აქვს — სულ 3 $\frac{1}{2}$ წელიწადი. ენკემ, რომელმაც პირ-ველმა დაამტკიცა კომეტის პერიოდულობა. მის მოძრაობაში აჩქარება აღმოაჩინა: სახელობრ, ყოველი შემდეგი გარემოქცევის დრო წინაზე თითქმის 3 საათით მოკლე აღმო-ჩნდა. ამრიგად, ნისი ორბიტა სიდიდით თანდათანობით მცირდება და თუ ეს აჩქარება კვლავაც გაგრძელდა, მაშინ კომეტა ბოლოს და ბოლოს მზეზე უნდა დაეცემა. შემდეგ, რუსმა ასტრონომმა ო. ა. ბაკლუნდმა დაამტკიცა, რომ კომეტის აჩქარების სიდიდე იცვლება: ის ანბა ბევრად ნაკლებია, ვიდრე იყო გასული საუკუნის შუა წლებში. მაგრამ ეს შემოთება განუწყვეტელი კი არ წარმოებდა, არამედ მკვეთრი ნახტომებით — უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში 3-ჯერ ან 4-ჯერ. როგორც აჩქარება, ისე მისი ცვლილებაც ჯერჯერობით გამოუცნობია. შესაძლოა მიზეზი მდგომარეობს კომეტის დაჯახებებში მტკეოთა გროვასთან. სხვა კომეტების მოძრაობებში არავითარი ამის მსგავსი არაწესიერებანი ჯერ-ჯერობით აღმოჩენილი არ არის.

გ) კომეტა 1882 II და მისი ოჯახი. ამ კომეტამ მისი აღმოჩენის შემდეგ ნაღვ გაიარა მზის დისკოზე (მსგავსად ჰალეის კომეტისა 1910 წელს). ამასთანავე ის (უკა-ნასკნელისაგან განსხვავებით) იმდენად კაშკაშა იყო, რომ მისი დანახვა დღისით, მზის უშუ-ალო მახლობლობაში, შეუიარაღებელი თვალითაც შეიძლებოდა. ტელესკოპის დახმარებით

შეიღებოდა აკრუთვე მზის დისკოზე მისი შესვლის დაკვირვება, სრულიად ისევე, როგორც აკვირდებინან, მაგალითად, მთვარის მიერ ვარსკვლავთ დაფარვას. მზის დისკოზე ის უჩინარო გახდა. მისი გარემოქცევის დრო 800 წელიწადს შეადგენს. აღმოჩნდა, რომ ამავე ორბიტზე კიდევ რამდენიმე (7-მდე) ძლიერ კაშკაშა კომეტა მოძრაობს, რომლებიც უკანასკნელ ორ საუკუნეში სხვადასხვა დროს გამოჩნდნენ. ისინი პერიპელიუმში მზესთან არაჭეულებრივად ახლოს მიიდან; ასე, მაგალითად, 1843 წლის კომეტამ მზის ზედაპირიდან 130000 კმ მანძილზე (ე. ი. მზის დიამეტრის 0,1 მანძილზე) გაიარა. ანტიკად, ის მზის ზედაპირთან უფრო ახლოს იმყოფებოდა, ვიდრე ბევრი პროტუბერანცის წვეროები. ეს კომეტაც დღისით ჩანდა.

აღბათ, ამ კომეტური „ოჯახის“ ყველა წევრი წარმოიშვა ერთი გიგანტური კომეტი-საგან. რომელიც თდესლაც ნაწილებად დაიშალა. ეს დაშლა ჩვენს დროშიც გრძელდება: კომეტა 1882 II-ის ბირთვი ჯერ მრგვალი იყო, შემდეგ ვაიწყლა და ბოლოს დაიშალა ოთხ ცალკეულ ბირთვად. სადამდეც კი შეიძლება კომეტისათვის თვალყურის დევნება, ნაწილებს შორის მანძილი სულ უფრო და უფრო დიდდება; მაშასადამე, თითოეული ბირთვი თავის საკუთარ ორბიტზე მოძრაობდა. კომეტამ თუ XXVII საუკუნემდე გაძლო. მაშინ ის მზეს ოთხი კომეტის სახით დაუბრუნდება რამდენიმე ათეული წლის შუალედით ერთიმეორის შემდეგ.

და ბ ი ე ლ ა ს კ ო მ ე ტ ა. კომეტის დაშლის კიდევ უფრო შესანიშნავ მაგალითს ბიე-ლას პერიოდული კომეტა წარმოადგენს. ეს სუსტი კომეტა 1846 წელს რამდენიმე დღეში ორ ცალკეულ, თითქმის ერთნაირ ფორმის. პატარა კომეტად დაიშალა. მათ შორის მანძილი თანდათან იზრდებოდა და სანამ შეიძლება მათი დანახვა, მან თითქმის დედამიწასა და მთვარეს შორის მანძილის სიდიდეს მიაღწია. 1852 წელს ორივე კომეტა დაბრუნდა და ამ ხნის განმავლობაში ეს მანძილი უკვე დაახლოებით 10-ჯერ იყო გადიდებული. ამის შემდეგ კომეტა აღარ უნახავთ, თუმცა ის ყოველ 6 $\frac{1}{2}$ წლის შემდეგ უნდა ბრუნდებოდეს, რის გამო მას დაკარგულად თვლიან. 1872 წელს კომეტა დედამიწასთან ძლიერ ახლო უნდა მოსულიყო. მიუხედავად ამისა, მისი პოვნა ვერ მოხერხდა. სამაგიეროდ ამავე წლის 27 ნოემბრის ღამეს მრავალი ადგილიდან იქნა შემჩნეული ნამდვილი „წვიმა ვარდნილ ვარსკვლავთა“, რომლებიც, როგორც შემდეგ გამოიჩნდა, ბიელას კომეტის ორბიტზე მოძრაობდნენ. კომეტა საბოლოოდ დაიშალა და მის არსებობას მოგვაგონებს მხოლოდ „მეტეორთა ნაკადი“, რომელიც დღემდე ყოველი ნოემბრის ბოლოს გამოჩნდება ხოლმე, მხოლოდ ყოველწლიურად სულ უფრო და უფრო სუსტდება.

კომეტების დაშლის მიზეზი ქვევით იქნება გამორკვეული კომეტების წარმოშობისა და მზის სისტემაში მათი ადგილის საკითხთან დაკავშირებით.

ე) ლ ე კ ე ლ ის კ ო მ ე ტ ა. 1770 წელს გამოჩნდა კომეტა, რომელიც ნეუიარალბეგელი თვალთ მორჩანდა და რომელზედაც დაკვირვება ჩანდებოდა თვის შეიძლება. დაკვირვებებიდან მისთვის ჯერ პარაბოლური ორბიტა იქნა განსაზღვრული, რადგანაც ამ დროს ელიფსური ორბიტის მქონეს, ჰალეის კომეტის გარდა, სხვა არც ერთ კომეტას არ იცნობდნენ. რუსი აკადემიკოსის ლეკსელის უფრო ზუსტმა გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ სინამდვილეში კომეტა ელიფსზე გარემოიქცევა სულ 5 $\frac{1}{2}$ წლის პერიოდით და დაკვირვებებისათვის ხელსაყრელ პირობებში კიდევ 1781 წელს უნდა ყოფილიყო. მაგრამ ეს წინასწარმეტყველება არ გამართლდა და კომეტა უკვე საერთოდ აღარ უნახავთ. მხოლოდ ლეკსელის გარდაცვალების შემდეგ დაამტკიცეს ლაპლასმა და ლევერიემ, რომ კომეტა წინათ მოძრაობდა ორბიტზე, რომელიც ახლო იყო პარაბოლთან, მაგრამ 1767 წელს ისე ახლო მივიდა იუპიტერთან, რომ უკანასკნელის მიზიდულობამ კომეტის ორბიტა გარდაქმნა შედარებით მცირე ელიფსად, რომელიც სავსებით სწორად იყო განსაზღვრული ლეკსელის მიერ. 12 წლის შემდეგ (იუპიტერის გარემოქცევის დრო) კომეტა კიდევ მიუახლოვდა იუპიტერს, ამჯერად ისე ახლოს, რომ უნდა გაეელო მის თანამგზავრებს შორის. ახლა იუპიტერის მიერ გამოწვეულ არქარებას სხვა მიმართულება ჰქონდა, ვიდრე პირველი შეხვედრისას და მან ისე ძლიერ გაზარდა კომეტის მიერ შემოწერილი ელიფსის დიდი დერძი. რომ დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის კომეტა უკვე მიუწვდომელი გახდა.

§ 270. კომეტის დაჯახება სამყაროს სხვა სხეულთან. კომეტების რიცხვი ძლიერ დიდია, მათი ორბიტები კი სხვადასხვანაირი და მუდმივ ცვალებადი. ამის გამო კომეტების დაჯახება სხვა მნათობებთან თეორიულად შესაძლებელია, თუმცა სინანდელიღემ ეს მოვლენა ფრიალ იშვიათად უნდა ხდებოდეს, რადგანაც გიგანტური კომეტების სიდიდეც კი ცოთმილთა შორის მანძილებთან შედარებით უმნიშვნელოა. კერძოდ, დაჯახება შესაძლებელია დედამიწასთანაც, მაგრამ ეს დედამიწას სულ მცირე ზიანსაც ვერ მიაყენებს. დედამიწა კომეტის მტვრის ნაკადებს რომ დაეჯახოს, მაშინ ეს მოვლენა შემოისახლვრება საუსტხოო „ვარდნილ ვარსკვლავთა წვიმით“. თუკი დედამიწა კომეტის ბირთვს დაეჯახა, მაშინ დედამიწის ზედაპირზე დიდი რაოდენობის მეტეორიტები ჩამოცვივა, რომლებსაც მნიშვნელოვანი მასის შემთხვევაში შეუძლიათ უბედური შემთხვევა განიწვიონ, კატასტროფაზე კი ლაპარაკი ზედმეტია. შესაძლოა, რომ დედამიწის გეოლოგიური ისტორიის განმავლობაში ასეთი დაჯახებები ხდებოდა. უფრო მეტიც, ფიქრობენ, რომ 1947 წლის 12 თებერვალს შორეულ აღმოსავლეთში ჩამოვარდნილი სიხოტე აღინის მეტეორიტი ოდესლაც ერთ-ერთი კომეტის ბირთვს ეკუთვნოდა, ან შეიძლება მცირე ზომის ასტეროიდსაც წარმოადგენდა, მაგრამ მის დაჯახებას დედამიწასთან არავითარი შედეგები არ მოჰყოლია, გარდა ტყის ადგილობრივი დაზიანებისა.

რაც შეეხება დედამიწის შეხვედრას კომეტის კუდთან, ამ უკანასკნელის მეტისმეტად გაიშვიათებულობის გამო, ასეთმა შეხვედრამ სრულიად შეუძნელოდ უნდა ჩაიაროს.

არაა კატასტროფული არც კომეტების მზეზე დაცენა: რაც აგრეთვე შესაძლებელია. 600 კმ/სეკ-ზე მეტი სიჩქარით მზეზე დაცემისას (თავი VIII, სავარჯიშო 2), ცხადია, დიდი რაოდენობის სითბო უნდა განვითარდეს და რადგანაც მზის ზედაპირი მეტისმეტად გაიშვიათებულია, ამიტომ სანამ კომეტის მოძრაობის ენერგია სითბოდ გადაიქცეოდეს, ის მზის წიაღში ღრმად შეიჭრება. ამასთანავე კომეტის დაცემისას გამოყოფილი სითბო მზის მიერ გამოსხივებულ ენერგიასთან შედარებით უმნიშვნელო იქნება და ამიტომ მზის ზედაპირის ტემპერატურა სრულიად არ აიწვეს. თუკი კომეტის ბირთვი მცირე ზომის ნაწილაკებისაგან შედგება, მაშინ ზოგი მათგანი, მათი ზომების მიხედვით, მზეზე დაცემამდე დიდი ხნით ადრე უკან გაიტყორცნება მისი სხივების განზიდულობის ძალით (§ 268), ზოგი კი მზის სიმბურვალისაგან გაზად გადაიქცევა.

§ 271. კომეტების წარმოშობის საკითხი. კომეტებში დამზერილი ყოველი მოვლენა ამტკიცებს, რომ ეს სხეულები იმყოფება შედარებით ჩქარი დაშლის სტადიაში. ეს დაშლა მიმდინარეობს სხვადასხვა გზით:

1) კომეტები იმსხვრევიან; ერთი დიდი კომეტიდან წარმოიწევა რამდენიმე მცირე (ბიელას კომეტა, კომეტა 1882 II და სხვ.).

2) კომეტები განიზნევიან; კომეტის ბირთვის შემადგენელი მეტეორული სხეულები თანდათან სულ დიდ მოცულობაში ნაწილდებიან ან სრულიად ტოვებენ კომეტას.

3) კომეტები ორთქლდებიან; მხესთან ყოველი მინაბლოების შედეგად წარმოშობილი კომეტის კულის შემადგენელი ორთქლები და გაზები კომეტას უკან არ უბრუნდებიან. ამით დიდი ხანია რაც უკვე ახსნილია ყველა მოკლებერიოდინი კომეტის მკრთალი ნათება და მრავალი მათგანის უქველი პროგრესული შესუსტება.

თუ დავუშვებთ, რომ ეს შესუსტება ადრევე იმავე სიჩქარით მიმდინარეობდა, როგორც ჩვენს ეპოქაში, მივიღებთ დასკვნას, რომ რამდენიმე საუკუნის წინათ ზოგიერთი მკრთალი პერიოდული კომეტა შეუიარაღებელი თვალთ ადვილი დასანახი იქნებოდა. ამასთანავე ძველი ასტრონომებისა და მეტატიანებისაგან არც ერთ მათგანზე ცნობები არ დარჩენილა. ამიტომ გამოითქვა ვარაუდი, რომ კომეტები ბევრად უფრო გვიან წარმოიშვნენ, ვიდრე ცთომილები და რომ მათი წარმოშობა შესაძლოა ჩვენს დროშიც წარმოებეს.

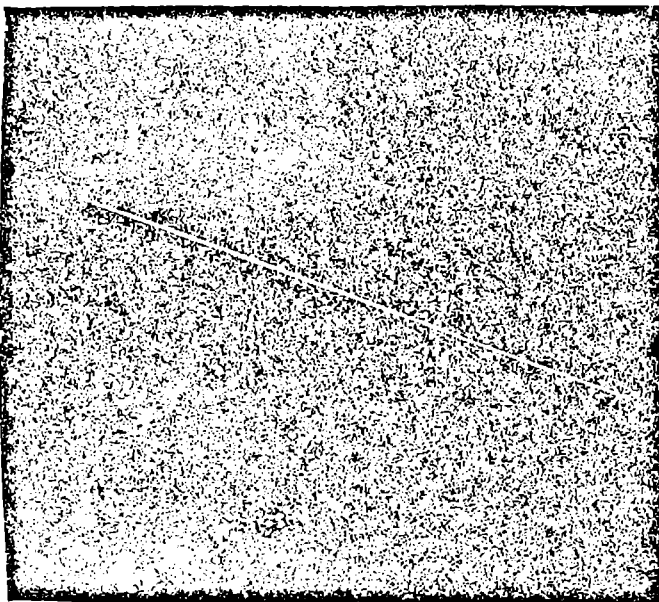
რადგანაც ბევრი კომეტის ორბიტის აფელიუმები იუპიტერის ორბიტის ახლო არის განლაგებული, ამიტომ ჯერ კიდევ ლაგრანჟმა გამოთქვა აზრი, რომ ასეთი კომეტები წარმოადგენენ ამ გიგანტ-ცთომილის წიალიდან რალაც ამოფრქვევების პროდუქტებს. ამჟამად ლაგრანჟის ჰიპოთეზას მხარს უჭერს ს. კ. ვესხსვიატსკი. ამ ჰიპოთეზის სასარგებლოდ ერთ-ერთი არგუმენტი ის არის, რომ კომეტების ქიმიური შედგენილობა იუპიტერის ატმოსფეროს შედგენილობის მსგავსია; ამ ჰიპოთეზის მთავარი საწინააღმდეგო მოსაზრება კი ასეთია: კომეტის წარმოსაქმნელად ამოფრქვეული მასა იუპიტერის ფრიად მკვრივ ატმოსფეროდან 60 კმ/სეკ-ზე მეტი სიჩქარით უნდა გამოვიდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ის ცთომილს ან უკანვე დაეცემა, ანდა წარმოშობს თანამგზავს. მაგრამ ძნელი წარმოსადგენია ის ძალა, რომელსაც ასეთი სიჩქარეების გამოწვევა შეეძლება.

ამჟამად უფრო დამაჯერებელია ს. ვ. ორლოვის მეტეორიტული ჰიპოთეზა. ამ ჰიპოთეზით კომეტა წარმოიშვება ორი სხეულის, მაგალითად, მცირე ცთომილისა და მოზრდილი მეტეორიტის დაჯახებით. ასეთი დაჯახებისას რამდენიმე კილომეტრიანი დიამეტრის ცთომილი უნდა დაიმსხვრეს მცირე ნამტვრევებად, რომლებიც მზის სისტემაში ყველა შესაძლო ორბიტზე იმობრავენ. წარმოვიდგინოთ, რომ ნამსხვრევთა ნაკადი, რომელსაც მტერის უხვი რაოდენობა ახლავს, წავიდა ასეთი ორბიტის გასწვრივ, მიუახლოვდა მზეს და გათბა მის სხივებში. გათბობის შედეგად ნამტვრევები დაიწყებენ გაზის გამოყოფას, მეტეორიტული გროვა გაეხვევა გაზისა და მტერის გაჩხში და წარმოიშვება კომეტა.

§ 272. ვარდნილი ვარსკვლავები (მეტეორები). ცთომილთშორისი სივრცე, ყოველ შემთხვევაში დედამიწის ორბიტის მახლობლად მაინც, შეიცავს აუარებელი რაოდენობის მცირე ზომის ბნელ სხეულებსა და მტერს, რომლებიც მზის მიზიდულობის მოქმედებით ყოველნაირ ორბიტეს შემოწვრივ. მათი მეცნიერული სახელწოდებაა მეტეორული სხეულები. დედამიწა თავისი მოძრაობისას მათ ყოველთვის ხვდება და ჩვენ სწორედ ამ შეხვედრის მომენტში ვიკვებთ მეტეორული სხეულის არსებობის შესახებ: შემოიკრება რა უდიდესი სიჩქარით ცარიელი სივრციდან დედამიწის ატმოსფეროში, ის ჰაერის წინააღმდეგობის შედეგად თითქმის ერთბაშად გავარვარდება და

იქცევა მეტეორად ანუ, როგორც ჩვეულებრივ ამბობენ, „იწვის“. ეს ხანმოკლე ბრწყინვალე ანთება წარმოადგენს სწორედ ვარდნილი ვარსკვლავის ანუ მეტეორის მოვლენას (ნახ. 130).

თუ დავაკვირდებით ერთსა და იმავე მეტეორს ორი ერთმანეთისაგან რამდენიმე კილომეტრით დაშორებული ადგილიდან, მაშინ ადვილად შევამ-



ნახ. 130

ჩნეთ ვარსკვლავთ შორის მის პარალაქტურ გადანაცვლებას (§ 106) და ადვილად გამოვითვლით მის სიმაღლეს ღედამიწის ზედაპირიდან. აღმოჩნდა, რომ მთელი ეს მოვლენა ღედამიწის ატმოსფეროს ძლიერ მაღალ ფენებში წარმოებს: მეტეორი 100 კმ-ზე უფრო მაღლა იწეებს ანთებას და ჩვეულებრივ 70—80 კმ-ის სიმაღლეზე ქრება. მისი ხილული გზის ქეშმარიტი სიგრძე, არც ისე იშვიათად, ასეულ კილომეტრებსაც აჭარბებს. ამავე დაკვირვებებიდან შეიძლება განისაზღვროს მეტეორის სიჩქარეც ღედამიწის ატმოსფეროში (ხილული გეოცენტრული სიჩქარე). ჰაერის წინააღმდეგობის შედეგად ეს სიჩქარე მნიშვნელოვნად უფრო ნაკლები იქნება იმ სიჩქარეზე, რომლითაც მეტეორული სხეული ღედამიწის მიმართ მოძრაობდა უჰაერო სივრცეში (კოსმოსურ გეოცენტრულ სიჩქარეზე).

უმთავარო მოწმენდილ ღამეს ერთი საათის განმავლობაში შეიძლება საშუალოდ 4—5 მეტეორი დაეინახოთ. მაგრამ ეს რიცხვი მნიშვნელოვან ცვლილებებს განიცდის, როგორც იმის მიხედვით, თუ დღე-ღამის რომელი

საათია (დღელამური ვარიაცია), ისე წლის დროთა (წლიური ვარიაცია) მიხედვით: შუალამის შემდეგ თითქმის ორჯერ მეტი მეტეორი გვევლინება, ვიდრე შუალამემდე, შემოდგომით უფრო მეტი, ვიდრე გაზაფხულზე. წინათ თვლიდნენ, რომ ეს მოვლენა ვარდნილ ვარსკვლავთა დედამიწისეულ წარმოშობას ამტკიცებს; მაგრამ 1867 წელს სკიპარელიმ გვიჩვენა, რომ ეს სწორედ მათ კოსმოსურ (არადედამიწისეულ) წარმოშობას ამტკიცებს. მართლაც, დედამიწა უძრავი რომ ყოფილიყო, მეტეორები მასზე ყველა მიმართულებიდან დაახლოებით ერთნაირი რაოდენობით დაეცემოდნენ. მაგრამ იმის გამო, რომ დედამიწა მოძრაობს მზის ირგვლივ თითქმის 30 კმ/სეკ სიჩქარით, ამიტომ მის სხვადასხვა წერტილზე მეტეორთა სხვადასხვა რაოდენობა ეცემა: დედამიწის იმ ნახევარსფეროზე, რომელიც წინ მიდის, უფრო მეტი რაოდენობის მეტეორები ეცემა, უკანა ნახევარსფეროზე კი — ნაკლები. დედამიწის ბრუნვის შედეგად თავის ღერძის ირგვლივ, მისი ზედაპირის თითოეული წერტილი დედამიწის წინა მხარეს დაახლოებით დილის 6 საათზე მოექცევა. ამ დროს ვარდნილ ვარსკვლავთა რიცხვი უდიდესი უნდა იყოს. ასე აიხსნება მეტეორთა დღელამური ვარიაცია.

წერტილი, რომლისკენაც მოცემულ მომენტში დედამიწის ორბიტული მოძრაობა არის მიმართული, აპექსად იწოდება (§ 122); ის მდებარეობს ეკლიპტიკაზე, მზიდან დასავლეთით 90°-ზე. ვარდნილ ვარსკვლავთა უმრავლესობა ცის სფეროს ამ წერტილის მახლობლობაში გამოჩნდება. რაც უფრო მალაა აპექსი ჰორიზონტიდან, მით მეტი მეტეორი გამოჩნდება. ამით აიხსნება წლიური ვარიაცია; შემოდგომობით აპექსი ზაფხულის მზებუდობის წერტილის მახლობლად იმყოფება და ამიტომ ჰორიზონტს ზევით უფრო მეტად აიწევს, ვიდრე გაზაფხულზე (ჩრდილოეთ ნახევარსფეროსათვის).

§ 273. მეტეორული ნაკადები. მეტეორები, რომლებიც ყოველ ღამით მოჩანან და რომლებიც მოძრაობენ ყველა შესაძლო მიმართულებით, სპორადულად იწოდებიან. მათგან განასხვავებენ პერიოდულ მეტეორებს, რომლებიც ყოველი წლის ერთსა და იმავე დღეს გამოჩნდებიან და მოძრაობენ განსაზღვრული მიმართულებებით. სახელდობრ, თუ ასეთ მეტეორთა ხილულ გზებს ვარსკვლავიერ რუკაზე აღვნიშნავთ და გავაგრძელებთ უკან, მაშინ ისინი დაახლოებით ერთ წერტილში მოიყრიან თავს.

ასეთი მეტეორები, რომლებიც თითქოს ერთი წერტილიდან გამოდიან, ე. წ. მეტეორთა ნაკადს შეადგენენ; აღნიშნულ წერტილს კი, საიდანაც მეტეორები ყოველი მიმართულებით იფანტებიან, ნაკადის რადიანტი იწოდება (P ნახ. 131-ზე). ამ წერტილს ვარსკვლავების მიმართ განსაზღვრული მდებარეობა უკავია — მათთან ერთად ამოდის და ჩადის.

ამგამად ცნობილია მეტეორთა რამდენიმე ასეული ნაკადი. მათ იმ თანავარსკვლავედების მიხედვით დაერქვათ სახელები, სადაც რადიანტი იმყოფება, მაგალითად: პერსეიდები, ლეონიდები, დრაკონიდები და სხვ. თანავარსკვლავედების პერსევსის, ლომის, დრაკონის და სხვ. სახელების მიხედვით.

თავიანთი გამოჩენის ხასიათის მიხედვით მეტეორული ნაკადები მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. მაგალითად, პერსეიდები ყოველ წელს დაახლოებით ერთი და იმავე რაოდენობით გამოჩნდებიან ხოლმე (საათში

40 — 50 მეტეორი, ერთ რომელიმე ადგილზე მყოფი დამკვირვებლისათვის). ამასთანავე მეტეორთა რაოდენობის მაქსიმუმი 11 და 12 აგვისტოს ხედება. ლეონიდები კი ჩვეულებრივ მცირერიცხოვანია, მაგრამ იყო წლები (1799, 1833, 1866 წ.წ.), როდესაც ისინი ნამდვილ ვარსკვლავთა წვიმის სახით, საათში ათეული და ასეული ათასობითაც კი გამოჩენილან.

ვარსკვლავთა ეს წვიმები ცის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო საუცხოო მოვლენას წარმოადგენს. დამკვირვებელთა აღწერით „ისე ნათდება, როგორც



ნახ. 131

ძლიერი ელვის დროს“, ვარსკვლავები „ცვივა, როგორც თოვლის ფიფქები ქარბუქის დროს“ და „საჭირო იქნებოდა რამდენიმე საათის დახარჯვა, რომ დაგვეთვალა ყველა ვარდნილი ვარსკვლავი, რომლებიც ერთ დროულად ჩანდა“. ამასთანავე მთელი ეს მოვლენა სრულიად უხმაუროდ მიმდინარეობს და არც ერთი მეტეორი დედამიწის ზედაპირზე არ ვარდება.

სპორადული მეტეორები სივრცეში ერთმანეთისაგან სრულიად დამოუკიდებლად მოძრაობენ, პერიოდულები კი, პირიქით, მთელი გროვობით.

დედამიწის ყოველ შეხვედრისას ასეთ ჯგუფთან ერთბაშად დიდი რაოდენობის ვარდნილი ვარსკვლავი დაიმზირება. მოცემული გროვის ყველა მეტეორი პარალელური გზებით მოძრაობს, მაგრამ პერსპექტივის გამო ეს გზები თითქოს იშლება ერთი წერტილიდან (ნაკადის რადიანტიდან) ყველა მიმართულებით.

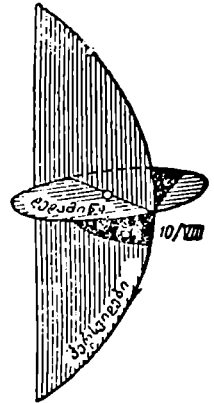
რადგანაც ყოველი მეტეორული ნაკადი ყოველთვის ერთსა და იმავე დღეს ჩანს, ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწა ყოველ წელს ხვდება მეტეორულ გროვას თავისი ორბიტის ერთსა და იმავე განსაზღვრულ წერტილში. ასეთი ყოველწლიური შეხვედრები აიხსნება იმით, რომ გროვა მზის ირგვლივ ისეთ ელიფსურ ორბიტზე მოძრაობს, რომელიც დედამიწის ორბიტთან ერთ წერტილში იკვეთება, ამასთანავე მეტეორები მთელი ორბიტის გასწვრივ არიან განაწილებული, ისე რომ ჯგუფს უწყვეტი ელიფსური რგოლის ფორმა აქვს. დედამიწა ყოველ წელს ამ რგოლისებური გროვის სულ ახალ და ახალ ნაწილს ხვდება. რგოლის სისქე უზარმაზარია, რის გამოც დედამიწას თავისი მოძრაობის დროს ამ გროვაში გასასვლელად რამდენიმე დღე სჭირდება.

თუკი მეტეორული სხეულები ცოტად თუ ბევრად თანაბრად და განაწილებული მთელი ორბიტის გასწვრივ, მაშინ დედამიწა ყოველ წელს ვარდნილ ვარსკვლავთა დაახლოებით ერთნაირ რაოდენობას შეხვდება. ასეთ შემთხვევას პერსეიდები წარმოადგენენ (ნახ. 132; დედამიწისა და პერსეიდების ორბიტები).

ლეონიდები, პირიქით, თავმოყრილია ღრუბლის სახით თავისი ორბიტის ერთ ნაწილში, რომელსაც დედამიწა ყოველ 33 — 34 წელიწადში ერთხელ ხვდება და ამ დროს ჩანდა ხოლმე განსაკუთრებით ძლიერი „ვარსკვლავიერი წვიმები“. ცხადია, მეტეორთა გუნდი მზის ირგვლივ ერთ ვარემოქცევას ზემოთ აღნიშნულ დროს ანდომებს.

გუნდის შემჭიდროება თავისი ორბიტის გასწვრივ ვრცელდება დაახლოებით ელიფსის $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{12}$ ნაწილზე, ისე რომ მისი გავლა დედამიწის ორბიტთან გადაკვეთის წერტილში ერთ წელიწადზე მეტ ხანს გრძელდებოდა. ამის გამო ძლიერი ვარსკვლავიერი წვიმები მიყოლებით ორ და სამ წელსაც კი ყოფილა (უკანასკნელად 1866 — 1868 წლებში). როგორც ჩანს, იუპიტერისა და სატურნის მიზიდულობამ შეცვალა ლეონიდების ორბიტი: ახლა დედამიწა აღარ ხვდება ლეონიდებს.

გუნდის შიგნით, მის ყველაზე უფრო მჭიდრო ნაწილშიც კი, ცალკეულ მეტეორულ სხეულებს შორის უზარმაზარი მანძილია: საშუალოდ 150 კმ წიბოს მქონე კუბის შიგნით მხოლოდ ერთი მეტეორი მოდის, მაგრამ, რადგანაც შემჭიდროების დიამეტრი დაახლოებით 200000 კმ-ია (ხოლო, შედარებით გაიშვიათებულ ვარემო ნაწილებთან ერთად კი, მილიონობით კილომეტრს შეადგენს), ამიტომ მეტეორთა საერთო რიცხვი ძლიერ დიდია.



ნახ. 132

§ 274. მეტეორული სხეულის ორბიტის განსაზღვრა შედარებით ადვილ ამოცანას წარმოადგენს, თუკი ამასთანავე დიდი სიზუსტე არ მოითხოვება. ის გარემოება, რომ მეტეორი განსაზღვრულ მომენტში დედამიწას შეხვდა, სივრცეში მეტეორის ზუსტ კედება რეობას გვაძლევს, რადგან დედამიწის მდებარეობა მზის მიმართ ცნობილია. ცნობილია აგრეთვე მზის მიმართ დედამიწის სიჩქარე. თუ ამ სიჩქარეს შევკრებთ გეომეტრიულად დედამიწის მიმართ მეტეორული სხეულის სიჩქარესთან, (რომელიც შესწორებულია ჰაერის წინააღმდეგობაზე), მივიღებთ სიჩქარეს მზის მიმართ. ასეთმა გამოთვლებმა გვიჩვენეს, რომ მეტეორთა უმრავლესობისათვის ეს ჰელიოცენტრული ანუ კოსმოსური სიჩქარე დედამიწასთან შეხვედრის წერტილში ახლოს არის 42 კმ/სეკ-თან, ე. ი. მზიდან მოცემული მანძილის შესაბამისად ბოლოურ v_0 სიჩქარესთან (§ 167, გ): $v_0 = v \sqrt{2}$, სადაც v „წრიული“ სიჩქარეა და დაახლოებით დედამიწის სიჩქარის ტოლია. ამრიგად, მეტეორული სხეულის სიჩქარე მოცემულ წერტილში შეიძლება ცნობილად ჩათვალოს, რადიანტის წერტილის მდებარეობა გვაძლევს მეტეორული სხეულის სიჩქარის მიმართულებას. ვიცით რა ერთ მოცემულ წერტილში სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება, შეიძლება აგების ან გამოთვლის საშუალებით განვსაზღვროთ მეტეორული სხეულის პარაბოლური ორბიტა. მეტეორული სხეულების ქეშმარიტი ორბიტები, ცხადია, პარაბოლები კი არა, არამედ ელიფსები ან ჰიპერბოლებია. მაგრამ ამ ორბიტების ელემენტების ზუსტი განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ იშვიათ შემთხვევებში, როდესაც ცნობილია, მაგალათად, ელიფსურ ორბიტებზე გარემოქცევის დრო (როგორც დრაკონიდებისა და ლეონიდებისათვის) ანდა, როდესაც ხერხდება მეტეორული სხეულის მზის მიმართ კოსმოსური სიჩქარის ზუსტი განსაზღვრა დედამიწასთან შეხვედრის მომენტში (§ 167).

როდესაც ამ სახის განსაზღვრები ისეთი მეტეორიტებისათვის დაიწყეს, რომელთა ვარდნაც შემჩნეული იყო, აღმოჩნდა, რომ რამდენიმე ათეული ასეთი სხეულის ორბიტები ჰიპერბოლებს წარმოადგენდნენ, რადგანაც მათი კოსმოსური სიჩქარე 42 კმ/სეკ-ზე მეტი გამოვიდა. აქედან გამომდინარე იქნა დასკვნა, რომ მეტეორიტები მზის სისტემაში ვარსკვლავთშორისი სივრციდან მოდიან. მაგრამ შემდგომი უფრო ზუსტი განსაზღვრებით ეს უარყოფილ იქნა, სიჩქარე 42 კმ/სეკ-ზე ნაკლები აღმოჩნდა. ახლა აღიარებულია, რომ ყველა მეტეორული სხეული მზის სისტემას ეკუთვნის.

§ 275. მეტეორების კავშირი კომეტებთან. 1867 წელს დადგენილ იქნა, რომ აგვისტოს მეტეორები, პერსეიდები, ერთი პერიოდული კომეტის (1862 III) ორბიტზე ზოძრაობენ 120 წლიანი გარემოქცევის პერიოდით. იმავე წელს მითითებულ იქნა, რომ ლეონიდებიც ერთ-ერთი კომეტის (1866 I) ორბიტზე გარემოქცევიან, რომლის პერიოდი 33 $\frac{1}{4}$ წელს შეადგენს, ე. ი. დაახლოებით იმ პერიოდის ტოლია, რომლის გავლის შემდეგ მეორედბოდა ნოემბრის მეტეორული წვიმები. ეს კავშირი გვიჩვენებს, რომ მოცემულ შემთხვევებში მეტეორული ნაკადები კომეტებისაგან წარმოიქმნა, ე. ი. რომ კომეტები განუწყვეტლივ იზღებიათ. კომეტის შემადგენელი მეტეორული სხეუ-

ლები (§ 266) მთელს ორბიტზე ნაწილებიან თანდათანობით და ბოლოს და ბოლოს ელიფსურ მეტეორულ რგოლს ქმნიან. აქედან, სხვათა შორის, გამომდინარეობს, რომ პერსეიდების ნაკადი უფრო ძველია, ვიდრე ლეონიდებისა; უკანასკნელი გროვა ჯერ კიდევ არ გაშლილა მთელს ორბიტზე და უკირავს მისი ნაოლოდ დაახლოებით $\frac{1}{12}$ ნაწილი.

კომეტასთან მეტეორების კავშირის ნესამე შემთხვევას წარმოადგენს ბიელას კომეტა და ანდრომედიდების მეტეორული ნაკადი, რომელმაც 1872 და 1885 წლების 27 ნოემბერს საუცხოო „ვარსკვლავიერი წვიმები“ მოგვცა (§ 269). მოგვიანებით ნაპოვნი იქნა კიდევ რამდენიმე მსგავსი შემთხვევა, მაგალითად, ჯიაკობინი-ცინერის კომეტის კავშირი დრაკონიდების მეტეორულ ნაკადთან. ცხადია, რომ ყველა მეტეორული ნაკადი კომეტებისაგან არ წარმოიშობა. მთელი რიგი ნაკადები კომეტებთან არ არის დაკავშირებული.

კომეტის დამლა წარმოებს მზიდან კომეტის უფრო ასლო და უფრო დაშორებულ ნაწილებზე მზის მოქმედებათა განსხვავების გამო, ე. ი. მზის ეგრეთ წოდებული მოქცევის ძალის მოქმედებით (§ 183). თუ კომეტა მნიშვნელოვანი ზომისაა და ის პერიოდიკული მხესთან ძლიერ ახლო იდის, მაშინ უახლოესი ნაწილაკები შორეულებთან შედარებით შესამჩნევად წაყვლეწენ წინ და კომეტის ბირთვი მისი ორბიტის გასწვრივ გაიწელება ეს მოვლენა შეამჩნიეს კომეტა 1882 II-ის მიმართ (§ 269), ყოველი შემდეგი დაბრუნებისას განმეორდება იგივე. აქ როლს ცთომილების მიზიდულობაც ასრულებს, განსაკუთრებით იუპიტერისა და სატურნის მიზიდულობა.

ბრედინინმა მიუთითა მეტეორული ნაკადების სხვა წყაროზე, რომელიც დამოუკიდებელია ზემოთ აღნიშნულისაგან; ეს არის ანომალიური კუდები (§ 267), ე. ი. კომეტიდან მყარი ნაწილაკების ამოფრქვევა. ეს ნაწილაკები კომეტის ბირთვიდან გამოსვლისას, როგორც დაკვირვებები გვიჩვენებს, მოძრაობენ ოდნავ განშლადი კონის სახით. ამით აიხსნება ის გარეგნობა, რომ დედამიწასთან შეხედრის დროსაც ნაკადის მეტეორები ყოველთვის ზუსტად პარალელურ გზებზე არ მოძრაობენ.

§ 276. დაკვირვება მეტეორებზე შეიძლება ვაწარმოოთ ყოველგვარი ინსტრუმენტის გარეშე. დამკვირვებელი, რომელიც კარგად იცნობს თანაფარსკვლავედებს, ვარსკვლავიერ ცის რუკაზე ავლებს მეტეორთა ხილულ გზას და ყოველ მეტეორს ისრით და რიგითი ნომრით აღნიშნავს. აღირიცხება მეტეორის გამოჩენისა და მოძრაობის ხანგრძლიობის დრო, აგრეთვე მისი ფერი და სიკაშკაშე. უფრო ზუსტი დაკვირვებები წარმოებს ზენიტსა და რადიანტში მიმართული ფოტოაპარატების დახმარებით, რომლებსაც ფართოკუთხიანი შუქძალიანი ობიექტივები აქვს. მეტეორები ფოტოფირფიტაზე აღიბეჭდება სწორი ხაზების სახით, რომლებიც კვეთენ ვარსკვლავთ დღეღამურ პარალელებს. მეტეორებზე დაკვირვებების ახალი ერა შექმნეს საბჭოთა ასტრონომებმა ბ. ი. ლეინმა და პ. ი. ჩიჩიკმა. მათ დრაკონიდებზე დასაკვირვებლად 1946 წლის 9-დან 10 ოქტომბრის დამდეგ ღამეს გამოიყენეს რადიოლოკაციური დანადგარები, რომლებიც ამჟამად რეგულარულად გამოიყენებიან მეტეორებზე დასაკვირვებლად.

რადგანაც მეტეორები ატმოსფეროს იონიზაციას ახდენენ, ამიტომ რადარი აღრიცხავს მეტეორების გზის იონიზებული უბნების მიერ არეკლილ რადიოგაჰოძახილს და გვაძლევს საშუალებას მათ დღისითაც დაეაკვირდეთ.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს დაკვირვებას მეტეორულ ქვლე-ბზე; ასე იწოდება მეტეორის გზის არეში იონიზებული ჰაერის მნათი მასები. ჰაერის ძლიერი იონიზაციის დროს (კაშკაშა მეტეორით) აღზნებულ ატოპებს შეუძლიათ ნათება რამდენიმე მიწუტის განმავლობაში (ზოგჯერ 30 მიწუტი), ამასთანავე ჰაერის ნაკადების გავლენით მეტეორის კვალი გადაადგილდება ვარსკვლავიერ ცის ფონზე.

ეს დაკვირვებები ძვირფას მასალას გვაძლევს ჩვენი ატმოსფეროს ფენების მდგომარეობის შესახებ დიდ სიმაღლეებზე (80 — 200 კმ).

§ 277. **ბოლიდები და მეტეორიტები.** იშვიათად დედამიწის ატმოსფეროში ისეთი ზომის მეტეორული სხეულები იჭრებიან, რომ ისინი ატმოსფეროში მოძრაობისას ვერ ასწრებენ მთლიანად დაშლას დიდ სიმაღლეზე, როგორც ამას ადგილი აქვს მეტეორების მოძრაობის დროს და ამიტომ ატმოსფეროს შედარებით დაბალ ფენებში შემოიკრებიან.

ასეთი სხეული ატმოსფეროში მოძრაობისას თავის ირგვლივ სწრაფად ქმნის გავარვარებულ გაზოვან გარსს, რომელიც განსაკუთრებით წინა მხრიდანაა ცხელი, სადაც იქმნება მყარი სხეულის სიმკვრივემდე შეკუმშული ე. წ. „ჰაერის ბალიში“. ამ „ბალიშიდან“ გამოსხლტებიან გავარვარებული გაზების ნაკადები, გარს ერთქმიან სხეულს, ანგრევენ მას და მის უკან „ცეცხლოვან კულს“ ქმნიან. დედამიწის ზედაპირზე მყოფ დამკვირვებელს ეს მოვლენა ბოლიდის ანუ ცეცხლოვანი სფეროს გაფრენად წარმოუდგება. ეს ცეცხლოვანი სფერო ზოგჯერ სრული მთვარის ოდენაა. უმეტეს შემთხვევაში საქმე ამით თავდება. მაგრამ, თუ მეტეორული სხეული ძლიერ დიდია, მაშინ მას ან მის ნარჩენებს შეუძლიათ „შეჩერების წერტილამდე“ მიაღწიონ. ასე იწოდება წერტილი, რომელშიც მეტეორული სხეული მთელ თავის კოსმოსურ სიჩქარეს ჰკარგავს. ამ წერტილიდან ის უკვე დედამიწის ზედაპირისაკენ დედამიწის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით მოძრაობს. ბოლიდის გაფრენიდან რამდენიმე მიწუტის შემდეგ ისმის ქვემეხის ბათქის მსგავსი გრიალი (ბოლიდის გზაზე ჰაერის ძლიერი შეკუმშვისა და შერყევის შედეგად) და დედამიწის ზედაპირზე ცვივა ქვები, ეგრეთ წოდებული მეტეორიტები. ხანდახან ისინი ერთბაშად ათასობით ცვივა, უმეტესად მცირე ზომის, მაგრამ ერთი მეტეორიტის ყველა ნამსხვრევის საერთო წონას შეუძლია მრავალი ტონა შეადგინოს. ყოველწლიურად მთელს დედამიწაზე საშუალოდ 5 — 6 მეტეორიტს პოულობენ და მუზეუმში მიაქვთ, მაგრამ ისინი, ცხადია, შეუდარებლად უფრო მეტი რაოდენობით ვარდებიან. რეგისტრაციაში გატარებულ თითოეულ მეტეორიტს იმ ადგილის სახელს უწოდებენ, სადაც იგი იპოვეს (მაგალითად, მეტეორიტი ბოგუსლავკა, ნახ. 133). მაგრამ, როგორც საბჭოთა მეცნიერებმა ვ. ვ. ფედინსკიმ და კ. პ. სტანიუკოვიჩმა გვიჩვენეს, დედამიწის ზედაპირს მოღწეული არა ყოველი მეტეორიტის პოვნა შეიძლება დაცემის ადგილზე. თუ მეტეორიტი ქვისაა, აქვს დიდი მასა (2000 — 3000 ტონა) და დედამიწის მიმართ — ძლიერ დიდი სიჩქარე 50 — 70 კმ/სეკ რივისა, მა-

შინ დედამიწასთან ძლიერი დაჯახების დროს ის მთლიანად ფეთქდება და მტვრად იქცევა (ირლენდვა მისი კრისტალური სტრუქტურა). ჰაერის ნაკადების მიერ მოტაცებული მტვერი მაღლა აღის, სადაც, მზისაგან განათებული, ღამით ვერცხლისებრი ღრუბლების სახით მოჩანს. მეტეორიტის დაცემის ადგილას კი საარტილერიო ქურვისაგან ანდა ფუგასური ყუმბარისაგან გამოწვეული ჩაღრმავების მსგავსი დიდი ჩაღრმავება (ე. წ. მეტეორიტული კრატერი) რჩება.

მეტეორიტების ქიმიური გამოკვლევისას მათში არც ერთი ახალი ელემენტი არ აღმოუჩენიათ, მაგრამ ნაპოვნია: ცნობილი ელემენტების (მინერალების) ისეთი შენაერთები, რომლებიც დედამიწაზე ჯერ არ არის ცნობილი. არსებობს სხვა ნიშნებიც, რომელთა მიხედვით მინერალოგები მაშინვე გამოიცნობენ ხოლმე მეტეორიტს, თუნდაც მათი ჩამოვარდნა არ იყოს შემჩნეული. განსაკუთრებით ადვილად გამოიცნობა თითქმის მთლიანად სუფთა რკინისაგან შემდგარი მეტეორიტები (სიდერიტები). ამის გამო არსებობს აზრი, რომ ისტორიამდელ ეპოქაში ხალხმა რკინა ჯერ მეტეორიტებიდან გაიცნო, შემდეგ კი უკვე მისი მოპოვება დედამიწის წიაღიდანაც ისწავლა.

§ 278. XX საუკუნის გვიანტური მეტეორიტული ვარდნები. ორი უდიდესი მეტეორიტული ვარდნა, როგორც კი კაცობრიობის ისტორიის დასაწყისიდან უოფილა შემჩნეული, მოხდა ჩვენი სამშობლოს ტერიტორიაზე XX საუკუნეში.

ა) ტუნგუსკის მეტეორიტის ვარდნა. ეს ვარდნა 1908 წლის 30 ივნისის დილას მოხდა, ირკუტსკის ჩრდილოეთით, დაახლოებით ათას კილომეტრზე, გაუვალ ჰაობიან ტაიგაში. ვარდნას თან სდევდა ნზეზე უფრო კაშკაშა ბოლიდის გაფრენა, რომელიც 500 კმ-ის მანძილიდან მოჩანდა. მისგან გამოწვეული ქექა-ქუხილი ათას კილომეტრზე ისმოდა.

უზარმაზარი მასის გამო მეტეორიტმა თითქმის დედამიწის ზედაპირამდე შეინარჩუნა რამდენიმე ათეული კმ/სეკ სიჩქარე. დედამიწაზე დაცემისას მისმა მოძრაობის ენერგიამ ისეთი გრანდიოზული ძალის აფეთქება გამოიწვია, რომ გეოფიზიკური ობსერვატორიების სეისმოგრაფებმა რაღაც არაჩვეულებრივი



ფაბ. 133

ხასიათის „ნიწისძვრა“ აღნიშნეს, ბაროგრაფებმა კი მოაადინეს ჰაერის რუკის რეგისტრაცია, ამასთანავე, აფეთქებით წარმოშობილმა ჰაერის ტალღამ დედამიწის სფეროს ორჯერ შემოუარა.

მეტეოროიტის ჩამოვარდნის რაიონში ექსპედიციები მხოლოდ დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ მოეწყო. მათი ხელმძღვანელი იყო პროფ. ლ. ა. კულიკი. დაცემის ადგილის ირგვლივ 30 კმ რადიუსიან ფართობზე ტყე დაწყენილი აღმოჩნდა, ამასთანავე შემომწვარი ასწლოვანი ფიჭვების კენწეროები აფეთქების ცენტრიდანაა მიმართული (ნახ. 134). თვითონ „მეტეოროიტული კრატერი“ ოცი წლის განმავლობაში ტორფოვან ტბად გადაიქცა. მეტეოროიტის (რომელიც, ალბათ, ქვისა იყო) ვერაფერია ნარჩენის პოვნა ვერ მოხერხდა.



ნახ. 134

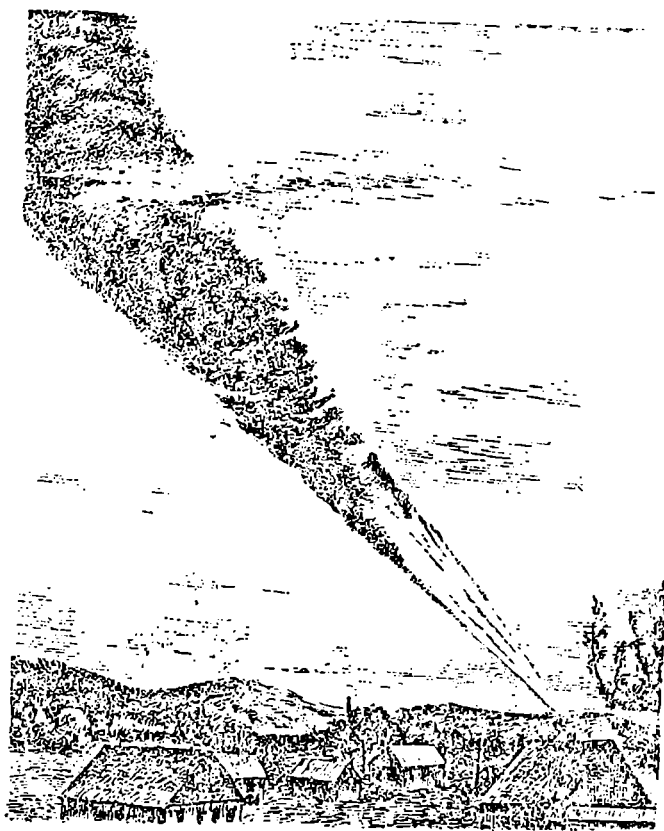
ბ) სიხოტე-ალინის მეტეოროიტის ვარდნა მოხდა დილით 1947 წლის 12 თებერვალს, ასევე უღრუბლო ცის დროს, დასახლებული ადგილებიდან შორს, სიხოტე-ალინის მთავრებილის შტოებზე (ზღვისპირეთის მხარე).

ვარდნას თან სდევდა დაახლოებით ისეთივე ძალის სინათლისა და ბგერის მოვლენები, როგორც წინა შემთხვევაში. ვარდნის მოწმემ, მხატვარმა მდვედევემა ჩაიხატა ეს გრანდიოზული მოვლენა (ნახ. 135). დაცემის ადგილუკვე სამი დღის შემდეგ იქნა ნაპოვნი. გაზაფხულის დასაწყისისათვის აკად. ფსენკოვის ხელმძღვანელობით იქ მივიდა ექსპედიცია, რომელმაც მცენარეულობის განვითარებამდე დარჩენილი მოკლე დრო მოხერხებულად გამოიყენა გამოკვლევებისათვის. აღმოჩნდა, რომ ეს ვარდნა წარმოადგენს მსოფლიოში რკინის ერთადერთ „მეტეოროიტულ წვიმას“ (აქამდე დამზერილი ყველა მეტეოროიტული „წვიმა“ ქვის მეტეოროიტების კლასს ეკუთვნის). ეს „წვიმა“, ალბათ, წარმოიშვა დედამიწის ატმოსფეროს შედარებით მაღალ ფენებში რკინის ერთი დიდი მასის ათასობით ნაწილად დამსხვრევის შედეგად. ასეთი მსხვრევა გამოიწვია დიდმა სიჩქარემ (არანაკლებ 20 კმ/სეკ), რომლითაც მეტეოროული სხეული დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრა.

ამ მეტეოროიტული მასებიდან ყველაზე მოზრდილები, თითოეული რამდენიმე ტონა, დაცემისას ამსხვრედა ვარდნის ადგილზე ჩაწოლილ მთის ქანებს ნახევარი მეტრის სიღრმეზე და იმსხვრეოდა თვითონაც მრავალ ნამტვრევად. მაგრამ მეტეოროიტის სიჩქარე არ იყო საკმარისი იმისათვის, რომ მოეხდინა ტუნგუსის მეტეოროიტის აფეთქების მსგავსი ძვრა. დედამიწის ზედაპირს მოღწეული მეტეოროიტული ნივთიერების საერთო მასა შეადგენს არანაკლებ 100 ტონისა. პირველივე ექსპედიციის მიერ, მისი მოღვაწეობის მოკლე ხნის განმავლობაში, შეგროვილ იქნა რამდენიმე ათასი ნამსხვრევი.

საერთო წონით 5 ტონამდე, მათ შორის 300 კილოგრამამდე წონის რკინის რამდენიმე ბელტი. ამ მეტეორიტის შეგროვილი ნამსხვრევები ჩამოტანილია მოსკოვში და მოთავსებულია სსრ კავშირის ნეცნიერებათა აკადემიის მეტეორიტულ მუზეუმში.

§ 279. მეტეორულ სხეულთა მნიშვნელობა სამყაროში. მეტეორიტების წარმოშობის საკითხში ამჟამად ყველაზე უფრო სარწმუნოდ მიღებულია ის ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვით მეტეორიტები წარმოადგენენ რომელიღაც



ნახ. 135

დარებით მოზრდილი სხეულის, უფრო მოსალოდნელია — მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის ოდესღაც მოძრავი ცთომილის ნამსხვრევებს. ცთომილის დამსხვრევის მიზეზები ჯერჯერობით გაურკვეველი რჩება.

უკველწლიურად დედამიწაზე ათასობით და შეიძლება ათეულ ათასობითაც ტონა მეტეორული ნივთიერება ცვივა. სრულიად შესაძლებელია, რომ დედამიწაზე და სხვა ცთომილებზე ასეთი ნივთიერების ვარდნა ისევე წარმოებდა მილიონობით წლების განმავლობაში, როგორც ახლა. ამიტომ ბუნებრივად წამოიჭრება ჰიპოთეზა, რომ მეტეორიტები წარმოადგენს მასალას, რომლისგანაც მნათობები წარმოიშვება (§ 348).

ამრიგად, მატერიის განვითარების მუდმივ პროცესში ნაწილაკები, რომლებიც მნათობთა დაშლის პროდუქტები არიან, თავის მხრივ შეიძლება წარმოადგენდნენ ახალ ფორმებში მნათობების წარმოქმნის მასალას.

§ 250. ზოდიაქური სინათლე. ზამთრის ან გაზაფხულის მოწმენდილ საღამოს, სრული სიბნელის დადგომის შემდეგ, ჰორიზონტის დასავლეთი ნაწილის ზევით შეიძლება შევამჩნიოთ მკრთალი ნათება განიერი დახრილი კონუსის სახით; ზაფხულობითა და შემოდგომობით ასეთივე ნათება ჩანს აღმოსავლეთით, გათენების წინ (ნახ. 136); რადგანაც ეს მნათი კონუსი ეკლიპტიკის გასწვრივ ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებზეა გაჭიმული, ამიტომ მას ზოდიაქური სინათლე ეწოდება. ტროპიკულ ქვეყნებში, სადაც ეკლიპტიკა ყო-



ნახ. 136

ველთვის ციცაბოდ არის აღმართული ჰორიზონტს ზევით, ზოდიაქური სინათლე თითქმის ისეთივე ნათელი ჩანს, როგორც ირმის ნახტომი და მისი შემჩნევა შეიძლება მთელი ეკლიპტიკის გასწვრივ სრული რგოლის სახით. მზიდან 180°-ით დაშორებული მისი ყველაზე ნათელი ადგილი „პირისპირნათებად“ იწოდება. ზოდიაქური სინათლის მოვლენა გეომეტრიკებს, რომ მზე გარშემორტყმულია წვრილი მტვერისა და გაზების უდიდესი გროვით, რომლებიც მზისაგან ნათდებიან და ჩანან დამკვირვებლისათვის. ამ გროვას დისკოს ფორმა აქვს, რომლის ეკვატორული სიბრტყე ახლოა ეკლიპტიკის სიბრტყესთან, ზოლო მისი ნაპირები კი დედამიწის ორბიტის სცილდებიან.

პირისპირნათება კი, ვ. გ. ფესენკოვისა და ი. ს. ასტაპოვიჩის განკ-
ვლევებით, როგორც ჩანს, დედამიწასთან არის დაკავშირებული. ის შე-
იძლება ახსნილ იქნეს იმით, რომ ჩვენს ატმოსფეროს სფერული ფორმა არა-
აქვს და გაკუიწულია მზის მოპირდაპირე მხარეს (კომეტის კუდის მსგავსად)
მოვარემდე მანძილის 1/3-ზე ცოტათი მეტ მანძილზე.

ვ. გ. ფესენკოვი თვლის, რომ პირისპირნათება წარმოადგენს დედამი-
წის გაზოვან კუდს, რომელიც გეგმილდება ვარსკვლავიერი ცის ფონზე

თავი მეთოთხმეტი

ვარსკვლავები

§ 281. ვარსკვლავები. აქამდე აღწერილ ცის ყველა სხეულს ჩვენ მიერ აიღული სამყაროს უმნიშვნელოდ მცირე ნაწილი უჭირავს; ისინი შეადგენენ ეგრეთ წოდებულ მზის სისტემას. აქ მთავარი მნათობი მზეა — სამყაროს უამრავ ვარსკვლავთაგან ერთ-ერთი. დიდი ხნის განმავლობაში ასტრონომია უმთავრესად მზის სისტემის სხეულებს სწავლობდა და ამ მხრივ უკვე მნიშვნელოვანი წარმატებებია მიღწეული. კანონები, რომლებიც განაგებენ ამ სისტემის სხეულების მოძრაობას, ისეთი სისრულითაა ცნობილი, რომ შესაძლებლობას იძლევიან სხეულების მდებარეობა წინასწარ იქნეს გამოთვლილი მრავალი ათეული წლით ადრე. შედარებით ბევრი გავიგეთ აგრეთვე ჩვენთან უახლოესი მნათობების ფიზიკური ბუნების შესახებაც.

შეუდარებლად უფრო დიდსა და განუზომლად რთულ ამოცანას წარმოადგენს ვარსკვლავთ სამყაროს შესწავლა, რომელშიაც ჩვენი მზე შედის, როგორც უმნიშვნელო ერთეული, მის მსგავს მილიონობით მზე-ვარსკვლავებთან ერთად. ორასი წელი არც კია, რაც ეს შესწავლა დაიწყო და XX საუკუნის დასაწყისამდე იგი უმთავრესად ფაქტიური მასალის დაგროვებით შემოსაზღვრებოდა. მაგრამ უკანასკნელი ათეული წლების განმავლობაში ამ დარგში მიღწეულია დიდი წარმატებები; დაიწყო ჩვენი მზის სისტემაზე გაცილებით უფრო გრანდიოზული „ვარსკვლავთ სისტემების“ აგებულების ძირითადი დამახასიათებელი თვისებების გამოკვლევა.

ვარსკვლავთ მანძილები უშუალოდ გაზომილია მხოლოდ ჩვენთან უახლოესი რამდენიმე ათასი ვარსკვლავისათვის (მათი წლიური პარალაქსების მიხედვით § 118—120), მაგრამ უმრავლესი ვარსკვლავების მანძილები შესაძლებელია საკმაოდ ზუსტად შევაფასოთ სხვადასხვა არაპირდაპირი მეთოდებით. ამიტომ ვარსკვლავთ სისტემის მასშტაბი უკვე გამორკვეულია: მანძილი ჩვენი მზიდან უახლოეს მზე-ვარსკვლავებამდე რამდენიმე ათეულ მილიონჯერ მეტია ცის ამ სხეულების დიამეტრებზე. თუ ვარსკვლავთ სამყაროს 10^{12} -ჯერ შემცირებულად წარმოვიდგენთ, მაშინ ის გადაიქცევა მეტისმეტად განსხვავებული სიდიდის მნათი სფეროების გროვად, დაწყებული მილიმეტრის ნაწილებიდან მეტრამდე და მეტი დიამეტრით. სფეროებს შორის მანძილები კი გაიზოძება ათეული კილომეტრებით. ამ მოდელში ვარსკვლავების გარ-

შემო მოძრავი ცთომილები (§ 303) არანნათი ნიკროსკოპული ნამცეცების ოდენა იქნება.

§ 282. ვარსკვლავების ბრწყინვალეობა და „სიდიდე“. ხილული სიკაშკაშის, ანდა, როგორც ამჟამად ამბობენ, ბრწყინვალეობის მიხედვით (§ 198) ვარსკვლავები ჯერ კიდევ უძველეს დროში დაყვეს კლასებად, ეგრეთ წოდებულ სიდიდეებად. ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავებს (დაახლოებით 20-ს) 1-ლი სიდიდის ვარსკვლავები უწოდეს, შემდეგს—მე-2 სიდიდის ვარსკვლავები და ა. შ. ყველაზე მკრთალი ვარსკვლავები, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით მოჩანან, მიეკუთვნებიან მე-6 სიდიდეს. სიდიდეებად დაყოფა გრძელდება შემდეგაც ტელესკოპური ვარსკვლავების სფეროში, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით არ მოჩანან; თანამედროვე უდიდესი ტელესკოპები თვალით დაკვირვების დროს გვიჩვენებენ ვარსკვლავებს მე-18 სიდიდემდე, ფოტოგრაფირების შემთხვევაში კი—21-მდე და უფრო მკრთალებსაც.

სიტყვა „სიდიდე“ შემოკლებულად ასო *m*-ით (magnitude) აღინიშნება. „სიდიდეებად“ დაყოფა დასაწყისში ნებისმიერი იყო, მაგრამ შემდეგ გამოირკვა, რომ მას თვალის მიერ სინათლის აღქმაზე დამყარებული გარკვეული ფიზიკური და ფიზიოლოგიური დასაბუთება აქვს. სახელდობრ, პირველი სიდიდის ვარსკვლავები საშუალოდ იმდენჯერ კაშკაშა არის მეორე სიდიდის ვარსკვლავებზე, რამდენჯერაც ეს უკანასკნელი უფრო კაშკაშანი არიან მესამე სიდიდის ვარსკვლავებზე და ა. შ. ამგვარად, მიმდევრობითი სიდიდის ვარსკვლავების ბრწყინვალეობანი გეომეტრიულ პროგრესიას შეადგენენ. ორი მომდევნო კლასის ბრწყინვალეობათა შეფარდება პროგრესიის მნიშვნელი) ახლოა 2,5-თან. ამჟამად შეთანხმდნენ, ჩათვალონ, რომ პირველი სიდიდის ვარსკვლავის ბრწყინვალეობა ზუსტად 100-ჯერ მეტია მე-6 სიდიდის ვარსკვლავის ბრწყინვალეობაზე. მაშინ პროგრესიის მნიშვნელის სიდიდე ტოლია $\sqrt[6]{100} = 2,512$, ამ რიცხვის ლოგარითმი კი ტოლია 0,4000. ეს ძალიან აადვილებს ვარსკვლავთა „სიდიდეებიდან“ მათ ბრწყინვალეობაზე გადასვლას. ვთქვათ, უფრო კაშკაშა ვარსკვლავს აქვს სიდიდე *n*, უფრო მკრთალს *m*. მაშინ $m > n$, მათი ბრწყინვალეობების J_n -ის და J_m -ის შეფარდება იქნება:

$$\frac{J_n}{J_m} = 2,512^{m-n}. \quad (1)$$

თუ გავალოგარითმებთ ამ ტოლობას და გავიხსენებთ, რომ $\lg 2,512 = 0,4000$, მივიღებთ:

$$\lg \frac{J_n}{J_m} = 0,4 (m-n), \quad (2)$$

ანუ

$$m-n = 2,5 (\lg J_n - \lg J_m). \quad (3)$$

თუ ერთეულად მივიღებთ „ნულოვანი“ სიდიდის ვარსკვლავის ბრწყინვალეობას, მაშინ, როცა $n=0$ და $J_n = J_0 = 1$, გვექნება

$$\lg J_m = -0,4 m, \quad (4)$$

$$m = -2,5 \lg J_m. \quad (5)$$

ვარსკვლავთა ბრწყინვალეების უფრო ზუსტად შესაფასებლად შემოღებულია ვარსკვლავიერი სიდიდეების შუალედური დაყოფა ათწილადების სახით. ძალიან კაშკაშა მნათობებისათვის საჭირო ხდება უარყოფითი რიცხვების შემოღება. ასე მაგალითად, ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავის სირიუსის სიდიდე გამოისახება უარყოფითი რიცხვით — $1^m,6$. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ორ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავს ვეგასა და არქტურს აქვს დაახლოებით $0^m,1$ სიდიდე. მიახლოებითი შეფასების დროს ვარსკვლავებს — $0^m,5$ -დან $+0^m,5$ -მდე სიდიდეებით მიაკუთვნებენ ნულოვანი სიდიდის ვარსკვლავებს: ვარსკვლავებს $0^m,6$ -დან $1^m,5$ -მდე კი 1-ლი სიდიდის ვარსკვლავებს; $1^m,6$ -დან $2^m,5$ -მდე მიაკუთვნებენ მე-2 სიდიდის ვარსკვლავებს და ა. შ.

დიდი მნიშვნელობა აქვს მზის ვარსკვლავიერ სიდიდეს, მაგრამ მისი ზუსტი განსაზღვრა ძალიან ძნელია. XX საუკუნის დასაწყისში ვ. კ. ცერასკის განსაზღვრით მისი სიდიდე— $26^m,5$ -ია. ამჟამად ამ სიდიდესთან ახლო მნიშვნელობაა მიღებული— $26^m,8$, რომელიც რამდენიმე განსაზღვრის საშუალოს წარმოადგენს.

სრული მთვარის ვარსკვლავიერი სიდიდე საშუალოდ გამოისახება რიცხვით— $12^m,6$.

§ 283. აბსოლუტური ბრწყინვალეობა და აბსოლუტური ხიდიდე. ვარსკვლავის ბრწყინვალეობა დამოკიდებულია მანძილზე და ჩვენ არაფერს გვეუბნება მის ჰემარით სინათლის ძალაზე. იმისათვის, რომ შევადაროთ სხვადასხვა ვარსკვლავის სინათლის ძალა, უნდა გამოვიანგარიშოთ, თუ რა ვარსკვლავიერი სიდიდეები ექნებათ მათ, ისინი ჩვენგან ერთი და იმავე მანძილით რომ იყვნენ დაშორებული. საერთაშორისო შეთანხმებით ასეთ ნორმალურ მანძილად 10 პარსეკია მიღებული, ე. ი. $0'',1$ პარალაქსის შესაბამის მანძილი (§ 118). ვარსკვლავის ბრწყინვალეობას, რომელიც ექნებოდა მას 10 პარსეკის მანძილზე, ჩვენ ვუწოდებთ აბსოლუტურ ბრწყინვალეობას, ხოლო მის ვარსკვლავიერ „სიდიდეს“—აბსოლუტურ ვარსკვლავიერ სიდიდეს. ის ადვილად გამოითვლება, თუ ცნობილია ვარსკვლავის ხილული სიდიდე m და მისი პარალაქსი π (და, მაშასადამე, D მანძილიც).

აღნიშნოთ აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე M -ით, ვარსკვლავის აბსოლუტური ბრწყინვალეობა— J_M -ით, ხოლო მისი ხილული ბრწყინვალეობა— J_m -ით. § 282-ის (1) ფორმულა გვაძლევს:

$$\frac{J_M}{J_m} = 2,512^{m-M}.$$

მაგრამ ვარსკვლავთ ბრწყინვალეობა უკუპროპორციულია მანძილების კვადრატებისა; ვარსკვლავების მანძილები კი შეიძლება ჩავთვალოთ პარალაქსების უკუპროპორციულ სიდიდეებად:

$$\frac{J_M}{J_m} = \frac{D^2}{D_0^2} = \frac{\pi_0^2}{\pi^2},$$

სადაც D_0 და π_0 არის M აბსოლუტური სიდიდის შესაბამის მანძილი და პარალაქსი. უკანასკნელი შეფარდების ჩასმით (1) ტოლობაში, მივიღებთ:

$$\frac{\pi_0^2}{\pi^2} = 2,512^{m-M}.$$

თუ უკანასკნელ გამოსახულებას გავალოვართომბთ და გავიხსენებთ, რომ $\lg 2,512 = 0,4$ და $\pi_0 = 0'',1$, მაშასადამე, $\lg \pi_0 = -1$, მივიღებთ:

$$0,4(m - M) = -2 - 2 \lg \pi,$$

$$m - M = 5 - 5 \lg \pi,$$

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \quad (6)$$

(6) ფორმულა თანამედროვე ვარსკვლავთ ასტრონომიის ერთი მეტად მნიშვნელოვანი ფორმულათაგანია. ბევრ შემთხვევაში ახლა შესაძლებელი ხდება ვარსკვლავის აბსოლუტური M სიდიდის განსაზღვრა, მაგალითად, მისი სპექტრის ან მისი ბრწყინვალეების ცვლილების მიხედვით, მაშინ (6) ფორმულა მაშინვე გვაძლევს პარალაქსს, ე. ი. ვარსკვლავამდე მანძილს.

უნდა დავიხსოვოთ (6) ფორმულის საშუალებით მიღებული შედეგი: ჩვენი მზის აბსოლუტური სიდიდე $+4^m,73$ -ის ტოლია; სხვა სიტყვებით, 10 პარსეკის მანძილიდან მზე გამოჩნდებოდა მე-5 სიდიდეზე ცოტადენ უფრო კაშკაშა ვარსკვლავად.

მაგალითი. მოვძებნოთ სირიუსის აბსოლუტური სიდიდე

$$(m = -1,6, \pi = 0'',37, \lg \pi = 9,568 - 10)$$

(6) ფორმულა იძლევა

$$M = -1,6 + 5 + 5 \cdot (-0,432) = +1^m,24.$$

ამგვარად, სირიუსი 3,49 ვარსკვლავიერი სიდიდით უფრო კაშკაშაა მზეზე. ამ მნათობების აბსოლუტურ ბრწყინვალეებათა შეფარდება § 282-ის (1) ფორმულის მიხედვით იქნება:

$$L = 2,512^{3,49}, \lg L = 0,4 \cdot 3,49 = 1,396, L = 24,9.$$

ვარსკვლავისა და მზის ჰუმბარტ ბრწყინვალეებათა შეფარდებას ეწოდება ვარსკვლავის ნათება (L). ნათება გვიჩვენებს, თუ სინამდვილეში რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი მზეზე. მაგალითად, სირიუსის ნათება $L = 24,9$, ე. ი. სირიუსი თითქმის 25-ჯერ უფრო კაშკაშაა, ვიდრე მზე.

§ 284. ვარსკვლავთ აღნიშვნები. შორეულ წარსულში ვარსკვლავიერი ცა დაყოფილი იყო თანავარსკვლავედებად; პირველად გამოყოფილი იყო უფრო შესამჩნევი ჯგუფები, რომლებმაც ცალკეული სახელები მიიღეს, შემდეგ დაყოფა გაავრცელეს ცის ორივე ნახევარსფეროზე, როგორც ჩრდილო, ისე სამხრეთზე. თანავარსკვლავედებს უმთავრესად ძველი მითოლოგიიდან აღებული სახელები უწოდეს. XVII ს. დასაწყისიდან თითოეული თანავარსკვლავედის ცალკეული ვარსკვლავის აღნიშვნა დაიწყო ბერძნული ასოებით თანავარსკვლავედის სახელწოდების¹ მიმატებით, უმთავრესად ლათინურისა. მა-

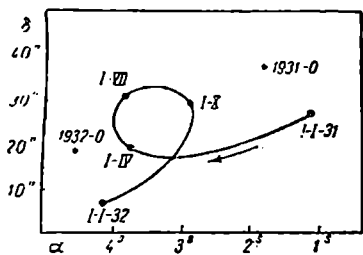
¹ თანავარსკვლავედების ლათინური სახელწოდებები და მათი შემოკლებული აღნიშვნები იხ. წიგნის ბოლოში, VIII ცხრილში.

გალითად, α Ursae Minoris (ან შემოკლებულად α UMi, პატარა დათვის α , ე. ი. პოლარული ვარსკვლავი, § 11). გარდა ამისა, ზოგიერთი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავისთვის იხმარება საკუთარი სახელები, ნაწილობრივ ბერძნული და ლათინური (მაგალითად, სირიუსი, არქტურის, კაპელა), ნაწილობრივ არაბული (ვეგა, ალდებარანი, ალგოლი). რადგანაც ბერძნული ასოები საკმარისია თითოეული თანავარსკვლავების მხოლოდ ცოტაოდენი ვარსკვლავების აღსანიშნავად, ამიტომ დანაოჩენები აღინიშნება ლათინური ასოებით ან ნომრებით თანავარსკვლავების მითითებით, მაგალითად, გედის 61, ანდა ნომრებით და ვარსკვლავთ იმ კატალოგის (ჩვეულებრივ შემოკლებულად) აღნიშვნით, რომელშიაც შეტანილია ვარსკვლავი. ვარსკვლავებს, რომლებიც ჯერ კიდევ არც ერთ კატალოგში არაა შეტანილი, აღნიშნავენ მათი კოორდინატებით α და δ -ით, ამასთან უჩვენებენ დროს, რომელსაც ეს სიდიდეები შესაბამება (§ 285).

§ 285. ვარსკვლავთ ხილული და საშუალო ადგილები. მთავარი სიდიდე, რომელიც ვარსკვლავს ახასიათებს, არის მისი მდებარეობა, ანუ „ადგილი“; ის განისაზღვრება α და δ კოორდინატებით. უმრავლესი ობსერვატორიების მთავარ ამოცანას, რაც შეიძლება, ბევრი ვარსკვლავის ზუსტი ადგილის განსაზღვრა წარმოადგენს. ეს განსაზღვრა მეტისმეტად საჯახიროა, ამასთან თითოეული დაკვირვების დამუშავება გაცილებით მეტ დროს მოითხოვს, ვიდრე თვითონ დაკვირვება.

უშუალოდ ინსტრუმენტით (მაგალითად, მერიდიანული წრით) გაზომილი ვარსკვლავის კოორდინატები უპირველეს ყოვლისა შესწორებული უნდა იქნეს ინსტრუმენტის ცდომილებებზე (§ 81); ამგვარად მიიღება ვარსკვლავის დამზერილი ადგილი. მიღებული კოორდინატების რეფრაქციის გავლენისაგან განთავისუფლებით ვლებულობთ ვარსკვლავის ეგრეთ წოდებულ ხილულ კოორდინატებს; ვარსკვლავის ამ კოორდინატებით განსაზღვრულ მდებარეობას მისი ხილული ადგილი ეწოდება.

ვარსკვლავის ხილული კოორდინატები განუწყვეტლივ იცვლებიან და ეს ცვლილება ძალიან ზუსტი დაკვირვებების დროს უკვე რამდენიმე დღის შემდეგ შეიძლება შევნიშნოთ (ნახ. 137, ვარსკვლავი არქტურის 1931 წლის ხილული კოორდინატები). იგი ხდება ორი მიზეზით: 1) აბერაციის გამო ვარსკვლავი წლის განმავლობაში აღწერს მცირე ელიფსს (§ 123); 2) პრეცესიისა და ნუტაციის გამო განუწყვეტლივ გადაადგილდება გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი, საიდანაც ათვლება პირდაპირი ადგილენა; გადაადგილდება ეკვატორიც, საიდანაც იზომება დახრილობები (§ 177). ამიტომ შემდგომი გამოთვლებით: 1) ვარსკვლავის კოორდინატებს ათავისუფლებენ აბერაციის გავლენისაგან (ვარსკვლავი გადააქვთ აბერაციული ელიფსის



ნახ. 137

ვარსკვლავის ხილული კოორდინატები). იგი ხდება ორი მიზეზით: 1) აბერაციის გამო ვარსკვლავი წლის განმავლობაში აღწერს მცირე ელიფსს (§ 123); 2) პრეცესიისა და ნუტაციის გამო განუწყვეტლივ გადაადგილდება გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი, საიდანაც ათვლება პირდაპირი ადგილენა; გადაადგილდება ეკვატორიც, საიდანაც იზომება დახრილობები (§ 177). ამიტომ შემდგომი გამოთვლებით: 1) ვარსკვლავის კოორდინატებს ათავისუფლებენ აბერაციის გავლენისაგან (ვარსკვლავი გადააქვთ აბერაციული ელიფსის

ცენტრში) და 2) სხვადასხვა დღეს განსაზღვრული ვარსკვლავის კოორდინატები დაყავთ დღელამტოლობის წერტილის ერთ გარკვეულ მდებარეობაზე, ჩვეულებრივ იმ მდებარეობაზე, რომელიც მას ჰქონდა მოცემული წლის 1 იანვარს (ეგრეთ წოდებულ „წლის დასაწყისზე დაყვანა“). ვარსკვლავის ამგვარად მიღებულ მდებარეობას ეწოდება ვარსკვლავის მოცემული წლის დასაწყისზე დაყვანილი საშუალო ადგილი (ნახ. 137, ვარსკვლავებით აღნიშნულია მდებარეობები 1931 წ. და 1932 წ. დასაწყისში).

ხშირად სხვადასხვა დროს განსაზღვრული ვარსკვლავის საშუალო კოორდინატები, მაგრამ დაყვანილი ერთი და იმავე წლის დასაწყისზე, იცვლებიან დროის პროპორციულად; ეს იმას ნიშნავს, რომ ვარსკვლავს აქვს შესაძენევი საკუთარი მოძრაობა.

ვარსკვლავთ ხილული მდებარეობები მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში, საშუალო—ვარსკვლავთ კატალოგებში.

§ 266. ვარსკვლავთ კატალოგები და რუკები. ვარსკვლავთა კატალოგები ეწოდება ვარსკვლავთ სიებს, რომლებშიაც რომელიმე გარკვეული წლის დასაწყისისთვის (ე. წ. კატალოგის ეპოქისათვის) მოცემულია ვარსკვლავთ საშუალო კოორდინატები (α და δ) და მათი ბრწყინვალეობა. ჩვეულებრივად მოცემულია აგრეთვე კოორდინატების ცვლილება დროის მიხედვით პრეცესიის გავლენით; ეს აადვილებს ვარსკვლავის ადგილის განსაზღვრას სხვა ეპოქისათვის. ასეთი ნუსხების შედგენა ჯერ კიდევ ძველ დროში, ტელესკოპის გამოგონებამდე, დაიწყო. მათგან ჩვენამდე პტოლემეს (ჩვენი წელთაღრიცხვის II ს.) კატალოგმა მოაღწია, რომელიც, როგორც ჩანს, ჰიპარქეს (II ს. ჩვ. წელთაღრიცხვამდე) უფრო ძველ კატალოგზეა დაფუძნებული. ის შეიცავს ათასამდე ვარსკვლავის მდებარეობას (განედსა და გრძედს); თითქმის ათასხუთასი წლის განმავლობაში არ ყოფილა ცდა, დაკვირვების გზით შემოწმებულიყო იქ მოცემული ვარსკვლავების კოორდინატები. მხოლოდ XV ს. დასაწყისში პტოლემეს კატალოგის ყველა ვარსკვლავის მდებარეობები ხელახლა უფრო ზუსტად განსაზღვრული იყო სამარყანდში ულუგბეკის მიერ.

ტელესკოპის გამოგონების შემდეგ შედგენილია ვარსკვლავთ რამდენიმე ასეული კატალოგი, რომლებიც უმთავრესად მერიდიანული წრით დაკვირვებების დაზნარებითაა მიღებული (§ 80). ერთი ასეთი კატალოგის შესადგენად შესრულებული დაკვირვებები და მათი დამუშავება მოითხოვს მთელი რიგი წლების დამკანცავ და ერთფეროვან მუშაობას. ასეთი მძიმე მუშაობის შედეგადაა მიღებული ყველა ჩვენი ცნობა ვარსკვლავთ სამყაროზე, მის აგებულებასა და მოძრაობაზე.

თავიანთი შინაარსისა და სიზუსტის მიხედვით ვარსკვლავთ კატალოგები ორ მთავარ ჯგუფად იყოფა: 1) ვარსკვლავთ ნუსხები და 2) ზუსტი კატალოგები.

1) პირველი ჯგუფის კატალოგების მიზანია რეგისტრაციაში გაატარონ ვარსკვლავების, რაც შეიძლება, დიდრიცხვი, მაგრამ ვარსკვლავთა მდებარეობები მათში მოცემულია მხოლოდ მიახლოებით (0,1-მდე). მათ შორის პნიშვნელოვანია არგელანდერის (1862 წ.) „Bonner Durchmusterung“ (შემოკ.

ლებულად *BD*, „ბონის ნუსხა“), რომელიც შეიცავს 32400 ვარსკვლავს 9,5 სიდიდემდე, დახრილობებით —23°-დან +90°-მდე. ის შედგენილია ჯერ კიდევ ასტროფოტოგრაფიის შემოღებამდე, მაგრამ დღემდე აქვს შენარჩუნებული მეცნიერული ღირებულება. სამხრეთ ნახევარსფეროსათვის მსგავსი კატალოგი შედგენილია უკვე ფოტოგრაფიის საშუალებით, რაც, რასაკვირველია, გაცილებით ადვილია („Cape Photographie Durchmusterung“, ე. ი. „კაპის ფოტოგრაფიული ნუსხა“, შემოკლებულად *CPD*).

2) მეორე ჯგუფის კატალოგები შედარებით ცოტა ვარსკვლავებს შეიცავს, მაგრამ მათი მდებარეობები განსაზღვრულია უდიდესი სიზუსტით, როგორც კი შესაძლებელია—სეკუნდის მეათედი და მეასედი (0",01) სიზუსტითაც კი. ასეთი კატალოგების წარმატებით შედგენა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი განძია, რომელიც რუსეთის ობსერვატორიებმა (მოსკოვისა და ყაზანის უნივერსიტეტების ობსერვატორიებმა, ნიკოლაევის საზღვაო ობსერვატორიამ და სხვ.) შეიტანეს მეცნიერებაში XIX საუკუნეში. ამ ჯგუფის კატალოგებიდან უდიდესი მნიშვნელობა ფუნდამენტალურ კატალოგებს აქვს. ისინი შეიცავენ მხოლოდ გარკვეულ შერჩეულ ვარსკვლავებს, რომლებიც საყრდენ წერტილებს წარმოადგენენ დანარჩენი ვარსკვლავებისა და აგრეთვე ცოთმილებისა და კომეტების მდებარეობის განსაზღვრისათვის. ამ ვარსკვლავებზე დაკვირვება ხდება ქულმივად და მათი კოორდინატები იბეჭდება ყოველ წელიწადს ასტრონომიულ ყრველ წლიურებში, რომელთა გარეშე ამჟამად ასტრონომიული სამუშაოები თითქმის შეუძლებელია. ფუნდამენტალური ვარსკვლავების მდებარეობათა (ეგრეთ წოდებულ აბსოლუტურ მდებარეობათა) განსაზღვრა შეადგენს ვარსკვლავთ ასტრონომიის ყველაზე მნიშვნელოვან და ყველაზე ძნელ ამოცანას.

სწორედ ამ ვარსკვლავებზე დაკვირვებამ მოუპოვა მსოფლიო სახელი ჩვენს პულკოვოს ობსერვატორიას. მან გამოაქვეყნა რამდენიმე ისეთი კატალოგი, რომლებშიც ვარსკვლავთ მდებარეობები მოცემულია უდიდესი სიზუსტით.

3) ვარსკვლავთ რუკები. ვარსკვლავთ ეკვატორული კოორდინატები სრულიად ანალოგიურია დედამიწის ზედაპირის წერტილების გეოგრაფიული კოორდინატებისა. განსაზღვრულ კარტოგრაფიულ პროექციაში გამოთვლილ კოორდინატთა ბადეზე თითოეული ვარსკვლავი შეიძლება აღინიშნოს „წერტილით“ სრულიად ისევე, როგორც გეოგრაფიულ რუკებზე აღინიშნავენ ქალაქებს. აპიტომ დიდი ხანია დაიწყო შედგენა ვარსკვლავთა რუკებისა და მათი კრებულების—ვარსკვლავთ ატლასების, პირველად, რასაკვირველია, მხოლოდ უბრალო თვალთ ხილული ვარსკვლავებისათვის. „ვარსკვლავთ“ ორივე ნუსხა გამოცემულია რუკების სახითაც. ამჟამად არსებობს ვარსკვლავთ ატლასები, რომლებიც ფოტოსურათებით იძლევიან ვარსკვლავებს მე-17 სიდიდემდე და უფრო მკრთალებსაც.

§ 287. ვარსკვლავთ რიცხვი. რაც უფრო მკრთალია ვარსკვლავები, მით უფრო მეტია მათი რიცხვი. მოგვყავს მონაცემები ორივე ნახევარსფეროში შეუიარაღებელი თვალთ ხილული ვარსკვლავების შესახებ, ამასთან 1-ლი სი-

დიდის ვარსკვლავებს აკუთვნებენ 1,5 სიდიდეზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებს, მე-2 სიდიდის ვარსკვლავებს—1,6-დან 2,5 სიდიდემდე და ა. შ.

სიდიდე	ვარსკვლავთ რიცხვი	სიდიდე	ვარსკვლავთ რიცხვი
1	20	4	458
2	46	5	1476
3	134	6	4840

ამგვარად, შეუიარაღებელი თვალით მთელს ცაზე შეიღიათასამდე ვარსკვლავის დანახვა შეიძლება, ე. ი. გაცილებით ნაკლებისა, ვიდრე ჩვეულებრივ ჰგონიათ. ეს რიცხვი მხედველობის სიმახვილის მიხედვით ძლიერ იცვლება. ტელესკოპური ვარსკვლავებისათვის გვაქვს:

სიდიდე	ვარსკვლავთ რიცხვი	სიდიდე	ვარსკვლავთ რიცხვი
7	15 000	10	407 000
8	45 000	11	1 175 000
9	138 000	12	3 240 000

დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ სხვადასხვა სიდიდის ვარსკვლავთა რიცხვები დაახლოებით გეომეტრიულ პროგრესიას შეადგენს, რომლის მნიშვნელოვანი ახლოა 3-თან. უფრო მკრთალი ვარსკვლავებისაკენ გადასვლისას პროგრესიის მნიშვნელოვანი არაჩება მუდმივი, არამედ ნელ-ნელა კლებულობს. როგორც შემდეგში დავინახავთ (§ 332), ამას მიეყვება ვარსკვლავთა სამყაროს აგებულების შესახებ მნიშვნელოვანი დასკვნამდე.

უფრო მკრთალი ვარსკვლავების რიცხვი ცნობილია მეტად არაზუსტად; მე-16 სიდიდემდე ვარსკვლავების საერთო რაოდენობის შეფასებით მიღებულია, რომ მათი რიცხვი დაახლოებით 100 მილიონია, ხოლო თანამედროვე უძლიერესი ტელესკოპებისთვის მისაღწევი ყველა ვარსკვლავის რიცხვი, სულ მცირე, მილიარდამდეა.

ყველა ეს რიცხვი ეხება ვიზუალურ ბრწყინვალებას, რომელიც ფასდება თვალთ. ფოტოგრაფიული ბრწყინვალებისათვის კი მოცემული ვარსკვლავიერი სიდიდის მქონე ვარსკვლავთ რიცხვი გაცილებით ნაკლებია, რადგანაც ვარსკვლავებს შორის, განსაკუთრებით მკრთალებს შორის, ძალიან ბევრია მოწითალო, რომლებიც სურათებზე ზოგჯერ მთელი ვარსკვლავიერი სიდიდით (იხ. §§ 282, 288) უფრო მკრთალნი გამოდიან, ვიდრე თვალს ეჩვენება.

§ 288. ვარსკვლავთ ფერები. ვარსკვლავების უმრავლესობა თეთრი ფერისაა, სხვები კი ყვითელი ან წითელი ფერისა სხვადასხვა შუალედური ელფერიით. სხვა ფერები, მაგალითად, ლურჯი ან მწვანე, გვხვდება მხოლოდ ორმაგ ვარსკვლავებში, მაგრამ ეს მოვლენა ფერის კონტრასტის მოქმედებით აიხსნება, სინამდვილეში კი ეს ვარსკვლავები ყველა თეთრია ოდნავ მოცისფრო ელფერიით. როდესაც ასეთი ვარსკვლავის გვერდით ნარინჯისფერი ან წითელი ვარსკვლავი მოჩანს, თეთრი ვარსკვლავი გვეჩვენება, მაგალითად, მწვანედ დამატებითი ფერების ცნობილი მოვლენის გამო.

ვარსკვლავთ ციმციმა, რომლის დროსაც ისინი სხვადასხვა ელფერს ღებულობენ, წარმოიშება ჩვენი ატმოსფეროს გავლენით. კითხვაზე, თუ „რა-ტომ არ ციმციმებს ცთომილები?“ შეიძლება ასე ვუპასუხოთ: ვარსკვლავთ კუთხური დიამეტრები ასეულებჯერ ნაკლებია ცთომილების კუთხურ დიამეტრებზე (§ 294). მეორე მხრივ, ცის თალის ნებისმიერ წერტილში (ან, უფრო სწორად, უსასრულოდ მცირე ფართზე) დედამიწის ატმოსფეროში ოპტიკური მლელვარება ხდება მოსახლვრე ფართებზე (წერტილებზე) მლელვარებისაგან სრულიად დამოუკიდებლად. ამიტომ ცთომილის დისკოს ურცხვი „წერტილი“ სხვადასხვანაირად ციმციმებს, ყოველ მოცემულ მომენტში საშუალოდ იმდენი წერტილი იმყოფება ბრწყინვალეების მაქსიმუმში, რამდენიც მინიმუმში და ცთომილის საერთო სიკაშკაშე თითქმის არ იცვლება.

ფერის მაჩვენებელი და მისი მნიშვნელობა. ვარსკვლავის ფერი შეიძლება რიცხვით გამოისახოს. ამისათვის ვიზუალური ვარსკვლავიერი სიდიდე (ე. ი. თვალთ შეფასებული სიდიდე) იმავე ვარსკვლავის ფოტოგრაფიულ სიდიდეს უნდა შედარდეს. რადგან ჩვეულებრივი ფოტოგრაფიული ფიოტიტები ნაკლებად მგრანობიარეა წითელი სხივების მიმართ, ამიტომ წითელი ვარსკვლავები ფოტოგრაფიებზე უფრო მკრთალი გამოდის, ვიდრე იმავე ვიზუალური ბრწყინვალეების მქონე თეთრი ვარსკვლავები და რაც უფრო წითელია ვარსკვლავი, მით უფრო მეტია სხვაობა. შეთანხმდნენ, რომ ფოტოგრაფიული ვარსკვლავიერი სიდიდე ზუსტად უდრის ვიზუალურ სიდიდეს მხოლოდ წმინდა თეთრი ვარსკვლავებისათვის, რომელთაც ამასთანავე აქვთ გარკვეული სექტრი, ე. წ. A0 სექტრი (იხ. § 290). მაშინ სხვა ფერის ვარსკვლავებისათვის სიდიდეების ასეთ ტოლობას აღარ ექნება ადგილი: ყვითელ და წითელ ვარსკვლავებს ფოტოგრაფიული სიდიდე მეტი ექნებათ ვიზუალურზე. ვარსკვლავის ფოტოგრაფიულ და ვიზუალურ სიდიდეთა შორის სხვაობას ფერის მაჩვენებელი ეწოდება. მაგალითად, თუ წითელი 2^m,4 სიდიდის ვარსკვლავი ფოტოგრაფიაზე გამოდის 3^m,9 ვარსკვლავად, მაშინ მისი ფერის მაჩვენებელი +1^m,5-ის ტოლია. ძალიან წითელი ვარსკვლავებისათვის გვხვდება ფერის მაჩვენებლები, რომლებიც +2^m-ს აღემატებიან. მოცისფრო-თეთრ ვარსკვლავებს უარყოფითი ფერის მაჩვენებელი აქვთ (იშვიათად—0^m,3-ზე მეტი). ეს ვარსკვლავები ფოტოსურათებზე, აშკარაა, რამდენადმე უფრო კაშკაშა გამოდის, ვიდრე ისინი თვალს ეჩვენება.

ფერის მაჩვენებელი ასტროფიზიკაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს.

1) მისი C სიდიდით შეიძლება გამოითვალოს ვარსკვლავის ეფექტური ტემპერატურა. რაც მეტია C, მით დაბალია ტემპერატურა. მათ შორის კავშირი გამოისახება მარტივი ფორმულით ან გრაფიკით.

2) თუ ფერის მაჩვენებლის გარდა ცნობილია ვარსკვლავის მანძილიც, მაშინ § 283-ის (6) ფორმულით ჩვენ გვეცოდინება მისი აბსოლუტური M სიდიდე, რაც ვარსკვლავის სრული გამოსხივების საზომს წარმოადგენს. ამ გამოსხივების რაოდენობა მხოლოდ ვარსკვლავის ზომასა და ტემპერატურაზე დამოკიდებული. რადგან ტემპერატურა უკვე განსაზღვრულია, მივიღებთ ვარ-

სკვლავის ხაზოვან რადიუსს, რომელიც მზის რადიუსებში იქნება გამო-სახული.

§ 289. ვარსკვლავთ სპექტრები. სხვადასხვა ვარსკვლავის სპექტრი სხვა-დასხვანაირია. ამჟამად ვარსკვლავთა სპექტრების შესწავლა ასტრონომიის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს და უშორესი მზეების ბუნე-ბის შესახებ ისეთ ცნობებს გვაძლევს, რომლებიც სპექტრული ანალიზის აღ-მოჩენამდე ყველას ფანტასტიურად მოეჩვენებოდა.

ვარსკვლავთ სპექტრები მზის სპექტრის მსგავსად უწყვეტია და დასერი-ლი ბნელი ხაზებით, ე. ი. შთანთქმის სპექტრებია (§ 191). ეს ამტკი-ცებს, რომ თითოეული ვარსკვლავი არის მზე, გავრეარებული გაზოვანი სფე-რო, რომელიც გარშემორტყმულია უფრო ცივი ატმოსფეროთი. ვარსკვლავთ სპექტრების უმრავლესი ხაზების გაიგივება მოხერხდა დედამიწის ელემენტე-ბის ხაზებთან. აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავების ნივთიერება იმავე ქიმიური ელემენტებისაგან შედგება, როგორისგანაც ჩვენი დედამიწა და მზე, მაგრამ ზოგი ვარსკვლავის სპექტრებში ესა თუ ის ელემენტებია უფრო შესამჩნევი, სხვების სპექტრებში — სხვა.

ვარსკვლავთ სპექტრები საზოგადოდ ძლიერ განსხვავდება ერთიმეორი-საგან ხაზების რიცხვითა და განაწილებით, მაგრამ ისინი უსასრულოდ სხვა-დასხვაგვარნი არ არიან. პირიქით, შესაძლებელია მათი დაყოფა შედარებით მცირერიცხოვან ტიპებად ანუ კლასებად, ისე რომ ერთსა და იმავე კლასს მიკუთვნებული სპექტრები ერთმანეთისაგან ძალიან მცირედ განსხვავ-დებოდნენ. წარმოდგენილი იყო რამდენიმე ასეთი სპექტრული კლასიფიკაცია.

§ 290. სპექტრების კლასიფიკაცია. ამჟამად საყოველთაოდ მიღებულია ჰარვარდის ობსერვატორიაში (აშშ) შემუშავებული სპექტრების კლასიფიკა-ცია, რომელიც დაფუძნებულია სპექტრებში ხაზების ფარდობით ინტენსივო-ბაზე. ამ სისტემაში კლასები აღინიშნება ლათინური ასოებით; ასოების რამ-დენადაც არაბუნებრივი განაწილება აიხსნება შემთხვევითი მიზეზებით.

O კლასი. ცისფერი ვარსკვლავები. უწყვეტი სპექტრის ფონზე მოჩანს წყალბადის, ჰელიუმის და აგრეთვე იონიზებული ელემენტების: ჰელიუმის, აზოტის, ენგბადის, კაჟბადის ხაზები. ამ კლასის ვარსკვლავები ნათელი ხა-ზებით იწოდებიან ვოლფ-რაიეს ტიპის ვარსკვლავებად.

B კლასი. მოცისფრო-თეთრი ვარსკვლავები. სპექტრში მოჩანს ჰელიუ-მის და წყალბადის ხაზები და იონიზებული კალციუმის H და K სუსტი ხაზები.

A კლასი. თეთრი ვარსკვლავები. წყალბადის ხაზები აღწევენ მაქსიმალურ ინტენსივობას, მოჩანს იონიზებული კალციუმის H და K ხაზები, მეტალ-ების სუსტი ხაზები.

F კლასი. მოყვითალო ვარსკვლავები. წყალბადის ხაზები სუსტდება. ინტენსიურია ხაზები როგორც იონიზებული, ასევე ნეიტრალური კალციუმი-სა; მეტალების ხაზები ძლიერდება.

G კლასი. ყვითელი ვარსკვლავები. წყალბადის ხაზები კიდევ უფრო სუსტია. მეტალების ხაზები მრავალრიცხოვანია, მათ შორისაა იონიზებული კალციუმის H და K ხაზებიც.

K კლასი. მოწითალო-ნარინჯისფერი ვარსკვლავები. წყალბადის ხაზები მცირედ შეიმჩნევა, მეტალების ხაზები (მათ რიცხვში H და K) ძალიან ინტენსიურია. ინტენსიურია ნახშირწყალბადის CH-ის G ზოლი.

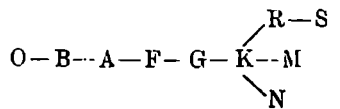
M კლასი. წითელი ვარსკვლავები. მეტალის ხაზები შეიმჩნევა, მაგრამ სუსტია. მოლეკულური შენაერთების შთანთქმის ზოლები ინტენსიურია (მაგ. ტიტანის ჟანგი). ამ კლასის ზოგიერთი ვარსკვლავისათვის გვაქვს წყალბადის გამოსხივების ხაზები.

ამას გარდა საჭირო შეიქნა კიდევ რამდენიმე დამატებითი კლასის R, N, S და P (პლანეტური ნისლეულები) შემოღება.

ყველა ძირითადი სპექტრული კლასი თანდათანობით გადადის ერთი მეორეში და ქმნის განუწყვეტელ მწკრივს. ამის გამო შესაძლო გახდა ყოველი კლასის ათად დაყოფა.

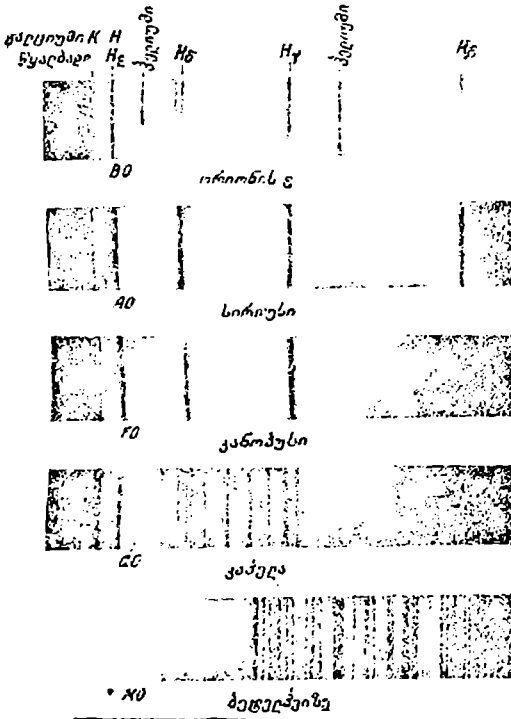
ამ დანაყოფებს აღნიშნავენ ციფრებით. მაგალითად, B0 არის B კლასის ტიპური სპექტრი, B5 — სპექტრი, საშუალო B და A-ს შორის, B7 — სპექტრი დაახლოებით საშუალო B5 და A-ს შორის და ა. შ.

დამატებითი კლასები R, N და S წარმოადგენენ ძირითადი K კლასის განშტოებებს:



R და N კლასი ხასიათდება მათ სპექტრებში ნახშირბადის (C₂) და ციანის (CN) მოლეკულების შთანთქმის ზოლების არსებობით, ხოლო S კლასი — ტიტანისა და ცირკონიუმის ჟანგის ზოლების არსებობით.

სპექტრებში გამოსხივების ხაზების (ნათელი ხაზების) არსებობის შემთხვევაში ტიპის აღნიშვნას უმატებენ «e» ასოს. მაგალითად, ვეშაპის (საოცარს) O-ს აქვს სპექტრი M6e. «p» ასოთი აღნიშნავენ სპექტრს, რომელსაც რაიმე განსაკუთრებულობა აქვს (მაგალითად, A5p).



ნახ. 139

§ 211. ვარსკვლავთ ტემპერატურები. სპექტრული კლასების რიგი შესაბამისად კლებადი ტემპერატურების რიგს, ყველაზე ცხელი *O*, *B* და *A* ვარსკვლავებიდან შედარებით ცივ *M* და *N* ვარსკვლავებამდე. მართლაც, *O* კლასის ვარსკვლავებში ჰელიუმიც კი იონიზებულია, რაც მაჩვენებელია მეთისმეტად მაღალი ტემპერატურისა, *B* კლასის ვარსკვლავებში—წყალბადი. შემდეგ კლასებში ნეიტრალური მეტალების ხაზები ჩანს, შემდგომ კი—ქიმიური შენაერთების ხაზები, რომლებიც შეიძლება არსებობდნენ მხოლოდ შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე.

ვარსკვლავის ტემპერატურაში იგულისხმება მისი გარე ფენების ტემპერატურა.

ვარსკვლავების ტემპერატურების განსაზღვრისათვის რანდენიმე ხერხი არსებობს, მაგრამ ყველა მათგანი ვარსკვლავის გამოსხივების გაზომვას ეყრდნობა. ამასთან პირობით მიღებულია, რომ ვარსკვლავები ისევე ასხივებენ ენერგიას, როგორც აბსოლუტურად შავი სხეული. ტემპერატურას, რომელიც ამ პირობით განისაზღვრება, ვარსკვლავის ეფექტური ტემპერატურა ეწოდება (§ 218). მაშასადამე, ზუსტად რომ ვთქვათ, ჩვენ ვსაზღვრავთ ვარსკვლავის ეფექტურ ტემპერატურას.

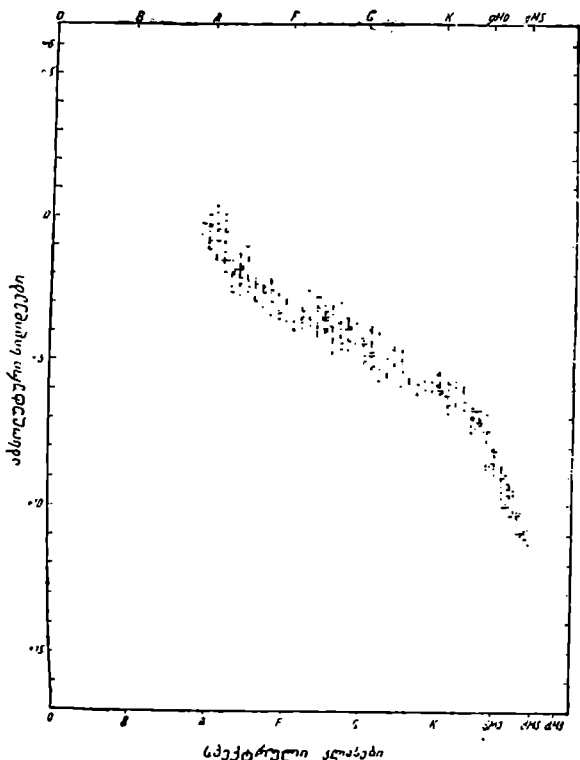
მათავარი სპექტრული კლასებისათვის მიღებულ იქნა შემდეგი საშუალო ტემპერატურები:

<i>O</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>K</i>	<i>M</i>
30 000°	20 000°	10 000°	8000°	6000°	4000°	3000°

§ 212. გიგანტი ვარსკვლავები და ჯუჯა ვარსკვლავები. თუ ვიცით ვარსკვლავის ბრწყინვალეობა და მისი მანძილი, შეიძლება განისაზღვროს მისი ნათება (§ 283), ე. ი. რიცხვი, რომელიც გვიჩვენებს, თუ სინამდვილეში რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ან მკრთალი ვარსკვლავი ჩვენს მზეზე. აღმოჩნდა, რომ *K* და *M* კლასის წითელი ვარსკვლავები თავიანთი ნათების მიხედვით ორ მკვეთრად გამიჯნულ ჯგუფად იყოფა: პირველს მიეკუთვნება გიგანტი-ვარსკვლავები, რომლებიც მრავალ ათეულჯერ კაშკაშაა ჩვენს მზეზე, მეორეს კი—მზეზე ასეულებჯერ მკრთალი ჯუჯა ვარსკვლავები. ამ ორ ჯგუფს შორის შუალედური მდებარეობა უკავია ე. წ. სუბგიგანტებს (შედარებით მცირერიცხოვანია). *B* კლასის ცნობილ ვარსკვლავთა უმრავლესობა ჩვენს მზესთან შედარებით გიგანტებია, მაგრამ მათ გვერდით არსებობს თეთრი ჯუჯებიც და ქვეჯუჯებიც, რომელთა ნათება გაცილებით მცირეა, ვიდრე იმავე სპექტრული კლასის მთავარ შტოზე (იხ. ქვემოთ) მდებარე ვარსკვლავებისა.

შემდეგი *A* კლასის ვარსკვლავების უმრავლესობა აგრეთვე გიგანტებია, მაგრამ ამ უკანასკნელი კლასის ვარსკვლავებს შორის კვლავ გვხვდება ჯუჯებიც. თუმცა აქ ნათებათა შორის განსხვავება დიდი არაა. მოუყვითალო ვარსკვლავები აშკარად იყოფა გიგანტებად და ჯუჯებად, მაგრამ გვხვდება აგრეთვე შუალედური ნათებანი. ბოლოს, წითელი *M* კლასის ვარსკვლავებისათვის გიგანტების და ჯუჯების ნათებათა შორის განსხვავება 9—10 სიდიდეს აღწევს, ე. ი. წითელი გიგანტები ამავე კლასის ჯუჯებზე 5—10 ათასჯერ უფ-

რო კაშკაშაა. აღმოჩნდა, რომ გიგანტ-ვარსკვლავებს ყველა კლასში საშუალოდ ერთნაირი ნათება აქვს, ჯუჯა ვარსკვლავების ნათება კი წესიერად კლებულობს თეთრიდან წითლამდე ვარსკვლავების ფერის ცვლილებასთან ერთად. ეს ყველაზე კარგად ჩანს რესელის შექმნილი დიაგრამიდან (ნახ. 139),



ნახ. 139

რომელიც მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორმა პ. პ. პარენაგომ ხელახლა გადაამუშავა, შეავსო და განავითარა თანამედროვე მონაცემების საფუძველზე. 139-ე სურათზე ეს დიაგრამა მოცემულია პროფ. პ. პ. პარენაგოს მონაცემების მიხედვით.

ჰორიზონტულ ღერძზე გადაზომილია სპექტრული კლასები, ვერტიკალურზე—აბსოლუტური სიდიდეები M (§ 283). თითოეული ვარსკვლავი, რომლისთვისაც ცნობილია M , აღნიშნულია წერტილით მით უფრო მაღლა, რაც უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი. მზე იმყოფება $G0$ და $+4,7$ ხაზების გადაკვეთაზე.

როდესაც ყველა ვარსკვლავისათვის, რომელთათვისაც ცნობილია M , აღნიშნული იყო ასეთი წერტილები, აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავებით უფრო

სქლად მოფენილია ის ზოლი, რომელიც დაახლოებით დიაგონალს მიჰყვება; ეს „მთავარი რიგია“ ანუ „მთავარი მიმდევრობა“. ამ მიმდევრობის ვარსკვლავები, დაწყებული დაახლოებით G კლასიდან, ჯუჯებს წარმოადგენს. მთავარი რიგის მარჯვნივ და ზევით გაბნეულია დაახლოებით ნულოვანი აბსოლუტური სიდიდის გიგანტები, უფრო ზევით გაბნეულია გაცილებით იშვიათი ყვითელი და წითელი ზეიგანტები აბსოლუტური სიდიდით—2 და უფრო კაშკაშა. მთავარი რიგის მარცხნივ და დაბლა, მისგან სრულიად განცალკევებით მდებარეობს $A-F$ კლასების 11—14 ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავები, თეთრი ჯუჯები. შორეული გიგანტების აბსოლუტური სიდიდეები განსაზღვრულია არაზუსტად, ნაწილობრივ ამით აიხსნება შესაბამი წერტილების გაბნევა.

1945 წ. პ. პ. პარენაგომ აღმოაჩინა ვარსკვლავთ „ქვეჯუჯების“ ახალი მიმდევრობა, რომელიც თითქმის „მთავარი მიმდევრობის“ პარალელურად გადის, მისგან დაახლოებით ორი ვარსკვლავიერი სიდიდით ქვევით. გვაქვს საფუძველი დავუშვათ, რომ ქვეჯუჯები ბუნებაში საკმარისად ხშირად გვხვდება.

მეორე ფრიად შესანიშნავი მიმდევრობა, რომელსაც მოთეთრო-ცისფერი მიმდევრობა უწოდეს, აღმოაჩინა ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვმა. ის შედგება სხვადასხვა ნათების მქონე თეთრი და ცისფერი ვარსკვლავებისაგან (დიაგრამაზე ის მდებარეობს მარცხნივ ვერტიკალზე).

უფრო გვიანდელი გამოკვლევებით გამომჟღავნდა, რომ გიგანტებსა და იმავე კლასის ჯუჯებს შორის არის ზოგიერთი განსხვავება, რაც ვარსკვლავების სიმკვრივეების განსხვავებით აიხსნება: გიგანტ ვარსკვლავზე წნევა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე იმავე ტემპერატურის მქონე ჯუჯაზე; ამიტომ პირველი ვარსკვლავის ატმოსფეროში ელემენტები უფრო მეტად იონიზებულია (§ 196, ბ) და მათი სპექტრი შეცვლილია. გიგანტ-ვარსკვლავების სპექტრებში განსაკუთრებით ინტენსიურია იონიზებული ელემენტების ხაზები ანუ ნაპერწკლური ხაზები, ჯუჯების სპექტრებში — რკალისებრი, ე. ი. ნეიტრალური ელემენტების ხაზები.

აღმოჩნდა, რომ სპექტრის მიხედვით შეიძლება არა მარტო გადაწყდეს საკითხი, ვარსკვლავი გიგანტებს ეკუთვნის, თუ ჯუჯებს, ისრამედ აგრეთვე განისაზღვროს მისი აბსოლუტური სიდიდე. ამაზე დაფუძნებული ვარსკვლავთა პარალაქსების განსაზღვრის სპექტროლი მეთოდი. ვარსკვლავის სპექტრის სურათზე აირჩევენ ხაზების წყვილს, ერთს ნაპერწკლურს, მეორეს რკალისებრს და მათ L_1 და L_2 ინტენსივობებს ზომივენ მიკროფოტომეტრით (§ 198, გ). აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავის აბსოლუტური M სიდიდე ამორჩეული ხაზების ინტენსივობათა ფარდობასთან $l = \frac{L_1}{L_2}$ მარტივ დამოკიდებულება-

შია. l და M -ს შორის ამ დამოკიდებულების კანონს (ან გრაფიკს) განსაზღვრავენ იმ ვარსკვლავების სპექტრების მიხედვით, რომელთა პარალაქსები (და, მაშასადამე, აბსოლუტური სიდიდეებიც) განსაზღვრულია ტრიგონომეტრიული მეთოდით. მიღებულ გრაფიკს იყენებენ M -ის განსაზღვრავად l -ის მიხედვით იმ ვარსკვლავებისთვის, რომელთა პარალაქსები არაა ცნობილი. შემ-

დგე M -ის ნაპოვნი მნიშვნელობით გამოითვლიან პარალაქსს § 283-ის (6) ფორმულით. ამ მეთოდით უკვე განსაზღვრულია რამდენიმე ათეული ათასი ვარსკვლავის მანძილი. მისი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ის გამოსადეგია შორეული ვარსკვლავებისათვის, რომელთა პარალაქსების პირდაპირი გაზომვა შეუძლებელია.

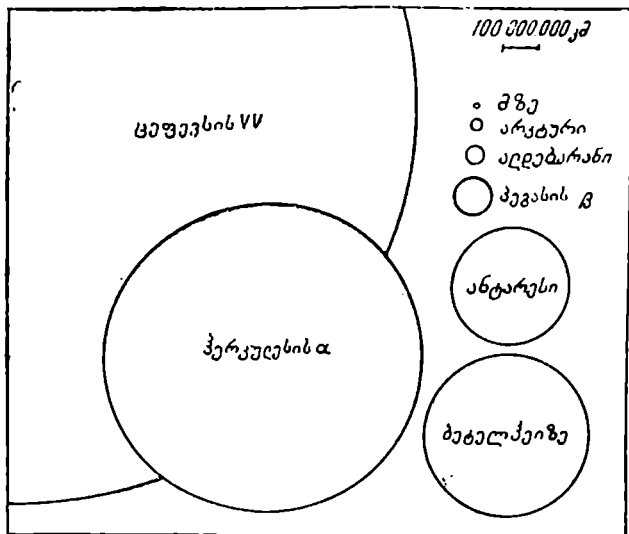
§ 293. ვარსკვლავთ ნათება ძალიან ფართო საზღვრებში იცვლება. ერთი მხრივ, ჩვენ გვხვდება „ზეგივანტი“ ვარსკვლავები, ჩვენს მზეზე ათეულობით ათასჯერ კაშკაშა (ასე, მაგალითად, რიგელი, ორიონის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი, მზეზე კაშკაშაა სულ ცოტა 20 000-ჯერ); მეორე მხრით, ჩვენთვის ცნობილია ჯუჯები, რომლებიც აგრეთვე ათეულობით ათასჯერ მკრთალებია მზესთან შედარებით. ასეთია, მაგალითად, „კენტავრის უახლოესი“ (ანუ „Proxima Centauri“ იხ. სავარჯ. 12)—ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავის კენტავრის α -ს შორეული თანამგზავრი. მისი აბსოლუტური სიდიდე $M = +15$, ე. ი. მზეზე 10 სიდიდით უფრო მკრთალია.

შეუიარაღებელი თვალით ხილული ვარსკვლავების დიდი უმრავლესობა გიგანტებია, რომლებიც ბევრად უფრო კაშკაშაა, ვიდრე მზე, მაგრამ ეს იმიტომ ხდება, რომ გიგანტები უზარმაზარი მანძილებიდან მოჩანს. საზოგადოდ კი ვარსკვლავთ სამყაროში ჯუჯა ვარსკვლავები გაცილებით უფრო ხშირად გვხვდება, ვიდრე გიგანტები.

§ 294. ვარსკვლავთ დიამეტრები. ვარსკვლავთ კუთხური დიამეტრები მეტისმეტად მცირეა და შეუძლებელია მათი პირდაპირი გაზომვა ტელესკოპის საშუალებით. მაგრამ 1920 წ. მაიკელსონის მიერ წამოყენებული ინტერფერენციული მეთოდის დახმარებით მოხერხდა რამდენიმე წითელი გიგანტი ვარსკვლავისათვის კუთხური დიამეტრების გაზომვა. საბჭოთა მეცნიერმა ნატანსონმა წამოაყენა ვარსკვლავთ კუთხური სიდიდის განსაზღვრის ახალი ორიგინალური მეთოდი, რომელიც მთვარის მიერ ვარსკვლავების დაჟარვის დაკვირვებებზეა დამყარებული. ვარსკვლავის მთვარის დისკოს კიდის უკან გაუჩინარების დროს რეგისტრაციით, ზუსტი ფოტოელემენტის საშუალებით, შეიძლება ვარსკვლავის კუთხური დიამეტრის განსაზღვრა და შემდეგ (თუ ვიცით ვარსკვლავის პარალაქსი) მისი ხაზოვანი სიდიდის გამოთვლა. ამ მეთოდით მრავალი ვარსკვლავის დიამეტრია განსაზღვრული. კუთხური დიამეტრები სეკუნდის მეასედ ნაწილებში გამოისახება; მათ მიხედვით გამოთვლილი იყო ამ ვარსკვლავების ქეშმარიტი „ხაზოვანი დიამეტრებიც“. ასე, მაგალითად, აღმოჩნდა, რომ ანტარესის (ღრიანკალის α) დიამეტრი 330-ჯერ უფრო მეტია მზის დიამეტრზე, ბეტელჰეიზეს (ორიონის α) დიამეტრი კი 360-ჯერ მეტი, ე. ი. გაცილებით მეტი მარსის ორბიტის დიამეტრზე (ნახ. 140, გიგანტი ვარსკვლავები).

სხვა ვარსკვლავების დიამეტრები განსაზღვრულია ჯერჯერობით მხოლოდ გამოთვლებით მათი ფერის მაჩვენებლისა (§ 288) და ნათების მიხედვით. B და A კლასის თეთრი გიგანტებისთვის მიღებულ იქნა დიამეტრები 2—30-ჯერ მეტი მზისაზე, წითელი ჯუჯებისთვის მზის დიამეტრზე დაახლოებით ამდენჯერვე ნაკლები. „თეთრი ჯუჯები“ კი დიამეტრის მიხედვით აღ-

მოჩნდა მზეზე ათეულეზერ ნაკლები, ზოგიერთი მათგანი კი, როგორც ეტყობა, დედამიწაზე ნაკლებიც კია. ამგვარად, ვარსკვლავთ ზომები ფართო საზღვრებში იცვლება.



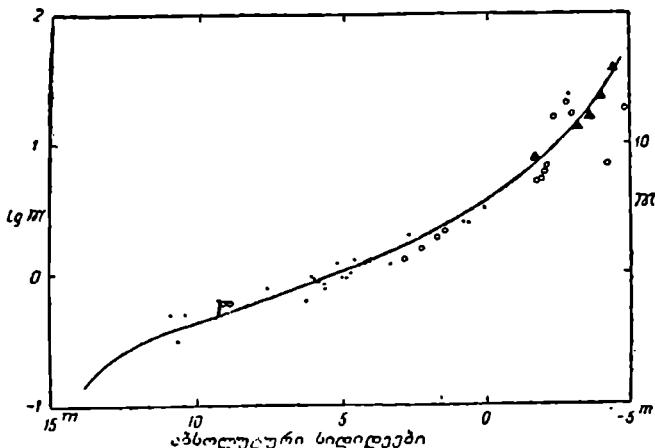
ნახ. 140

§ 295. ვარსკვლავთ მასების განსაზღვრა ორმაგი ვარსკვლავების მხოლოდ შედარებით მცირე რიცხვისათვის მოხერხდა (იხ. § 299). მასები ვაციალებით ვიწრო საზღვრებში იცვლება, ვიდრე ნათებები და საშუალოდ ახლოს არის მზის მასასთან. აქამდე არ არის ნაპოვნი ვარსკვლავი მზის მასის 0,1-ზე ნაკლები მასით. ასევე დიდი მასები, მზის მასაზე რამდენიმე ათეულჯერ მეტი, იშვიათად გვხვდება, უმთავრესად *O* და *B* ტიპის ვარსკვლავებში.

ვარსკვლავის მასასა და მის ნათებას შორის არსებობს საინტერესო დამოკიდებულება: რაც მეტია ვარსკვლავის მასა, მით მეტია მისი ნათება. როგორც ქვემოთ მოყვანილი ცხრილიდან და დიაგრამიდან ჩანს, ამ სიდიდეებიდან თუ ვიცით ერთ-ერთი, შეიძლება მეორე მიახლოებით განისაზღვროს (ნახ. 141). ამ დიაგრამას „მასა-ნათების“ დიაგრამა ეწოდება. დიაგრამა მოყვანილია ბ. ვ. კუპარკინის გამოკვლევების მიხედვით (ჰორიზონტულ ლერძზე გადაზომილია აბსოლუტური სიდიდეები, ვერტიკალურზე — მასების ლოგარითმები). ამ კანონიდან გამონაკლისს ისევ თერთრი ჯუჯები წარმოადგენს; მცირე ნათებასთან ერთად მათ დიდი მასები აქვთ.

§ 296. ვარსკვლავთ სიმკვრივეები. თუ რადიუსი და მასა ცნობილია, მაშინ შეიძლება გამოითვალოს ვარსკვლავის სიმკვრივე. მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში (ცვალებადი ვარსკვლავებისთვის) სიმკვრივეები მიიღება ამ მონაცემების გარეშეც (იხ. შემდეგ § 306). ჯუჯა ვარსკვლავების სიმკვრივე საშუალოდ მზის სიმკვრივესთან ახლოს აღმოჩნდა (წყლის სიმკვრივის 1,4).

გიგანტებში, პირიქით, არაჩვეულებრივად მცირე სიმკვრივეები გვხვდება. ასე, მაგალითად, ანტარესის სიკვრივე წყლის სიმკვრივეზე დაახლოებით 1 მილიონჯერ ნაკლებია და, მაშასადამე, დედამიწის ზედაპირთან ჰაერის სიმკვრივის ერთ მეათასედ ნაწილზე ნაკლებს შეადგენს. მეორე მხრივ, თეთრი ჯუჯების სიმკვრივე წყლის სიმკვრივეზე რამდენიმე ათასჯერ და



ნახ. 141

ზოგჯერ რამდენიმე მილიონჯერაც მეტია. მათ მაგალითს წარმოადგენს ზემოთ ხსენებული სირიუსის თანამგზავრი, რომლის დიამეტრი ცთომილი ნებტუნის დიამეტრს არ აღემატება, მასა კი თითქმის მზის მასის ტოლია. აქედან გამომდინარეობს, რომ მისი სიმკვრივე 2—3 ათასჯერ მეტია პლატი-

აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე	მასა (მზე = 1)
+15,0	0,14
12,5	0,22
10,0	0,34
7,5	0,53
5,0	0,91
+2,5	1,72
0,0	4,0
-2,5	12,0

ნის სიმკვრივეზე. შემდეგში კიდევ ათასჯერ უფრო მკვრივი ვარსკვლავები იყო ნაპოვნი. თეორია ამ არაჩვეულებრივ ფაქტსაც ხსნის: ვარსკვლავის შიგნით გავრეიდებული მასის ატომებმა იონიზაციის შედეგად დაკარგეს თითქმის ყველა თავისი ელექტრონი და გაცილებით „პატარები“ გახდნენ, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე პირობებში; ამიტომ მათ შეუძლიათ გაცილებით მჭიდროდ დაახლოება, ვიდრე „ნეიტრალურ“ ატომებს.

§ 297. ორმაგი ვარსკვლავები. ცნობილია ძალიან ბევრი ვარსკვლავი, რომლებიც ტელესკოპით დაკვირვების დროს ორმაგი აღმოჩნდნენ. ორმაგი ვარსკვლავი ორი ერთმანეთთან მეტისმეტად ახლო მყოფი ვარსკვლავისაგან შედგება და შეუიარაღებელი თვალისათვის (ან სუსტ ტელესკოპში) ერთ ვარსკვლავად მოჩანს. ზოგიერთ ასეთ ვარსკვლავთ წყვილში სიახლოვე მხოლოდ მოჩვენებითია და სინამდვილეში ერთი ვარსკვლავი მეორის უკან ძალიან შორს იმყოფება. ასეთ ორმაგ ვარ-

სკვლავებს ოპტიკურებს უწოდებენ; ისინი უმნიშვნელო უმცირესობას შეადგენენ. ყველა სხვა დანარჩენი ორმაგი ვარსკვლავი ფიზიკურებია და წარმოადგენენ ურთიერთმიზიდულობის ძალით დაკავშირებულ ძალიან ახლო მყოფ მზეების წყვილებს. ეს დამტკიცებული იყო ვ. ჰერშელისა და ვ. ი. სტრუვეს მიერ. მართლაც, თუ წყვილი ოპტიკურია, მაშინ B ვარსკვლავის (რომელსაც თანამგზავრი შეიძლება ვუწოდოთ) მდებარეობათა რიგი A ვარსკვლავის (მთავარი ვარსკვლავის) მიმართ განლაგდება B, B', B'', \dots , წრფეზე. რადგანაც ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობები სივრცეში (თავი XV) ყველა შესაძლო მიმართულებით წარმოებს, მაგრამ ყოველთვის სწორ ხაზზე. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც ვარსკვლავები ფიზიკურად არიან დაკავშირებული B, B', B'', \dots მდებარეობები განლაგდებიან მრუდზე, რომელიც A -სკენ ჩაზნეკილი მხრით იქნება მიქცეული. ასეთი მრუდხაზოვანი მოძრაობა გვიჩვენებს, რომ ერთი ვარსკვლავი გარემოიქცევა მეორის გარშემო რომელიმე ორბიტულ მათი ურთიერთმიზიდულობის მოქმედებით. ტელესკოპის საშუალებით ცის მრავალი წლის გამოკვლევის შედეგად რამდენიმე ვარსკვლავთ წყვილისთვის ეს შენიშნული იყო ჰერშელისა და სტრუვეს მიერ. ამ დარგში განსაკუთრებით დიდი სამუშაოები იყო ჩატარებული ვ. ი. სტრუვეს მიერ, რომელმაც 1837 წ. შეასრულა და გამოაქვეყნა 3000-მდე ორმაგი ვარსკვლავის დაკვირვება, მათი უმრავლესობა თვით მის მიერ იყო აღმოჩენილი. მის მიერ წყვილის კომპონენტების მდებარეობათა განსაზღვრა შესანიშნავია სიზუსტის მხრივ და მეტად ძვირფასია ვარსკვლავთ სისტემებში ორბიტალური მოძრაობის შესწავლისას.

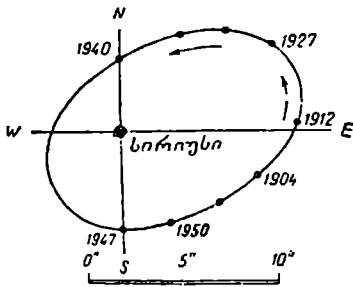
თუ ორბიტალური მოძრაობა დამტკიცებულია, მაშინ ორმაგი ვარსკვლავი უეჭველად, ფიზიკურ წყვილს წარმოადგენს. სხვა შემთხვევებში ორ ახლოს მყოფ ვარსკვლავს შორის ფიზიკური დამოკიდებულების ალბათობა ძალიან დიდია. ეს ალბათობა სრულ აუცილებლობაში გადადის, მაგალითად, იმ შემთხვევაში, როდესაც ორ მახლობელ ვარსკვლავს ერთნაირი საკუთარი მოძრაობა აქვს. აშკარაა, ამ შემთხვევაში ორბიტალური მოძრაობა ისე ნელა ხდება, რომ მისი შენიშვნა ჩვენ ჯერ კიდევ ვერ შევძელით.

ბოლოს, თუ წყვილის ორბიტალური მოძრაობაც და საკუთარი მოძრაობაც შეუმჩნევლად მცირეა (ყველაზე კერძო შემთხვევა), მაშინ ვარსკვლავებს შორის ფიზიკური კავშირი მტკიცდება ალბათობათა თეორიის მოსაზრებათა საფუძველზე. რაც უფრო კაშკაშაა წყვილის შემადგენელი ვარსკვლავები, და რაც უფრო ახლოს არიან ერთმანეთთან, მით უფრო მოსალოდნელია წყვილის ფიზიკური ორმაგობა. მაგალითად, შეიძლება გამოითვალოს, რომ სივრცეში ვარსკვლავების სრულიად შემთხვევითი განაწილებისას თითქმის არავითარი შანსები არ არის შევხვდეთ ცაზე თუნდაც ერთ შემთხვევას, როდესაც მე- n სიდიდეზე კაშკაშა ორი ვარსკვლავი ერთიმეორესთან $10''$ -ზე ნაკლებ კუთხობრივ მანძილზე იმყოფებოდეს. სინამდვილეში კი ათეული ასეთი შემთხვევა ვიცით. ცხადია, რომ ამ ვარსკვლავების დიდი უმრავლესობა ფიზიკურად ორმაგებია.

ამჟამად ცნობილ ორმაგ ვარსკვლავთა რიცხვი 20 000-ს აჭარბებს; წყვილის ორ ვარსკვლავს (ე. წ. „კომპონენტებს“) შორის მანძილი ჩვეულებრივ-

ვად რამდენიმე სეკუნდს შეადგენს; იმ ვარსკვლავთა წყვილებისათვის კი, რომელთა აღმოჩენა ახლა ხდება, უმთავრესად სეკუნდზე ნაკლებია.

მრუდი, რომელსაც წყვილის ერთი ვარსკვლავი მეორის გარშემო აღწერს, ყოველთვის ელიფსს წარმოადგენს. თანამგზავრის მოძრაობის სიჩქარე ამ ელიფსზე ზუსტად კეპლერის II კანონს ემორჩილება; პირველი კანონი კი გარეშულად დაცული არაა: მთავარი ვარსკვლავი ელიფსის ფოკუსში არ იმყოფება (ნახ. 142). მაგრამ სინამდვილეში პირველი კანონიც დაცულია და მთავარი ვარსკვლავი მეორის ორბიტის ფოკუსს რომ არ ემთხვევა, ეს აიხსნება შემდეგნაირად: ვარსკვლავთ მოძრაობის ჩვენ მიერ ხილული ელიფსი არ წარმოადგენს კეპლერიან ელიფსს, რომელსაც თანამგზავრი ვარსკვლავი აღწერს სიერკეში, არამედ წარმოადგენს მხოლოდ მის გეგმის მხედველობის სხივის მართობ სიბრტყეზე. მაშასადამე, ორმაგი ვარსკვლავების კეპლერიანი მოძრაობები ზუსტად კეპლერის კანონების მიხედვით ხდება და, მაშ, იმავე მსოფლიო მიზიდულობის კანონით, რომლითაც—ცთომილების მოძრაობა მზის გარშემო. გარემოქცევის პერიოდები უმთავრესად ძალიან დიდია (ასეული და ათასეული წლები), ისე რომ ჰერშელისა და სტრუვეს დროიდან დაწყებული, დანამდვილებით მოძრაობის აღმოჩენა მხოლოდ რამდენიმე ასეული ორმაგი ვარსკვლავისთვის მოხერხდა. ვარსკვლავთა კიდევ უფრო მცირე რაოდენობისათვის, დაახლოებით 100-მდე, განსაკუთრებით ძალიან მკიდრო წყვილები-სათვის, შესაძლო გახდა ორბიტის გამოთვლა და გარემოქცევის დროის განსაზღვრა. ყველაზე მოკლე პერიოდი დაახლოებით 6 წელს შეადგენს.



ნახ. 142

ორმაგ ვარსკვლავთა სისტემებში მოძრაობა მით განსხვავდება ჩვენ ცთომილთა სისტემაში მოძრაობისაგან, რომ ორივე კომპონენტის მასები ხშირად თითქმის ტოლი არიან, ანდა, ყოველ შემთხვევაში, მცირედ განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან, ისე რომ მასების ცენტრი, რომლის გარშემოც გარემოქცევა ორივე კომპონენტი, ხშირად მთავარი ვარსკვლავიდან შორს იმყოფება; გარდა ამისა, წყვილის კომპონენტების ელიფსური ორბიტები გაცილებით უფრო გაწეილია, ვიდრე ცთომილების ორბიტები.

იმ მცირერიცხოვან შემთხვევებში, როდესაც ბერხდება მანძილის გაზომვა მზიდან ორმაგ ვარსკვლავამდე, შეიძლება გამოითვალოს მისი მასა და ორბიტის კეპლერიანი ზომა. ამიტომ ზოგიერთი წყვილი ჩვენთვის უკვე ძალიან კარგადაა ცნობილი. ასე, მაგალითად, სირიუსი (ნახ. 142) ერთი უფრო კაშკაშა და მეორე ძალიან მკრთალი (მე-8 სიდიდის) ორი ვარსკვლავისაგან შედგება; მათ შორის საშუალო მანძილი დაახლოებით მზიდან ურანამდე მანძილის ტოლია. თანამგზავრის მასა მზის მასის ტოლია, თვით სირიუსის მასა 2,4-ჯერ მეტია. ორივე სხეული სისტემის საერთო სიმძიმის ცენტრის გარ-

ბის ცენტრი, რომლის გარშემოც გარემოქცევა ორივე კომპონენტი, ხშირად მთავარი ვარსკვლავიდან შორს იმყოფება; გარდა ამისა, წყვილის კომპონენტების ელიფსური ორბიტები გაცილებით უფრო გაწეილია, ვიდრე ცთომილების ორბიტები.

იმ მცირერიცხოვან შემთხვევებში, როდესაც ბერხდება მანძილის გაზომვა მზიდან ორმაგ ვარსკვლავამდე, შეიძლება გამოითვალოს მისი მასა და ორბიტის კეპლერიანი ზომა. ამიტომ ზოგიერთი წყვილი ჩვენთვის უკვე ძალიან კარგადაა ცნობილი. ასე, მაგალითად, სირიუსი (ნახ. 142) ერთი უფრო კაშკაშა და მეორე ძალიან მკრთალი (მე-8 სიდიდის) ორი ვარსკვლავისაგან შედგება; მათ შორის საშუალო მანძილი დაახლოებით მზიდან ურანამდე მანძილის ტოლია. თანამგზავრის მასა მზის მასის ტოლია, თვით სირიუსის მასა 2,4-ჯერ მეტია. ორივე სხეული სისტემის საერთო სიმძიმის ცენტრის გარ-

შემო მოძრაობს 50 წლის პერიოდით. ეს ცენტრი სირიუსთან უფრო ახლოს მდებარეობს, დაახლოებით იმ მანძილზე, რომელზედაც იმყოფება მზიდან იუპიტერი. ორბიტის ექსცენტრისიტეტი ძალიან დიდია, სახელდობრ 0,6. ორივე კომპონენტი აღწერს მსგავს ელიფსებს, მხოლოდ თანამგზავრის ელიფსი 2,4-ჯერ მეტია.

ამ თანამგზავრის აღმოჩენის ისტორია შესანიშნავია. 1844 წ. ბესელმა შეამჩნია, რომ ორი კაშკაშა ვარსკვლავის—სირიუსისა და პროციონის (პატარა ქოფაკის α) კოორდინატები პერიოდულად იცვლებიან. აქედან მან დაასკვნა, რომ თითოეული ამ ვარსკვლავთაგანი მოძრაობს რომელიღაც ცენტრის გარშემო და იწინასწარმეტყველა, რომ მათ უნდა ჰყავდეთ დიდი მასის მქონე ძალიან მახლობელი მკრთალი თანამგზავრები. სირიუსის თანამგზავრი აღმოჩენილი იყო 1862 წ. ოპტიკოს კლარკის მიერ, მის მიერ აგებული ერთ-ერთი ტელესკოპის გამოცდის დროს. 1896 წ. აღმოჩენილი იყო პროციონის თანამგზავრიც.

გარდა ორმაგი ვარსკვლავებისა არსებობს სამმაგი, ოთხმაგი და ა. შ. ასეთი ჯერადი ვარსკვლავის საუკეთესო მაგალითს ორიონის θ (თეტა), ე. წ. ორიონის ტრაპეცია წარმოადგენს. უკვე მცირე ტელესკოპში ეს 4,5 სიდიდის ვარსკვლავი 4 ვარსკვლავად იყოლა; ისინი განლაგებული არიან ტრაპეციის სახით, რომლის უდიდესი გვერდი 20"-ია. ამ ვარსკვლავთ სისტემაში ძლიერი ტელესკოპებით დაახლოებით 9-მდე ვარსკვლავი მოჩანს, ისე რომ ის ნამდვილ ვარსკვლავთ გროვად შეიძლება ჩათვალოს. გარდა ამისა, ის მთლიანად გარშემორტყმულია ვეებერთელა ნისლეულთ (§ 327).

§ 298. ორმაგი ვარსკვლავების ორბიტების გამოთვლა მათემატიკურად უფრო მარტივ ამოცანას წარმოადგენს, ვიდრე ცთომილების ან კომეტების ორბიტების განსაზღვრა, რადგანაც დედამიწის მოძრაობა შესამჩნევ გავლენას არ ახდენს ორბიტის გასწვრივ ვარსკვლავების ხილულ მოძრაობაზე. სინამდვილეში წყვილის ორივე კომპონენტის მოძრაობა ხდება მასების საერთო ცენტრის ირგვლივ, რომლის გარშემოც თითოეული მათგანი ელიფსს აღწერს. მასათა ცენტრი დიდ კომპონენტთან ახლოს მდებარეობს, მისი მანძილი ორივე კომპონენტიდან მათი მასების უკუპროპორციულია, მაგრამ ჩვეულებრივად მასების შეფარდება და, მაშასადამე, მასების ცენტრის მდებარეობაც, უცნობია. ამიტომ ერთი კომპონენტთაგანი („მთავარი“, ე. ი. უფრო კაშკაშა) მიიღება უძრავად და ისაზღვრება მეორე კომპონენტის („თანამგზავრის“) ფარდობითი ორბიტა „მთავარი ვარსკვლავის“ მიმართ. ეს ორბიტა წარმოადგენს ელიფსს, რომელიც ორივე ვარსკვლავის მიერ მასების ცენტრის გარშემო აღწერილი ელიფსების მსგავსია. ფარდობითი ელიფსის დიდი ნახევარღრძობი A ტოლია კომპონენტების მასათა საერთო ცენტრის გარშემო მოძრაობის ორბიტების ნახევარღრძობების ჯამისა: $A = A_1 + A_2$.

ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის განსაზღვრის დროს ჯერ დავიკრებების მიხედვით აგებენ ხილულ ელიფსს, შემდეგ მისგან გადადიან კეპლარიტ ელიფსზე. გამოითვლება ორბიტის შემდეგი ელემენტები, რომლებიც სავსებით შესაბამებიან ცთომილთა ორბიტის ელემენტებს (§ 156): 1) თანამგზავრის

პერიასტრში, ე. ი. მთავარ ვარსკვლავთან ორბიტის უახლოეს წერტილში გაელის დრო (ეპოქა) t_0 ; 2) ჰემმარიტი ელიფსის სიბრტყის i დახრა ხილული ელიფსის სიბრტყესთან. ე. ი. მხედველობის სხივის პერპენდიკულარულ სიბრტყესთან; 3) Ω — ეგრეთ წოდებული კვანძის პოზიციური კუთხე, ე. ი. კუთხე, რომელიც განსაზღვრავს იმ ხაზის მიმართულებას, რომელზედაც გადაივლება ჰემმარიტი ელიფსის სიბრტყე ხილული ელიფსის სიბრტყესთან; 4) ω — პერიასტრის კუთხობრივი მანძილი კვანძიდან, რომელიც აითვლება კვანძიდან თანამგზავრის მოძრაობის მიმართულებით; ეს ელემენტი იძლევა ორბიტის სიბრტყეში ელიფსის დიდი ღერძის მდებარეობას; 5) e — ექსცენტრისიტეტი; 6) a — ჰემმარიტი ელიფსის დიდი ნახევარღერძი რკალის სეკუნდებში; 7) P — გარემოქცევის დრო წელიწადებში.

უნდა შევნიშნოთ: 1) ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის განსაზღვრის დროს არ განსხვავებენ „აღმავალ“ კვანძს „დაღმავალისაგან“, რადგანაც განსაკუთრებული (სპექტრული) დაკვირვებების გარეშე არ შეგვიძლია გადავწყვიტოთ, ვარსკვლავი ორბიტის რომელ ნაწილში გვიახლოვდება და რომელში გვშორდება; 2) განისაზღვრება 7 ელემენტი და არა 6, როგორც ცთომილისათვის, რადგანაც აქ გარემოქცევის პერიოდი P არ შეიძლება განისაზღვროს A დიდი ნახევარღერძის მიხედვით კეპლერის III კანონის საფუძველზე: ამ კანონის ზუსტ ფორმულაში [§ 165, (5)] შედის ვარსკვლავის მასა, რომელიც უმრავლეს შემთხვევაში უცნობია.

ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის განსაზღვრის ერთ-ერთი საუკეთესო ხერხი მოგვცა რუსმა ასტრონომმა მ. ა. კოვალსკიმ წარსულ საუკუნეში. მისი ფორმულები დღემდე გამოიყენება ყველა ქვეყნის ასტრონომების მიერ.

§ 219. ორმაგი ვარსკვლავების მახეზი განსაზღვრა. კეპლერის იგივე მესამე კანონი, მისი განზოგადებული ფორმით, საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ორმაგი ვარსკვლავის მასა, თუ ცნობილია მისი პარალაქსი.

ვთქვათ, A აღნიშნავს თანამგზავრის მთავარი ვარსკვლავის გარემო ორბიტის დიდ ნახევარღერძს ხაზოვან ერთეულებში, P — გარემოქცევის დროს, m_1 და m_2 — კომპონენტების მასებს, a_1 — დედამიწის ორბიტის დიდ ნახევარღერძს (ასტრ. ერთეულს), T — დედამიწის გარემოქცევის დროს (წელიწადს), M და m — მზისა და დედამიწის მასებს. აღნიშნული ფორმულა [§ 165, (5)] იძლევა

$$\frac{a_1^3}{T^2(M+m)} = \frac{A^3}{P^2(m_1+m_2)}.$$

თუ დავუშვებთ $a_1=1$, $T=1$, $m=0$, ორმაგი სისტემისა და მზის მასების ფარდობისთვის მივიღებთ

$$\frac{m_1 + m_2}{M} = \frac{A^3}{P^3}. \quad (7)$$

აქ P გამოსახულია წლებში, ხოლო ნახევარღერძი A — ასტრ. ერთეულებში. A შეიძლება გამოითვალოს, თუ ცნობილია ვარსკვლავის წლიური პარალაქსი π (§ 118),

$$A = \frac{a}{\pi}. \quad (8)$$

აქ a ორბიტის დიდი ნახევარღერძია რკალის სეკუნდებში. თუ ჩავსვამთ (7) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\frac{m_1 + m_2}{M} = \frac{a^3}{\pi^3 P^3}. \quad (9)$$

მაგალითი. სირიუსისათვის $a = 7'',57$, $\pi = 0'',37$, $P = 50$ წელს. (9) ფორმულით ვპოულობთ:

$$m_1 + m_2 = \frac{(7,57)^3}{(0,37)^3 \cdot 2500} = 3,4 \text{ მზის მასას.}$$

§ 300. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავები. თანამედროვე ასტრონომიის ერთ-ერთ ღირწესესანიშნავ შედეგს წარმოადგენს ისეთი ორმაგი ვარსკვლავების აღმოჩენა, რომელთა გაყოფა უძლიერესი ტელესკოპებითაც კი არ შეიძლება. მათი კემშარიტი ბუნება სპექტრულმა ანალიზმა გამოაშკარავა. აქ უნდა გაირჩეს ორი შემთხვევა: ა) ჩვენ სინათლეს ვღებულობთ ორმაგი ვარსკვლავის მხოლოდ ერთი კომპონენტისაგან, მეორე კომპონენტი ძალიან მკრთალია. ბ) ორივე კომპონენტი კაშკაშაა, ისე რომ ვარსკვლავის სინათლე წარმოადგენს ორი მნათობის შეერთებულ სინათლეს.

ა) წარმოვიდგინოთ ორმაგი ვარსკვლავი, რომლის მხოლოდ ერთი კომპონენტის სპექტრი მოჩანს. ვთქვათ, ეს კომპონენტი მოძრაობს სისტემის მასების ცენტრის გარშემო ორბიტზე, რომლის სიბრტყე გადის მხედველობის სხივზე, ისე რომ ჩვენ ვიწყოფებით ამ სიბრტყეში. გარემოქცევის პერიოდის ერთი ნახევრის განმავლობაში ვარსკვლავი ჩვენ გვიახლოვდება, მეორე ნახევრის განმავლობაში — გვეორდება. დოპლერის პრინციპის მიხედვით (§ 194), პირველ შემთხვევაში ვარსკვლავის სპექტრული ხაზები გადაადგილდება სპექტრის იისფერი ბოლოსაკენ, მეორეში — წითლისაკენ. ხაზების გადაადგილება ორბიტის იმ წერტილებში იქნება უდიდესი, რომლებშიც ვარსკვლავი პირდაპირ ჩვენსკენ ან ჩვენგან მოძრაობს. ხაზების ამ პერიოდული გადაადგილების გაზომვით შეიძლება განისაზღვროს ვარსკვლავის სიჩქარე მისი ორბიტის სხვადასხვა წერტილში (აიგოს ეგრეთ წოდებული „სიჩქარეების მრუდი“) და შემდეგ კი გამოთვლილ იქნეს თვითონ ორბიტი.

ბ) ამის გაკეთება უფრო მოსახერხებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც ორივე კომპონენტის ერთმანეთზე დამთხვეული სპექტრები მოჩანს. იმ დროს, როდესაც ერთი კომპონენტი გვიახლოვდება, მეორე გვეშორდება: პირველის ხაზები გადაადგილდება იისფერი ბოლოსაკენ, მეორის ხაზები — წითლისკენ. ამგვარად, თუ ორივე კომპონენტის სპექტრები ერთნაირია, მაშინ ვარსკვლავის სპექტრში ხდება ხაზების პერიოდული გაორება. ამ გაორების სიდიდის გაზომვა გვაძლევს საშუალებას განისაზღვროს ორივე კომპონენტის სხივური სიჩქარეები (აიგოს სიჩქარის ორი მრუდი) და გამოითვალოს ორბიტი.

§ 301. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის განსაზღვრა არ შეიძლება ისე სრულად ვაწარმოოთ, როგორც ჩვეულებრივი ორმაგი ვარსკვლავებისათვის. სრულად განისაზღვრება მხოლოდ: 1) პერიოდი P , 2) პერიასტრზე ვავლის მომენტი t_0 , 3) ექსცენტრისიტეტი e , 4) პერიასტრის მანძილი კვანძიდან a . დიდი ნახევარღერძი a და ორბიტის სიბრტყის დახრა i არ შეიძლება განისაზღვროს ცალ-ცალკე, განისაზღვრება მხოლოდ ნახევარღერძის გვემილი $a \sin i$ კილომეტრებში მხედველობის სხივზე. მეშვიდე ელემენტი Ω არ განისაზღვრება.

არ შეიძლება განისაზღვროს ვარსკვლავების მასებიც, მაგრამ შეიძლება მოიძებნოს კომპონენტების მასების შეფარდება ეგრეთ წოდებული მასების ფუნქციის მიხედვით; ორივე კომპონენტის სპექტრული ხაზების მქონე ვარსკვლავებისთვის (§ 300, ბ) ეს ფუნქციები გამოისახება ასე:

$$f_1 = m_1 \sin^3 i, \quad f_2 = m_2 \sin^3 i; \quad (10)$$

ერთი კომპონენტის სპექტრის მქონე ვარსკვლავებისთვის მათ უფრო რთული სახე აქვთ. რადგანაც უცნობი მამრავლი $\sin^3 i$ ერთზე მეტი არ შეიძლება იყოს, ამიტომ სიდიდე f გვაძლევს არა თვით კომპონენტის მასას, არამედ მის ქვედა საზღვარს. მაგალითად, კაშკაშა სპექტრულად ორმაგ ვარსკვლავ კაპელასთვის, რომლის პერიოდი 104 დღე-ღამეა, მასის ქვედა საზღვრისთვის მიღებული იქნა მნიშვნელობები: $f_1 = 1,2$; $f_2 = 0,9$ (მზის მასისა). შემდეგში ინტერფერომეტრის საშუალებით მოხერხდა i დახრის განსაზღვრა; ის აღმოჩნდა 40° -ის ტოლი, ამიტომ (10) ფორმულების საშუალებით ჭეშმარიტი მასები მიიღება გაცილებით მეტი, სახელდობრ: $m_1 = 4,2$; $m_2 = 3,3$.

§ 302. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავების თვისებები. აქამდე აღმოჩენილი სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავების რიცხვი დაახლოებით 1500-ია. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ამ მხრივ გამოკვლეულია ჯერჯერობით მხოლოდ კაშკაშა ვარსკვლავები და რომ ორმაგობის აღმოჩენა მხოლოდ იმ შემთხვევაში შეიძლება, როცა ორბიტის სიბრტყე მცირედაა დახრილი მხედველობის სხივთან, შეგვიძლია ვიფიქროთ, რომ მათი საერთო რიცხვი უამრავია. ზოგიერთი ასტრონომი ფიქრობს კიდევ, რომ საზოგადოდ სამყაროში ორმაგი ვარსკვლავები გვხვდება უფრო ხშირად, ვიდრე ცალკეული.

ამ მკვიდრო წყვილების გარემოქცევას პერიოდი ზოგჯერ რამდენიმე საათს შეადგენს; აშკარაა, რომ მზეები, რომლებიც ასეთ წყვილებს შეადგენენ, თითქმის ეგებიან ერთიმეორეს. გვხვდება სხვა ყველა შესაძლებელი პერიოდიც, რამდენიმე წლის ხანგრძლიობით. დაბოლოს, არსებობს სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავები, რომლებიც კომპონენტების ერთმანეთისაგან უდიდესი დაცილების დროს შეიძლება გაიყოს ტელესკოპში, როგორც ჩვეულებრივი ორმაგი ვარსკვლავები, ასე რომ არავითარი მკვეთრი საზღვარი ცის ამ სხეულების ორ კლასს შორის არ არსებობს.

სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავებიდან საინტერესოა დიდი დათვის კუდში შუა ვარსკვლავი, ζ Ursae Majoris ანუ მიცარი. ის იმავე დროს ვიზუალურად სამმაგ ვარსკვლავს წარმოადგენს; უკვე შეუიარაღებელი თვალით ვხედავთ, რომ მის ახლოს $11'$ მანძილზე, როგორც ჩანს, მასთან ფიზიკურად

დაკავშირებული, უფრო მკრთალი ვარსკვლავი აღკორი იმყოფება. მომცრო მიღში თვითონ მიცარი ორმაგ ვარსკვლავად წარმოგვიდგება, კომპონენტებს შორის 14" მანძილით. ეს პირველად აღმოჩენილი ტელესკოპური ორმაგი ვარსკვლავია. შენდევ, მიცარის უფრო კაშკაშა კომპონენტი წარმოადგენს ისევ პირველ ვარსკვლავს, რომლისთვისაც შენიშნული იყო სპექტრული ხაზების გაორება (1890 წ.). შემდეგში აღმოჩნდა, რომ მიცარის მეორე კომპონენტიც და აღკორიც სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავებია, ისე რომ ეს სისტემა, სულ მცირე, ექვსმაგია.

§ 303. ცთომილთა სისტემები ვარსკვლავების გარშემო. მერიდიანული წრეების დახმარებით, რომლებიც აღჭურვილია ავტომატური რეგისტრაციით, ვარსკვლავთ პირდაპირი აღვლენები განისაზღვრება სეკუნდის მეათასედების სიზუსტით. ამან საშუალება მოგვცა რამდენიმე ახლო ვარსკვლავისათვის შეგვეჩინა მდებარეობათა პერიოდული ცვლილებები. პერიოდები აღმოჩნდა $1\frac{1}{2}$ -დან 3 წლამდე. ასეთი რხევები შეიძლება გამოწვეული იყოს მხოლოდ ამ ვარსკვლავების გარშემო უხილავი თანამგზავრების გარემოქცევით. მოხერხდა ზოგიერთი მათგანის მასის განსაზღვრაც. ყველაზე ზუსტი შედეგი მიღებული იყო «უახლოესი კენტავრისათვის». ეს მკრთალი ვარსკვლავი იმავე მანძილზე იმყოფება, რომელზედაც კენტავრის α (§ 120) და მას ისეთივე საკუთარი მოძრაობა აქვს. მისი მასა მზის მასის $\frac{1}{16}$ -ს შეადგენს. აღმოჩნდა, რომ მას ჰყავს, სულ მცირე, ერთი უხილავი თანამგზავრი ჩვენი მზის მასის დაახლოებით $\frac{1}{500}$ მასით, მაგრამ ასეთი სხეული უნდა ჩაითვალოს ცთომილად და არა ვარსკვლავად: მისი მასა დაახლოებით ორჯერ აღემატება იუპიტერის მასას.

ამგვარად, ჩვენი ცთომილთა სისტემის მსგავსი სისტემები სრულიადაც არაა იშვიათი სამყაროში. ბუნებრივია დაეუშვათ, რომ ამ შორეული სისტემების ცთომილთაგან ზოგიერთი მაინც შეიძლება ჰგავდეს დედამიწას და მათზეც აგრეთვე ვითარდებოდეს სიცოცხლე.

§ 304. ცვალებადი ვარსკვლავები. მათი შესწავლა სსრ კავშირში, ასევე ული წლების განმავლობაში ვარსკვლავთა უმრავლესობის ბრწყინვალემა უცვლელია, მაგრამ ამ კანონიდან გამონაკლისია ვარსკვლავები, რომელთა ბრწყინვალემა იცვლება. ამჟამად ცნობილია ათათასზე მეტი ასეთი ცვალებადი ვარსკვლავი; მათგან დიდი უმრავლესობა ტელესკოპური ვარსკვლავებია, რომელთა ცვალებადობა აღმოჩენილია სულ უკანასკნელ ხანებში, უმთავრესად ფოტოგრაფიის დახმარებით. ცვალებადი ვარსკვლავების სისტემატური ფოტოგრაფიული ძიების ერთი პირველი სამუშაოთაგანი ორგანიზებული იყო მოსკოვის უნივერსიტეტის ობსერვატორიაში 1896 წ. ვ. კ. ცერასკის მიერ. ამ ობსერვატორიაში სხვადასხვა დროს მიღებული ცის ერთი და იმავე არეების ფოტოსურათების შედარებით ლ. პ. ცერასკიამ 1931 წლამდე 200-ზე მეტი ცვალებადი ვარსკვლავი აღმოაჩინა. მათი ცვალებადობა შესწავლა სპეციალური მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ს. ნ. ბლაგოკომ — «ცვალებადი ვარსკვლავების რუს მკვლევართა მამამთავარმა».

დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ ცვალებადი ვარსკვლავების გამოკვლევები სსრ კავშირში განსაკუთრებით ფართოდ განვითარდა. ცვალებადი ვარსკვლავების ჩვენი გამოკვლევები არა მარტო ბევ-

რად გაიზარდა რიცხობრივად, არაბმდე მკვლევართა მუშაობაში შეტანილი იქნა გეგმიანობა და მიზანდასახულობა, რამაც ასტრონომიის ამ დარგში თვისობრივი ნახტომი გამოიწვია; ახლა ცვალებადი ვარსკვლავების შესწავლის საქმეში საბჭოთა კავშირის მსოფლიო მეცნიერებაში პირველი ადგილი უკავია. ამჟამად ამ სამუშაოებს საერთაშორისო მასშტაბით საბჭოთა ასტრონომები ხელმძღვანელობენ.

ასტრონომიის ამ დარგს დიდი მნიშვნელობა (იხ. შემდეგ) აქვს და ამიტომ, რომ ასტრონომები დიდ შრომას და დროს ხარჯავენ ცვალებადი ვარსკვლავების შესწავლაზე.

ცვალებადი ვარსკვლავების რიცხვი, აღნიშვნა, კლასიფიკაცია. პ. პ. პარენაგოსა და ბ. ვ. კუჟარკინის მიერ 1948 წ. შედგენილი „ცვალებადი ვარსკვლავების საერთო კატალოგი“ შეიცავს 10912 ობიექტს; მათი უმრავლესობა მკრთალ ვარსკვლავებს ეკუთვნის; მაგალითად, პირველი სიდიდის ვარსკვლავებიდან ცვალებადია მხოლოდ ერთი, ორიონის α წითელი ვარსკვლავი (ბეტელჯეიზე). მე-2 სიდიდის ვარსკვლავებიდან ცვალებადი უკვე ხუთია (მათ რიცხვში პოლარულიც) და ა. შ.

არგელანდერმა წამოაყენა წინადადება—ყოველი ახლად აღმოჩენილი ცვალებადი ვარსკვლავი, თუ ის მანამდე არ იყო აღნიშნული ბერძნული ასოთი, აღინიშნოს ლათინური დიდი ასოთი, დაწყებული *R*-დან, თანავარსკვლავედის მითითებით (მაგალითად, ლირის *R*, ლირის *S*). თითოეული თანავარსკვლავედის მე-10 ცვალებადი ვარსკვლავიდან დაწყებული, უკვე საქირო შეიქნა აღნიშვნა ორ-ორი ასოთი ჯერ ალფაბეტის ბოლოდან (*RR*, *RS*,...) და შემდეგ ალფაბეტის პირველი ასოებით (*AA*, *AB*,...). ზოგიერთი თანავარსკვლავედისათვის ეს კომბინაცია არ არის საქინარისი, რადგანაც მათში აღმოჩენილია 334-ზე მეტი ცვალებადი. ამიტომ, შემდეგი ცვალებადები აღინიშნება უბრალოდ ნომრებით, დაწყებული 335-დან თანავარსკვლავედის სახელწოდების მიმატებით. მაგალითად, მშვილდოსნის *V* 335 აღნიშნავს 335-ე ცვალებადს (*V*—*variabilis*, ცვალებადი) მშვილდოსნის თანავარსკვლავედში. ასე აღნიშნავენ მათ მხოლოდ მას შემდეგ, რაც ვარსკვლავის ცვალებადობა დამტკიცებულია მთელი რიგი დაკვირვებებით. მანამდე კი აძლევენ წინასწარ აღნიშვნებს (მაგალითად, საბჭოთა კავშირში ასოებით *SVS* და რიგითი ნომრებით).

ცვალებადი ვარსკვლავები უპირველეს ყოვლისა შეიძლება დაიყოს არაპერიოდულებად ანუ არაწესიერებად, რომელთა ცვალებადობაში არ შეიძლება შეინიშნოს არავითარი პერიოდი, და წესიერებად, მეტნაკლებად გარკვეული პერიოდულობით. უკანასკნელი ჯგუფი, გაცილებით უფრო მრავალრიცხოვანი და მნიშვნელოვანი, თავის მხრივ სამ კლასად იყოფა.

§ 308. ბნელებად-ცვალებადი ვარსკვლავები. ა) ალგოლის ტიპის ვარსკვლავები. ამ ვარსკვლავების ბრწყინვალეების ცვალებადობა განსაკუთრებული წესიერებით გამოირჩევა. ამ კლასის ყველაზე ცნობილი ვარსკვლავი ალგოლი, ანუ პერსეუსის β თითქმის $2\frac{1}{2}$ დღე-ღამის განმავლობაში ინარჩუნებს 2,3 სიდიდის უცვლელ ბრწყინვალეებას, შემდეგ 5 საათის განმავლობაში თანდათან სუსტდება 3,5 სიდიდემდე და ამდენივე ხნის განმავლობაში

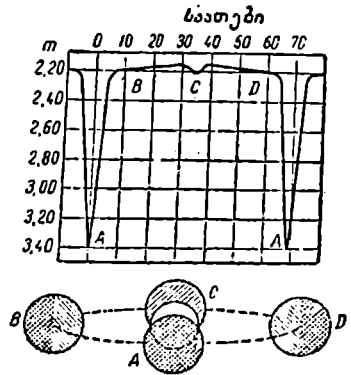
ბაში კვლავ მატულობს ბრწყინვალეობა პირვანდელ სიდიდემდე. პერიოდის ხანგრძლიობა შეადგენს 2 დღე-ღამეს, 20 საათს და 49 მიწუტს (ნახ. 143). ამ ტიპის სხვა ვარსკვლავებს იგივე დამახასიათებელი ნიშნები აქვს: 1) ბრწყინვალეობა რამდენიმე ხნის განმავლობაში მუდმივია; 2) დროის ერთნაირი შუალედების („პერიოდების“) შემდეგ ხდება ბრწყინვალეობის შესუსტება; 3) ბრწყინვალეობის დაცემა მინიმუმამდე და მინიმუმიდან კვლავ ზრდა ნორმალურ ბრწყინვალეობამდე ხდება სიმეტრიულად, დროის ტოლ შუალედებში.

ბ) ლირის β -ს ტიპის ვარსკვლავები. ამ ტიპის ბნელებად-ცვალებად ვარსკვლავებს ერთი პერიოდის განმავლობაში ორი სხვადასხვა ხარისხის მინიმუმი აქვს. ასეთ ტიპიურ ვარსკვლავს წარმოადგენს ლირის β , 12,9 დღე-ღამის პერიოდით. მისი მაქსიმალური ბრწყინვალეობა 3,4 სიდიდეა, ბრწყინვალეობა „მთავარ“ მინიმუმში 4,5 სიდიდეა, ხოლო ყოველ ორ მთავარ მინიმუმს შორის ადგილი აქვს „მეორადს“,

რომელშიც ვარსკვლავი სუსტდება მხოლოდ 3,9 სიდიდემდე. ამგვარად, შუალედი ორ მომდევნო მინიმუმს შორის შეადგენს 6,5 დღე-ღამეს, ამასთანავე ხდება ძლიერი და სუსტი მინიმუმების მონაცვლეობა (ნახ. 144).

ცნობილია ძალიან ბევრი ბნელებად-ცვალებადი ვარსკვლავი. მათი ბრწყინვალეობის ცვლილების ამპლიტუდა 4 სიდიდეს არ აღემატება, უმრავლეს შემთხვევაში გაცილებით ნაკლებია. პერიოდის ხანგრძლიობა ჩვეულებრივად რამდენიმე დღე-ღამეა, მაგრამ გვხვდება გაცილებით გრძელი პერიოდებიც. ყველაზე გრძელი პერიოდი მეეტლის ζ -ს აქვს, სახელდობრ 27 წელი, ამასთანავე მისი ნინიმუმი 2 წელიწადს გრძელდება.

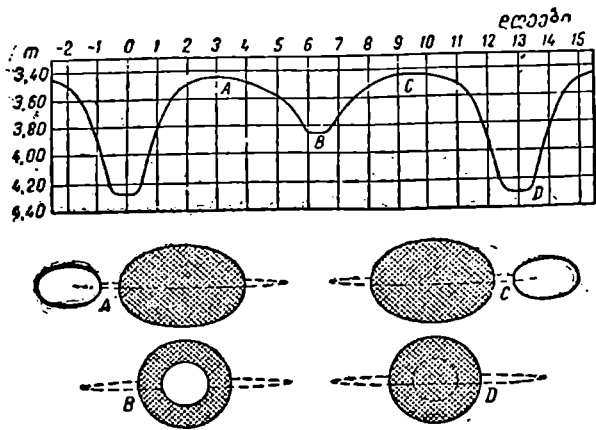
ამ ტიპის ვარსკვლავების ცვალებადობის მიზეზი სავსებით გამორკვეულია. არსებითად ისინი ცვალებადები კი არაა, არამედ ძალიან მკიდრო ორმაგი ვარსკვლავებია; ამიტომ, მათ ოპტიკურად ცვალებადებს უწოდებენ. მართლაც, სპექტრულმა დაკვირვებებმა მათი ხაზების პერიოდული გადაადგილება ანუ გაორება გვიჩვენეს. ამასთან, გადაადგილების პერიოდი ყოველთვის ბრწყინვალეობის ცვლილების პერიოდის ტოლია. სპექტრულად ორმაგ სხვა ვარსკვლავებისაგან ისინი იმით განსხვავდებიან, რომ ორბიტის დახრა დაახლოებით 90° -ია (სხვა სიტყვებით, დედამიწა იმყოფება თითქმის მათი ორბიტის სიბრტყეში). ამიტომ, უფრო მკრთალი კომპონენტი („თანამგზავრი“) ხან მთავარი ვარსკვლავის დისკოს წინ გაივლის, ხან — დაახლოებით ნახევარი პერიოდის შემდეგ — თვითონ იმალება მისი დისკოს უკან. ალგოლისა და ამ კლასის ვარსკვლავების უმრავლესობისათვის თანამგზავრს შედარებით ბნელი ზედაპირი აქვს; ამიტომ, როდესაც ის ჩვენთვის ფარავს მთავარ ვარსკვლავის დისკოს ნაწილს, იწყება ბრწყინვალეობის შესუსტება, მაგრამ, რო-



ნახ. 143

დესაც თვითონ ნაწილობრივ იმალება მის უკან, თითქმის არავითარი შესუსტება არ ხდება. სინამდვილეში კი თვალისათვის შეუმჩნეველი, მცირე შესუსტება უნდა მოხდეს; ალგოლისათვის ეს აღმოჩენილია (ნახ. 143) სელენის ფოტომეტრის საშუალებით (§ 198).

იმავე კლასის ზოგიერთი ვარსკვლავის თანამგზავრი, პირიქით, თვითონ საკმარისად კაშკაშაა. ამიტომ ერთი გარემოქცევის პერიოდის განმავლობაში ორი შესამჩნევი მინიმუმი (ნახ. 144) გვაქვს; მთავარი—როდესაც თანამგზავრი მთავარ მნათობს ფარავს და მეორადი—როდესაც თვითონ თანამგზავრია დაფარული მთავარი ვარსკვლავით. ზოგჯერ ეს ორივე მინიმუ-



ნახ. 144

მი თითქმის ერთნაირია (ერთნაირი „სიღრმის“) ვარსკვლავის ბრწყინვალეების შესუსტების ხარისხის მიხედვით. ეს იმას ნიშნავს, რომ ორივე ვარსკვლავის ზედაპირი დაახლოებით ერთნაირი სიკაშკაშისაა.

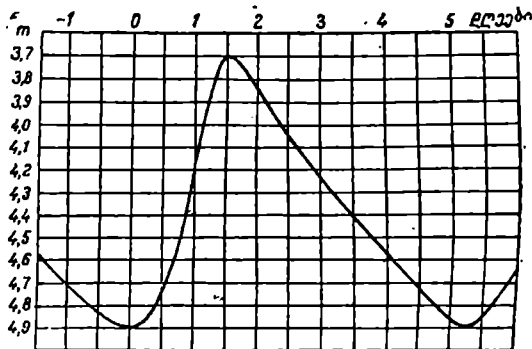
§ 806. ბნელებად-ცვალებადი ვარსკვლავის ელემენტების განსაზღვრა. ალგოლის ტიპის ვარსკვლავების ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებებით ძალიან ბევრის გაგება შეიძლება იმ ორმაგი ვარსკვლავების აგებულების შესახებ, რომელთა გაყოფა არავითარ ტელესკოპში არ ხერხდება. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის ელემენტების (§ 301) გარდა განისაზღვრება: 1) ორბიტის დახრა i ; 2) მთავარი ვარსკვლავის მიმართ თანამგზავრის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი A კილომეტრებში; 3) ორივე ვარსკვლავის შეფარდებითი ბრწყინვალეობა; 4) თითოეული კომპონენტის მასა მზის მასებში გამოსახული; 5) თითოეული კომპონენტის სიმკვრივე მზის სიმკვრივეში გამოსახული; 6) მათი ხაზოვანი დიამეტრები კილომეტრებში. ზოგიერთ შემთხვევაში მოხერხდა კომპონენტების ელიფსოიდური ფორმის, დისკოების კიდებებისაგან ბრწყინვალეების შემცირების (ს. ნ. ბლაეკო) და მათი ღერძების გარშემო ბრუნვის (გ. ა. შაინი) აღმოჩენაც კი.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ვარსკვლავების დიამეტრებისა და სიმკვრივების განსაზღვრას. დაუმტკიცებლად შეგნიშნავთ, რომ სიმკვრივის მიახლოებითი განსაზღვრა შეიძლება მხოლოდ ბრწყინვალეების ცვლილებაზე დაკვირვებებიდან, ვარსკვლავის ზომისა და მასის ცოდნის გარეშეც. აღმოჩნდა, რომ ორმაგი ვარსკვლავების უმრავლესობას მეტისმეტად მცირე სიმკვრივე აქვს; ზოგიერთი ვარსკვლავები რამდენიმე ასეულჯერ უფრო გაიშვიათებულია, ვიდრე ჰაერი დედამიწის ზედაპირთან.

ცვალებადი ვარსკვლავების დანარჩენ ტიპებს, ოპტიური ცვალებადებისაგან განსხვავებით, ფიზიკურად ცვალებადები ეწოდება.

§ 307. ცეფეიდები. ასე იწოდება, ცეფეისის ვარსკვლავ მ-ს მიხედვით, ცვალებადი ვარსკვლავების ყველაზე შესანიშნავი კლასი. ესენი არიან ვარსკვლავები ხშირად ძალიან მოკლე (ცნობილია $3\frac{1}{4}$ საათიანი პერიოდი), მეტისმეტად წესიერი პერიოდით, ამასთან მათი ბრწყინვალეობა წინა კლასისაგან განსხვავებით განუწყვეტლივ იცვლება (იხ. ნახ. 145, რომელზედაც წარმოდგენილია ცეფეისის მ-ს ბრწყინვალეების ცვლილების მრუდი).

მათში არჩევენ ორ ქვეკლასს--გრძელპერიოდიან ცეფეიდებს პერიოდებით 1,5 დღე-ღამიდან 80 დღე-ღამემდე და მოკლესპერიოდიან ცეფეიდებს დღე-ღამეზე ნაკლები პერიოდით. ორივე ჯგუფი განსხვავდება ცაზე განაწილებისა და მოძრაობის მიხედვით: გრძელპერიოდიანი ცეფეიდები მეტწილად თავმოყრილია ირმის ნახტომში და უფრო ნელი მოძრაობა ახასიათებს სივრცეში, ვიდრე მეორე ჯგუფის ვარსკვლავებს. ამ ორ ტიპს შორის შუალედური ვარსკვლავები, პერიოდებით 1-დან 1,5 დღე-ღამემდე, ძალიან ცოტაა ცნობილი.



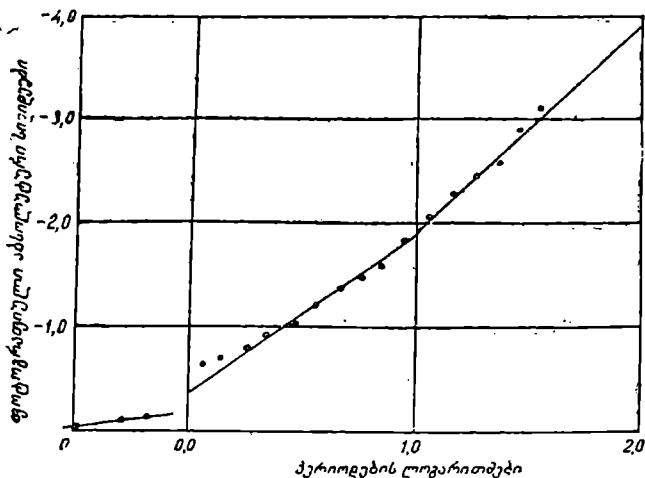
ნახ. 145

მეორე ტიპი პირველისაგან ბრწყინვალეების ცვლილების მრუდით განსხვავდება; ამ ტიპის ვარსკვლავებს ხშირად „ანტიალგოლებს“ უწოდებენ, რადგანაც მათი ბრწყინვალეობა, რომელიც თითქმის მუდმივია, რამდენიმე ხნით წყდება არა შესუსტებით, როგორც ალგოლისათვის (§ 305), არამედ ბრწყინვალეების გაძლიერებით. ბრწყინვალეების ცვლილების სიდიდე (ამპლიტუდა) ყველა ცეფეიდისათვის საზოგადოდ მცირეა, ერთ ვარსკვლავიერ სიდიდეს იშვიათად აჭარბებს.

ამ კლასის ყველა ვარსკვლავი გიგანტებია. მათთვის აღმოჩენილია რიგი შესანიშნავი თვისებებისა:

ა) რაც უფრო გრძელია პერიოდი, მით მეტია ვარსკვლავის ნათება. ეს დამოკიდებულება იმდენად ზუსტია, რომ პერიოდის სიდიდის მიხედვით შეიძლება გამოითვალოს ვარსკვლავის ნათება.

ნახ. 146-ზე ნაჩვენებია დამოკიდებულება ცეფეიდების პერიოდსა და ნათებას შორის საბჭოთა ასტრონომ ბ. ვ. კუკარკინის გამოკვლევების მიხედვით.



ნახ. 146

შემდეგ ცხრილში ნაჩვენებია კავშირი პერიოდსა, აბსოლუტური სიდიდესა და ვარსკვლავის ნათებას შორის (ბ. ვ. კუკარკინის მიხედვით).

პერიოდი	აბსოლუტური სიდიდე	ნათება (მზე=1)
<1 დღე-ღამეზე	-0,2	140
1-2 დღე-ღამე	-1,2	300
2-5 "	-2,1	700
5-10 "	-3,2	1900
10-20 "	-4,2	4800

ეს ცხრილი იძლევა ეგრეთ წოდებულ დამოკიდებულებას: პერიოდი-ნათება. რაც უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი, მით ნელა იცვლება მისი ბრწყინვალება.

ცეფეიდები კიდევ უფრო ხანგრძლივი პერიოდებით იშვიათად გვხვდება; ისინი ეკუთვნიან

ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავების რიცხვს, რომელნიც კი ცნობილია.

შენიშვნა: დამოკიდებულება „პერიოდი-ნათება“ კიდევ იმით არის მნიშვნელოვანი, რომ ის § 283-ის (6) ფორმულის საშუალებით, რომელშიც ცნობილია M და m , მაშინვე იძლევა ვარსკვლავის წლიურ პარალაქსს.

ბ) რაც უფრო გრძელია პერიოდი, მით უფრო წითელია ვარსკვლავი. მოკლებერიოდიანი ცეფეიდები ეკუთვნის A და F სპექტრულ კლასებს შორის შუალედურ კლასს, გრძელპერიოდიანები— G (მზის) კლასს. ეს არის დამოკიდებულება ეგრეთ წოდებული პერიოდი-სპექტრი.

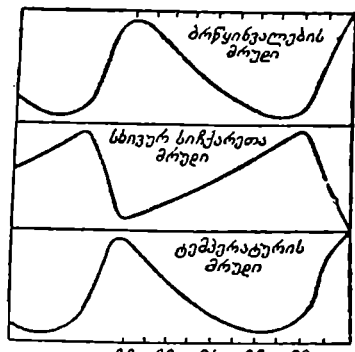
ბ) ცეფეიდების სპექტრებში აღმოჩენილია ხაზების პერიოდული გადაადგილება (როგორც სპექტრულად-ორმაგ ვარსკვლავებში), მაგრამ არა ისეთი, როგორც წინა კლასში: ბრწყინვალეების მაქსიმუმს ადგილი აქვს მნათობის დამკვირვებლისაკენ მოძრაობის დროს, მინიმუმს—დაშორების დროს (ნახ. 147). ეს მნიშვნელოვანი ფაქტი პირველად აღმოაჩინა ცეფეიდის მ-ს სპექტრის ფოტოგრაფირებით ა. ა. ბელოპოლსკიმ. მათ სპექტრში ყოველთვის ერთი კომპონენტის ხაზები მოჩანს.

დ) ცეფეიდებისათვის აღმოჩენილია სპექტრული კლასის პერიოდული ცვლილება, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ ვარსკვლავი მაქსიმუმში გვიჩვენებს უფრო მაღალი ტემპერატურის ვარსკვლავების სპექტრს (მაგალითად A კლასის), ვიდრე მინიმუმში (F ან G); მაშასადამე, მისი ტემპერატურა რამდენიმე დღეში და საათშიც კი ძალიან სწრაფად და წესიერად იცვლება მრავალი ასეული გრადუსით (ნახ. 147).

ე) ზოგიერთი მოკლეპერიოდული ცეფეიდებისათვის აღმოჩენილია ბრწყინვალეების მრუდის ფორმის პერიოდული ცვლილება (ს. ნ. ბლაჟკო).

§ 308. ცეფეიდების თეორია. ყველა ამ მოვლენას ხსნის პირველად რუსი ფიზიკოსის ნ. ა. უმოვის მიერ წამოყენებული და შეპლისა და ედინგტონის მიერ განვითარებული პულსაციის ჰიპოთეზა. ეს ჰიპოთეზა გულისხმობს, რომ ჩვენს წინაშე იმყოფება რომელიც პერიოდულად ხან იკუმშება და ხან ფართოვდება. ამასთან გაზის მოცულობისა და დრეკადობის ასეთ ცვლილებას თან უნდა სდევდეს ტემპერატურის ცვლილება. თეორია გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავის ბრწყინვალეების მაქსიმუმს ადგილი აქვს მის მაქსიმალურად შეკუმშვისას; შემდეგ სფეროს რადიუსი იზრდება, მისი ზედაპირი ყოველ სეკუნდში ათეული კილომეტრით „უახლოვდება“ დამკვირვებელს და სპექტრის ხაზები გადაადგილდებიან ისე. თითქოს მთელი ვარსკვლავი მოძრაობს ჩვენსკენ. დაკვირვებებიც ამასვე უჩვენებენ. ამ თეორიით კარგად აიხსნება პერიოდსა და ნათებას შორის დამოკიდებულება. დიდი სფერო უფრო ნელა უნდა პულსირებდეს, ვიდრე პატარა.

§ 309. გრძელპერიოდული ცვალებადი ვარსკვლავები. ცვალებადი ვარსკვლავების უმრავლესობა ამ ტიპს ეკუთვნის. ყველაზე ცნობილ გრძელპერიოდულ ცვალებად ვარსკვლავს Mira Ceti („ვეშაპის საოცარი“) წარმოადგენს; მისი ცვალებადობა აღმოჩენილი იყო XVI საუკ. ბოლოს. მისი პერიოდი 320-დან 370 დღე-ღამემდე ირყევა (საშუალო სიდიდე 332 დღე-ღამეა); მაქსიმუმში ეს ვარსკვლავი ხან თითქმის 1-ლი სიდიდისაა, ხან მხოლოდ 4-ისა ან 5-ისაც კი. მინიმუმში მისი ბრწყინვალეობა 8—9 სიდიდემდე ეცემა. ეს ვარს-



დღეულაშუაში გამოსახული დროის ლოგარითმები

ნახ. 147

უზარმაზარი გაზოვანი სფერო, რომელიც პერიოდულად ხან იკუმშება და ხან ფართოვდება. ამასთან გაზის მოცულობისა და დრეკადობის ასეთ ცვლილებას თან უნდა სდევდეს ტემპერატურის ცვლილება. თეორია გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავის ბრწყინვალეების მაქსიმუმს ადგილი აქვს მის მაქსიმალურად შეკუმშვისას; შემდეგ სფეროს რადიუსი იზრდება, მისი ზედაპირი ყოველ სეკუნდში ათეული კილომეტრით „უახლოვდება“ დამკვირვებელს და სპექტრის ხაზები გადაადგილდებიან ისე. თითქოს მთელი ვარსკვლავი მოძრაობს ჩვენსკენ. დაკვირვებებიც ამასვე უჩვენებენ. ამ თეორიით კარგად აიხსნება პერიოდსა და ნათებას შორის დამოკიდებულება. დიდი სფერო უფრო ნელა უნდა პულსირებდეს, ვიდრე პატარა.

§ 309. გრძელპერიოდული ცვალებადი ვარსკვლავები. ცვალებადი ვარსკვლავების უმრავლესობა ამ ტიპს ეკუთვნის. ყველაზე ცნობილ გრძელპერიოდულ ცვალებად ვარსკვლავს Mira Ceti („ვეშაპის საოცარი“) წარმოადგენს; მისი ცვალებადობა აღმოჩენილი იყო XVI საუკ. ბოლოს. მისი პერიოდი 320-დან 370 დღე-ღამემდე ირყევა (საშუალო სიდიდე 332 დღე-ღამეა); მაქსიმუმში ეს ვარსკვლავი ხან თითქმის 1-ლი სიდიდისაა, ხან მხოლოდ 4-ისა ან 5-ისაც კი. მინიმუმში მისი ბრწყინვალეობა 8—9 სიდიდემდე ეცემა. ეს ვარს-

კვლავი წითელი ფერისაა. მისი სპექტრი *M* კლასს ეკუთვნის და იცვლება სიკაშკაშის ცვლილებასთან ერთად.

იმავე თავისებურებებს ვამჩნევთ ამ კლასის სხვა ვარსკვლავებსაც: ბრწყინვალეების უწყვეტი ცვლილება; გრძელი პერიოდები—რამდენიმე თვიდან ორ წლამდე, რომლებიც მნიშვნელოვან რყევას განიცდიან; ბრწყინვალეების დიდი განსხვავება მაქსიმუმში და მინიმუმში; დაბოლოს იგივე სპექტრი, უმთავრესად *M* კლასისა, ტიტანის ჟანგის ფართო ზონის ცვლილებით და წყალბადის ნათელი ხაზებით. ზოგიერთი მხრით ამ ვარსკვლავების სპექტრი მზის ლაქების სპექტრის მსგავსია. ამიტომ პირველად ფიქრობდნენ, რომ ამ ვარსკვლავებზე პერიოდულად ჩნდება ლაქები, როგორც ჩვენ მზეზე, მაგრამ გაცილებით მეტი რაოდენობით, ისე რომ მაქსიმუმში ისინი მნათობის თითქმის მთელ ზედაპირს ფარავენ. მაგრამ ახლა უკვე ცნობილია, რომ ამ ტიპის ვარსკვლავები მეტისმეტად გაიშვიათებული წითელი გიგანტებია და არა მკვრივი ჯუჯები, როგორც ჩენი მზე და ამის გამო საკითხი მათი ბუნების შესახებ გართულდა. შესაძლებელია ისევე, როგორც ცეფეიდებისათვის, ჩვენ აქ საქმე გვქონდეს პულსაციასთან (სხივური სიჩქარეების ცვლილება აღმოჩენილია), რომელსაც თან სდევს როგორც ტემპერატურის, აგრეთვე ვარსკვლავის ატმოსფეროს სიმკვრივისა და ქიმიური შემადგენლობის ცვლილება. ამ ვარსკვლავების ნათესაობა ცეფეიდებთან იქიდანაც ჩანს, რომ მათთვისაც ადგილი აქვს დამოკიდებულებებს: „პერიოდი-სპექტრი“ და „პერიოდი-ნათება“ (§ 307); მხოლოდ მეორე დამოკიდებულება ასე იკითხება: „რაც უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი, მით უფრო სწრაფად იცვლება იგი“.

§ 310. არაწესიერი ცვალებადი ვარსკვლავები. ამგვარადვე უნდა აიხსნას, ალბათ, ზოგიერთი არაწესიერი ცვალებადი ვარსკვლავების ბრწყინვალეების შესუსტება, რომელთაც გარკვეული პერიოდი არ ახასიათებთ. რამდენადაც ცნობილია, ყველა ისინი აგრეთვე გიგანტებია.

ამ ტიპის სხვა ცვალებადი ვარსკვლავების ცვალებადობა შეიძლება გამოწვეული იყოს ვარსკვლავის წინ კოსმოსური მტვერის ბნელ ღრუბელთა (ნისლეულთა) გავლით, რომლებიც სინათლეს კვამლის ბოლქვების მსგავსად შთანთქავენ. მართლაც, მრავალი ცვალებადი ვარსკვლავის ახლოს სინამდვილეში აღმოჩენილია ნისლეულები. დაბოლოს, ზოგიერთი ვარსკვლავი წარმოადგენს თავისებურ გადასვლას ეგრეთ წოდებული „ახალი“ ვარსკვლავებისაკენ (იხ. § 311), ბრწყინვალეების უცაბედი ხანმოკლე გაძლიერება რამდენიმე ვარსკვლავიერი სიდიდით და თანდათანობითი დაბრუნება ნორმალურ მდგომარეობაში მრავალი წლით, მომავალ ანთებამდე.

§ 311. ახალი ვარსკვლავები. დროდადრო ცაზე აინთებიან „ახალი“ ვარსკვლავები, რომლებიც ზოგჯერ ძალიან კაშკაშა არიან. ასეთი ვარსკვლავი ყოველთვის უეცრად გამოჩნდება, 1—2 დღე-ღამეში მიაღწევს ბრწყინვალეების მაქსიმუმს, შემდეგ კი იწყებს შესუსტებას, ჯერ სწრაფად, მერე უფრო ნელ-ნელა; რამდენიმე კვირის ან, უკიდურეს შემთხვევაში, თვის შემდეგ ის შეუიარაღებელი თვალისათვის უჩინარი ხდება.

ახალი ვარსკვლავები გაცილებით ხშირად გამოჩნდება ხოლმე, ვიდრე წინათ ფიქრობდნენ და თითქმის ყოველთვის ირმის ნახტომში. ფოტოგრა-

ფიის საშუალებით ყოველ წელიწადს ხდება მკრთალი ახალი ვარსკვლავების აღმოჩენა. ძალიან კაშკაშა ვარსკვლავები, აშკარაა, უფრო იშვიათად გამოჩნდება ხოლმე.

XIX ს. აღნიშნული იყო შეუიარაღებელი თვალისათვის ხილული მხოლოდ ერთი ახალი ვარსკვლავი (1866 წ.) ჩრდილოეთის გვირგვინის თანავარსკვლავედში (*T Coronae*). მან მეორე ვარსკვლავიერ სიდიდეს მიაღწია და შემდეგ მე-9 სიდიდემდე შესუსტდა (§ 312); ასეთივე ბრწყინვალეა ჰქონდა მას ანთებამდე.

XX ს. გამოჩნდა უკვე 4 ახალი ვარსკვლავი, პირველი სიდიდისა და უფრო კაშკაშა: 1901 წ. (*Nova Persei*, ე. ი. პერსეისის ახალი), 1918 წ. (*N. Aquilae*, არწივის ახალი), 1925 წ. (*N. Pictoris*, მხატვრის ახალი) და 1934 წ. (*N. Herculis*, ჰერკულესის ახალი); ასეთი ბრწყინვალეების ახალი ვარსკვლავის წინა გამოჩენა მოხდა მხოლოდ 1604 წ.

ჩვენ ამჟამად ვიცით, რომ ეს ვარსკვლავები ახალი არაა. ძველ ფოტოგრაფიებზე „ახალი“ თითქმის ყოველთვის შეიძლება მოიძებნოს ძალიან მკრთალი ვარსკვლავის სახით. უეცრად ეს ვარსკვლავი განიცდის კატასტროფას: მისი ბრწყინვალეობა მრავალ ათასჯერ იზრდება, სულ რამდენიმე დღე-ღამეში და შეიძლება რამდენიმე საათშიც კი. დასაწყისიდან მისი ბრწყინვალეობის ზრდისათვის თვალყურის დევნება ჯერჯერობით არც ერთხელ არ მოხერხდა, რადგანაც ჩვეულებრივად „ახალ“ ვარსკვლავს ამჩნევენ, როდესაც ის აღწევს ბრწყინვალეობის მაქსიმუმს და იწყებს შესუსტებას. ბრწყინვალეობის დაცემა ზრდაზე შეუდარებლად უფრო ნელა მიმდინარეობს, მრავალრიცხოვანი არაწესიერი ანთებით ხდება, მაგრამ ბოლოსდაბოლოს რამდენიმე წლის შემდეგ ვარსკვლავი ყოველთვის უბრუნდება თავის პირვანდელ ბრწყინვალეობას. ასე, მაგალითად, 1918 წ. არწივის ახალი ვარსკვლავი ათეული წლების განმავლობაში იყო მე-11 სიდიდის, 1918 წ. 5 და 8 ივნისს შორის ის აინთო +11 სიდიდიდან —1 სიდიდემდე, ე. ი. 60 000-ჯერ უფრო კაშკაშა გახდა. შემდეგ დაიწყო სწრაფი შესუსტება და 1 ივლისისათვის ვარსკვლავი უკვე მე-4 სიდიდის იყო, ნოემბერში — მე-6 სიდიდის. 1923 წ. ის თავის ბრწყინვალეობის პირვანდელ მე-11 სიდიდეს დაუბრუნდა და ასეთია ახლაც.

უკანასკნელ ხანებში გამოჩენილი ყველა „ახალი“ ჩვენგან ძალიან შორს იმყოფება, მათი პარალაქსების გაზომვა არ ხერხდება. აქედან გამომდინარეობს, რომ მათი ნათება ძალიან დიდია: მაქსიმუმში ისინი ზეგიგანტებია აბსოლუტური სიდიდით — 3-დან — 6-მდე და შეიძლება უფრო კაშკაშებიც. მათი ნორმალური ნათება ანთებამდე და შემდეგ საშუალოდ, ალბათ, მზის ნათებასთან ახლოსაა.

ძალიან შორეულ სპირალურ ნისლეულებში (იხ. XV თავი) აღნიშნულია სრულიად განსაკუთრებული ნათების მქონე, აბსოლუტური სიდიდით — 13-დან — 15-მდე, ახალი ვარსკვლავების გამოჩენის რამდენიმე შემთხვევა, ე. ი. მზეზე ათეულ და ასეულ მილიონზეჯერ უფრო კაშკაშების. მათ ზეახალ ვარსკვლავებს უწოდებენ. ასეთი ზეახალი ვარსკვლავების ანთება შენიშნული იყო 1572 და 1604 წ. წ. ჩვენ ვარსკვლავთ სისტემაშიც.

ახალი ვარსკვლავების სპექტრი მეტისმეტად რთული და ცვალებადია. საწყის სტადიაში თვალში გვეცემა, რომ ზოგიერთი ელემენტის ხაზები, უმთავრესად წყალბადისა, ძლიერ არის გადაადგილებული იისფერი ბოლოსაკენ. ეს მიგვიჩვენებს გაზოვანი მასების მოძრაობაზე უზარმაზარი სიჩქარით, 1000—2000 კმ/სეკ ვარსკვლავის წიაღიდან დამკვირვებლისაკენ. სინამდვილეში, რასაკვირველია, ეს გაზოვანი მასები ვარსკვლავიდან ყველა მიმართულებით მიქრიან. ამგვარად, ვარსკვლავის გარშემო ჩნდება გაზოვანი გარსი, რომლის რადიუსი ყოველ სექუნდში 1000—2000 კმ-ით იზრდება. ვარსკვლავის სიკაშკაშის შემცირებასთან ერთად მისი სპექტრი მარტივდება და გაზოვანი ნისლეულის სპექტრის მსგავსი ხდება, რომელიც ხასიათდება ნათელი ხაზების არსებობით, რამდენიმე წლის შემდეგ (ყოველ შემთხვევაში ზოგიერთი „ახლისთვის“) ნისლეულის ხაზები სუსტდება და მათ ადგილს ოტიპის ვოლფ-რაიეს სპექტრი იქერს (§ 290). სპექტრის ცვალებადობის უკანასკნელი სტადიაა ეს თუ არა, ჯერ გამოურკვეველია.

ვარსკვლავის გარშემო ნისლეულის წარმოშობა ზოგჯერ უშუალოდ ჩანს. 1918 წ., არწივის ახლის ანთების რამდენიმე თვის შემდეგ, მის გარშემო გამოჩნდა მრგვალი ნისლოვანი გარსი 1"-ის დიამეტრით. ფოტოგრაფიულ სურათებზე ეს გარსი მოჩანდა 1930 წლამდე; ის თანდათან სუსტდებოდა და მისი რადიუსი კი იზრდებოდა წელიწადში თითქმის 1"-ით. ეს გარსი შედგებოდა წყალბადის მასებისაგან, რომლებიც გამოტყორცნილი იყო 1918 წ. „ახლის“ ანთების დროს დაახლოებით 1700 კმ/სეკ. სიჩქარით (სპექტრული მონაცემებით) და დაახლოებით ასეთივე სიჩქარით განაგრძობდა მოძრაობას.

ახალი ვარსკვლავების ანთების ასახსნელად წამოყენებული იყო მრავალი ჰიპოთეზა. ეჭვს გარეშეა, რომ „ახალი“ ვარსკვლავის ანთება წარმოადგენს მისთვის გრანდიოზულ კატასტროფას; მაგრამ ეს კატასტროფა არასოდეს არ იწვევს ვარსკვლავის მოსპობას; იგი თანდათან უბრუნდება თავის პირვანდელ ბრწყინვალეობას.

ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვი თვლის, რომ ვარსკვლავთ წიაღში თანდათან გროვდება ენერგია და შემდეგ უტბად, მკვეთრი ნახტომით, უზარმაზარი რაოდენობით თავისუფლდება, რაც იწვევს ვარსკვლავის ანთებას, ამასთან ვარსკვლავი არ ისპობა, არამედ თავის გარეგანი გაზოვანი გარსის ნაწილს გამოტყორცნის, რომელიც სწორედ ვარსკვლავის გარშემო ნისლეულს ქმნის.

ა. ი. ლებედინსკიმ და ლ. ე. გურვიჩმა 1946 წ. დაამუშავეს თეორია, რომლის თანახმად ახლის ანთება წარმოადგენს ვარსკვლავის ზედა ფენებში აფეთქების შედეგს, რომელიც გამოწვეულია ატომური რეაქციებით.

ასეთი აფეთქებები ხდება მხოლოდ გარკვეული ტიპის ვარსკვლავებში. ვარსკვლავების უმრავლესობა, მათ შორის ჩვენი მზეც, არ ეკუთვნის იმ ვარსკვლავთა რიცხვს, რომლებსაც შეუძლიათ აფეთქდნენ, როგორც ახლებს.

§ 812. ახლისმსგავსი ვარსკვლავები. ცნობილია რამდენიმე ცვალებადი ვარსკვლავი, რომლებიც დროდადრო განიცდიან „ახლის“ მსგავს ანთებას, ამასთან შემჩნეულია ერთგვარი დამოკიდებულება სიკაშკაშის ცვლილების ამპლიტუდასა და ანთებათა საშუალო პერიოდებს შორის. ამ ფაქტზე

დაყრდნობით 1934 წ. ბ. ვ. კუჯარკინი და პ. პ. პარენაგო მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ 1866 წ. ჩრდილოეთის გვირგვინის ახალი (§ 311) სინამდვილეში ახლისმსგავს ვარსკვლავს წარმოადგენს. ანთებებს შორის პერიოდი მათ მიიღეს 60-დან 100 წლამდე (თუმცა ვარსკვლავის ადრინდელი ანთების შესახებ არავითარი ცნობები არ იყო). ეს შესანიშნავი სიზუსტით დადასტურდა 1946 წ., ე. ი. 80 წლის შემდეგ: ვარსკვლავი კვლავ აინთო მეორე სიდიდემდე.

ფიზიკურად ცვალებადი ვარსკვლავების, ე. ი. ზევაპარვარებულ გაზოვან მასებზე დაკვირვებით, რომლებიც ბრუნავენ და პულსირებენ უპაირო სივრცეში, ჩვენ თითქოს ვაწარმოებთ უდიდეს ფიზიკურ და ქიმიურ ცდებს; ნივთიერებას შევისწავლით ისეთ მდგომარეობაში, რომელიც არ შეიძლება განიხორციელდეს დედამიწის ლაბორატორიებში. ამაში მდგომარეობს ცვალებადი ვარსკვლავების მნიშვნელობა არა მარტო ასტროფიზიკისთვის, არამედ ფიზიკისთვისაც, ე. ი. საზოგადოდ მატერიის აგებულებიის შესწავლისათვის.

ასტრომეტრიაშიც მეტისმეტად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ფიზიკურად ცვალებადი ვარსკვლავები; ისინი საშუალებას იძლევიან გავზომოთ ისეთი შორეული ვარსკვლავების მანძილები (§ 307), რომელთა გაზომვა ჩვეულებრივი ასტრომეტრიული გზით არ ხერხდება, მაგალითად, მანძილები სხვა ვარსკვლავთ სისტემებამდე.

ამგვარად, ცვალებადი ვარსკვლავები ძლიერ იარაღს წარმოადგენს ვარსკვლავთ სამყაროს შესასწავლად.

ვარსკვლავთ სხვადასხვა სისტემის ცვალებადი ვარსკვლავების შედარებითი შესწავლა სინათლეს მოჰფენს; როგორც ცალკეული ვარსკვლავების, აგრეთვე ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობისა და ევოლუციის საკითხს; ამ გზით მიღებული ზოგიერთი შედეგი იხ. XV თავში.

სავარჯიშოები XIV თავისთვის

1. კაპელას პარალაქსი 0",06-ია. გამოვსახოთ მისი მანძილი პარსეკებში, სინათლის წლებში და კილომეტრებში (§ 118).

2. შესაძლებელი შეცდომა (აღბათი ცდომილება) კაპელას პარალაქსში 0",008 ს შეადგენს. რა გავლენას ახდენს იგი ვარსკვლავის მანძილზე?

3. რიგელის (ორიონის β) პარალაქსი 0",006 ია. მისი გაზომვის აღბათი ცდომილება ისეთივეა, როგორც კაპელასი. რა შეიძლება ითქვას ვარსკვლავის მანძილზე?

4. რას უდრის მზის წლიური პარალაქსი? მისი მანძილი პარსეკებში? მითითება. ამოცანა უნდა გადაწყდეს პარალაქსის ზუსტი ფორმულით (§ 108).

5. უდიდესი ბრწყინვალეების დროს ვენერას ვარსკვლავიერი სიდიდე — 4^m,3-ს უდრის, ვეგასი კი + 0^m,1-ს. რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ვენერა ვეგაზე?

6. ვეშაპის ცვალებადი ვარსკვლავი „ვეშაპის საოცარი“ (Mira Ceti) ბრწყინვალეების მაქსიმუმში 2,5 სიდიდეს აღწევს, მინიმუმში კი 9,2 სიდიდეს. რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ის მაქსიმუმში, ვიდრე მინიმუმში?

7. ჩრდილოეთ ცაზე მე-6 სიდიდის ვარსკვლავები 2000-ია. რამდენჯერ უფრო ძლიერია მათი საერთო სინათლე სირიუსის სინათლეზე, რომლის ვარსკვლავიერი სიდიდე— $1^m,6$ -ია? პასუხი: ორჯერ.

8. ორმაგი ვარსკვლავი კასტორი (მარჩბივის α) 2,0 და 2,8 ვარსკვლავიერი სიდიდის ორი ვარსკვლავისაგან შედგება. როგორია ვარსკვლავის საერთო სიკაშკაშე ვარსკვლავიერ სიდიდეებში? პასუხი: $1^m,6$.

9. 1901 წლის „ახალი“ ვარსკვლავი (Nova Persei) ორ დღე-ღამეში მე-12 სიდიდიდან მეორემდე აინთო. რამდენჯერ გაიზარდა მისი ბრწყინვალეობა ამ დროის განმავლობაში?

10. კაპელას ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდე (1 სავარჯიშო) $m = +0,2$. მოგნახოთ მისი აბსოლუტური სიდიდე M და ნათება L . პასუხი: $M = -0^m,6$, $L = 110$.

11. იგივე სიდიდეები მონახეთ რიგელისათვის (3 სავარჯიშო; $m = +0,3$):
1) თუ უაღბათესი პარალაქსი $0'',006$ -ია;

2) თუ პარალაქსი $0'',002$ -ია. პასუხი: $L_1 = 16000$.

12. რამდენჯერ უფრო სუსტია მზესთან შედარებით ვარსკვლავი კენტაურის უახლოესი (Proxima Centauri), რომლისთვისაც $\pi = 0'',76$, $m = 10^m,5$? პასუხი: 9200-ჯერ.

13. თუ ყველა ვარსკვლავის აბსოლუტური სიდიდე საშუალოდ ერთნაირია, მაშინ მე-6 სიდიდის ვარსკვლავი რამდენჯერ უფრო შორს არის პირველი სიდიდისაზე?

14. რამდენი სიდიდით სუსტდება ვარსკვლავი, თუ მისი მანძილი ორჯერ გაიზარდება? თუ მანძილი n ჯერ გაიზარდება?

15. რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ვარსკვლავის მანძილი, მისი ბრწყინვალეობა 1 ვარსკვლავიერი სიდიდით რომ შესუსტდეს? m სიდიდით?

16. ჩენი მზის სისტემა უახლოვდება ვეგას ($\pi = 0'',12$) ყოველ სექუნდში 14 კილომეტრით. თუ მომავალშიც მოძრაობა ასეთივე სიჩქარით გაგრძელდება, რამდენი წლის შემდეგ გაიზარდება ვეგას ბრწყინვალეობა $0^m,1$ -ით? პასუხი: 27 ათასი წლის შემდეგ.

17. ახალ ვარსკვლავს არწივის თანავარსკვლავედში 1918 წელს (§ 311) ბრწყინვალეობის მაქსიმუმის დროს ჰქონდა აბსოლუტური სიდიდე $M = -8,8$. რამდენჯერ უფრო მეტად კაშკაშა იყო ის მზეზე? რა მანძილზე იმყოფებოდა ის, როდესაც მისი ხილული სიდიდე $m = -1,1$ იყო? რა მანძილზე გამოჩნდებოდა ის ისეთივე კაშკაშა, როგორც სავსე მთვარე (სავსე მთვარის საშუალო ბრწყინვალეობა $-12^m,6$ -ის ტოლია)? პასუხი: 1,8 პარსეკის მანძილზე, ე. ი. უახლოეს ვარსკვლავებზე უფრო შორს.

18. როგორი ჩანს მზე უახლოესი ვარსკვლავიდან (იხ. 12 სავარჯიშო)? პასუხი: $+0,6$ სიდიდის ვარსკვლავად.

19. გამოიანგარიშეთ ორმაგი ვარსკვლავის კენტაურის α ს მასა, რომლისთვისაც $\pi = 0'',76$, $P = 79$ წელიწადს, $a = 17'',6$. პასუხი: $m_1 + m_2 = 2,1$ მზის მასას.

თავი მეთხუთმეტი

სამხაროს აგებულება

I. ვარსკვლავთ მოძრაობანი

§ 313. ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობანი, ვარსკვლავებს, ცთომილები საგან განსხვავებით, ხშირად უწოდებენ უძრავებს, მაგრამ, სინამდვილეში, ყველა ისინი მოძრაობენ სხვადასხვა მიმართულებით. ვარსკვლავთ ხილული მოძრაობანი იმდენად ნელია, რომ უბრალო თვალთ მათი შემჩნევა შესაძლებელია მხოლოდ რამდენიმე ათასი წლის გავლის შემდეგ. ამიტომ არის, რომ თანავარსკვლავედთა ფიგურები ჰიპარქეს დროიდან შესამჩნევად არ შეცვლილა.

შეუიარაღებელი თვალთ ხილული ვარსკვლავების უდიდესი ნაწილის საკუთარი მოძრაობა წელიწადში $0'',1$ -ზე ნაკლებს შეადგენს; გაცილებით უფრო მკრთალი ვარსკვლავების დიდ უპრაველსობას უფრო ნელი მოძრაობა აქვს და მისი სიდიდე საშუალოდ სიკაშკაშის შემცირებასთან ერთად მცირდება. მაგრამ აღმოჩენილია საკმაოდ დიდი რაოდენობა ვარსკვლავებისა, რომელნიც გაცილებით უფრო სწრაფად მოძრაობენ; როგორც საერთო წესი, ვარსკვლავის სწრაფი მოძრაობა მივეითითებს მის სიხლოვეზე. ასე, მაგალითად, ჩვენთან ყველაზე ახლო ვარსკვლავის კენტავრის α -ს საკუთარი მოძრაობა $3'',7$ -ია წელიწადში. ყველაზე დიდი საკუთარი მოძრაობა, სახელობრ, $10''$ წელიწადში, აქვს მე-10 სიდიდის ვარსკვლავს გელისნეჭერის თანავარსკვლავედში. ჩვენთვის ხილულ მე-5 სიდიდეზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავთ შორის წელიწადში $2''$ -ზე მეტი საკუთარი მოძრაობა აქვს მხოლოდ ერთს, ეს არქტურია.

ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობანი მიმართულია ყოველთვის ცის სფეროს დიდ წრეებზე; მაშასადამე, პირველი მიხლოებით ვარსკვლავები მოძრაობენ სივრცეში სწორ ხაზებზე. ვარსკვლავთ ჰემმარიტი ორბიტები უმკველია მრუდხაზოვანია, მაგრამ იმ მოკლე დროში, რომლის განმავლობაშიც ზუსტი დაკვირვებები წარმოებს, ამ გამრუდებათა შემჩნევა ჩვენ ჯერ კიდევ ვერ შევძელით. ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობანი ყოველთვის განისაზღვრება რკალის სეკუნდებით წელიწადში (μ'').

§ 314. მოძრაობა მხედველობის სხივის გასწვრივ. სპექტრული ხაზების გადაადგილებაზე დაკვირვება საშუალებას გვაძლევს დოპლერ-ბელოპოლსკის პრინციპის (§ 194) მიხედვით განესაზღვროთ ვარსკვლავის სხივური სიჩქარე, ე. ი. სიჩქარე, რომლითაც ვარსკვლავი გვიახლოვდება ან გეშორდება. ამჟამად ეს სხივური სიჩქარეები გაზომილია მრავალი ათასი ვარსკვლავისათვის. მათი უმრავლესობა აღმოჩნდა იმავე რიგისა, რაც მზის ირგვლივ დედამიწის მოძრაობის სიჩქარე (დაახლოებით 30 კმ/სექ). მოგვეყვანს ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავთ სიჩქარეები. ნიშანი (+) ნიშნავს დაშორებას, (-) მოახლოებას;

სირიუსი	-- 8 კმ/სექ	არქტური	-- 5 კმ/სექ
კანოპუსი	+ 30	რიგელი	+ 21
კენტავრის α	-- 22	პროციონი	-- 4
ვეგა	-- 14	ალტაირი	-- 33
კაპელა	+ 30 „	ალდებარანი	+ 55

მკრთალ ვარსკვლავთა მცირე რიცხვისათვის ნაპოვნი იყო ძალიან დიდი სხივური სიჩქარეები, 500 კმ/სექ-ზე მეტი.

§ 315. ვარსკვლავთ ჰეშმარიტი სიჩქარეები. თუ ცნობილია ვარსკვლავის ხილული საკუთარი მოძრაობა წელიწადში μ'' , მისი სხივური სიჩქარე V და მანძილი D , შეიძლება გამოვითვალოთ მისი ჰეშმარიტი სიჩქარე სიერცეში (მზის მიმართ).

ვარსკვლავის ტანგენციალური სიჩქარე T , ე. ი. სიჩქარე, რომელიც პერპენდიკულარულია მხედველობის სხივისა, ცხადია, იქნება:

$$T = D \sin \mu'' = \frac{\sin \mu''}{\pi''}, \quad (1)$$

სადაც π'' არის ვარსკვლავის წლიური პარალაქსი, გამოსახული სეკუნდებში. μ'' კუთხის სიმცირის გამო ეს ფორმულა შეიძლება დავწეროთ შემდეგი სახით:

$$T = \frac{\sin \mu''}{\pi''} = \frac{\mu'' \sin 1''}{\pi''} = \frac{\mu''}{206265 \cdot \pi''}. \quad (2)$$

აქ T სიჩქარე გამოსახულია პარსეკებით წელიწადში, რადგანაც $\frac{1}{\pi''} = D$ გამოსახულია პარსეკებში, ხოლო μ'' კი მოცემულია ერთი წლისათვის. რომ გადავიდეთ კილომეტრებზე სეკუნდში, საჭიროა T გავამრავლოთ კილომეტრების რიცხვზე ერთ პარსეკში და გავყოთ სეკუნდების რიცხვზე წელიწადში. რადგანაც 1 პარსეკი = 206265 ასტრონომიულ ერთეულს, 1 ასტრონომიული ერთეული = 149,5 10^6 კმ, წელიწადი შეიცავს 365,2 დღე-ღამეს, ხოლო 1 დღე-ღამე — 86400 სეკუნდს, ამიტომ

$$1 \frac{\text{პარსეკი}}{\text{წელიწადი}} = \frac{206265 \cdot 149,5 \cdot 10^6}{365,2 \cdot 86400} = 206265 \cdot 4,74 \text{ კმ/სექ.}$$

თუ ჩაესვამთ მიღებულ კოეფიციენტს (2) ფორმულაში და შეგვეცავთ 206 265-ზე, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$T = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''} \text{ კმ/სეკ.} \quad (3)$$

თუ ცნობილია კიდევ სხივური სიჩქარეც V კმ/სეკ, მაშინ სიჩქარე სივრცეში (მზის მიმართ) შეიძლება ვიპოვოთ ფორმულიდან

$$v^2 = T^2 + V^2. \quad (4)$$

სიჩქარეთა განსაზღვრა ამ ფორმულით წარმოებულა მრავალი ათასი ვარსკვლავისათვის. ზოგიერთი მკრთალი ვარსკვლავისათვის მიღებული იყო სიჩქარეები 800 კმ/სეკ-მდე და უფრო მეტიც.

§ 316. მზის სისტემის მოძრაობა. მსგავსად სხვა ვარსკვლავებისა, მზეც აგრეთვე მოძრაობს სივრცეში.

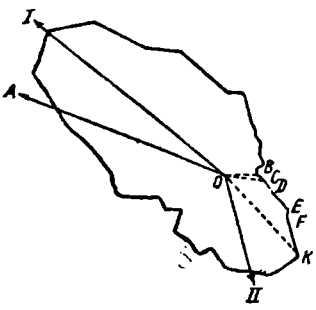
ვარსკვლავები რომ უძრავნი იყვნენ და მხოლოდ მზის სისტემა მოძრაობდეს, მაშინ ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობა იქნებოდა ჩვენი სისტემის მოძრაობის უბრალო ანარეკლი. ცის იმ მხარეში, საითკენაც ჩვენ ვმოძრაობთ, ვარსკვლავები სხვადასხვა მხარეს გაიშლებოდნენ, ხოლო საწინააღმდეგო მხარეს კი ვარსკვლავები, რომელთაც ჩვენ ვშორდებით, მიუახლოვდებოდნენ ერთიმეორეს. მაგრამ, რადგანაც თვით ვარსკვლავებიც მოძრაობენ, ამიტომ მათი ხილული, საკუთარი მოძრაობა შედგება ორი მოძრაობისაგან—„პარალაქტური-სა“ და ეგრეთ წოდებული პეკულარულისაგან, ე. ი. მოძრაობისაგან, რომელიც თვით ვარსკვლავს ეკუთვნის. ამოცანა გამარტივდება, თუ დავუშვებთ, რომ ვარსკვლავთ პეკულარული მოძრაობები სრულიად უწყისრიგია. მაშინ, ვარსკვლავთა დიდი რაოდენობის შემთხვევაში, პეკულარული მოძრაობანი საშუალოდ ერთმანეთს აბათილებენ, ხოლო პარალაქტური მოძრაობები კი დარჩება და მზის მოძრაობის მიმართულა შეიძლება ვიპოვოთ ისევე, როგორც უძრავი ვარსკვლავების შემთხვევაში.

ჰერშელმა აღმოაჩინა, რომ ვარსკვლავთ ხილული მოძრაობები პერკულესის თანავარსკვლავიდიდან განიშლებიან და, მაშასადამე, ამ თანავარსკვლავიდიში იმყოფება მზის სისტემის აპექსი (წერტილი, რომლისკენაც მიმართულია მისი მოძრაობა). მოკემულ იქნა აპექსის მდებარეობისა და ვარსკვლავთ მიმართ მზის სისტემის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრის რამდენიმე ხერხი. ერთი საუკეთესო ხერხთაგანი ეკუთვნის მ. ა. კოვალსკის. შემდეგში აპექსის კოორდინატები და უახლოეს ვარსკვლავთ მიმართ მზის სისტემის მოძრაობის სიჩქარე განსაზღვრული იყო მრავალი მეცნიერის მიერ, მათ შორის საბჭოთა მეცნიერების: ვ. გ. ფესენკოვის, პ. პ. პარენაგოს, კ. თ. ოგოროდნიკოვისა და რ. ვ. კუნინცის მიერ. აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა ასტრონომის მიერ მიღებული აპექსის კოორდინატები უფრო ცუდად ეთანხმება ერთმანეთს, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო. ამიტომ საესებით საკმარისია დავიმახსოვროთ ამ კოორდინატებისათვის შემდეგი დამრგვალებული რიცხვები: $\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$; სიჩქარე 20 კმ/სეკ.

ცალკეული შედეგების ცუდი შეთანხმება მივითითებს იმაზე, რომ პიპოთეზა ვარსკვლავთ მოძრაობის სრულ უწყისრიგობაზე, რაც წარმოადგენს

ყველა განსაზღვრის საფუძველს, არაა სულ მთლად სწორი (იხ. § 317 და 334).

§ 817. კაპტეინის ვარსკვლავთ ნაკადები. აპექსიდან ვარსკვლავთ მოძრაობა, აღმოჩენილი 1783 წ., ას წელზე მეტ ხანს რჩებოდა ვარსკვლავთ მოძრაობებში შემჩნეულ ერთადერთ კანონზომიერებად. მაგრამ ეს მოძრაობა არსებითად ვარსკვლავებს არ ეკუთვნის, ეს მოძრაობა პარალაქტურია. თვით ვარსკვლავთ მოძრაობა კი ითვლებოდა სრულიად უწესრიგოდ. პირველი კანონზომიერება თვით ვარსკვლავთ პეკულარულ მოძრაობებში აღმოჩენილი იყო მხოლოდ 1904 წ. ჰოლანდიელი ასტრონომის კაპტეინის მიერ. მან მთელი ვარსკვლავიერი ცა დაყო რამდენიმე ათეულ, დაახლოებით ტოლ არედ და გამოირკვია რამდენიმე ასეული ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობა თითოეულ ასეთ არეში. ვარსკვლავთ მოძრაობა რომ სავსებით უწესრიგო ყოფილიყო, ხოლო მზის სისტემა კი უძრავი, მაშინ მოცემულ არეში მოძრაობათა ყველა მიმართულებას ერთნაირი ალბათობა ექნებოდა; ამიტომ ვარსკვლავთა დიდი რაოდენობის შემთხვევაში ყოველი მოცემული მიმართულებით დაახლოებით იმდენივე ვარსკვლავი იმოძრაებდა, რამდენიც ყოველი სხვა რომელიმე მიმართულებით. სიჩქარეებს ექნებოდა ეგრეთ წოდებული „წრიული განაწილება“. მაგრამ მზის სისტემის მოძრაობის შედეგად (§ 316) ვარსკვლავებს, გარდა პეკულარული მოძრაობისა, აქვთ კიდევ „პარალაქტური“ მოძრაობა, რომელიც მიმართულია აპექსიდან (ანტიპექსისაკენ); თუ ცის არე ძალზე დიდი არ არის, მაშინ ეს მიმართულებები ანტიპექსისაკენ არის ყველა ვარსკვლავისათვის შეიძლება ჩავთვალოთ ურთიერთ პარალელურად. მიუხედავად დეიმეტრიულად ვარსკვლავთ პეკულარულ მოძრაობებს ეს „პარალაქტური“ მოძრაობანი. ახლა ანტიპექსისაკენ მოძრავი ვარსკვლავთ რიცხვი გაიზრდება. სიჩქარეთა განაწილება დაახლოებით „ელიფსური“ გახდება; იქნება ერთი „უპირატესი მიმართულება“, რომლისკენაც იმოძრაებენ ვარსკვლავთ ყველაზე მეტი რაოდენობა—ეს არის მიმართულება ანტიპექსისაკენ, საწინააღმდეგო მიმართულებით, აპექსისაკენ, იმოძრაებენ ვარსკვლავთ ყველაზე მცირე რაოდენობა.



ნახ. 148.

სინამდვილეში კი აღმოჩნდა, რომ ცის ყოველ მოცემულ არეში არსებობს ვარსკვლავთ მოძრაობის არა ერთი უპირატესი მიმართულება, არამედ ორი მიმართულება, რომელნიც ერთმანეთს შორის შეადგენენ თითქმის ყოველთვის ბლაგვ კუთხეს (ნახ. 148).

ნახ. 148-ზე წარმოდგენილია კაპტეინის გამოკვლევათა შედეგი. O წერტილიდან,

რომელიც წარმოადგენს ცის სფეროს ცენტრს (§ 10), ყოველი 10°-ის შემდეგ გადაზომილია ვექტორები, რომლებიც პროპორციულია მოცემული მიმართულებით მოძრავ ვარსკვლავთ რაოდენობისა. მაგალითად, 4 ვარსკვლავი მოძრაობს მიმართულებით, რომელიც მოთავსებულია 1 სექტორის შიგნით

(0—10°), 5 ვარსკვლავი—მე-2 სექტორის შიგნით (10—20°), 14 ვარსკვლავი—მე-6 სექტორის შიგნით (50—60°); ეს რიცხვები 4, 5, 14 გადაზომილია ვექტორების სახით: $OB=4$, $OC=5$, $OK=14$. ყველა 36 ვექტორის ბოლო, რომლებიც შეერთებულია ჩაკეტილი ტეხილი ხაზით, გვაძლევს „კაპტეინის ფიგურას“. დიაგრამიდან ჩანს, რომ მოცემულ არეში ქარბობს OI (I ნაკადი) და OII (II ნაკადი) ხაზების გასწვრივ მიმართული მოძრაობები და არა A ანტიპექსისაკენ მიმართული. მიმართულება ანტიპექსისაკენ არ თანხვდება არც ერთ ამ მიმართულებათაგანს, არამედ ყოველთვის მოთავსებულია მათ შორის კუთხის შიგნით. როდესაც გადავდივართ ცის ერთი უბნიდან მეზობელ უბანზე, კუთხე უპირატეს მიმართულებათა შორის თანდათან იცვლება, მაგრამ მიმართულებას, რომელიც პირველ უბანში აღენიშნეთ I-ით, ყოველთვის ადვილად ვიპოვით სხვა უბნებშიც და ყოველთვის შევძლებთ განვასხვავოთ II მიმართულებასაგან. თუ ვავაგრძელებთ I მიმართულებებს მთელი ცისათვის (რომელიც დაყოფილია არეებად), ყველა ეს მიმართულება დაახლოებით ერთ წერტილში გადაიკვეთება. აღენიშნოთ ის V_1 -ით. ყველა II მიმართულება გადაიკვეთება სხვა V_2 წერტილში, რომელიც პირველისაგან დაშორებული იქნება დაახლოებით 130° -ით. ეს წერტილები, რომლებსაც უპირატესად მიმართულია ვარსკვლავთ ხილული მოძრაობანი, იწოდება ხილულ ვერტექსებად (vertex—ლათინურად „წვერო“), ხოლო თვით ვარსკვლავთ მოძრაობანი მათკენ კი—„ვარსკვლავთ დინებებად“ ანუ „ნაკადებად“. ცის ნებისმიერ არეში დაახლოებით ტოლი რაოდენობით არის შერეული ორივე ნაკადის ვარსკვლავები.

კაპტეინმა ახსნა, თუ რატომ არ არის ხილულ ვერტექსებს შორის კუთხე 180° -ის ტოლი. მას ასეთი სიდიდე ექნებოდა, ვარსკვლავთ მოძრაობას რომ ვაკვირდებოდეთ არა მზის სისტემიდან, რომელიც თვით მოძრაობს, არამედ რომელიმე უძრავი წერტილიდან; მაშინ ორივე ნაკადის მოძრაობა მიმართული იქნებოდა ცის სფეროს ორ დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილებისაკენ. ამ წერტილების, რომელთაც ჰემარიტი ვერტექსები ეწოდებათ, მდებარეობათა გამოთვლამ მოგვცა შემდეგი შედეგები:

I ნაკადი: $\alpha=95^\circ$, $\delta=+10^\circ$ (ორიონის თანავარსკვლავედი)

II ნაკადი: $\alpha=275^\circ$, $\delta=-10^\circ$ (თარის თანავარსკვლავედი).

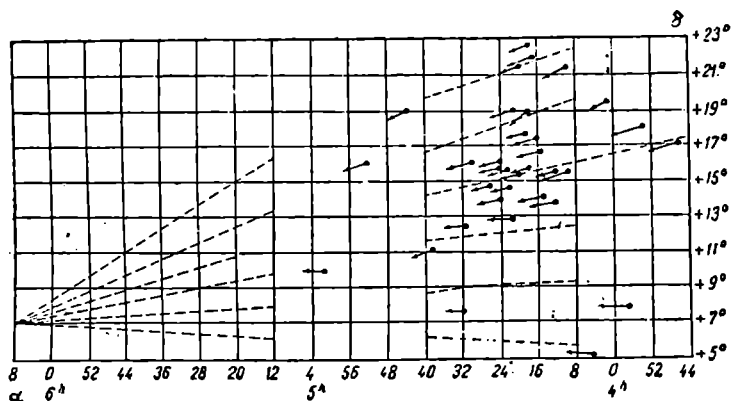
ორივე წერტილი მდებარეობს ირმის ნახტომში. მზის სისტემის მოძრაობის მიმართულება ახლოა II ნაკადის მიმართულებასთან. ორივე ნაკადი შეიცავს დაახლოებით ვარსკვლავთა თანაბარ რიცხვს. ვარსკვლავთ ნაკადების მოვლენა შემჩნეულია ვარსკვლავთა სხივურ სიჩქარეებშიც (§ 314). ამან საშუალება მოგვცა გავვესაზღვრა ერთი ნაკადის სიჩქარე მეორის მიმართ. ის აღმოჩნდა დაახლოებით 40 კმ/სეკ-ის ტოლი.

§ 318. მოძრავი გროვები. კაპტეინის ნაკადები შეიცავს, სულ მცირე, ათეულ ათასობით ვარსკვლავს, მაგრამ ისინი იძლევიან მხოლოდ იმ მიმართულებებს, რომელნიც უპირატესნი არიან მოცემული ვარსკვლავთ კომპლექსისათვის; ნაკადის ცალკეულ ვარსკვლავთა მოძრაობის მიმართულება შეიძლება დიდად განსხვავდებოდეს მთელი ნაკადის მოძრაობისაგან. მაგრამ არსებობს ისეთი

ჯგუფები ვარსკვლავებისა, რომელთაც თითქმის ზუსტად ერთნაირი მოძრაობა აქვთ სივრცეში. ამასთან ერთად, ასეთი „ნაკადების“ ვარსკვლავთ შორის მანძილები იმდენად დიდია, რომ მათი ურთიერთმიზიდულობა სრულიად შეუმჩნეველია. ასეთი ნაკადი უკვე ნაპოვნია დაახლოებით ათამდე. მათ შორის ყველაზე შესანიშნავია დიდი დათვის ნაკადი; ის ცნობილია გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან.

ამ თანავარსკვლავედის 7 მთავარი ვარსკვლავიდან ხუთს („ციცხვის“ შუა ვარსკვლავებს) თითქმის ერთნაირი საკუთარი მოძრაობა აქვს; თუ ამ მოძრაობათა მიმართულებებს გადავიტანთ ვარსკვლავთ რუკაზე და გავაგრძელებთ უკან, აღმოჩნდება, რომ ყველა ისინი თავს მოიყრიან ერთ წერტილში, დაახლოებით, თანავარსკვლავედის შუა ადგილიდან 40° -ის მანძილზე. ისევე, როგორც მეტეორების შემთხვევაში, ამ წერტილსაც შეიძლება აგრეთვე ვუწოდოთ რადიანტი (§ 272); მას აქაც იგივე აზრი აქვს: სინამდვილეში ხუთივე ვარსკვლავი მოძრაობს სივრცეში პარალელურად, ამასთანავე მთელი გროვა ჩვენ გვიახლოვდება.

ასევე კარგად არის შესწავლილი ჰიადების ნაკადი (ვარსკვლავთ გროვა კუროს თანავარსკვლავედში, ნახ. 149). ეს გროვა ჩვენგან შორს იმყოფება.



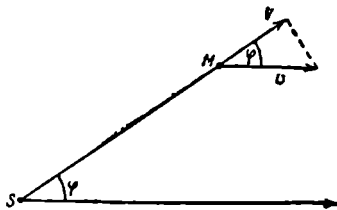
ნახ. 149.

ამ ნაკადის ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობანი თავს იყრიან ერთ წერტილში (და არ განიშლებიან, როგორც დიდი დათვის ნაკადში). მათი თავმოყრის წერტილი, ანუ ნაკადის ვერტექსი, მდებარეობს გროვის შუა წერტილიდან მხოლოდ 27° -ის მანძილზე. ამგვარად, მთელი გროვა გვშორდება ჩვენ, მისი ხილული სიდიდე დროთა განმავლობაში უნდა შემცირდეს და მრავალი მილიონი წლის შემდეგ მას ექნება მჭიდრო ვარსკვლავთ გროვის სახე რამდენიმე მიწუტიანი დიამეტრით (ახლა მისი დიამეტრი 15° -ზე მეტია). აქედან ჩანს, რომ ვარსკვლავთ ნაკადებსა და ვარსკვლავთ გროვებს შორის

პრინციპული განსხვავება არ არის; ამიტომ ნაკადებს ხშირად მოძრავ გროვებსაც უწოდებენ.

შენიშნოთ, რომ სივრცეში დიდი დათვის ნაკადის მოძრაობის მიმართულეა ძალიან ახლოა კაპტეინის II ნაკადის ვერტექსისაკენ მიმართულეა ბასთან, ხოლო ჰიადების მოძრაობის მიმართულეა დაახლოებით 30° -ით არის გადახრილი I ნაკადის მიმართულეებისაგან.

§ 319. მოძრავ გროვათა პარალაქსების განსაზღვრა. თუკი ცნობილია სხივური სიჩქარე ნაკადის ერთი ვარსკვლავისათვის მინც, ადვილად შეიძლება განესაზღვროთ ნაკადში შემავალ ვარსკვლავთა პარალაქსები. მართლაც, ნაკადის ვარსკვლავთ მოძრაობის მიმართულეა პარალელური უნდა იყოს იმ მიმართულეებისა, რომლითაც მოჩანს ნაკადის ვერტექსი (ნახ. 150) მზიდან (ან დედამიწიდან). დაუშვათ, რომ ნაკადის რომელიმე M ვარსკვლავი იმყოფება ვერტექსიდან φ კუთხურ მანძილზე. ცხადია, φ კუთხე ტოლია მხედველობის SM სხივისა და ნაკადის s სიჩქარის მიმართულეებს შორის კუთხისა. თუ ახლა ცნობილია მხედველობის სხივის გასწვრივ სიჩქარე, რომელიც უდრის V კმ/სეკ. შეიძლება განესაზღვროთ ვარსკვლავების სივრცული სიჩქარე:



ნახ. 150.

$$v = \frac{V}{\cos \varphi}, \quad (5)$$

და ასევე ტანგენციალური სიჩქარე კმ/სეკ-ში:

$$T = V \operatorname{tg} \varphi = v \sin \varphi.$$

უკანასკნელი სიდიდისათვის გვაქვს (3) (§ 315) ფორმულა:

$$T = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''},$$

სადაც μ'' ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობაა, გავუტოლებთ რა ამ ორ გამოსახულებას ურთიერთს, განესაზღვრავთ π პარალაქსს.

$$\pi'' = \frac{4,74 \mu''}{V \operatorname{tg} \varphi} = \frac{4,74 \mu''}{v \sin \varphi}. \quad (6)$$

ამ ფორმულით შეიძლება განესაზღვროთ პარალაქსი არა მარტო იმ ვარსკვლავისა, რომლისთვისაც გაზომილია სხივური სიჩქარე V , არამედ ნაკადის ყოველი ვარსკვლავისთვისაც, რადგანაც v სივრცული სიჩქარე ნაკადის ყველა წევრისათვის ერთი და იგივეა. ეს ვარსკვლავთ მანძილების განსაზღვრის ერთი საუკეთესო მეთოდთაგანია. ჰიადების ნაკადისათვის (§ 318) იგი გვაძლევს პარალაქსს $0'',025$ (მანძილი $D = 120$ სინათლის წელს).

§ 320. კავშირი სპექტრულ კლასსა და სიჩქარეს შორის. ეს დამოკიდებულება მდგომარეობს იმაში, რომ ვარსკვლავთ საშუალო სიჩქარე მით მეტია, რაც უფრო წითელია ვარსკვლავი. ყველაზე ნელა მოძრაობენ *B* კლასის „ორიონისეული“ ვარსკვლავები, თითქმის სამჯერ უფრო სწრაფად — *M* კლასის წითელი ვარსკვლავები. მოგვყავს მთავარი სპექტრული კლასების ვარსკვლავთ საშუალო სივრცული სიჩქარეები, გამოყვანილი 4233 ვარსკვლავის შესწავლის საფუძველზე. ეს სიჩქარეები შესწორებულია მზის სისტემის მოძრაობაზე (§ 316).

სპექტრული კლასი *O B A F G K M*
 სივრცული სიჩქარე 32,6 14,9 17,6 24,9 51,6 58,8 63,0 კმ/სეკ.

კიდევ უფრო საინტერესოა სხვა დამოკიდებულება: როგორც ჩანს, მკრთალი ვარსკვლავები კაშკაშა ვარსკვლავებზე უფრო სწრაფად მოძრაობენ. მაგალითად, *K* სპექტრული კლასის ვარსკვლავების სიჩქარე იზრდება აბსოლუტური სიდიდის შეპტირებასთან ერთად: 1-ლი აბსოლუტური სიდიდის გიგანტების საშუალო სხივური სიჩქარე დაახლოებით 13 კმ/სეკ-ის ტოლია, მზეზე უფრო მკრთალი ჯუჯა ვარსკვლავებისა — ორჯერ მეტი. რადგანაც ვარსკვლავის ნათება დაკავშირებულია მის მასასთან, შესაძლებელია, რომ ვარსკვლავები მით უფრო სწრაფად მოძრაობენ, რაც უფრო მცირეა მათი მასები.

§ 321. ვარსკვლავები, რომლებიც დიდ ნაკადებს არ მიეკუთვნებიან.

ა) ნელი ვარსკვლავები. *B* კლასის ვარსკვლავები („ჰელიუმის“ ანუ „ორიონისეული“ ვარსკვლავები), რომელთაგან თითქმის ყველა ბუმბერაზს წარმოადგენს, არ მონაწილეობს კაპტეინის ნაკადებში. მათი სივრცული სიჩქარეები ძალზე მცირეა და თითქმის სფერული განაწილება აქვს, ე. ი. თითქმის ერთნაირადაა განაწილებული ყველა შესაძლო მიმართულებით. ამ კლასის ვარსკვლავები ხშირად ჯგუფ-ჯგუფად არის თავმოყრილი და ქმნის ადგილობრივ ნაკადებს, მაგრამ ამ ნაკადთა მიმართულებებს არაფერი აქვს საერთო დიდი ნაკადების მიმართულებასთან.

ბ) სწრაფი ვარსკვლავები. არსებობს რამდენიმე კლასი ცის ობიექტებისა, რომელთაც ძალზე დიდი სივრცული სიჩქარეები აქვთ. ეს, უპირველესად ყოვლისა, ჩვენთან შედარებით ახლო მდებარე ჯუჯა ვარსკვლავებია; შემდეგ, გიგანტ ვარსკვლავთაგან — მოკლებერიოდიანი ცვალებადი ცეფეიდები (§ 307) და გრძელპერიოდიანი ცვალებადები (§ 309); ბოლოს, ძალზე შორი სფერული ვარსკვლავთ გროვები (§ 325). ყველა ეს ობიექტი განსხვავდება უფრო ნელ ვარსკვლავთაგან არა მარტო სიჩქარეთა სიდიდით, არამედ მათი მიმართულებების განაწილებითაც. სახელდობრ, სიჩქარეები, რომელნიც 60—80 კმ/სეკ-ს აღემატებიან, მიმართულია ცის არა ყველა შესაძლო წერტილისაკენ, არამედ მხოლოდ ცის ერთი ნახევარსფეროს წერტილებისაკენ, რომლის ცენტრსაც წარმოადგენს წერტილი, განსაზღვრული შემდეგი კოორდინატებით: $\alpha = 130^\circ$, $\delta = -57^\circ$ (ირმის ნახტომში, სამხრეთ ნახევარსფეროში, კიჩოს თანავარსკვლავედში). ეს სწრაფად მოძრაე ვარსკვლავთა ვერტექსია. მიმართულება ამ ვერტექსისაკენ თითქმის ზუსტად პერპენდიკულარულია კაპტეინის ნაკადთა ვერტექსების ხაზისა.

სწრაფი ობიექტების სხვადასხვა კლასი მოძრაობს ამ მიმართულებით სხვადასხვა საშუალო სიჩქარით. ყველაზე დიდი საშუალო სიჩქარე აქვს მათ შორის ყველაზე უფრო შორეულებს, სახელდობრ, ვარსკვლავთ სფერულ გროვებს: 268 კმ/სეკ იმ ვარსკვლავთ კომპლექსის მიმართ, რომელნიც მდებარეობენ მზის უახლეს მიდამოებში და 286 კმ/სეკ—მზის მიმართ.

ახლო და შორი მნათობების მოძრაობათა ეს მსგავსება თითქმის ისევე უბრალოდ აიხსნება, როგორც სამყაროს ყველა სხეულის დღეღამური ბრუნვა. ბუნებრივია მივიღოთ, რომ სინამდვილეში მოძრაობს ჩვენი მზის სისტემა, ხოლო მთელ სისტემას სფერული გროვებისას, რომლებიც ძალზე შორ მანძილზეა გაბნეული ყველა მიმართულებით, არა აქვს ერთიანი გადატანითი მოძრაობა; მისი სიმძიმის ცენტრი უძრავია. მაშინ ამ სისტემის მიმართ (მის შიგნით) მზე თავისი ცთომილებითურთ იმოძრაებს 286 კმ/სეკ სიჩქარით სწრაფად მოძრავ ვარსკვლავთა ვერტეკსის დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილისაკენ; ეს წერტილი მდებარეობს ცეფეუსის თანავარსკვლავედში და შემდეგი კოორდინატები აქვს: $\alpha = 305^\circ$, $\delta = +62^\circ$. სისტემის შიგნით ცალკეული გროვები იმოძრაობს საშუალოდ 100 კმ/სეკ-ზე რამდენადმე მეტი სიჩქარით ყველა შესაძლო მიმართულებით.

§ 322. გაიშვიათებული მატერია ვარსკვლავთშორის სივრცეში. ა) კოსმოსური კალციუმი. *O* და *B* კლასების ბევრი ვარსკვლავის სპექტრი შეიცავს იონიზებული კალციუმის *H* და *K* შთანთქმის ხაზებს. დასაწყისში ეს ხაზები გამოუცნობად ეჩვენებოდათ: 1) *O* და *B* კლასის ვარსკვლავებს იმდენად მაღალი ტემპერატურა აქვს, რომ მათ სპექტრებში კალციუმის *H* და *K* ხაზები არ შეიძლება შემჩნეულ იქნას; 2) ხსენებული ხაზები იძლევა მხედველობის სხივის გასწვრივ მოძრაობის სხვა სიჩქარეს, ვიდრე იმავე ვარსკვლავის ყველა დანარჩენი ხაზი. ამიტომ, წამოყენებული იყო ჰიპოთეზა, რომ ეს ხაზები გამოწვეულია კალციუმის ღრუბლების მიერ სინათლის შთანთქმით. ეს ღრუბლები მოთავსებულია არა ვარსკვლავზე, არამედ საღდაც სივრცეში ვარსკვლავსა და ჩვენს შორის. კალციუმის ეს „კოსმოსური“, ანუ „ვარსკვლავთშორისი“ ხაზები ჩანს ვარსკვლავთ სპექტრებში, სივრცის ყველა შესაძლო მიმართულებით და ისინი მით უფრო ინტენსიური არიან, რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავები. ცხადია, უფრო შორს მდებარე ვარსკვლავთაგან წამოსული სინათლე თავის გზაზე გადის კალციუმის ატომთა დიდ სიზრქეში და განიცდის უფრო ძლიერ შერჩევით შთანთქმას, ვიდრე ახლო მდებარე ვარსკვლავთაგან წამოსული სინათლე. შემდგომში აღმოჩენილ იქნა ნატრიუმის, ტიტანის, კალიუმის, რკინისა და ზოგიერთი სხვა ელემენტების ვარსკვლავთშორისი ხაზები.

ყველა ეს მოვლენა კარგად აიხსნება იმ დაშვებით, რომ მთელი ვარსკვლავთშორისი სივრცე „სავსეა“ ვარსკვლავების ატმოსფეროდან ამოტყორცნილი კალციუმის (და სხვა ელემენტების) ცალკეული ატომებით. ამ ვარსკვლავთშორისი „ატმოსფეროს“ სიმკვრივე უმნიშვნელოდ მცირება თვით ყველაზე მეტად გაიშვიათებულ ნისლეულებთან შედარებითაც კი და ვარსკვლავთ სინათლის არაერთარ შესამჩნევ საერთო შთანთქმას არ ახდენს სივრცის იმ ნაწილებშიც, სადაც ის ყველაზე მეტად არის თავმოყრილი.

ამ ვარსკვლავთშორისეთის გაზის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს წყალბადი. თუმცა ოპტიკური მეთოდებით ვარსკვლავთშორისეული წყალბადის არსებობის დადგენა ძალიან ძნელია, საქმე იმაშია, რომ ვარსკვლავთშორისეთის წყალბადის დიდი ნაწილი არ არის იონიზებული და იმყოფება ეგრეთ წოდებულ ძირითად მდგომარეობაში, რომელიც მიულწვევლია ოპტიკური დაკვირვებებისათვის.

ცხელი ვარსკვლავების მახლობლობაში წყალბადი იონიზდება და გამოასხივებს მისთვის დამახასიათებელ ხაზებს; მაგრამ იონიზებულ წყალბადზე დაკვირვებები ჯერ კიდევ არ იძლევა სრულ წარმოდგენას გალაქტიკაში მისი შემცველობის შესახებ. მხოლოდ 1951 წელს რადიოასტრონომიის მეთოდების განვითარებამ საშუალება მოგვცა არა მარტო დაკვირვებოდი თ ვარსკვლავთშორისეთის ნეიტრალური წყალბადის რადიოგამოსხივებას, არამედ გაგვესაზღვრა გალაქტიკაში მისი საერთო რაოდენობა, სივრცული განაწილება და სხვა თვისებები.

1954 წელს საბჭოთა ასტრონომებს საშუალება მიეცათ დაკვირვებოდნენ, როგორც ეტყობა, ვარსკვლავთშორისეთის დიეტერიუმის (წყალბადის იზოტოპი ატომური წონით 2) რადიოხაზს 91,5 სმ ტალღაზე.

ბ) კოსმოსური მტვერი და მის მიერ გამოწვეული სინათლის შთანთქმა. გარდა ცალკეული ატომებისაგან შემდგარი მეტისმეტად გაიშვიათებული გაზისა, ვარსკვლავთშორის საწყაროს სივრცეში არსებობს გაიშვიათებული მატერიის გროვები, რომლებიც შედგებიან უფრო მსხვილი ნაწილაკებისაგან—მტვრისაგან და სხვადასხვა სიდიდის წვრილი ქვიშისაგან. ისინი ასუსტებენ მათ უკან მდებარე ვარსკვლავთაგან წამოსულ სინათლეს მსგავსად ბოლის ბოლქვებისა.

ამ მდგომარეობას პირველად ვ. ი. სტრუვემ მიაქცია ყურადღება და ჯერ კიდევ XIX საუკუნის შუა წლებში მიუთითა მის შესახებ, მაგრამ სინათლის შთანთქმის შესწავლა დაიწყო საბჭოთა მეცნიერის ბ. ა. ვორონცოველიამინოვის (1930 წ.) შრომებით.

ვარსკვლავთშორისი მტვრის მიერ გამოწვეული სინათლის საერთო შთანთქმა ასუსტებს სპექტრის ყველა ფერს, თუმცა არათანაბარი ხარისხით. როგორც საბჭოთა მეცნიერებმა—ვ. ა. ამბარცუმიანმა და შ. გ. გორდელაძემ გვიჩვენეს, მშთანთქავი მატერია სივრცეში განაწილებულია არათანაბრად. ზოგიერთი მიმართულებით ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ მრავალი მილიონი სინათლის წლის მანძილზე მდებარე ვარსკვლავები; სხვა მიმართულებით კი, პირიქით, ჩვენ ვხედავთ მხოლოდ რამდენიმე ასეული სინათლის წლის მანძილზე მდებარე ვარსკვლავებს, უფრო შორს მდებარე ვარსკვლავთაგან წამოსულ სხივს უკვე აღარ შეუძლია გაკვეთოს ეს თავისებური „მტვეროვანი ფარა“.

ძალზე ძნელი ხდება გადაწყვეტოთ, რატომ გვეჩვენება ვარსკვლავი მკრთალი—ძლიერ დიდი დაშორების გამო, თუ ბნელი მატერიის მიერ ვარსკვლავის სინათლის შთანთქმის გამო. ახლა დამტკიცებულია, რომ სინათლის შთანთქმას ადგილი აქვს ცის იმ ნაწილებშიც კი, რომლებიც წინათ სავსებით გამკვირვალედ მიაჩნდათ და რადგანაც ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშის მიხედვით ხშირად საზღვრავენ მის მანძილს, ბევრ შემთხვევაში ის შეიძლება

აღმოჩნდეს მცდარი, თუ არ გამოვრიცხავთ ვარსკვლავთშორისი ბნელი ჰაერის მიერ სინათლის შთანთქმას.

საბჭოთა მეცნიერებმა, ძირითადად კი პ. პ. პარენაგომ, ნ. ფ. ფლორიამ და კ. თ. ოგოროდნიკოვმა, მოგვცეს ვარსკვლავთშორისი სივრცეში სინათლის შთანთქმის განსაზღვრის ზუსტი მეთოდები. ახლა სინათლის შთანთქმა აუცილებლად მხედველობაში მიიღება ვარსკვლავებამდე და სამყაროს სხვა შორობიექტებამდე მანძილების განსაზღვრის დროს.

II. ვარსკვლავთ გროვები

§ 323. ირმის ნახტომი. უმთვარო მოწმენდილ ღამეს ირმის ნახტომის ფართო ნათელი ზოლი გადაჭიმულია მთელი ხილული ცის თაღზე ჰორიზონტიდან ჰორიზონტამდე. ის ვრცელდება ჰორიზონტის ქვემოთაც სამხრეთ ნახევარსფეროში და ქმნის რგოლს, რომელიც რკალივით არტყია მთელ ცას დაახლოებით დიდი წრის გასწვრივ. ირმის ნახტომის აგებულება ძალზე რთულია. დაწყებული ჩრდილო ნახევარსფეროში თავისი ყველაზე კაშკაშა ნაწილიდან (გედის თანავარსკვლავედში), ის ვრცელდება სამხრეთით ორ განცალკევებულ შტოდ, რომელნიც ერთდებიან მხოლოდ ჩვენთან უხილავი სამხრეთის ჯვრის თანავარსკვლავედში. ზოგ ადგილებში იგი ფართოვდება 30°-მდე, ზოგში კი 4—5°-მდე ვიწროვდება. მისი სიკაშკაშე მეტისმეტად განსხვავებულია. ირმის ნახტომის ის ნაწილი, რომელიც ზაფხულობით მოჩანს ჩვენთან (გედი—არწივი—მშვილდოსანი), გაცილებით კაშკაშაა და მდიდარია ვარსკვლავებით, ვიდრე მოპირდაპირე ზამთრის ნაწილი. ტელესკოპმა დაშალა ირმის ნახტომი მილიონობით ძალზე მკრთალ ვარსკვლავებად, რომელნიც ქმნიან უამრავ ცალკეულ შემკვრივებებს ანუ „ღრუბლებს“ (ნახ. 151).

ირმის ნახტომი ძალზე მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ვარსკვლავთ განაწილებასა და მოძრაობაში. მასში მდებარეობს კაპტეინის ნაკადთა ვერტექსები. B კლასის თითქმის ყველა „ორიონისეული“ ვარსკვლავი განლაგებულია ირმის ნახტომის მახლობლად, იქვეა თავმოყრილი O კლასის ვარსკვლავები, ცვალებადებისა და „ახალ ვარსკვლავთა“ უმრავლესობა.

ვარსკვლავების გარდა, ირმის ნახტომში მრავლად არის თავმოყრილი უამრავი გაზოვანი ნისლეული (იხ. § 327), ნაწილი სუსტად მნათი, ნაწილი კი სულ მთლად ბნელი. ირმის ნახტომის ვარსკვლავთა ნათელ ფონზე კონტურები ასეთი ნისლეულებისა, რომელნიც არ ატარებენ მათ უკან მდებარე ვარსკვლავთაგან წამოსულ სხივებს, შავი ლაქების სახით მოჩანს (ნახ. 151), მათ ხშირად ნახშირის ტომრებსაც უწოდებენ.

იმ გარემოებიდან, რომ ირმის ნახტომი ვრცელდება ცის თალის დიდ წრეზე, შემდეგი მნიშვნელოვანი დასკვნა გამოამდინარეობს: ვარსკვლავები, რომელთა შორისაა ჩვენი მზეც, ქმნის ვარსკვლავთ სისტემას, რომელსაც აქვს არა სფეროსმაგვარი, არამედ შებრტყელებული ფორმა, დაახლოებით დისკოს ფორმა. ჩვენი მზე მოთავსებულია სისტემის შიგნით, დისკოს ეკვატორული სიბრტყის ახლოს. ამ სიბრტყეს უწოდებენ გალაქტიკის სიბრტყეს (იხ. § 324).

ირმის ნახტომის ვარსკვლავთ სისტემას უწინათ ხანდახან ვარსკვლავთ სამყაროს უწოდებდნენ, ახლა კი მას გალაქტიკას¹ (რძის გზის ბერძნული სახელწოდებაა) უწოდებენ. ჩვენს გალაქტიკას აქვს თუმცა ძალზე დიდი, მაგრამ მანც სასრულო ზომა, სამყარო კი უსასრულოა.

§ 324. გალაქტიკური კოორდინატები. ვარსკვლავთ ასტრონომიისათვის ჩვენი გალაქტიკის სიბრტყე ისეთივეა, რაც ეკლიპტიკა ცთომილთ ასტრონომი-



ნახ. 151.

მიისათვის. ამიტომ მას ლებულობენ ეგრეთ წოდებულ გალაქტიკურ კოორდინატების სისტემის (ნახ. 152) ძირითად სიბრტყედ. დიდ წრეზე, რომელიც გადის დაახლოებით ირმის ნახტომის ზოლის შუაზე და რომლის მდებარეობაც

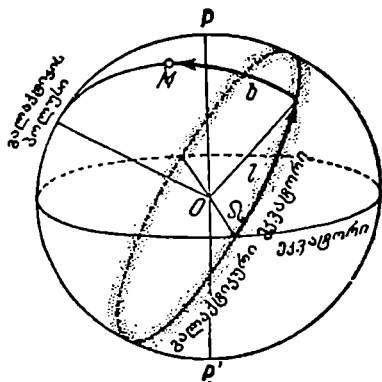
¹ სხვა ვარსკვლავთ სისტემებისაგან (ე. ი. სხვა გალაქტიკებისაგან) განსასხვავებლად რუსულად ამ ვარსკვლავთ სისტემის სახელწოდებას მთავრულით წერენ (Галактика).

წინამდებარე თარგმანში მის აღსანიშნავად იხმარება ირმის ნახტომის სისტემა ან ჩვენი გალაქტიკა და ზოგჯერ იქ, სადაც ეს არავითარ გაუგებრობას არ გამოიწვევს—გალაქტიკა. (ქართ. გამოც. რედაქტორი).

განსაზღვრულია პირობით, ¹ ათვლიან *l* გალაქტიკურ გრძედებს ეკვატორთან შისი გადაკვეთის ერთ-ერთი წერტილიდან (არწივის თანავარსკვლავედში) აღმოსავლეთით, საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. გალაქტიკური განედის ათვლა გასაგებია. მაგალითად, კაპტეინის ნაკადის ჭეშმარიტ ვერტეკსებს შემდეგი გალაქტიკური გრძედები აქვს: 165° და 345°, მათი განედები კი ნულის ტოლია.

§ 325. გალაქტიკური ვარსკვლავთ გროვები. მზის სისტემიდან სხვადასხვა მიმართულებით გვხვდება ვარსკვლავთ გროვები, რომლებშიც თავმოყრილია მრავალი ვარსკვლავი სივრცის შედარებით მცირე მოცულობაში. ვარსკვლავთ გროვები იყოფა გაბნეულ (ანუ ღია) და სფერულ გროვებად და, რადგანაც ისინი შედიან ჩვენი გალაქტიკის შემადგენლობაში, მათ ხშირად გალაქტიკურსაც უწოდებენ.

ა) ცნობილია დაახლოებით ხუთასამდე გაბნეული ვარსკვლავთ გროვა. მათ აქვთ არაწესიერი ფორმა, შედგებიან, სულ დიდი, რამდენიმე ასეული ვარსკვლავისაგან და ხშირად მკვეთრად არ გამოირჩევიან მათ გარშემო მდებარე ფონის ვარსკვლავებისაგან. ყველა ისინი მდებარეობენ თვით ირმის ნახტომში, ანდა მის მახლობლად. ისინი წარმოადგენენ ადგილობრივ შემეკრივებებს გალაქტიკის სისტემის შიგნით. რადგანაც მოცემული შემეკრივებების ვარსკვლავთა გარჩევა გარეშე ვარსკვლავთაგან მით უფრო ძნელია, რაც უფრო შორსაა შემეკრივება, ამიტომ, ჩვენ, ალბათ, ვიცნობთ მხოლოდ გაბნეულ გროვათა მცირე ნაწილს; შესაძლებელია, მათი საერთო რიცხვი ათეულ ათასებსაც კი შეადგენს. გაბნეული გროვების ყველაზე თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს პლეადები (ხომლი) კუროს თანავარსკვლავედში (ნახ. 153)—ჩვენთან ყველაზე ახლო (პიადების შემდეგ, იხ. § 318) მდებარე ვარსკვლავთ გროვა. ამ გროვის პარალაქსი ტოლია 0",007-ისა, მანძილი კი დაახლოებით—490 სინათლის წლისა.



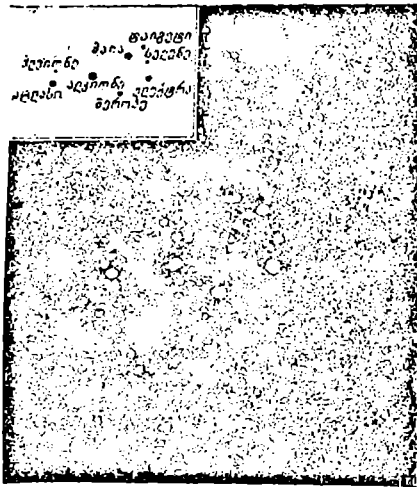
ნახ. 152.

ვარსკვლავთ გროვების შესწავლა მნიშვნელოვანია კოსმოგონიური თვალსაზრისით, რადგან ყოველი გროვა წარმოადგენს მრავალი ვარსკვლავის ერთობლიობას, რომელთაც, ალბათ, აქვთ საერთო წარმოშობა და ერთნაირი ასაკი.

მათი შესწავლა ადვილდება კიდევ იმით, რომ გროვის ყველა ვარსკვლავი დაშორებულია ჩვენგან თითქმის ერთი და იმავე მანძილით; მაშასადამე, თუკი გროვის ერთი ვარსკვლავი გვეჩვენება რამდენჯერმე უფრო კაშკაშად, ვიდრე

¹ შეთანხმდნენ, რომ ამ წრის ჩრდილო პოლუსს აქვს შემდეგი კოორდინატები: $\alpha = 190^{\circ}$, $\delta = +26^{\circ}$ (1900 წლისათვის).

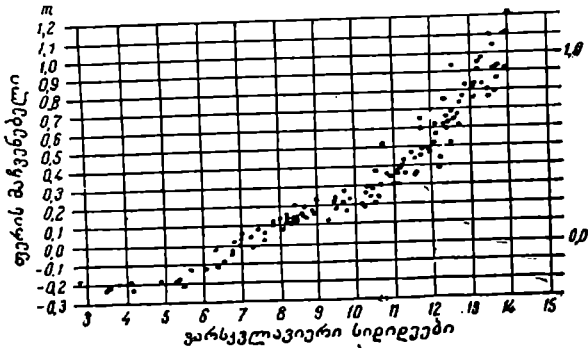
სხვა, ეს იმას ნიშნავს, რომ სინამდვილეში ის მართლაც იმდენჯერეე კაშკაშაა. ეს გვაძლევს საშუალებას ერთბაშად ვიპოვოთ გროვის ვარსკვლავების აბსოლუტური სიდიდეთა განაწილება, დავეუკავშიროთ მათი ნათებები ფერს, სპექტრს და ა. შ. მხოლოდ საჭიროა შეგვეძლოს განვსხვავოთ ვარსკვლავები, რომლებიც ეკუთვნიან გროვას, გარეშე ვარსკვლავებისაგან (ვარსკვლავთ "ფონისაგან").



ნახ. 153.

ვებში ისინი გვხვდებიან. ალსანიშნავია ისიც, რომ გაბნეულ გროვებში სრუ-

თუპირველეს ყოვლისა, ეს გაკეთებული იყო პლედებისათვის. გროვის არეში 2000 ვარსკვლავის საკუთარ მოძრაობათა საფუძველზე დამტკიცებული იყო, რომ მხოლოდ 150 ვარსკვლავი, მე-2 სიდიდიდან მე-16 სიდიდემდე, მიეკუთვნება გროვას, ყველა დანარჩენი კი მდებარეობს გაცილებით შორს. გროვის ყველა ვარსკვლავი ზუსტად ლაგდება რესელის დიაგრამის მთავარ შტოზე (§ 292, ნახ. 139). ეს დიაგრამა პლედების გროვის ვარსკვლავთათვის ლებულობს სახეს, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 154-ზე. მანძილი გროვის ცენტრამდე შეადგენს დაახლოებით 150 პარსეკს. ეს გროვა არ შეიცავს წითელ გიგანტებს; სხვა გრო-



ნახ. 154.

ლიად არ არის ცვალებადი ვარსკვლავები — ცეფეიდები, რომელნიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ სფერულ გროვებში.

აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ გროვაში შემავალი ვარსკვლავები იყოფებიან მოძრაობაში, ისევე როგორც ყველა სხვა ვარსკვლავი (§§ 313—316).

ის გარემოება, რომ მოცემული გროვის ვარსკვლავები თითქმის არ იცვლიან თავის შეფარდებით მდებარეობას ასეული წლების განმავლობაში, იმას ნიშნავს, რომ ისინი მოძრაობენ სივრცეში გეომეტრიულად თითქმის ტოლი სიჩქარეებით. მაგრამ მოძრავი გროვის ვარსკვლავთ შორის მანძილები მაინც იზღვენად დიდია, რომ გროვის შინაგან ძალებს (ე. ი. გროვის ანუ გუნდის წევრთა ურთიერთმიზიდულობის ძალებს, § 318) არ შეუძლია დიდხანს დააკავოს გროვა დაშლისაგან. ე. ა. ამბარცუმიანის გამოკვლევების შედეგად გამოიჩინა, რომ ვარსკვლავთ გროვები ჩვენი გალაქტიკის ევოლუციის მიმდინარე ეპოქაში კარგავენ მათ შემადგენელ ვარსკვლავებს: მოცემულ გროვაში შემავალ ცალკეულ ვარსკვლავთა ძალზე მჭიდროდ მიახლოებისა და გალაქტიკის ცენტრის მოქმედების (§ 335) გამო, ვარსკვლავთა ნაწილმა უნდა მიიღოს სიჩქარე, რომელიც საკმარისი იქნება იმისათვის, რომ დატოვოს გროვა. ამგვარად, ვარსკვლავები, რომელნიც ეკუთვნიან გროვას, თანდათანობით იფანტებიან გალაქტიკაში. ეს პროცესი მიმდინარეობს ძალზე ნელა—მილიარდი წლების განმავლობაში.

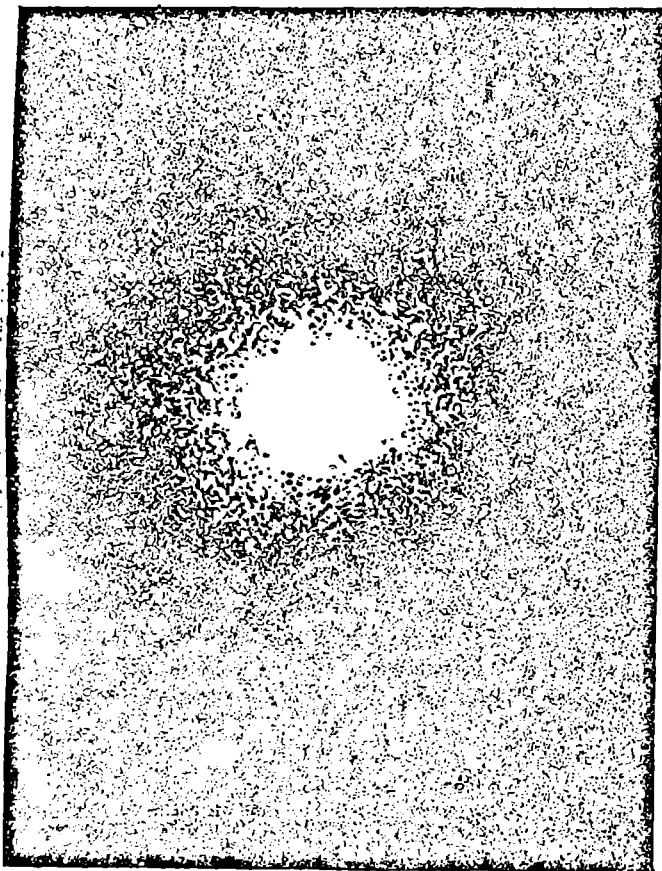
ბ) სფერული გროვები (ცნობილია 98 ასეთი გროვა) სუსტ ტელესკოპში წარმოგვიდგება ნისლოვანი ლაქების სახით რამდენიმე მინუტიანი დიამეტრით, რომელთა შუა ადგილები შედარებით უფრო კაშკაშაა. ძლიერ იარაღებში გროვა იშლება რამდენიმე ათეულ ათას ძალიან მკრთალ ვარსკვლავად, რომელნიც თავმოყრილნი არიან სფეროს ან ბრუნვის ელიფსოიდის ფორმის სივრცეში (ნახ. 155). უკანასკნელ მდგომარეობას მივყავართ იმ აზრამდე, რომ მთელი გროვა უნდა ბრუნავდეს მცირე ლეჰის ირგვლივ.

სფერული გროვების პარალაქსი იმდენად მცირეა, რომ მათი უშუალო გაზომვა შეუძლებელია. ასევე უმნიშვნელოა როგორც თვით გროვების, ისე გროვის შიგნითა ვარსკვლავების საკუთარი მოძრაობებიც. მაგრამ მოხერხდა მთლიანად გროვის სხივური სიჩქარის გაზომვა შედარებით კაშკაშა გროვებისათვის. მიღებული სიჩქარეები აღმოჩნდა ძალზე დიდი ვარსკვლავთ საშუალო სხივურ სიჩქარეებთან შედარებით, საშუალოდ 200 კმ/სექ-ზე მეტი; ამასთან ერთად, ზოგიერთი გროვისათვის დაიმზირება სიჩქარეები 300-დან 400 კმ/სექ-მდე. გამოკვლეულ გროვათა უმრავლესობას აქვს უარყოფითი სიჩქარეები, ე. ი. უახლოვდება მზეს.

ვარსკვლავთ სფერული გროვების საერთო (ინტეგრალური) ბრწყინვალეობა დეტალურად შესწავლილია მ. ე. ნაბოკოვის, ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვისა და პ. პ. პარენაგოს მიერ, რომელთაც შექმნეს მათი ინტეგრალური ბრწყინვალეობის სპეციალური კატალოგები; იგი მოთავსებული აღმოჩნდა საზღვრებში 5^მ-დან 13^მ-მდე.

ბევრი სფერული გროვა შეიცავს ძალიან დიდი რაოდენობით ცეფეიდების ტიპის ცვალებად ვარსკვლავებს (§ 307), რომელნიც, როგორც ჩვენ უკვე ვიცით, მზესთან შედარებით გოგანტებს წარმოადგენენ. თუ დაუშვებთ, რომ სფერულ გროვებში შემავალ ამ ტიპის ვარსკვლავებს ისეთი ბრწყინვალეობა აქვს, როგორიც ირმის ნახტომში და, თუ შევადარებთ მათ *M* აბსოლუტურ სიდიდეს *m* ხილულ სიდიდეს, შეიძლება განვსაზღვროთ გროვებამდე მანძილი § 283-ის (6) ფორმულის საშუალებით. ისინი უზარმაზარი სიდიდის

აღმოჩნდნენ: 8000-დან 50 000 სინათლის წლამდე. სფერულ გროვაში შემავალი ყველა ვარსკვლავი მზეზე რამდენიმე ათასჯერ უფრო კაშკაშა გიგანტებია. ისინი, ალბათ, ჯუჯა ვარსკვლავებსაც შეიცავენ, მაგრამ ასეთ უზარმაზარ მანძილზე არც ერთი მათგანი არ შეიძლება გამოჩნდეს. გროვათა ქეშმარიტი დიამეტრები დაახლოებით 100 სინათლის წელს შეადგენს, ე. ი. ისინი გაცილებით მცირენი არიან, ვიდრე ირმის ნახტომის დიამეტრი. გროვებში ვარსკვლავები გაცილებით ახლოს იმყოფებიან ურთიერთთან, ვიდრე მზის



ნახ. 155.

მახლობელ არეში (ე. წ. „ვარსკვლავთ სიმკვრივე“ იქ ათასეულზეჯერ უფრო მეტია), მაგრამ ვარსკვლავთ დაჯახება არც იქ არის შემჩნეული.

სფერულ გროვებში ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები წითელი გიგანტებია. სფერული გროვები სრულიად არ დაიმზირება ირმის ნახტომის, სიბრტყეში (სადაც, პირიქით, თავმოყრასღია გაბნეული გროვები); ისინი გაბნეულია

სიმეტრიულად ამ სიბრტყის ჩრდილოეთით და სამხრეთით, არც თუ ისე დიდ მანძილზე შედარებით თვით გალაქტიკის ზომასთან. ამასთან ერთად, თითქმის ყველა სფერული გროვა იმყოფება ირმის ნახტომის ყველაზე უფრო კაშკაშა „ზაფხულის“ ნაწილში. ამ მიმართულებით ისინი გვხვდებიან დაახლოებით 50 000 სინათლის წლის მანძილამდე. ირმის ნახტომის მოპირდაპირე „ზამთრის“ მხარეში გვხვდება მხოლოდ 2—3 შედარებით ახლო მდებარე გროვა. სფერული გროვები ქმნის უზარმაზარ სასრულო სისტემას, რომელსაც ოდნავ შებრტყელებული ელიფსოიდის ფორმა აქვს; ირმის ნახტომის სიბრტყე წარმოადგენს სისტემის ეკვატორულ სიბრტყეს. მზე იმყოფება ამ სიბრტყის მახლობლად, მაგრამ შორს სისტემის გეომეტრიული ცენტრიდან, რომელიც მდებარეობს მშვილდოსნის თანავარსკვლავედის მიმართულებით, საითაც ირმის ნახტომის ყველაზე კაშკაშა და აგებულებით რთული ნაწილია. ყირიმის ობსერვატორიის განსაზღვრით, ამ ცენტრის გალაქტიკური გრძედი შეადგენს $l_0 = 330^\circ$. მანძილი ცენტრამდე, პარენაგოსა და კუკარკინის მიხედვით, დაახლოებით 7200 პარსეკის ტოლია (იხ. შემდეგ § 334).

თვით ირმის ნახტომში სფერულ გროვებს ჩვენ ვერ ვხედავთ იმიტომ, რომ მათგან წამოსულ სხივს არ შეუძლია გამოატანოს მშთანთქავ ნივთიერებაში, რომელიც იმყოფება გალაქტიკის სიბრტყეში (§ 322). სხვა მიმართულებით კი, უნდა ვიფიქროთ, რომ ჩვენ ვხედავთ სისტემას მის კიდეამდე—ყველაზე შორს მდებარე გროვებამდე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, გროვათა სისტემის თითქმის ყველა წევრი, რომლებიც არ არიან დაფარულნი მშთანთქავი მატერიით, ჩვენთვის უკვე ცნობილია. გალაქტიკაში შემავალ სფერულ გროვათა სრული რიცხვი, პარენაგოს მიხედვით, არ აღემატება 250-ს.

გ) სინათლის კოსმოსური შთანთქმის აღმოჩენა ვარსკვლავთა გროვების მიხედვით. სფერულ გროვათა შესწავლამ 1930 წ. ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვი მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ უნდა არსებობდეს სინათლის შთანთქმა ვარსკვლავთშორის სივრცეში. ერთი წლის შემდეგ ეს დადასტურებული იყო სხვა მეცნიერთა შრომებით.

გროვებამდე მანძილები შეიძლება განისაზღვროს ორი გზით: 1) ვარსკვლავთ ხილული ბრწყინვალეების მიხედვით და 2) გროვათა ხილული კუთხური დიამეტრების მიხედვით. ამასთან ერთად იგულისხმება, რომ ყველა გროვის ვარსკვლავთა საშუალო ნათება ერთნაირია და ერთნაირია აგრეთვე გროვათა ხაზოვანი დიამეტრებიც. ამიტომ, რაც უფრო შორს არის გროვა, მით უფრო პატარად უნდა მოგვეჩვენოს ის და მით უფრო მკრთალი იქნება მასში შემავალი ვარსკვლავები. ეს სავსებით ეთანხმება დაკვირვებებს: დიდი (ე. ი. ახლო) გროვები ყოველთვის შედგება კაშკაშა ვარსკვლავებისაგან, მცირენი კი მკრთალებისაგან.

აღმოჩნდა, რომ კუთხური დიამეტრების მიხედვით განსაზღვრული მანძილები სისტემატურად განსხვავდება ხილული ბრწყინვალეების მიხედვით განსაზღვრული მანძილებისაგან (ეგრეთ წოდებული ფოტომეტრიულებისაგან). პატარა და მკრთალი, ე. ი. შორი გროვებისათვის ფოტომეტრიული მანძილები მეტი გამოდის დიამეტრალურებზე და რაც უფრო მკრთალია გროვა, მით მეტია ეს სხვაობა.

სწორედ ეს მოვლენა ამტკიცებს, რომ სამყაროს სივრცე არ არის აბსოლუტურად გამჭვირვალე, მასში ადგილი აქვს სინათლის შთანთქმას. გროვის კუთხურ დიანეტრზე შთანთქმა არ მოქმედებს, ხოლო ბრწყინვალეზე მით ნეტია მისი გავლენა, რაც უფრო დიდია მანძილი, რომელსაც გადის სინათლე შთანთქმავ არეში. როდესაც არ ვიცით შთანთქმა, ვარსკვლავის სუსტ ბრწყინვალეებას ვაწეროთ მხოლოდ მის დიდ დაშორებას. სინამდვილეში კი ვარსკვლავები უფრო ახლოს იმყოფებიან, ვიდრე ეს გამოინდინარეობს მათი ხილული ბრწყინვალეებიდან.

სინათლის საერთო შთანთქმა (§ 322, ბ) გალაქტიკის სიბრტყეში საშუალოდ შეადგენს 1,7 ვარსკვლავიერ სიდიდეს 1000 პარსეკის მანძილის გავლის დროს. გალაქტიკის სიბრტყიდან დაშორებასთან ერთად შთანთქმა მცირდება. იისფერი სხივებისათვის შთანთქმა უფრო ძლიერია, ვიდრე წითელისათვის. ამიტომ რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავი, მით უფრო წითლად გვეჩვენება ის. გაწითლების ეფექტი შეადგენს 0,3 ვარსკვლავიერ სიდიდეს 1000 პარსეკზე (ერთ კილოპარსეკზე). შთანთქმის შედეგად სწორედ ამ სიდიდით იზრდება ვარსკვლავის ფერის მაჩვენებელი, რომელიც ახასიათებს ვარსკვლავის სიწითლეს.

გალაქტიკური შთანთქმის პირველი მკვლევარები ფიქრობდნენ, რომ ნთანთქმავი მატერია გალაქტიკის სიბრტყეში განაწილებულია შედარებით თხელი უწყვეტი ფენის ან დისკოს სახით. მაგრამ, 1938 წ. ვ. ა. ამბარცუმიანმა და შ. გ. გორდელაძემ დაამტკიცეს, რომ ბნელი მატერია შედგება ცალკეული ნტვეროვანი ღრუბლებისაგან. თითოეული ასეთი ღრუბელი ასუსტებს მის უკან მდებარე ვარსკვლავის ბრწყინვალეებას საშუალოდ 0,25 ვარსკვლავიერი სიდიდით. ამგვარად, ბრწყინვალეების ზემოდასახელებულ შესუსტებას 1,7 ვარსკვლავიერი სიდიდით იმ შემთხვევაში აქვს ადგილი, თუკი ვარსკვლავისაგან წამოსული სხივი 1 კილოპარსეკის გზაზე გაივლის 7 ბნელ ნისლეულს. ამ აღმოჩენით აიხსნება შთანთქმის წყვეტილი ხასიათი: მეზობლად მდებარე ვარსკვლავის ბრწყინვალეების შესუსტება შეიძლება ორჯერ ნაკლები იქნეს, თუ მისგან წამოსულ სხივს გზაში, მაგალითად, მხოლოდ სამი ნისლეული შეხვდება.

გალაქტიკის შიგნით სინათლის შთანთქმა ძლიერ აძნელებს მის შესწავლას. მაგრამ, ჩვენი გალაქტიკის გარდა სამყაროში არსებობს მისი მსგავსი სხვა ვარსკვლავთ სისტემები, რომელთაც ჩვენ ვარედან ვუყურებთ. მათი გამოკვლევა საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ ჩვენი ვარსკვლავთა სისტემის ბუნება.

§ 326. ვარსკვლავთ ასოციაციები. ვ. ამბარცუმიანმა გვიჩვენა, რომ ჩვენ გალაქტიკაში ღია და სფერულ გროვებთან ერთად არსებობს კიდევ ვარსკვლავთ ჯგუფები, რომლებსაც მან ვარსკვლავთ ასოციაციები უწოდა.

ვარსკვლავთ ასოციაციები, როგორც წესი, განსხვავდება ჩვეულებრივი ღია გროვებისაგან დიდი ზომებით და აგრეთვე. იმით, რომ მათში მნიშვნელოვანი რაოდენობით გვხვდება შედარებით იშვიათი ტიპის ვარსკვლავები.

ვ. ამბარცუმიანისა და მისი თანანშრომლების შრომების შედეგად დადგენილია ვარსკვლავთ ასოციაციების ორი ძირითადი ტიპის არსებობა: *O*-და *T*'-ასოციაციებისა.

O-ასოციაციებად იწოდება ცხელი გიგანტების შეჯგუფებანი (მათ შორის *O-B* ტიპის ვარსკვლავებისა); ამ შეჯგუფებათა დიამეტრები მოთავსებულია 30-დან 200 პარსეკამდე საზღვრებში. *T*'-ასოციაციებად იწოდება მეტლის *RH* ტიპის ცვალებად ვერსკვლავთა ჯგუფები.

O-ასოციაციების დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს მათში ვარსკვლავთ მომეტებული სიმკვრივეებიანი ადგილების ე. წ. ბირთვების არსებობა. *O*-ასოციაციების ბირთვებად შეიძლება იყოს *O-B* ტიპის ვარსკვლავთ შემცველი ღია გროვები.

ვ. ამბარცუმიანმა წამოაყენა და დაასაბუთა ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვით ასოციაციები წარმოადგენენ გაფართოებაში მყოფ არამდგრად ვარსკვლავთ სისტემებს. ეს ჰიპოთეზა შემდეგ დაკვირვებებით იქნა დადასტურებული. გაფართოების მოვლენა აღმოჩენილ იქნა რამდენიმე (*O*-ასოციაციისათვის მათში შემავალი ვარსკვლავების საკუთარ მოძრაობათა მიხედვით.

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ ასოციაციებს არ შეუძლია დარჩენა იმ ინდგომარეობაში, როგორშიც მათ ახლა ვაკვირდებით, რამდენიმე მილიონ ან ათეულ მილიონ წელზე მეტი დროის განმავლობაში. ამ ვადის გავლის შემდეგ ისინი უნდა დაიშალონ, მაგრამ, რადგანაც ჩვენ ამჟამადაც ვაკვირდებით ვარსკვლავთ ასეთ არამდგრად სისტემებს, ეს ნიშნავს, რომ ისინი აღმოცენდნენ შედარებით გვიან, რამდენიმე მილიონი ან ათეული მილიონი წლის წინ და დაიშინარებიან იმის გამო, რომ მათ დაშლა ჯერ კიდევ ვერ მოასწრეს.

როგორც ცნობილია, დედამიწა 3 მილიარდ წელზე მეტია რაც არსებობს. ამ ვადასთან შედარებით მილიონი წლები წარმოადგენს დროის ძალიან მცირე შუალედებს. ამრიგად, აუცილებელია დავასკვნათ, რომ გალაქტიკაში ვარსკვლავთ წარმოშობის პროცესი გრძელდებოდა მილიარდი წლების განმავლობაში მზის სისტემის წარმოშობის შემდეგ. იმდენად, რამდენადაც არა გვაქვს არავითარი საფუძველი დაეუშვათ, რომ მილიონი წლების წინ გალაქტიკაში ფიზიკური პირობები არსებითად განსხვავდებოდა თანამედროვე პირობებისაგან, უნდა დავასკვნათ, რომ ვარსკვლავები წარმოიშებიან ჩვენს დროშიც.

ვარსკვლავთ ასოციაციების—როგორც ჩანს გვიან წარმოშობილ ვარსკვლავთ სისტემების—აღმოჩენა წარმოადგენს საბჭოთა ვარსკვლავთ კოსმოლოგიის ერთ-ერთ უდიდეს მიღწევას.

ასეთსავე დასკვნამდე, გალაქტიკის ვარსკვლავთა სხვადასხვა ასაკის და ვარსკვლავთ ამჟამადაც მიმდინარე „დაბადების“ შესახებ დამოუკიდებლად მივიღებ. კუპარკინი 1944 წელს.

ბ. კუპარკინისა და ვ. ამბარცუმიანის შრომებმა გამანადგურებელი ლახვარი, ჩაისცეს იდეალისტურ თეორიებს, რომლებიც კდილობენ დამატაციონ ყველა ვარსკვლავის ერთდროული წარმოშობა და აშკარად უჩვენეს მატერიის ის ღიდი მიმოქცევა, რომელიც გამუდმებით ხორციელდება სამყაროში.

§ 327. ნისლეულები. ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში დაიწყო შესწავლა ცის სხეულებისა, რომლებიც სუსტ ტელესკოპებში მოჩანდნენ მცირე ნისლეულ ლაქათა სახით. მათ უწოდეს ნისლეულები. ნისლეულების შემდგომმა გამოკვლევებმა ძლიერი შექქალიანი ტელესკოპების დახმარებით და ფოტოგრაფიის გამოყენებით გვიჩვენა, რომ ამ ობიექტათათვის საერთო სახელწოდება არაა შესაფერისი, რადგანაც მათი ბუნება ფრიალ განსხვავებულია: ზოგიერთი ამ „ნისლეულებიდან“ აღმოჩნდა ვარსკვლავთ გროვები და მთელი ვარსკვლავთ სისტემებიც—გალაქტიკები; ზოგიერთი კი—ღრუბლები, რომელიც შედგებიან გაზისაგან და მტვრისაგან. გაზოვან-მტვეროვანი ნისლეულები ეკუთვნის ირმის ნახტომის სისტემას, ამიტომ მათ ეწოდათ გალაქტიკური ნისლეულები.

ნისლეულები ზომის, ფორმისა და ფიზიკური თვისებების მიხედვით შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად: დიფუზური (ნათელი და ბნელი), პლანეტური და გლობულები.

ა) დიფუზური ნისლეულებს ჩვეულებრივ აქვს არაწესიერი ფორმა, უფრო ხშირად მკვეთრი საზღვრის გარეშე. მათი ზომები მნიშვნელოვანია და აღწევს ათეულობით სინათლის წლებს; რაც აღემატება ვარსკვლავთა შორის საშუალო მანძილს. სიმკვრივე ფრიალ მცირეა, გაცილებით ნაკლები ჰაერის სიმკვრივეზე ჩვენი ლაბორატორიების ყველაზე სრულყოფილ „ვაკუუმში“ ($\approx 10^{-20}$ გ/სმ³). დიფუზური ნისლეულები გალაქტიკის შიგნით იმყოფება ურთიერთს შორის იმავე მანძილებზე, როგორც ვარსკვლავები: ყველაზე ცნობილი მათ შორის—ორიონის ნისლეული—ადვილად ჩანს ღერბინდელ (ნახ. 156). ჩვენგან მისი მანძილი დაახლოებით 400 პარსეკია.

გამოსხივების უნარიანობის მიხედვით დიფუზური ნისლეულები იყოფა ნათელ და ბნელ, ხოლო შემადგენლობის მიხედვით—გაზოვან და მტვეროვან ნისლეულებად.

ნათელ ნისლეულთა სპექტრებისათვის დამახასიათებელია წყალბადის, ჰელიუმის, აზოტისა და სხვა ელემენტების გამოსხივების ხაზები. გაზოვანი ნისლეულების ნათება გამოწვეულია ძირითადადში ახლო მდებარე O და BO კლასის ვარსკვლავების ულტრაიისფერი გამოსხივებით. ამით აიხსნება ის ფაქტი, რომ B კლასის ვარსკვლავები და ნისლეულები ჩვეულებრივ ერთად დაიშორებიან (როგორც მაგალითად, ორიონში და პლუადებში).

ნათელი მტვეროვანი ნისლეულები აგრეთვე ნათდება ახლო მდებარე ვარსკვლავთა (ჩვეულებრივ B და A კლასის) წყალობით, მაგრამ მათი ნათების მიზეზი სრულიად სხვაა, ვიდრე გაზოვანი ნისლეულების შემთხვევაში: ეს ჩვეულებრივი არეკვლა და გაბნევაა სინათლისა მტვრისაგან. ამიტომ ამ ნისლეულთა სპექტრი—შთანთქმის სპექტრია, ვარსკვლავთ სპექტრის მსგავსი; რასაკვირველია, შეიძლება ნისლეულებში გაზის და მტვრის შერწყმა; მაშინ მათი სპექტრი იქნება უფრო რთული, ვიდრე ზემოთ აღწერილი.

თუ გაზოვანი ნისლეულის მახლობლობაში არ არის ცხელი ვარსკვლავი, მაშინ ნისლეული არ გამოჩნდება. თუ მტვეროვანი ნისლეული არ არის განათებული, მაშინ მისი ბნელი ნისლეულის სახით არსებობის აღმოჩენა შეიძ-

ლება მის მიერ იმ ვარსკვლავების სინათლის შთანთქმის შედეგად, რომლებიც მის „უკან“ უღებარეობენ. ასეთია, მაგალითად, ბნელი ხვრელები ირმის ნახტომის ფონზე (ნახ. 151).

დიფუზურ ნისლეულებს შორის გამოირჩევა ჯგუფი ბოქკოვანი ნისლეულებისა (ნახ. 157). მათ თავისებურებას წარმოადგენს მათში არსებული წვრილი ძაფები ანუ ბოქკოები, განსაკუთრებით საინტერესოა ამ კლასის ზოგიერთი ნისლეული, რომლებიც შესწავლილ იქნა აკად. ვ. ფესენკოვისა და ა. როგოვსკის მიერ ყაზახეთის სსრ აკადემიის ასტროფიზიკური ინსტიტუტის ალმა-ატის ობსერვატორიაში.

ცნობილი დიფუზური ნისლეულების რიცხვი მნიშვნელოვნად გაიზარდა აკად. გ. შაინისა და ვ. გაზეს მიერ ყირიზის ობსერვატორიაში წარმოებული გამოკვლევებით.

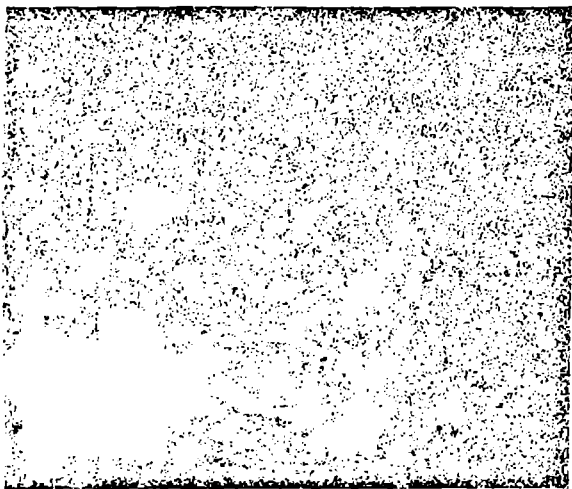
ბ) პლანეტური ნისლეულები გაცილებით მცირე სიდიდისაა. ლუსტ იარაღებში მათ აქვთ მრგვალი ან შებრტყელებული, მკრთალად მნათი



ნახ. 156.

დისკოების სახე, რომლებიც ჰგვანან ცოთმილების დისკოებს, რამდენიმე სექუნდიდან რამდენიმე წამამდე დიამეტრით. ნისლეულის ცენტრში ყოველთვის ჩანს მკრთალი ვარსკვლავი, ნისლეულის ბირთვი, რომელსაც 0 კლასის სპექტრი აქვს, იშვიათად კი ვოლფ-რაიეს ტიპის ვარსკვლავის სპექტრი. ხან-

დახან ნისლეულის კიდევები უფრო მეტად ანათებს, ვიდრე შუაგული და ნის-
ლეული გვერდებზე რ გოლი სებურად (ნისლეული ლირის თანაფარსკვლა-
ვედში, ნახ. 158). სინამდვილეში, ეს რგოლი კი არა, არამედ სფერო ან ელი-
ფსოიდა, გამჭვირვალე მნათი ნივთიერებისაგან შემდგარი, რომელიც შიგ-
ნით უფრო მეტადაა გაიშვიათებული. ამ ნისლეულთა სპექტრები ხაზოვანია
და ზემოხსენებული ტიპისაა. პროფ. ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვმა გვიჩვენა,
რომ ზოგი მათგანის სპექტრული ხაზების გადაადგილება აიხსნება იმით, რომ
ნისლეულის გაზობრივი გარსები განუწყვეტლივ ფართოვდებიან, შორ-
დებიან რა ცენტრალურ ბირთვს ყველა მიმართულებით. ამგვარად, ნისლე-
ულთა დიამეტრები განუწყვეტლივ იზრდება სექუნდში ათეული კილომეტრე-
ბით. ეს მოვლენა აკავშირებს მათ ახალ ვარსკვლავებთან (§ 311), რომლებ-
შიც აგრეთვე შემჩნეულია ამოტყორცნილი გაზოვანი მასების განუწყვეტლივი



ნახ. 157

დაშორება. მაშასადამე. პლანეტური ნისლეულებიც უნდა ჩაითვალოს შედა-
რებით ხანმოკლე წარმართებებად.

ამ ნისლეულთა დიამეტრები ასეულებჯერ და ათასეულებჯერ აღემა-
ტება ცთომილთა სისტემის დიამეტრს.

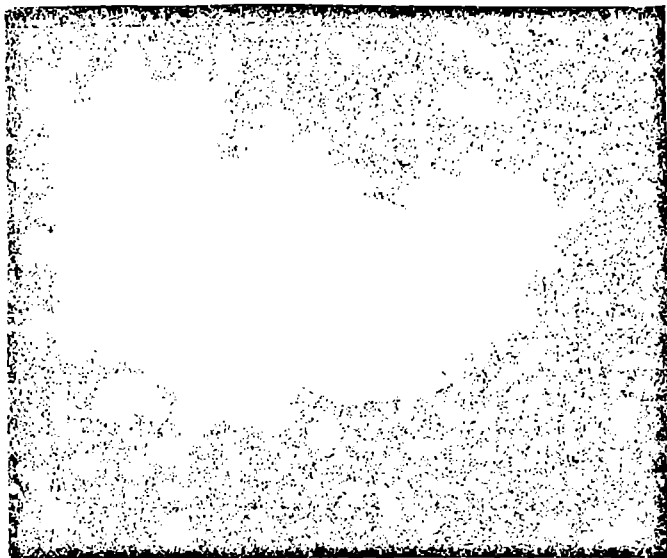
გ) გლობულები (ე. ი. „ბურთულები“) აღმოჩენილი იყო მხოლოდ
1946 წ. ნათელ ნისლეულთა ფოტოსურათებზე ბნელი მომრგვალო ლაქების
სახით. ისინი წარმოადგენენ ბნელ ნისლეულებს, რომელთა ზომა მხო-
ლოდ რამდენიმე ათას ასტრონომიულ ერთეულს შეადგენს. ეს უზარმაზა-
რი, თითქმის სავსებით გაუმჭვირვალე მტვეროვანი და გაზოვანი სფეროებია.
შესაძლებელია, რომ ესენი ვარსკვლავთ ჩანასახები არიან. მათი შესწავ-
ლა მხოლოდ ახლა იწყება.

§ 328. რადიოგამოსხივების დისკრეტული წყაროები. უკანასკნელი რამდენიმე წლის განმავლობაში ცის სხვადასხვა ნაწილში აღმოჩენილ იქნა რადიოგამოსხივების ცალკეული დისკრეტული წყაროები, რომელთაც შედარებით მცირე კუთხური ზომები აქვთ ცის სფეროზე.

პირველ ხანებში მათი ბუნება ფრიად უცნაურად გამოიყურებოდა იმდენად, რამდენადაც მათგან ყველაზე ძლიერებისათვისაც კი (დაახლოებით შეუშფოთებელი მხის რადიოგამოსხივების სიძლიერის) არ ხერხდებოდა თამბე შესამჩნევი ოპტიკური ობიექტის აღმოჩენა.

მაგრამ რადიოტელესკოპების ხარისხის გაუმჯობესებასთან ერთად, კერძოდ, რადიოინტერფერომეტრის შექმნის შემდეგ შესაძლებელი შეიქნა რადიოგამოსხივების ცალკეული წყაროების კოორდინატებისა და ზომების უფრო ზუსტად განსაზღვრა და ამის წყალობით მთელ რიგ შემთხვევებში ზოგიერთ ობიექტთან მათი თანხვედნის გამოვლინება და მათი რადიოგამოსხივების ბუნების დადგენა.

§ 329. რადიონისლეულები. კუროს თანავარსკვლავედში რადიოგამოსხივების ერთ-ერთი ინტენსიური წყარო დაემთხვა 1054 წელს ანთებულ ზეა-



ნახ. 158.

ხალი ვარსკვლავის ნარჩენს—კიბორჩხალისმაგვარ ნისლეულს. მსგავს ობიექტებთან რადიოგამოსხივების ზოგიერთი სხვა წყაროს გაიგივების ცდები მთელ რიგ შემთხვევებში წარმატებით დაგვირგვინდა. ამრიგად, ნაწილი დისკრეტული წყაროებისა რადიონისლეულები ყოფილა. გამოსხივების ნათშა თვი-

სებებმა საშუალება მოგვცეს არა მარტო გამოგვეკვლია ყოფილი ზეახლების ფიზიკური ბუნება, არამედ მივახლოვებოდით კოსმოსური სხივების წარმოშობის პრობლემის ამოხსნასაც (რადიოგამოსხივების სხვა დისკრეტული წყაროების შესახებ იხ. § 330).

§ 330. გარეგალაქტიკური ნისლეულები. ამ კლასის ყველა ნისლეული იძლევა შთანთქმის სპექტრს, როგორც ვარსკვლავები. ისინი გაცილებით მრავალრიცხოვანია, ვიდრე გაზოვანი ნისლეულები. ჩვენი დროის გიგანტური რეფლექტორებისათვის მისაწვდომია (ფოტოგრაფიულად) მილიონობით ნისლეული და უფრო ძლიერი ინსტრუმენტების გამოყენებით მათი რიცხვი სწრაფად იზრდება. მსგავსად ვარსკვლავებისა (§ 287), ამ კლასის ნისლეულები მით მეტია, რაც უფრო სუსტია მათი ინტეგრალური ბრწყინვალეობა. მაგრამ, ვარსკვლავებისაგან განსხვავებით, ნისლეულთა რიცხვის პროგრესიის მნიშვნელს არავითარი შემცირება, თვით ყველაზე მკრთალი ობიექტებისათვისაც კი, არ ეტყობა. არის ცის აგეები, რომლებშიც სრული მთვარის დისკოს ტოლ ფართზე ფოტოგრაფია გვაძლევს 500-მდე პაწაწინა ნისლეულს, უფრო მეტს, ვიდრე ვარსკვლავებს.

ა) სპირალური ნისლეულები. XVIII საუკუნის ბოლოს და XIX საუკუნის პირველ ნახევარში ზოგიერთ ნისლეულს შენიშნეს სპირალური აღნაგობა. ასეთ ნისლეულთა მეცნიერული შესწავლა დაიწყო მხოლოდ ფოტოგრაფიის გამოყენებით. აღმოჩნდა, რომ სპირალური ნისლეულები შეადგენს დაახლოებით ყველა იმ ნისლეულის ნახევარს, რომელთაც ვარსკვლავის სპექტრი აქვთ. ყველაზე დიდი მათ შორის, ანდრომედას ნისლეული (რომელიც აღინიშნება M 31), ადვილად ჩანს უბრალო თვალით, მაგრამ მისი სპირალური აგებულება შეიძლება შემჩნეულ იქნეს მხოლოდ ფოტოსურათებზე (ნახ. 159). მეორე მნიშვნელოვანი სპირალური ნისლეული ჩანს მწვერების თანავარსკვლავედში (ნახ. 160).

სპირალური ნისლეულები შედგება უფრო კაშკაშა ცენტრალური შემკვრივებისაგან ანუ ბირთვისაგან, რომლის ორი დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილიდან გამოდის ორი შტო, რომლებიც შედგებიან უამრავი ვარსკვლავისაგან. ეს შტოება იხვევა ერთი და იმავე მიმართულებით და უფრო და უფრო შორდება ბირთვს ისე, რომ ბოლომდე არ ხვდება ერთიმეორეს. ამ ნისლეულთა უწყვეტმა სპექტრმა უკვე დიდი ხანია გვიჩვენა, რომ ისინი არ შედგებიან გაზისაგან, ხოლო მათი დაშლა ვარსკვლავებად მხოლოდ 1925 წელს მოხერხდა.

ნისლეულთა ბირთვები ბრუნავენ და სპირალური შტოებიც აგრეთვე იყოფებიან მოძრაობაში, მაგრამ ამ მოძრაობათა მიმართულება ჯერ კიდევ არ არის განსაზღვრული სავსებით დამაჯერებლად.

სპირალურ ნისლეულთა შესანიშნავ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მათში ხშირად ჩნდება „ახალი“ ვარსკვლავები. მარტო ანდრომედას ნისლეულში ყოველწლიურად 30-მდე „ახალი“ ვარსკვლავის აღმოჩენა ხდება, უმრავლეს შემთხვევაში მკრთალებისა, 16-დან მე-18 სიდიდემდე. მაგრამ ერთი მათგანი, რომელიც 1885 წელს აინთო, მე-7 სიდიდისა იყო. ეს ყველაზე უფრო ცნობილი შემთხვევაა ე. წ. „ზეახალი ვარსკვლავის“ გამოჩენისა (§ 311).

ედევ უფრო საინტერესოა სპირალურ ნისლეულთა სპექტრებში აღმოჩენილი სპექტრულ ხაზთა გადაადგილება. ეს გადაადგილებანი მეტისმეტად დიდია, გაცილებით მეტი, ვიდრე რომელიმე სხვა ობიექტის შემთხვევაში, და შემდეგ კანონზომიერებას ასე ვთქვათ: 1) იისფერი ბოლოსაკენ გადაადგილება შედარებით მცირეა და ნაოლოდ ძლიერ კაშკაშა (ე. ი. ყველაზე ახლო) ნისლეულებისათვის დაიშვიათება, 2) ნისლეულების გაცილებით დიდი რაოდინობისათვის შიშინილია გადაადგილება წითელი ბოლო-



ნახ. 159.

საკენ; ეს გადაადგილება მით მეტია, რაც უფრო მკრთალია ნისლეული (ე. ი. რაც უფრო შორსაა).

მიზეზი ნისლეულთა ხაზების ასეთი „წითელი გადაადგილებისა“ ჯერ კიდევ სავსებით არაა ცხადი. ჩვენ რომ ეს იმავე მიზეზით ავხსნათ, როგორც სხვა დანარჩენი ცის სხეულებისათვის—მხედველობის სიივის გასწვრივ მოძრაობით, მივალთ უცნაურ შედეგამდე: სპირალური ნისლეულები ჩვენ სისტემას შორდებიან ყველა მიმართულებით, ამასთანავე რაც უფრო მკრთალია ნისლეული (ე. ი. რაც უფრო შორსაა), მით სწრაფად გეშორდება. დაშორე-

ბის სიჩქარე მანძილის პროპორციულია: ყოველ მილიონ პარსეკ მანძილზე ის 560 კმ/სეკ-ით იზრდება. ამიტომ ყველაზე მეტად დაშორებულ ნისლეულთათვის ის 40 000 კმ/სეკ-ს აღემატება. თუმცა ჩვენთან ყველაზე ახლო ორი ნისლეული ანდრომედასა და სამკუთხედის თანავარსკვლავედებში კი არ გვშორდება, არამედ გვიახლოვდება 300 კმ/სეკ სიჩქარით, მაგრამ მათი მოახლოება აიხსნება ჩვენი ხზის სისტემის მოძრაობით შემხვედრი მიმართულებით ცეფეუსის თანავარსკვლავედისაკენ (§ 321).

ირმის ნახტომში სპირალური ნისლეულები სრულიად არა გვხვდება და რაც უფრო ვშორდებით მას, მით მეტია მათი რიცხვი. ეს მხოლოდ ადას-



ბ.ხ. 16).

ტურებს დასკვნას, რომ ისინი არ ეკუთვნიან ირმის ნახტომის სისტემას, არამედ იმყოფებიან შორს ჩვენი „გალაქტიკის“ სისტემის საზღვრებს იქით. ამიტომ მათ გარეგალაქტიკურ ნისლეულებს უწოდებენ. გალაქტიკის სიბრტყეში მათ დანახვას ისევ ის მშთანქაფი ნივთიერების ფენა გვიშლის, რომელიც ამ სიბრტყესთან ახლო მდებარე სფერულ გროვებსაც ფარავს ჩვენგან.

უკვე დიდი ხანია, რაც გამოთქმული იყო აზრი, რომ გარეგალაქტიკური ნისლეულები წარმოადგენს ვარსკვლავთ სისტემებს, რომელნიც ჰგვანან ჩვენი ირმის ნახტომის სისტემას, და ამიტომ მათ გალაქტიკები უწოდეს. მაგრამ ეს დამტკიცებული იყო მხოლოდ

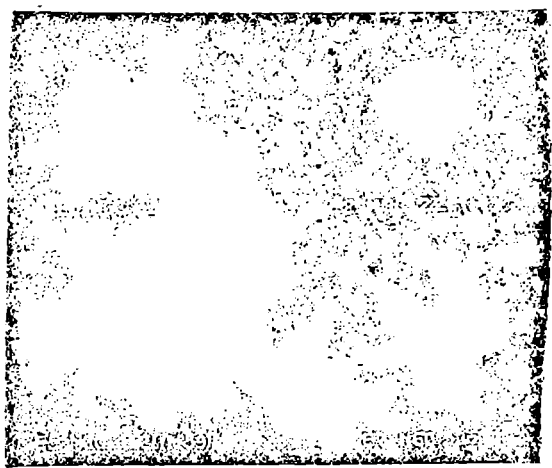
1925 წელს, როცა 100-დუმიანი რეფლექტორის დახმარებით შესაძლებელი გახდა ანდრომედასა და სამკუთხედის ნისლეულთა სპირალური შტოების (და არა ბირთვების) დაშლა ათასობით მკრთალ ვარსკვლავებად. ამ ვარსკვლავთ შორის ბევრი ცვალებადი აღმოჩნდა, სახელდობრ—ცეფეიდები. მათი ხილული ბრწყინვალეობა მიხედვით მაშინვე იყო მიღებული მანძილები ნისლეულებამდე იმავე გზით, როგორითაც სფერული გროვებისათვის (§ 325). ორივე ნისლეულისათვის მანძილი თითქმის ერთნაირი აღმოჩნდა, დაახლოებით 205 000 პარსეკი ანუ 700 000 სინათლის წელი. ასეთივე მანძილი იქნა მიღებული ნისლეულებში შემჩნეული „ახალი“ ვარსკვლავების მიხედვითაც (დაშვებით, რომ მათი საშუალო ნათება ისეთივეა, როგორიც ირმის ნახტომში). ანდრომედას ნისლეულის დიამეტრი პირველად დაახლოებით 14000 პარსეკის ტოლი მიიღეს. მაგრამ შემდეგში გამოირკვა, რომ თუ გამოვიკვლევთ ნისლეულის ფოტოგრაფიას მიკროფოტომეტრის დახმარებით (§ 198), მისი გამონახავი გაცილებით მეტი აღმოჩნდება და ნისლეულის დიამეტრი გამოდის 20-დან 30 ათას პარსეკამდე, ე. ი. თითქმის 100 000 სინათლის წელი.

ანდრომედას ნისლეულის ირგვლივ და მის შიგნით აღმოჩენილი იყო ასეულზე მეტი მრგვალი ლაქა, რომელნიც გარშემოერთყმებიან ამ ვარსკვლავთ-სისტემის ბირთვს ისევე, როგორც სფერული გროვები გარშემოერთყმის რეჟი-ნი ვალაქტიკის ბირთვს. სავსებით შესაძლებელია, რომ ეს მართლაც სფერო-ული გროვები იყოს, მაგრამ მათი სიდიდე და ბრწყინვალეობა ნაკლებია, ვიდრე ჩვენი ვარსკვლავთ-სისტემის სფერული გროვებისა.

1944 წელს ფოტოგრაფიის საშუალებით დაშლილ იქნა ვარსკვლავებად ანდრომედას ნისლეულის (M 31) ცენტრალური ბირთვი და აგრეთვე მისი ორი „თანამგზავრი“ (ნახ. 159); მათ შორის უფრო მეტად კაშკაშა აღინიშ-ნება (M 32). წითელ სხივებში გადაღებულ ფოტოსურათებზე ამ ნის-ლეულებში აღმოჩენილი იყო მრავალი წითელი გიგანტი-ვარსკვლავი და პოქ-ლებერიოიდიანი ცეფეიდები.

ბ) გარეგალაქტიკურ ნისლეულთა დანარჩენი ტიპები. გიგანტური რეფლექტორების საშუალებით მიღებულმა ფოტოგრაფიებმა კვიჩ-ვენეს, რომ ყველა გარეგალაქტიკურ ნისლეულს როდი აქვს სპირალური ფორ-მა. გარდა სპირალური ნისლეულებისა, გვხვდება კიდევ ნისლეულები: 1) სფე-რული, 2) ელიფსური, 3) თითისტარისმაგვარი, სინამდვილეში, როგორც ჩანს, დისკოსმაგვარი, ხილული წიბოდან და 4) არაწესიერი (ნახ. 161, 162), მათ აქვთ ყველა ნიშანი სპირა-ლური ნისლეულებისა (იგი-ვე სპექტრი, ისეთივე განა-წილება ცაზე, ისეთივე უზ-არმაზარი სხივური სიჩქა-რებები) და განსხვავდებიან მხოლოდ იმით, რომ არა აქვთ სპირალური სტრუქ-ტურა.

არაწესიერ გარე-გალაქტიკურ ნისლეულებს, რომლებიც შედარებით იშ-ვიათად გვხვდებიან, მიე-კუთვნება მთელი ცის ორი ყველაზე კაშკაშა ნისლეუ-ლი—ეგრეთ წოდებული ძა-გელანის ღრუბლები, რომლებიც ხილულია საზხ-რეთ ნახევარსფეროში (ნახ.



ნახ. 161.

162). ისინი ირმის ნახტომისაგან „მოწყვეტილ“ ნაწილებად გვეჩვენებიან და ჩა-ნან შეუიარაღებელი თვალით მთვარის დროსაც კი; მათი დიამეტრებია: დი-დისა დაახლოებით 7°, მცირესი კი—დაახლოებით 4°. ფოტოგრაფიებზე ისინი წარმოადგენენ ასეულ ათასობით მკრთალ ვარსკვლავთა და მრავალ ვარსკ-ვლავთა გროვისა და გაზობრივი ნისლეულების ერთობლიობას. მრავალრიცხო-ვანი ცეფეიდის მიხედვით, რომლებიც ნაპოვნი იყო ამ ღრუბლებში, გა-

ნოთფილი იქნა, რომ ორივე ღრუბელი თითქმის ერთი და იმავე მანძილით, დაახლოებით 25 000 პარსეკით (80 000 სინათლის წლით), არის დაშორებული ჩვენგან. ამგვარად, მაგელანის ღრუბლები ჩვენთან ყველაზე ახლო ვარსკვლავთ სისტემებია (გალაქტიკებია). დიდი ღრუბლის დიამეტრი 2400 პარსეკზე მეტია, პცირესი კი—1800-ზე.

გ) რადიოგალაქტიკები. რადიოგამოსხივების დისკრეტული წყაროების რიცხვს მიეკუთვნება აგრეთვე სხვადასხვა გალაქტიკები. რადგანაც გალაქტიკები (მაგალითად, გალაქტიკა ანდრომედაში) თავისი შემადგენლობის მიხედვით ძლიერ ჰგავს ჩვენ ვარსკვლავთ სისტემას, ამიტომ სრულიად ბუნებრივია, რომ ისინი წარმოადგენენ წყაროებს რადიოგამოსხივებისა, რომლის ბუნება სრულიად ისეთივეა, როგორც ჩვენი გალაქტიკის რადიოგამოსხივებისა.

თუმცა გვხვდება მეტაგალაქტიკური რადიოგამოსხივების არაჩვეულებრივი შემთხვევებიც; ასეთებია „დაჯახებაში მყოფი“ გალაქტიკები. ერთ-მანეთისაკენ 1000 კმ/სე-ზე მეტი სიჩქარით მოძრავი ორი გალაქტიკის შეხ-



ნახ. 162.

ველრა გავლენას ვერ ახდენს მათ შემადგენელ ვარსკვლავთ თვისებებსა და მოძრაობებზე. მაგამ გალაქტიკის ვარსკვლავთშორისეთის დაჯახებას შეუძლია გამოიწვიოს სხვადასხვა მოვლენა, მათ შორის რადიოგამოსხივების ინტენსიობის გადიდება. ალბათ, ასეთია გედის თანავარსკვლავედში არსებული მძლავრი წყაროს რადიოგამოსხივების ბუნება. არსებობს აგრეთვე განსაკუთრებული გალაქტიკები, რომლებიც ძალიან ძლიერად გამოასხივებენ რადიოდიანაზონში.

§ 331. მეტაგალაქტიკა. XX საუკუნის გიგანტური რეფლექტორები საშუალებით მიღებული ფოტოგრაფიები მორიგ საკითხად აყენებს იმ სისტემის შესწავლას, რომლის წევრებსაც „გალაქტიკები“ წარმოადგენს და რომელშიც დაახლოებით ისეთივე ადგილი უჭირავს ჩვენ გალაქტიკას, როგორც უკანასკნელში მზის სისტემას.

გალაქტიკათა ამ ზესისტემის ყოველი ვარსკვლავთ სისტემა წარმოადგენს „კუნძულს“ სამყაროს სივრცის ოკეანეში. გალაქტიკათა დიამეტრი იცვლება 1-დან 100 000 სინათლის წლამდე, თითოეული მათგანი შეიცავს ასეული მილიონობით, ანდა მილიარდობით მზეს. გალაქტიკათა შორის მანძილი, საშუალოდ, დაახლოებით 1 მილიონ სინათლის წელს შეადგენს. ყველაზე დაშორებული ვარსკვლავთ სისტემები, რომლებიც მისაწვდომია 5-მეტრიანი რეფლექტორისათვის, დაახლოებით მილიარდი სინათლის წლის მანძილზე იმყოფებიან. ფოტოგრაფიებზე მათ პატარა ლაქების სახე აქვთ, რომელნიც თითქმის არ განიჩევიან 21-ე სიდიდის ვარსკვლავისაგან.

სფეროს შიგნით, რომლის დიამეტრი ერთი მილიარდი სინათლის წელია, აღმოჩენილია 100 მილიონზე მეტი ასეთი ნისლეული. გალაქტიკათა, ანუ „ვარსკვლავთ კუნძულების“ ამ ერთობლიობას მეტაგალაქტიკას უწოდებენ.

მეტაგალაქტიკა არ არის საცხებით ერთგვაროვანი. მისი შემადგენელი „ვარსკვლავთ კუნძულები“ მრავალ ადგილას დაგუფურად არის თავმოყრილი, ქმნის გალაქტიკათა გროვებს, რომლებიც ვარსკვლავთ გაბნეულ გროვებს ჰგვანან, მაგრამ შეუდარებლად დიდი ზომისა არიან. მათ ზეგალაქტიკებს უწოდებენ (ნახ. 163). ერთი გროვა, ყველაზე ახლო მდებარე გროვათაგან, მდებარეობს ბერენიკეს თმებსა და ქალწულის თანავარსკვლავედებში და უკვე დიდი ხანია, რაც ცნობილია. ის შედგება, სულ მცირე, 300 ნისლეულისაგან, ინტეგრალური ბრწყინვალებით 8-დან 15 ვარსკვლავიერ სიდიდემდე, აქვს დაახლოებით 2 მილიონი სინათლის წლის ტოლი დიამეტრი და ჩვენგან მდებარეობს 10 მილიონი სინათლის წლის მანძილზე. დიდი დათვის ოთხკუთხედის შიგნით აღმოჩენილია გროვა, რომლის დიამეტრი $1\frac{1}{2}$ -ზე ნაკლებია და შეიცავს 60-მდე ნისლეულს. გროვის კეშმარიტი დიამეტრი 500 000 სინათლის წელს არ აღემატება, ხოლო მანძილი კი 100 მილიონ სინათლის წელს უნდა შეადგენდეს.

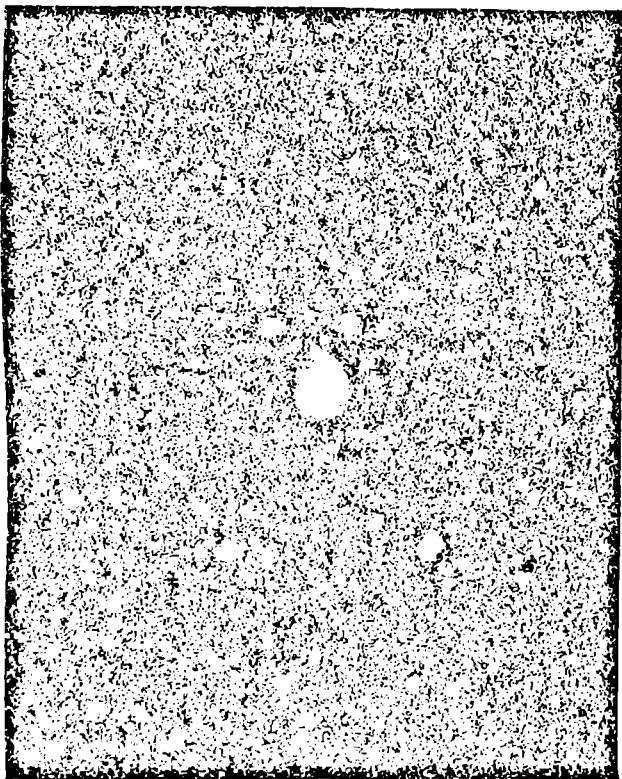
ჩვენი გალაქტიკა, ანუ ირმის ნახტომის ვარსკვლავთ სისტემა, აგრეთვე წარმოადგენს გალაქტიკათა ერთ-ერთი ასეთი ადგილობრივი გროვის წევრს. უკანასკნელი მონაცემების მიხედვით, ჩვენს ადგილობრივ გროვაში, გარდა შეიდი გალაქტიკისა, რომლებიც მოხსენებული იყო წინა პარაგრაფში (ჩამოთვალეთ ისინი), კიდევ არის რ ნაკლებად ცნობილი გალაქტიკა. მათ შორის ყველაზე პატარას 290 პარსეკის ტოლი დიამეტრი აქვს; ყველაზე დიდად ითვლება გალაქტიკა ანდრომედაში და ჩვენი გალაქტიკა (დიამეტრი 26 000 პარსეკი), მაგრამ ჩვენი გალაქტიკის სიდიდე ნაკლები სიზუსტით განისაზღვრება (რატომ?).

მეტაგალაქტიკა წარმოადგენს უზარმაზარ მატერიალურ სისტემას, რომელიც ჩვენთვის ცნობილია ამჟამად. ჩვენს ძლიერ ასტრონომიულ ხელსაწ-

ქრესტს ჯერ კიდევ ბევრი უკლია, რომ მიაღწიოს მის საზღვრებს და შესაძლოა, რომ ასეთი სანტყრები არც არსებობდეს. მაგრამ, მეტაგალაქტიკა რომ კიდევ აღმოჩნდეს სასრულო, ეს სრულებითაც არ დაამტკიცებდა სამყაროს სასრულობას.

ის „შესასტემა“, რომელიც ჯერჯერობით ჩვენ გვეჩვენება ერთადერთად, წარმოადგენს მხოლოდ ერთ-ერთს მრავალრიცხოვან მეტაგალაქტიკათაგან. ობიექტის შედგებიან გალაქტიკებისაგან, ანუ „ვარსკვლავთ კუნძულები-საგან“. ასევე ისა, როგორც ჩვენი ირმის ნახტომი არის მეტაგალაქტიკის ერთი კარგად შესწავლილი სისტემათაგანი.

მეტაგალაქტიკის შესანიშნავ თავისებურებას წარმოადგენს გალაქტიკების სპექტრში ხაზების წითელი გადაადგილება (§ 330). ამაზე დაყრდ-



ნახ. 163.

ნობით, ზოგიერთმა დასავლეთ ევროპის თეორეტიკოსმა განავითარა „სივრცის გაფართოების“ იდეალისტური სქემა, ანუ „გაფართოების პროცესში მყოფი სასრულო სამყაროს“ სქემა. ამ სქემის ერთ-ერთ შედეგს წარმოადგენს დასკვნა იმის შესახებ, რომ სულ 2 მილიარდი წლის წინათ „სამ-

ყაროს რადიუსი“ ნულის ტოლი იყო, სამყაროს მთელი მატერია კონცნეტირებული იყო ერთ წერტილში და ამ წერტილიდან რაღაც ზებუნებრივი ხერხით შეიქმნა ბუნების მთელი მრავალსახეობა. რადუნაც სამყაროს ასეთი „საწყისი მდგომარეობა“ არაფრით არ განირჩევა „არაფრისაგან“ სამყაროს შექმნის თეორიისაგან, ვასაგებია, რომ „თეორიამ“ სამყაროს გაფართოების შესახებ გამოიწვია მხურვალე თანაგრძნობა ეკლესიის მსახურების მხრივ.

ასეთი აბსურდული შედეგების გარეშე „თეორია“ სამყაროს გაფართოების შესახებ ვერ უძლებს კრიტიკას. ის უსასრულოს მიაწერს სასრულოს ბევრ თვისებას, თვითნებურად ანზოგადებს და ანვითარებს ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ჯერ ისედაც აბსტრაქტულ და ჯერაც დაუმტკიცებელ დებულებებს და ა. შ. ამიტომაც, ეს წარმოადგენს ერთ ყველაზე მეტად თვალსაჩინო მაგალითს იმ ღრმა კრიზისისას, რომელსაც განიცდის კაპიტალისტური ქვეყნების მეცნიერება და კულტურა.

ფილოსოფიურ დისკუსიაზე (გ. ფ. ალექსანდროვის წიგნის შესახებ) 1947 წლის 23 ივნისს ა. ა. ჟდანოვმა თქვა:

„თანამედროვე ბურჟუაზიული მეცნიერება ამარაგებს ხუცობას, ფილზინზს ახალი არგუმენტაციით, რომელიც დაუნდობლად უნდა ვამხილოთ...“

არ ესმით რა შემეცნების დიალექტიკური მსვლელობა, აბსოლუტურ და ფარდობით კემშარბიტებას შორის კაჟშირი, ეინშტეინის ბევრ მიმდევარს გადააქვს სამყაროს სასრულო შემოსაზღვრულ არეში ძრაობის კანონთა გამოკვლეუების რეზულტატები მთელ დაუსრულებელ სამყაროზე. იქამდეც კი მიდიან, რომ აღიარებენ სამყაროს სასრულობას და ნის შემოსაზღვრულობას დროსა და სივრცეში. ხოლო ასტრონომმა ნილნიმ ისიც კი „გამოიანგარიშა“, რომ ქვეყნიერება შექმნილია 2 მილიარდი წლის წინათ. ამ ინგლისელი მეცნიერების მიმართ შეიძლება ითქვას მათი დიდი თანამემამულის, ფილოსოფოს ბეკონის სიტყვები იმის შესახებ, რომ ისინი თავიანთი მეცნიერების უძღურებას ბუნების წინააღმდეგ მიმართულ ცილისწამებად აქცევენ“.

„წითელი გადაადგილების“ მიზეზი ჯერ კიდევ საესებით არ არის ცხადი. მაგრამ უმეველია, რომ მისთვის მონახული იქნება საესებით მატერიალისტური ახსნა. შესაძლებელია, რომ აქ ჩვენ პირველად ვხვდებით ბუნების რომელიღაც ახალ კანონს, რომელიც დღემდე უცნობი რჩებოდა იმიტომ, რომ ის ვლინდება მხოლოდ ძლიერ დიდი მანძილების შემთხვევაში.

შესაძლებელია კიდევ უფრო მარტივი ახსნაც: ეს რაღაც ადგილობრივი მოვლენაა ჩვენ ეპოქაში, მეტაგალაქტიკის ჩვენ ნაწილში, რომელიც გამოწვეულია ჩვენთან ახლო გალაქტიკების ფარდობითი სიჩქარეების განაწილებით (რომელთა ორბიტები ისევე, როგორც ჩვენი გალაქტიკის ორბიტა, ჩვენთვის ჯერ კიდევ საესებით უცნობია). მეტაგალაქტიკის სხვა უბანში და სხვა ეპოქაში შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს სხივური სიჩქარეების საესებით სხვანაირ განაწილებას.

IV. ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულება

§ 332. ვარსკვლავთ განაწილება ჩვენ გალაქტიკაში. სივრცეში ვარსკვლავთა განაწილების გამოკვლევის შედეგად შემდეგი დასკვნები მიიღება:

1. ჩვენი მზის სისტემიდან დაშორებასთან ერთად ვარსკვლავთ სიმკვრივე (ე. ი. ვარსკვლავთ რიცხვი გარკვეული ერთეული მოცულობის შიგნით) თანდათან მცირდება და რალაც სასრულო მანძილზე ნულის ტოლი ხდება. ეს ნიშნავს, რომ ვარსკვლავები, რომელთაც ჩვენ ვხედავთ როგორც ცალკეულ წერტილებს, მიეკუთვნება ერთ მთლიან სასრულო სისტემას. ეს სისტემა არის სწორედ ირმის ნახტომის სისტემა, ანუ ჩვენი გალაქტიკა. მას აქვს უზარმაზარი, მაგრამ არა უსასრულოდ დიდი სიდიდე. ხანდახან ამას ასე გამოთქვამენ: ვარსკვლავთ სისტემა არის „კუნძული“ უსაზღვრო სამყაროს სივრცეში.

ამის დამტკიცება შემდეგნაირად შეიძლება. დავუშვათ, რომ ვარსკვლავები თანაბრად არის განაწილებული სივრცეში და ერთნაირი საშუალო ნათება აქვს. დავუშვათ, რომ „ნორმალური“ ვარსკვლავი r მანძილზე გვეჩვენება m სიდიდისა. მაშინ ყველა ის ვარსკვლავი, რომელთაც ჩვენთვის აქვთ m სიდიდე და უფრო კაშკაშაც (მათი რიცხვი იყოს N_m), მოთავსდებოდა მზის ირგვლივ შემოწერილი r რადიუსიანი სფეროს შიგნით. ასევე ყველა ვარსკვლავი $m+1$ სიდიდემდე ჩათვლით მოთავსდება R რადიუსიანი სფეროს შიგნით; მათი რიცხვი აღენიშნოთ N_{m+1} -ით. ვარსკვლავთ თანაბარი განაწილების შემთხვევაში ეს რიცხვები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც სფეროების მოცულობები, ე. ი.

$$f = \frac{N_{m+1}}{N_m} = \frac{R^3}{r^3}. \quad (7)$$

მაგრამ, ვარსკვლავთ ხილული ბრწყინვალება უკუპროპორციულია მანძილის კვადრატისა, ხოლო m სიდიდის ვარსკვლავი $m+1$ სიდიდის ვარსკვლავზე 2,512-ჯერ უფრო კაშკაშა (§ 282).

$$\frac{J_m}{J_{m+1}} = \frac{R^2}{r^2} = 2,512. \quad (8)$$

თუ განვსაზღვრავთ (8)-დან $\frac{R}{r}$ -ს და ჩავსვათ (7)-ში, მივიღებთ:

$$f = \frac{N_{m+1}}{N_m} = \sqrt{2,512^2} = 3,98. \quad (9)$$

ამგვარად, უსასრულო სივრცეში ვარსკვლავთ თანაბარი განაწილების შემთხვევაში ყვარდობა f ყველა სიდიდისათვის უნდა რჩებოდეს მედმივ რიცხვად, რომელიც დაახლოებით 4-ის ტოლია. მაგრამ, სინამდვილეში, დასაწყისშიაც კი, $f < 3$ და ის ვარსკვლავთ ბრწყინვალების შესუსტებასთან ერთად მცირდება, ხოლო მე-18 სიდიდიდან დაწყებული $f < 2$, ე. ი. მომდევნო სიდიდის ვარსკვლავთ რიცხვი უკვე ნაკლებია და არა მეტი ყველა წინა სიდიდის ვარსკვლავთ რიცხვზე, ამიტომ მწკრივი „კრებადი“ ხდება.

2. ირმის ნახტომის სიბრტყესთან მიახლოებისას ხილულ ვარსკვლავთა რიცხვი (განსაკუთრებით მკრთალებისა) იზრდება სწრაფად. ეს ე. წ. გალაქტიკური კონცენტრაციის მოვლენა ჩანს შემდეგი ცხრი-

ლიდან, რომელშიც მოცემულია ვარსკვლავთ საშუალო რიცხვი 100 კვადრატულ გრადუსზე ირმის ნახტომის სიბრტყეში (გალაქტიკური განედი $b=0^{\circ}$) და მის პოლუსებთან ($b=90^{\circ}$).

	III	0°	90°	შეფარდებ
ვარსკვლავთა რიცხვი	7,0-მდე	36	10	3,6
" "	9,0 "	280	72	3,9
" "	11,0 "	2 080	450	4,8
" "	13,0 "	14 600	2 140	6,5
" "	16,0 "	91 000	8 700	10,4
" "	17,0 "	478 000	28 800	16,6
" "	19,0 "	2 075 000	77 000	27,0

მაშასადამე, ირმის ნახტომის სიბრტყე არის ვარსკვლავთ სისტემის ძირითადი სიბრტყე, ხოლო თვით სისტემა შებრტყელებული სტრუქტურისაა.

§ 333. ჩვენი გალაქტიკის შესწავლის ხიძნელე. რადგანაც ჩვენ ვიმყოფებით ირმის ნახტომის ვარსკვლავთ სისტემის შიგნით, მისი აგებულების გაგება ჩვენთვის გაცილებით უფრო ძნელია, ვიდრე შორეული გალაქტიკის აგებულებისა, რომელსაც ჩვენ გარედან ვუყურებთ. მკრთალ ვარსკვლავთა მანძილების შეფასება მათი ხილული ბრწყინვალეების მიხედვით უნდა ხელახლა საფუძვლიანად გადაინიხჯოს ვარსკვლავთშორის სივრცეში გაბნეული ბნელი მატერიის მიერ სინათლის შთანთქმის აღმოჩენის შემდეგ; ამიტომ დაკარგა ფასი შედეგების უმრავლესობამაც, რომლებიც დაფუძნებული იყო სხვადასხვა სიდიდის ვარსკვლავთ დათვლაზე და ცაზე მათი ხილული განაწილების შესწავლაზე.

მაგალითად, ირმის ნახტომის ჩრდილო ნახევრის ყველაზე ნათელ ადგილს წარმოადგენს „ვარსკვლავთ ღრუბელი“ გედის თანავარსკვლავედში (§ 323). ამიტომ, როცა გამოთქმული იყო ჰიპოთეზა გალაქტიკის სპირალური სტრუქტურის შესახებ, პირველად დაუშვეს კიდევ, რომ სისტემის ბირთვის ეს „ვარსკვლავთ ღრუბელი“ უნდა წარმოადგენდეს. სინამდვილეში კი ეს „ღრუბელი“ მოჩვენებითია და გალაქტიკის ბირთვთან არაფერი საერთო არა აქვს. გალაქტიკის ბირთვი (მისი ცენტრალური შემკვრივება) იმყოფება მშვილდოსნის თანავარსკვლავედის მიმართულებით და ბირთვის ნახევარი მდებარეობს სწორედ ირმის ნახტომის ვარსკვლავებით ყველაზე ღარიბ ნაწილში, მის ორ შტოს შორის „ბნელ შუალედში“ (იხ. § 323). ამ მიმართულებით ვარსკვლავთშორისი შთანთქმა ისე ძლიერია, რომ აკადემიკოს ვ. გ. ფესენკოვის სიტყვებით „შესაძლო რომ იყოს ამ გაბნეული ნივთიერების მოშორება, მაშინ ირმის ნახტომის ზედაპირული სიკაშკაშე, სულ ცოტა 1000-ჯერ გაიზარდებოდა“.

ამყაშად, ვარსკვლავთ სისტემის გამოსაკვლეად, გარდა სტატისტიკური ხერხისა, ჩვენს ხელთ არის კიდევ დინამიკური ხერხი. ის დაფუძნებულია ვარსკვლავთ მოძრაობის შესწავლაზე და სინათლის შთანთქმა. ამ შედეგებზე არ მოქმედებს (იხ. § 334).

§ 334. **ოორტის თეორია გალაქტიკის ბრუნვის შესახებ.** ვარსკვლავთ სისტემა იმდენად რთულია, რომ ჩვენ არა გვაქვს შესაძლებლობა გამოვიყენოთ მოძრაობის კანონები მისი ცალკეული წევრებისათვის, როგორც ეს გაკეთებულია. ნაგალითად, ცთომილთ სისტემისათვის. დღეისათვის ჩვენ შეგვიძლია შევისწავლოთ მხოლოდ ვარსკვლავთ საშუალო ანუ „ნორმალური“ მოძრაობები სისტემის მოცემული არისათვის. ამგვარი მოძრაობები ყველაზე კარგად წარმოდგენილია გალაქტიკური ბრუნვის თეორიით, რომელიც დაამუშავა ჰოლანდიელმა ასტრონომმა ოორტმა (1927 წელს).

ან თეორიის თანახმად, ირმის ნახტომის მთელი სისტემა ბრუნავს გალაქტიკის სიბრტყეში ცენტრალური ბირთვის ირგვლივ. ამ ბირთვის მასა იმდენად დიდია, რომ სისტემის ყოველ წერტილში გალაქტიკის ცენტრისაკენ მიზიდულობის ძალა (ნიუტონის კანონის თანახმად) წარმოადგენს მთავარ ძალას. გარდა ამისა, მოცემულ ვარსკვლავზე მოქმედებს კიდევ სისტემის ვარსკვლავთა მთელი კომპლექსის მიზიდულობის ძალა. თუ სისტემას აქვს დაახლოებით ბრუნვითი ელიფსოიდის ფორმა, მაშინ ეს მეორე ძალა, როგორც ცნობილია მექანიკიდან, აგრეთვე მიმართული იქნება დაახლოებით სისტემის ცენტრისაკენ. რაც შეეხება ცალკეულ ვარსკვლავთა ურთიერთ მიზიდულობის ძალას, ის უმნიშვნელოა.

ან ორი ცენტრალური ძალიდან რომ მხოლოდ მეორე არსებობდეს, მაშინ სისტემა იბრუნებდა როგორც მყარი სხეული და მის წერტილთა ხაზოვანი სიჩქარეები გაიზარდებოდა ცენტრიდან მანძილების პროპორციულად. მაგრამ, ნიუტონისეული მიზიდულობა ჰარბობს და ადგილი აქვს შებრუნებულ მოვლენას: სისტემის წერტილთა ხაზოვანი სიჩქარეები ცენტრიდან მანძილის ზრდასთან ერთად კლებულობს არა მანძილის კვადრატის პროპორციულად, არამედ რამდენადმე ნაკლები ხარისხით.

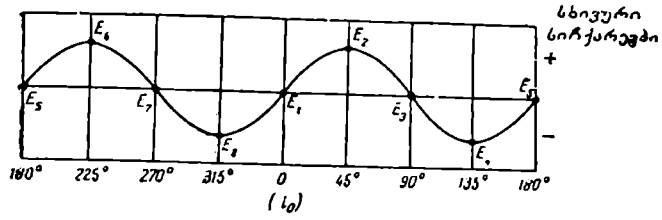
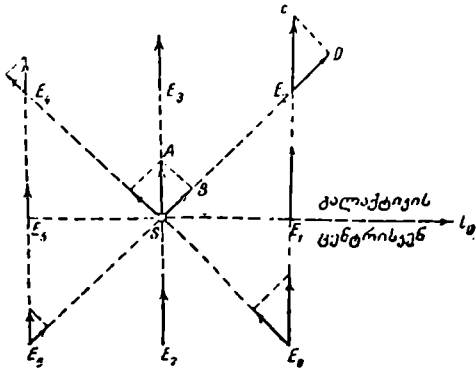
ჩვენ რომ ვიცოდეთ მთელი სისტემისა და მისი ცენტრალური ბირთვის მასა. შევძლებდით ცენტრიდან მოცემულ მანძილზე ბრუნვის ხაზოვანი სიჩქარის გამოთვლას. მაგრამ ეს იქნებოდა მოცემულ წერტილში ვარსკვლავის არა ფაქტობრივი სიჩქარე, არამედ მხოლოდ ამ წერტილის მახლობლად მყოფი რომელიღაც „გუნდის“, ვარსკვლავთ ჯგუფის, საშუალო სიჩქარე. ყოველ ვარსკვლავს გუნდის შიგნით აქვს კიდევ თავისი ინდივიდუალური სიჩქარე. მაგალითად, მზის სიჩქარე (20 კმ/სეკ ჰერკულესის თანავარსკვლავედისაკენ, § 316) არის მხოლოდ მისი სიჩქარე თავის მახლობელ ვარსკვლავთა წიმართ, ე. ი. მისი სიჩქარის ინდივიდუალური გადახრა იმ სიჩქარიდან, რომლითაც მთელი „მზის მახლობელი ჯგუფის“ ვარსკვლავები ბრუნავენ ძალიან დაშორებული ცენტრის ირგვლივ.

ინისათვის, რომ აღმოვაჩინოთ ეს ბრუნვა, საჭიროა გამოვარკვიოთ შორეულ ვარსკვლავთა, მაგალითად, B კლასის თეთრი გიგანტების საშუალო სხივური სიჩქარეები; საშუალოდ, ისინი მდებარეობენ ჩვენი გალაქტიკის ცენტრიდან სხვა მანძილებზე, ვიდრე მზე და ამიტომ მათი ბრუნვის სიჩქარე იქნება სხვა. ოორტმა უჩვენა, რომ ამ „დიფერენციალური ბრუნვის“ გავლენა დაშვებით უ, სხივურ სიჩქარეზე უნდა იცვლებოდეს ვარსკვლავის გალაქტიკური l გრძედის მიხედვით მარტივი კანონით, სახელდობრ:

$$\Delta v_r = .1r \sin 2(l - l_0). \quad (10)$$

ადაც r ვარსკვლავთ ჯგუფის საშუალო მანძილია მზიდან, l_0 ბრუნვის ცენტრის გრძედია, l მუდმივია. ამ განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ მიმართულება l_0 , საითკენაც მდებარეობს ბრუნვის ცენტრი, თუ მოვახერხებთ მოცემული ჯგუფის ვარსკვლავთ სხივურ სიჩქარეებში Δv_r ბრუნვითი წევრის (l და r ცნობილია) გაზომვას.

მართლაც, $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ ვარსკვლავთა და (N) მზის გალაქტიკის ცენტრის (l_0 , ნახ. 164) გარშემო ბრუნვისას, E_1, E_2, E_3, E_4 ვარსკვლავებს



ნახ. 164.

(N) მზის მიმართ ექნებათ ნულის ტოლი სხივური სიჩქარე. E_2 და E_6 ვარსკვლავები შორდებიან მზეს და მათ სპექტრებში ადგილი ექნება ხაზების გადაადგილებას წითელი ბოლოსაკენ. E_4 და E_8 ვარსკვლავები უახლოვდებიან მზეს და, მაშასადამე, მათ სპექტრებში ადგილი ექნება გადაადგილებას იისფერი ბოლოსაკენ.

ოორტის თეორიული დასკვნები დადასტურებულ იქნა დაკვირვებებით. აღსანიშნავია, რომ ბრუნვის ცენტრის მიმართულებისათვის მიიღეს გალაქტიკური გრძედი $l_0 = 330^\circ$, ე. ი. იგივე მიმართულება შვეიცარიის თანავარსკვლავედისაკენ, რომელიც წინათ იყო მიღებული გალაქტიკის ცენტრისათვის სხვა გზით (§ 325). აღმოჩნდა, რომ „ბრუნვითი წევრი“ შეიძლება აღმოჩენილ იქნეს ვარსკვლავთშორისი კოსმოსური კალციუმის მასების სხივურ სიჩქარეების მიხედვით.

ქარეზშიც (§ 322). აქაც ბრუნვის სიჩქარეები და ცენტრის მდებარეობაც იგივე გამოდის, რაც ვარსკვლავთ სხივური სიჩქარეების მიხედვით. ამგვარად, ვარსკვლავთ სისტემა ბრუნავს იმ გაიშვიათებული ნივთიერების ღრუბელთან ერთად, რომელიც მას ავსებს და აკრავს ვარს.

გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ მზის გარემომცველ ვარსკვლავთა ბრუნვის სიჩქარის განსაზღვრავად, ოორტმა სიმარტივისათვის დაუშვა, რომ სფერულ გროვათა სისტემა, რომელიც ვარს არტყია ჩვენი გალაქტიკის ბირთვს, თითქმის უძრავია სივრცეში. როგორც უკვე ვნახეთ (§ 321), ამ დაშვების დროს გამოდის, რომ ჩვენი მზე მოძრაობს 286 კმ/სეკ სიჩქარით წერტილისაკენ, რომელიც ცეფევის თანავარსკვლავედში მდებარეობს: ამ მიმართულების გალაქტიკური გრძელი დაახლოებით 60°-ის ტოლი გამოდის, ე. ი. თითქმის ბრუნვის ცენტრის მიმართულებით გავლებული ხაზის პერპენდიკულარულია. ასეც უნდა იყოს: წრეზე გარემოქცევის სიჩქარე რადიუსის პერპენდიკულარულია. ვიცით რა მზის გარემოქცევის სიჩქარე, შეიძლება დაახლოებით განვითვაოთ მანძილი გალაქტიკის ცენტრამდე და მზის გარემოქცევის პერიოდი. პ. პ. პარენაგომ ამ სიდიდეებისათვის მიიღო დაახლოებით 7200 პარსეკი და 190 მილიონი წელი. გალაქტიკის დიამეტრი აღმოჩნდა დაახლოებით ანდრომედას ნისლეულის დიამეტრის ტოლი, ე. ი. 26 000 პარსეკი.

ვარსკვლავთ სისტემის ბრუნვა ხდება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით (ჩრდილო ნახევარსფეროში მყოფი დამკვირვებლისათვის).

დანარჩენ ვარსკვლავთა მოძრაობა, რომელთაც ჩვენ ვთვლით სწრაფად მოძრაოდ, აიხსნება ოორტის თეორიით სფერულ გროვათა მოძრაობის ანალოგიურად. ეს „სწრაფი“ ვარსკვლავები სინამდვილეში (ე. ი. გალაქტიკის ცენტრის მიმართ) მოძრაობენ შედარებით ნელა. ამიტომაც ჩვენი ვარსკვლავთ ჯგუფის მოძრაობისას ცეფევის თანავარსკვლავედისაკენ ვუსწრებთ ამ ნელა მოძრაე ვარსკვლავებს უზარმაზარი ფარდობითი სიჩქარით და ჩვენ კი გვეჩვენება, რომ, პირიქით, ისინი მოძრაობენ ძალიან სწრაფად ირმის ნახტომის საწინააღმდეგო წერტილისაკენ (კიჩოას თანავარსკვლავედისაკენ). შესაძლებელია, რომ ამ ვარსკვლავთა ნელი სიჩქარე ჩვენს ეპოქაში აიხსნება იმით, რომ ისინი ბრუნავენ არა ისეთ ორბიტებზე, რომელნიც ახლოა წრიულთან, როგორც ამას ადგილი აქვს ვარსკვლავთა უმრავლესობისათვის, არამედ აღწერენ გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ ძალზე გაწეილ ელიფსებს, რომელთა „აფელიუმები“ მდებარეობს ვარსკვლავთ სამყაროს ჩვენთან ახლო მდებარე არეში. ამით აიხსნება სწორედ მათი ნელი მოძრაობა (გავიხსენოთ, რომ ფართთა კანონის თანახმად სიჩქარე „აფელიუმში“ უმცირესია).

მსგავსი რამ შეიძლება შეენიშნოთ ჩვენ ცთომილთა სისტემაშიც. წარმოსახვითი დამკვირვებლისათვის, თუ წარმოვიდგენთ მას „ტროიანელთა“ ჯგუფიდან (§ 250, ბ) ერთ რომელიმე მცირე ცთომილზე, იმავე ჯგუფის დანარჩენი ცთომილები თითქმის უძრავი იქნებიან, რადგანაც მათ ყველას თითქმის ერთნაირი მოძრაობა აქვს მზის ირგვლივ. ხოლო, თუ ჯგუფის შიგნით ტროიანელ ცთომილთა შორის კიდევ აღმოჩნდება იუპიტერის ოჯახის ზოგიერთი კომეტა (§ 261), მაშინ ეს უკანასკნელი მათთან შეხვედრის მომენტში იქნებიან თავისი აფელიუმის მახლობლად და, მაშასადამე, მოძრაეებენ მზის მიმართ მცირე სიჩქარით. ამიტომ ტროიანელთა ცთომილზე მყოფ დამკვირვებ-

პელს ეს კომეტები წოვჩვენება სწრაფად მოძრავ მნათობებად და გაივლიან ცთომილთა ჯგუფში თითქმის ისეთივე სიჩქარით, როგორიც თვით ჯგუფს აქვს. მხოლოდ შემხვედრი მიმართულებით.

ვარსკვლავთ ნაკადების მოვლენაც აგრეთვე აიხსნება გალაქტიკის ბრუნვის თეორიით. ცენტრალური ძალით გამოწვეული ბრუნვის ერთ-ერთ მათემატიკურ შედეგს წარმოადგენს ვარსკვლავთა სიჩქარეების „ელიფსოიდური“ განაწილება. ამასთანავე, ელიფსოიდის უდიდესი ღერძი (ე. ი. ვერტექსების ხაზი) მიმართული უნდა იყოს ბრუნვის ცენტრისაკენ. ესეც მტკიცდება დაკვირვებებით: ერთ-ერთი ქემზარიტი ვერტექსის გალაქტიკური გრძელი (§ 324) მცირედ განსხვავდება სისტემის ცენტრის გრძელისაგან.

ჩვენი გალაქტიკის სიდიდეებისათვის საბუთთა მკვლევარების, ძირითადად ში კი პ. პ. პარენაგოს (რომელსაც გალაქტიკის ღრმად შესწავლისათვის მიენიჭა თ. ა. ბრედინის პრემია), ბ. ვ. კუპარკინის და კ. თ. ოგოროდნიკოვის მიერ მიღებულ იქნა შემდეგი დამრგვალებული რიცხვები:

მზის მანძილი ცენტრიდან	$R=7200$ პარსეკი
ჩვენი გალაქტიკის დიამეტრი .	$D=26000$ პარსეკი
მზის სიჩქარე	$V=233$ კმ/სეკ
მზის გარემოქცევის პერიოდი	$P=190 \cdot 10^6$ წელი
სისტემის მასა (მზე=1)	$M=130 \cdot 10^6$
ვარსკვლავთ რიცხვი ჩვენს გალაქტიკაში	$n=120 \cdot 10^6$

ამგვარად, ჩვენი გალაქტიკის დინამიკური სიდიდეებიც ასევე საკმარისად ახლოს არის ანდრომედას ნისლეულის სიდიდეებთან (§ 330).

§ 336. გალაქტიკის შემადგენელი ქვესისტემები. ოორტის თეორია იძლევა ჩვენ გალაქტიკაში მოძრაობის მხოლოდ ზოგად გამარტივებულ სქემას; ამ გალაქტიკის აგებულება სინამდვილეში ძალზე რთულია. ვარსკვლავთ ასტრონომიის მოსკოვის სკოლა (პ. პ. პარენაგო, ბ. ვ. კუპარკინი და მათი თანაშემრომლები) ხაზს უსვამს იმ გარემოებას, რომ ჩვენი გალაქტიკის სისტემა წარმოადგენს რამდენიმე ქვესისტემის ერთობლიობას (ბ. ვ. კუპარკინი). ყოველი ქვესისტემა შედგება მსგავსი ფიზიკური მახასიათებლების მქონე ობიექტებისაგან და ამასთანავე, სხვადასხვა ქვესისტემის წევრები სივრცეში შერეულია ერთმანეთში. ყოველ ქვესისტემას აქვს თავისი განსაზღვრული აგებულება და გარკვეული მოძრაობა სივრცეში. მაგალითად, გრძელპერიოდიანი ცეფეიდების და B ტიპის ვარსკვლავების თავისებურებას წარმოადგენს ძლიერი კონცენტრაცია გალაქტიკის სიბრტყეში. გალაქტიკის ცენტრის გარშემო მათი ბრუნვის სიჩქარე მზის მანძილზე (ე. ი. ვარსკვლავთ სისტემის ჩვენს არეში) შეადგენს დაახლოებით 250 კმ/სეკ-ს; იმ დროს, როდესაც მოკლეპერიოდიანი ცეფეიდები და სფერული გროვები განაწილებულია სივრცის ჩვენთვის ხილულ ნაწილში უფრო თანაბრად და მათი ბრუნვის სიჩქარე საშუალოდ ორჯერ მცირეა. ამის მსგავსი ყველა კანონზომიერების შესწავლამ ნათელი უნდა მოაფინოს ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობასა და განვითარებას.

გალაქტიკის ბიოთვი. 1948 წელს საბუთთა ასტრონომებმა: ვ. ბ. ნიკონოვმა, ა. ა. კალინიაკმა და ვ. ი. კრასოვსკიმ გამოიყენეს რა გამოკვლე-

ვის სრულიად ახალი ფოტოგრაფიული მეთოდი, ელექტროოპტიკური გარ-
დამქმნელის საშუალებით აღმოაჩინეს გალაქტიკის ბირთვი ცის იმ უბანში,
რომელზედაც მიუთითებდნენ თეორეტიკოსები, სახელდობრ მშვილდოსნის
თანავარსკვლავედში (ნახ. 165, მოცემულია ნეგატიური გამონახაზი). ფოტოგ-
რაფიაზე ნათლად გამოიყო გალაქტიკის ბირთვის არე, რომელიც დაფარუ-
ლია ჩვენგან ბნელი მტვეროვანი ნივთიერებით. ბირთვის მეორე ნახევარი,
როგორც ამ გამოკვლევებიდან აღმოჩნდა, მოჩანს მშვილდოსნის თანავარსკვ-
ლავედში შეუიარაღებელი თვალით „მშვილდოსნის ვარსკვლავთ ღრუბლების
სახით“ (მარჯვენა სურათი, ნახ. 165). ამგვარად, ჩვენგან დაფარულია ნახე-



ნახ. 165.

ვარი ბირთვი, რომელსაც
სფეროსმაგვარი ან ელიფ-
სოიდური ფორმა აქვს (მარ-
ცხენა სურათი, ნახ. 165).

ბირთვის ხილული დია-
მეტრი დაახლოებით 8°-ია,
რაც ხაზოვან ზომაში 1000
პარსეკის რიგისაა. ცის სი-
კაშკაშის გაზომვამ ინფრა-
წითელ და წითელ სხივებში,
რომელთაც სხვა სხივებზე
უფრო ნაკლებად აკავებს

კოსმოსური მტვერი, გვიჩვენა, რომ ამ უბანში „ვარსკვლავთ ველის სიკაშკა-
შე“ შესამჩნევად გაზრდილია. ეს ნიშნავს, რომ ბირთვში (გარდა სხვა ტიპის
ვარსკვლავებისა) მრავლად მოიპოვება უზარმაზარი შეჯგუფება წითელი გი-
განტებისა და ზეგიგანტებისა. ბირთვის პერიფერიაზე, სადაც სინათლის
შთანთქმა ნაკლებია, აღმოჩენილია მრავალი ცვალებადი ვარსკვლავი, სახელ-
დობრ მოკლებერიოდიანი ცეფეიდები (დაახლოებით 400 ვარსკვლავი კვადრან-
ტულ გრადუსზე). ყველაფერი ეს ტიპიურია ანდრომედას ტიპის სპირალურ
ნისლეულთა ბირთვებისათვის. მანძილი მზიდან ბირთვამდე შეადგენს 7—8
კილოპარსეკს. ახლა საერთოდ მიღებულად ითვლება, რომ ჩვენი გალაქტიკა
გკუთვნის სპირალურ გალაქტიკათა რიცხვს და თავისი სტრუქტურით მოგვა-
გონებს გალაქტიკას ანდრომედაში (M 31). გამოკვლევებმა მიგვიყვანეს იმ
დასკვნამდე, რომ ჩვენი მზე მდებარეობს ჩვენი გალაქტიკის ორ მეზობელ
სპირალურ შტოს შორის.

§ 336. გალაქტიკის რადიოგამოსხივება. ჯერ კიდევ 1931 წელს შემთხ-
ვევით აღმოჩენილ იქნა ირმის ნახტომის ზოლიდან მომდინარე რადიოგამოს-
ხივება. შემდგომი წლების დაკვირვებების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ გალაქტი-
კის რადიოგამოსხივება შეიძლება გავყოთ, ყოველ შემთხვევაში, ორ მდგე-
ნელად, რომლებიც გამოსხივების სხვადასხვა წყაროებს შეესაბამებიან.

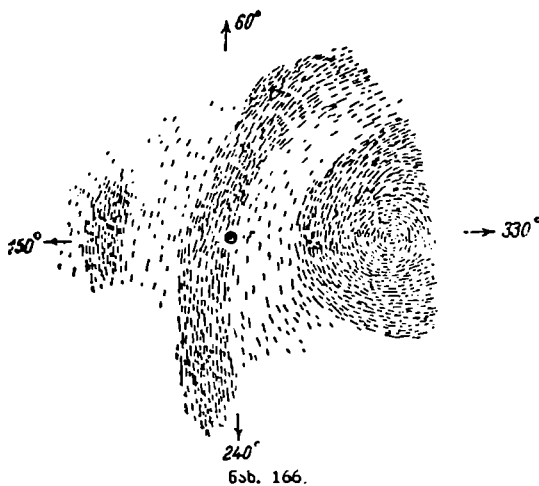
გალაქტიკური გამოსხივების ორივე მდგენელს უწყვეტი სპექტრი აქვს,
ე. ი. დაიზიარება ტალღის სიგრძეთა ფართო დიაპაზონში.

ერთ-ერთი მდგენელი წარმოადგენს ვარსკვლავთ შორისეთული
იონიზებული გაზის რადიოგამოსხივებას, რომელიც დამუხტული ნაწი-

ლაკების დაჯახებისას წარმოიშვება. ვარსკვლავთშორისეთის გაზის სიმკვრივე ძლიერ მცირეა და, მაშასადამე, ასეთი დაჯახებები იშვიათად ხდება. მაგრამ ვარსკვლავთშორისეთის გაზის ღრუბლების დიდ საერთო გავრცობისა და გალაქტიკურ სიბრტყესთან მისი კონცენტრაციის შედეგად დაჯახებათა ოცხვე მიმინც საკმარისად დიდია იმისათვის, რომ შეჩჩნულ იქნეს რადიოგამოსხივება. გალაქტიკის რადიოგამოსხივების ამ მდგენელის ინტენსივობა სხვადასხვა მიმართულებით განისაზღვრება ვარსკვლავთშორისეთის გაზის განაწილებით. ამიტომ მისი რადიოგამოსხივების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ გალაქტიკის აღნაგობა. ამასთან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ ბნელი მატერიის ის ღრუბლები, რომლებიც ოპტიკურ დაკვირვებებს ხელს უშლიან, რადიოდაკვირვებებისათვის წინააღმდეგობას არ წარმოადგენენ.

გარდა ამისა, რადიოგამოსხივება ახასიათებს ჩვეულებრივ გაზოვან-მტვეროვან ნისლეულებსაც; მაგალითად, ორიონის დიდი ნისლეული (იხ. ნახ. 156) წარმოადგენს რადიოგამოსხივების სუსტ წყაროს.

გალაქტიკური რადიოგამოსხივების მეტი ნაწილი არ დაიყვანება ვარსკვლავთშორისეთის იონიზებული გაზის გამოსხივებაზე. ამ მეორე მდგენელის წყაროებს გალაქტიკის სიბრტყესთან ბევრად ნაკლები კონცენტრაცია ახასიათებს, ვიდრე ვარსკვლავთშორისეთის გაზს. ამ მდგენელის ბუნება ჯერ კიდევ ბოლომდე არ არის შესწავლილი. უფრო მოსალოდნელია, რომ გალაქტიკის

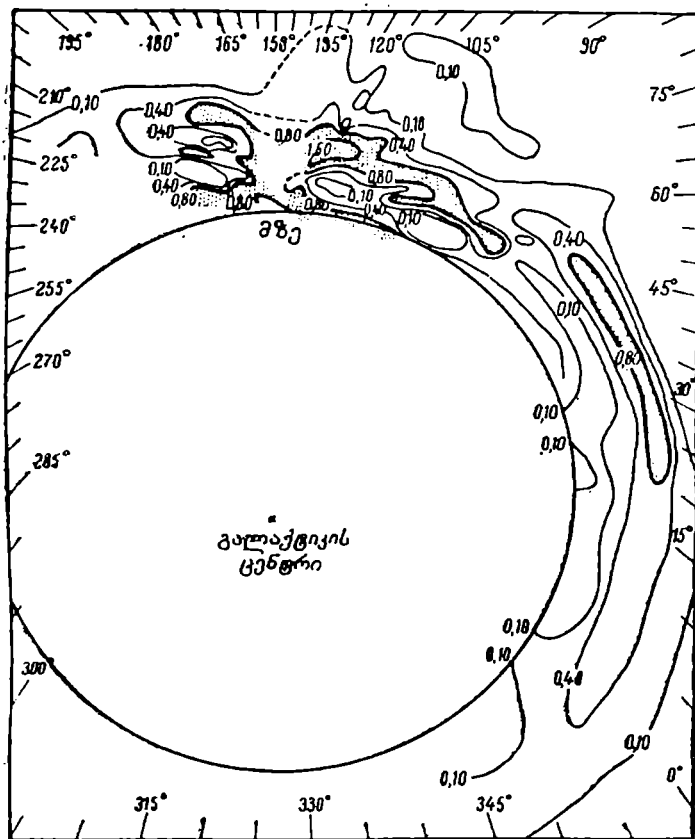


ნახ. 166.

რადიოგამოსხივების მეორე მდგენელი—ეს არის გამოსხივება, რომელიც აღმოცენდება ვარსკვლავთშორისეთის მაგნიტურ ველებში ძლიერ ჩქარი ელექტრონების მოძრაობის დროს.

უწყვეტი სპექტრის მქონე გამოსხივებასთან ერთად შეჩჩნულია ტალღის სიგრძეთა ვიწრო უბანში გალაქტიკური რადიოგამოსხივება—ვარსკვ-

ლავთშორისეთის ნეიტრალური წყალბადის რადიოგამოსხივება 21 სმ ტალღაზე. წყალბადის რადიოხაზების შესწავლის შედეგად მოხერხდა მრავალი დიდენიშენლოვანი მონაცემის მიღება ვარსკვლავთშორისეთის წყალბადის შესახებ, რომელიც ვარსკვლავთშორისეთის ნივთიერების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს. შეფასებულია წყალბადის რაოდენობა ჩვენი გალაქტიკის



ნახ. 167.

ფარგლებში; განსაზღვრულია ნეიტრალური წყალბადის ტემპერატურა, რომელიც ძლიერ დაბალი აღმოჩნდა—დაახლოებით 100° აბსოლუტურ სკალაში.

§ 337. ჩვენი გალაქტიკის სპირალური სტრუქტურა. როგორც უკვე იყო აღნიშნული, გალაქტიკის აგებულების შესწავლა ძლიერ გაძნელებულია მასში ჩვენი „შინაგანი“ მდებარეობით. ჩვენი გალაქტიკისა და სხვა სპირალური სტრუქტურის მქონე გალაქტიკების ვარსკვლავთა დასახლების ანალოგიის საფუძველზე მრავალი მეცნიერი ვარაუდობდა, რომ ჩვენს გალაქტიკა-

საც სპირალური სტრუქტურა აქვს. მაგრამ ამ ვარაუდის დადასტურებამ დიდი შალები მოითხოვა და ჩვენი გალაქტიკის სპირალური სტრუქტურა გარკვეულად დადგენილ იქნა მხოლოდ ბოლო წლებში.

ვარსკვლავთა სივრცული განაწილების შესწავლამ მიგვიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ჩვენი მზე მდებარეობს გალაქტიკის ორ ტოტს (სპირალს) შორის. ეს შედეგი დაადასტურა იონიზებული გაზის რადიოგამოსხივებაზე დაკვირვებამ (ნახ. 166).

გალაქტიკის სპირალურ სტრუქტურაზე ყველაზე უფრო ზუსტი მონაცემები პიღებულია ნეიტრალური წყალბადის 21 სმ ტალღის სიგრძის რადიოხაზების შესწავლის საფუძველზე.

167-ე ნახაზზე გამოსახულია ვარსკვლავთშორისეთის წყალბადზე რადიოდაკვირვებების შედეგები.

თავი მეთექვსმედი

ცის სხეულთაის ეპოლუსია

§ 338. XVIII საუკუნის დასაწყისის კოხმოლოგია. XVIII საუკუნის შუა წლებში მეცნიერებაში საბოლოოდ დამკვიდრდა მიზიდულობის კანონზე და-მყარებული წარმოდგენა მზის სისტემაზე, ხოლო ძველი შეხედულება სამყაროს აგებულებაზე აღიარებულ იქნა მცდარად. ცის მნათობების შესახებ ნიუტონი ამბობდა: „მიზიდულობის კანონების თანახმად ისინი განაგრძობენ თავიანთ ორბიტზე ყოფნას, მაგრამ ორბიტების საწყისი განლაგება მხოლოდ ამ კანონებით მათ სრულებითაც არ შეეძლოთ მიელოთ. მზის, ცთომილების და კომეტების ასეთი არაჩვეულებრივად მოხდენილი ერთობლიობა, შეუძლებელია წარმოშობილიყო სხვანაირად, თუ არა უბრძნესი და ძლიერი არსების განზრახვითა და უფლებით“.

იმ დროის სხვა მოაზროვნეები, რომლებიც არ იყვნენ ისეთივე ღვთის მორწმუნენი, როგორც ნიუტონი, უბრალოდ არც კი სვამდნენ საკითხს სამყაროს სხეულთა წარმოშობაზე. ასე წარმოიშვა, ენგელსის სიტყვებით რომ ვთქვათ, „თავისებური საერთო მსოფლმხედველობის გამომუშავება, რომლის ცენტრად ითვლება წარმოდგენა სამყაროს აბსოლუტურ უცვლელობაზე“ (ბუნების დიალექტიკა, გვ. 11, 1950 წ.). წინააღმდეგ ამისა, ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი-მატერიალისტები გამოთქვამდნენ სრულიად გარკვეულ აზრს ევოლუციის შესახებ. სამყაროს შექმნაზე მის თანამედროვე ფორმაში რომელიღაც უმარტივესი მდგომარეობიდან, მაგრამ ეს იდეები დავიწყებას მიეცა შუასაუკუნეების წყვიდადში.

§ 339. კანტის ჰიპოთეზა. ეს გაქვეყნებული შეხედულება ბუნებაზე პირველად გაარღვია არა ბუნებისმკვლევარმა, არამედ ფილოსოფოსმა. 1755 წ. გამოქვეყნდა კანტის „ცის ზოგადი ბუნებრივი ისტორია და თეორია“. პირველი ბიძგის საკითხი თავიდან იქნა აცილებული; დედამიწა და მთელი მზის სისტემა მოგვევლინა როგორც დროის მიმდინარეობაში ქმნილი რამა (ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 14). კანტი, მსგავსად ბერძენი მოაზროვნეებისა (რომლებზედაც ის მიუთითებდა), ვარაუდობს, რომ სამყაროს სხეულები რომელიმე უმარტივესი მდგომარეობიდან წარმოიშვნენ თვით მატერიაში არსებულ მიზეზთა ანუ ძალთა მოქმედების შედეგად. მთავარი ძალა, რომელიც მნათობთა წარმოშობის დროს მოქმედებდა, კანტის მიხედ-

ვით, არის ის ძალა, რომელიც ნართავს ახლა მათ მოძრაობას, ე. ი. მს. ო. ლ. ი. ო. მიზიდულობის ძალა. ეს ძალა აგროვებს ნაწილაკებს ან მტვერს. რომლებიც თავდაპირველად მზის სისტემის მთელ სივრცეშია გაბნეული და რომელთაც სხვადასხვაგვარი მოძრაობა აქვთ, და ქაოსი „იწყებს ჩამოყალიბებას ნაწილაკთა უფრო ძლიერი მიზიდულობის წერტილებში“. ამგვარად წარმოშობილი დიდი შემკვრივებები თავისკენ იზიდავენ მცირეებს და ა. შ. მაგრამ ერთიანი ბუმბერაზი სფერო (როგორც უნდა იყოს სინამდვილეში). კანტის მიხედვით, არ მიიღება, ვინაიდან ნაწილაკთა ურთიერთ მეტისმეტად მიახლოების დროს იწყებს მოქმედებას განზშიდველი ძალები (დრეკადობის ძალები). მათი მოქმედების შედეგად წარმოიშვება უფრო მცირე მასების წრიული მოძრაობა დიდი მასების გარშემო, წარმოქმნილ ცთომილთა ლერძების გარშემო ბრუნვა და ა. შ. კანტის ეს მსჯელობა მცდარია: მექანიკის კანონების მიხედვით სხვა სისტემებისაგან დამოუკიდებელი სისტემის ბრუნვით მოძრაობების ჯამი არ შეიძლება შეიცვალოს სისტემის წევრთა ურთიერთმოქმედებით. ამგვარად, ამჟამად კანტის კოსმოგონიურ ჰიპოთეზას აღარა აქვს მეცნიერული მნიშვნელობა. მაგრამ კანტის ამ წიგნს ახლაც აქვს ლოგობულება, რადგან იძლევა გაბედულ რწმენას „ბუნების მუდმივობაზე“ და გამსჯეალულია სამყაროთა თვითგანვითარების იდეით ზეზუნებრივი ძალების მონაწილეობის გარეშე. ეს უკანასკნელი მან გამოთქვა ცნობილი ფორმულით: „მომცეთ მატერია და მე მისგან ავაგებ სამყაროს“. რა თქმა უნდა, არ უნდა დავივიწყოთ, რომ უფრო გვიანდელ შრომებში კანტი წარმოგვიდგება როგორც რეაქციონერი ფილოსოფოსი-იდეალისტი.

§ 340. ჰერშელის იდეები ნისლეულების ევოლუციის შესახებ.

ნისლეულთა ფორმის ნაირსახეობამ, რომელთა დანახვა ჰერშელმა შეაღწა თავისი ტელესკოპით, იგი მიიყვანა შემდეგ ჰიპოთეზებამდე: 1) ნისლეულები თანდათან მკვრივდება ვარსკვლავებად, 2) ამჟამად სხვადასხვა ნისლეული შემკვრივების სხვადასხვა საფეხურზე იმყოფება.

აქედან გამომდინარეობს, რომ ჩვენ ერთდროულად ვხედავთ ყველა შესაძლო „ასაკის“ ნისლეულს; თუ მათ ერთმანეთს შევადარებთ, ჩვენ შევკვივდებით წარმოვიდგინოთ ცალკეული ნისლეულის ევოლუცია. ჰერშელი ნისლეულთა სამყაროს აღარებდა ტყეს, რომელიც შედგება ერთი ჯიშის სხვადასხვა ასაკის ხეებისაგან; საკმარისია დაყოთ თუნდაც ძალიან მცირე დრო ასეთ ტყეში, რომ ცალკეულ ვეგეტალებზე დაკვირვებით თვალყური ადევნოთ ხის მთელ ცხოვრებას აღმოცენებიდან მის გახმობასა და წაქცევამდე.

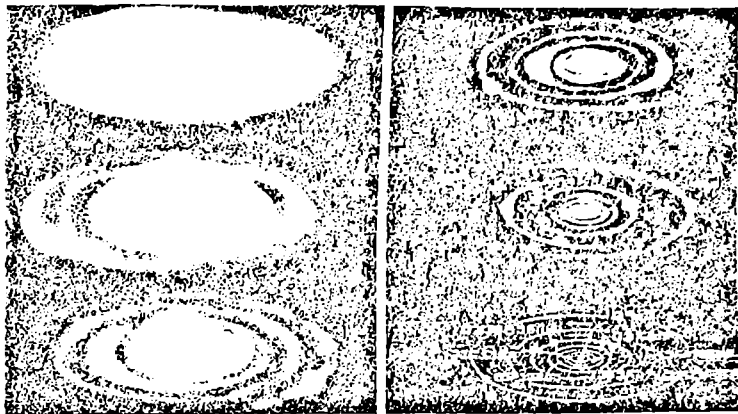
ევოლუციის საწყის სტადიაში ნისლეულები, ჰერშელის მიხედვით, წარმოადგენენ დიდ, გაიშვიათებულ ნისლოვან მასებს, რომელნიც მთელ თავის განფენილობაზე თითქმის თანაბრად ანათებენ. შემდეგ მოდის ნისლეულები. რომლებიც შეიცავენ ცალკეულ შემკვრივებულ მასებს და რომლებიც შეიძლება შემდეგისათვის გარდაიქმნან ვარსკვლავებად. უფრო მეტად შემკვირვებულ ნისლეულებში ნისლოვანი მასები შერეულია ვარსკვლავებთან. ევოლუციის უკანასკნელი სტადია არის ვარსკვლავთ გროვები, რომლებიც უკვე აღარ შეიცავენ ნისლოვან ნივთიერებას.

„ნისლეულთა“ ბუნება, სინამდვილეში, ბევრად უფრო მრავალფეროვანია, ვიდრე ჰერშელი ფიქრობდა, რომელმაც არც კი იცოდა რომ ისინი იყოფიან გალაქტიკურ და გარეგალაქტიკურ ნისლეულებად; მათმა შესწავლამ აქამდე ვერ მოგვცა რაიმე მითითება იმაზე, რომ ვარსკვლავები შეიძლება წარმოიშობილიყვნენ გაიშვიათებული გაზოვანი ნისლეულებისაგან. ამიტომ არ შეიძლება ჩავთვალოთ ნისლეულის ყველა ფორმა რომელიმე ერთი ტიპის განვითარების საფეხურებად: ჰერშელის „ტყე“ შედგება „სხვადასხვა ჯიშის მცენარეებისაგან“. ყოველ შემთხვევაში, ჰერშელის აზრი, რომ ნისლეულები (მაგრამ, რა თქმა უნდა არა ყველა) წარმოადგენენ მასალას, რომლისგანაც შეიქმნენ ცის სხვა სხეულები, დღესაც ითვლება სწორად. ის საფუძვლად უდევს კოსმოგონიურ ჰიპოთეზების უმრავლესობას (ე. ი. ჰიპოთეზებს ცთომილთა და ვარსკვლავთ სისტემების ევოლუციის შესახებ).

§ 341. ლაპლასის ჰიპოთეზა. 1796 წ. ლაპლასმა ერთ-ერთი თავისი პოპულარული წიგნის ბოლოში მოათავსა „შენიშვნა“, რომელშიც რამდენიმე გვერდზე, მათემატიკის გარეშე, მოცემულია ნისლოვანი გორგალის მზის სისტემაზე გადაქცევის შესაძლებელი გზის აღწერა.

განსებურ ნისლოვან გორგალს თავის ნაწილაკთა ურთიერთ მიზიდვის შედეგად უნდა მიეღო სფეროსებური ფორმა და ძლიერად უნდა შემკვრივებულიყო ცენტრისაკენ. ცენტრალურ შემკვრივებას ლაპლასი მზეს უწოდებს, უფრო გაიშვიათებულ გარეგან ნაწილს — „გარსს“ ანუ „ატმოსფეროს“; თავდაპირველად ამ ატმოსფეროს უჭირავს თანამედროვე ცთომილთა სისტემის მთელი სივრცე და, ცენტრალური შემკვრივების მსგავსად, ძალიან მალე ტემპერატურა აქვს. იმ ძალის ზეგავლენით, რომელსაც შეეძლო ემოქმედა. მაგალითად, ჩვენი გუნდის დიდი ნისლეულიდან გამოყოფის დროს (და რომელსაც ლაპლასი არ განიხილავს), მთელი სფეროსებური მასა ბრუნავს ლეოქის გარშემო. გაცივების შედეგად ნისლეული იკუმშება, მისი რადიუსი მცირდება. მაგრამ სისტემის საერთო „ბრუნვის რაოდენობა“ (ე. ი. ჯამი ნაწილაკთა ხაზოვანი სიჩქარეების ნამრავლისა მასებზე და ბრუნვის ლერძიდან მანტილებზე) შექანის კანონების მიხედვით უნდა დარჩეს უცვლელი; მაშასადამე, ბრუნვის სიჩქარე იზრდება. სიჩქარის ზრდასთან ერთად იზრდება ცენტრიდანული ძალა, რომლის მოქმედებით გაზოვანი სფერო იღებს უმცირესი ლერძის გარშემო მბრუნავ უფრო და უფრო მეტად შებრტყელებული სფეროიდის ფორმას. სიჩქარის შემდგომი ზრდის დროს დგება მონენტი, როცა ნისლეულის ეკვატორის გაყოლებით მდებარე წერტილებში ცენტრიდანული ძალის სიდიდე გაუთანაბრდება მიზიდულობის ძალას. მაშინ ნისლეულის გარეგანი ეკვატორული ნაწილაკები „კარგავენ წონას“ და გამოიყოფიან მბრუნავი ვიწრო „სარტყლის“ (ზონის) სახით, ხოლო შინგანი ნაწილი განაგრძობს შეკუმშვას. რადგან ნისლეულის ბრუნვის სიჩქარე თანდათან იზრდება, პირველი „სარტყლის“ შემდეგ გამოიყოფა მეორე — უფრო მცირე რადიუსის მქონე სარტყელი, შემდეგ მესამე და ა. შ. ამიტომ საზღვარი, რომელზედაც ცენტრიდანული ძალა უთანაბრდება მიზიდულობის ძალას, თანდათან უახლოვდება ცენტრს (ნახ. 168). ნაწილაკთა გამოყოფა ნისლეულის ეკვატორზე არ შეიძლება მომხდარიყო საესებით თანაბრად. შეიძლება

აღმოჩენილიყო სარტყლები, გარემომცველებზე მკვრივი; მათ მიიზიდეს ნაწი-
ლაკები როგორც გარეგანი, ისე შინაგანი მხრიდან და, ამგვარად, თანდათა-
ნობით წარმოიშვა ძლიერი კონცენტრული „ლაპლასისეული რგოლები“
ერთმანეთს შორის უზარმაზარი შუალედებით. ყოველ რგოლს ჰქონდა დააზ-
ლოებით ერთ-ერთი რომელიმე თანამედროვე ცთომილის ორბიტის რადიუსის
ტოლი რადიუსი. შემდგომში რგოლი წყდება, რადგან მისი უფრო მკვრივი
ნაწილები თანდათანობით თავისკენ მიიზიდავენ უფრო ნაკლებად მკვრივს.
მიიჩემა ერთსა და იმავე წრიულ ორბიტზე მოძრაი რამდენიმე ცალკეული
მასა. დროთა განმავლობაში, ურთიერთმიზიდულობის შედეგად, ყველა ეს
მასა გროვდება ერთ გუნდად, რომელიც განაგრძობს ნების გარეშემო მოძრაო-



ნახ. 168.

ბას იმ მანძილზე, რომელიც უდრის რგოლის რადიუსს. ასე წარმოიშებიან
ცთომილები; პირველად ისინი იმყოფებიან გაზოვან მდგომარეობაში, ხოლო
შემდეგ თანდათან ცივდებიან.

წარმოშობილ ცთომილურ გუნდებს უნდა მიეღოთ აგრეთვე ბრუნვითი
მოძრაობაც, რომლის წარმოშობას ლაპლასი შემდეგნაირად ხსნის. თითოეუ-
ლი წარმოქმნილი რგოლი ბრუნავდა როგორც მყარი სხეული: მისი ყველა
წერტილის კუთხური სიჩქარე ერთნაირი იყო, ხოლო ხაზოვანი სიჩქარე მით
უფრო მეტი, რაც უფრო შორს იყო წერტილი ბრუნვის ღერძიდან. ამიტომ
რგოლის გარეგან წერტილებს ჰქონდა რამდენადმე უფრო მეტი სიჩქარე,
ვიდრე შუესთან უფრო ახლო მყოფ შინაგან წერტილებს. ასევე დარჩა ნას
შემდეგაც, რაც რგოლი (ან მისი ნაწილი) ცთომილად შემკვრივდა. ცთომი-
ლური გუნდის მზიდან ყველაზე უფრო დაშორებული წერტილი მისიწრა-
ფოდა ემოდრავა უფრო სწრაფად, ვიდრე მოძრაობდა გუნდის ცენტრი,
უფრო ახლო წერტილები კი პირიქით — უფრო ნელა. ამის შედეგად ცთო-
მილმა მიიღო ისეთი ბრუნვითი მოძრაობა, რომლის დროსაც უფრო დაწო-

რეპული წერტილები მდიან წინ, ხოლო უფრო ახლო წერტილები ჩამორჩე-
ნიან. ცხადია, ეს ბრუნვა ხდება პირდაპირი მიმართულებით. ე. ი. იქით-
კენ. საითკენაც ცთომილი გარემოიქცევა მზის გარშემო.

იმ შემთხვევებში, როცა ცთომილური გორგალის ბრუნვა საკმარისად
აწრაფი აღმოჩნდებოდა, მისგანაც გამოიყოფოდა რკოლები, რომლებიც ცთო-
ნილის ირგვლივ ბრუნავდნენ და რომელთაგანაც შემდეგ თანამგზავრები
წეიქმნა. მათი წარმოშობა არის თვით ცთომილის წარმოშობის განმეორება
ნეპაცირებული სახით. ცთომილი სატურნის (§ 254) ერთ-ერთი გამოყოფილი
რგოლი აღმოჩნდა იმდენად ერთგვაროვანი, რომ არ გაწყდა და მისი გამყა-
რებული ნაწილაკები ერთ გუნდად ვერ შემკვრივდა.

§ 242. ლაპლასის ჰიპოთეზის შეფასება. ლაპლასის თეორია ხანგრძ-
ლივი დროის მანძილზე ითვლებოდა თითქმის დამტკიცებულად. მართლაც,
ის იძლევა ცთომილთა სისტემის აგებულების ყველა მთავარი თავისებურების
ახსნას. როგორცაა მაგალითად: 1) ორბიტების თითქმის წრიული ფორმა; 2)
ყველა ცთომილის დაახლოებით ერთ სიბრტყეში მოძრაობა; 3) ყველა
ცთომილის მზის გარშემო ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობა; 4) მზისა
და ცთომილების ბრუნვა ღერძის გარშემო იმავე მიმართულებით; 5) ცთომი-
ლების თანამგზავრთა უმეტესობის გარემოიქცევა იმავე მიმართულებით.

მაგრამ დროთა განმავლობაში ლაპლასის ჰიპოთეზის წინააღმდეგ წამო-
ყენებული იყო მთელი რიგი მოსაზრებანი. აქ მოვიყვანთ ზოგიერთ მათ-
ვანს:

ვინაიდან ცთომილთა ნივთიერება, რომელიც მასით მზის მასის $\frac{1}{700}$

ნაწილზე მცირეა, გაბნეული იყო სფეროს მოცულობის შიგნით, რომლის რა-
დიუსი პლუტონის მანძილზე მცირე არ უნდა ყოფილიყო, ამიტომ ნისლეულს
დედამიწის ატმოსფეროს სიმკვრივეზე ასეულ მილიონებჯერ ნაკლები სიმკვრივე
უნდა ჰქონოდა. ასეთი მცირე სიმკვრივის დროს გავარგარებული ორთქლის
ნაწილაკთა შორის მიზიდულობა უმნიშვნელოა; ამიტომ გამოყოფილ ნაწი-
ლაკებს რგოლად შემკვრივება არ შეეძლო.

2. რგოლი კიდევაც რომ შექმნილიყო, საეჭვოა, რომ იგი ერთ ცთო-
ნილად შემკვრივებულიყო, ისევე ნაწილაკთა ურთიერთმიზიდულობის ძლიერი
სიმცირის გამო.

3. იმავე მიზეზის გამო ნისლეულს არ შეეძლო ბრუნვა როგორც მყარ
ანეულს, არამედ თითოეული მისი ნაწილაკი მოძრაობდა ცენტრალური ბირთ-
ვის გარშემო. უკანასკნელის მიზიდულობის მოქმედებით, როგორც ცალკეული
მცირე ცთომილი, ე. ი. დაახლოებით კუბურის კანონების მიხედვით. ამგვა-
რად, რაც უფრო შორსაა ნაწილაკი ცენტრიდან, მით უფრო ნელა მოძრაობს
იგი (და არა უფრო ჩქარა, როგორც ლაპლასს წარმოედგინა). აქედან გამო-
დის. მაგალითად, რომ ცთომილებისა და მათ თანამგზავრთა „პირდაპირი“
ბრუნვის ლაპლასის მიერ მოცემული ახსნა მცდარია.

4. სრულიად შეუძლებელია აიხსნას პლუტონისა და იმ ასტეროიდათ,
რომლებიც დედამიწასთან ახლოს მოდიან, ორბიტების დიდი დახრა.

5. ვერ აიხსნება გიგანტი ცთომილების ზოგიერთი თანამგზავრის შებრუნებული მოძრაობა და მარსის გარშემო ფობოსის სწრაფი გარემოქცევა.

აღნიშნულ და სხვა წინააღმდეგობათა შედეგად, ლაპლასის ჰიპოთეზა ანაზამად მოძველებულად ითვლება. მაგრამ დღემდე გრძელდება ცდა ამ ჰიპოთეზის აღორძინებისა სხვადასხვა სახეცვლილებით.

§ 343. მოქცევითი ხახუნი. ზოგიერთი ფაქტი, რომელიც ლაპლასის ჰიპოთეზას ეწინააღმდეგება, ვასაგები იღება, თუ მხედველობაში მივიღებთ მოქცევითი ხახუნის ძალის მოქმედებას. ამ ძალის არსებობაზე ჯერ კიდევ ჯანტმა მიუთითა, მაგრამ მისი როლი კოსმოგონიაში უმთავრესად გამორკვეული იყო ორი მეცნიერის: ჯორჯ დარვინისა (ცნობილი ბიოლოგის ჩარლზ დარვინის შვილის) და გამოჩენილი რუსი მათემატიკოსის ა. მ. ლიაპუნოვის ნიერ.

მთავრე თავისი მიზიდულობით ზევით სწევს დედამიწის ოკეანეთა წყლებს ორი მოქცევითი შვერილის - სახით (§ 181). დედამიწის ბრუნვის შედეგად მოქცევითი შვერილები განუწყვეტლივ გადაინაცვლებენ დედამიწის გარშემო მისი ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით. „მოქცევითი ტალღების“ ასეთ მოძრაობას თან სდევს ხახუნი. ვინაიდან მოქცევითი ხახუნის ძალა მუდმივად მიმართულია დედამიწის დღელამური ბრუნვის შემხვედრად, ის წარმოადგენს დამამუხრუჭებელ ძალას, რომელიც თანდათანობით ანელებს დედამიწის ბრუნვას ლერძის გარშემო.

ამგვარად, მოქცევითი ხახუნის პირველ შედეგს წარმოადგენს დღე-ღამის გახანგრძლივება. ეს გახანგრძლივება იმდენად უმნიშვნელოა, რომ დაკვირვებებით დღემდე არ არის სრულიად სარწმუნოდ გამოაშკარავებული.

მისი უალბათესი სიდიდე დაახლოებით $\frac{1}{1000}$ სეკუნდია ასი წლის განმავლობაში.

მოქცევითი ხახუნის მეორე შედეგი არის თვის, ანუ მთვარის დედამიწის გარშემო გარემოქცევის დროის გახანგრძლივება. ეს უკანასკნელი აიხსნება სისტემის ბრუნვის რაოდენობის უცვლელადობის პრინციპის საფუძველზე. დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე თუ შემცირდა, მაშინ მთვარის ორბიტზე მოძრაობის რაოდენობა უნდა გადიდდეს, ვინაიდან დედამიწა-მთვარის სისტემის ბრუნვის საერთო რაოდენობა არ იცვლება. ამგვარად, იზრდება მთვარის სექტორული სიჩქარე, რომელიც წრეხაზისაგან მცირედ განსხვავებული ორბიტებისათვის \sqrt{r} -ის პროპორციულია. მთვარის ორბიტის რადიუსი, ამგვარად, განუწყვეტლივ იზრდება და მასთან ერთად, კეპლერის მესამე კანონის მიხედვით, იზრდება მთვარის დედამიწის გარშემო გარემოქცევის პერიოდი. ჩვენს ეპოქაში თვის ეს გახანგრძლივება უფრო ნაკლებადაა შესამჩნევი, ვიდრე დღე-ღამისა. მაგრამ მილიონობით წლების განმავლობაში ორივე ფაქტორის მოქმედებას ჩვენს სისტემაში ძალიან დიდი ცვლილება უნდა გამოეწვივა.

§ 344. მთვარის წარმოშობა და მოქცევითი ევოლუცია. დარვინი თვლიდა, რომ მოქცევითი ხახუნი მოქმედებდა წარსულში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში და მან, ა. მ. ლიაპუნოვისა და ა. პუანკარეს განოკვლევათა

საფუძველზე, შეიმუშავა თეორია მთვარის წარმოშობისა და დედამიწა-მთვარის სისტემის „მოქცევითი ევოლუციის“ შესახებ.

მთვარე, როგორც განსაკუთრებით დიდი თანამგზავრი, სხვა გზით უნდა წარმოშობილიყო, ვიდრე დანარჩენ ცთომილთა თანამგზავრები. ოდესღაც დედამიწა და მთვარე ერთ მთლიან, ალბათ, ცეცხლოვან-თხევად მასას წარმოადგენდა. ამ მასას, თავის ნაწილაკთა ურთიერთ მიზიდულობისა და ლერძის გარშემო ბრუნვის შედეგად, ჰქონდა შებრტყელებული სფეროიდის ტორმა; გაცივებისა და შეკუმშვის შედეგად თხევადი მასის ბრუნვა თანდათანობით აჩქარებული ხდებოდა.

ა. მ. ლიპუნოვის განოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ აჩქარებულად ნბრუნავი ელიფსოიდის ფორმა იცვლებოდა შემდეგნაირად: ბრუნვითმა ელიფსოიდი თანდათან მიიღო უმცირესი ლერძის გარშემო მბრუნავი სამღრძა ელიფსოიდის სახე, შემდეგში მსხლისებური ფორმა (ნახ. 169) ეგრეთ წოდებული „აპოიოდისა“. ლიპუნოვმა პირველმა მკაცრად დამტკიცა ამ ფორმის არამდგრადობა; საკმარისი იყო შედარებით მცირე გარეგანი ძალა, რომ ის გაწყვეტილიყო. ასეთი ძალა იყო მზის მოქცევითი მოქმედება, რომელიც აპოიოდის თითოეულ ნახევარზე პერიოდულად ზემოთ სწევდა მოქცევით შევრილებს.

რადგან აპოიოდის ბრუნვის სიჩქარე იზრდებოდა, ცენტრიდანული ძალა განუწყვეტლივ მატულობდა. როდესაც აპოიოდის ბრუნვის პერიოდი შემცირდა $1\frac{1}{2}$ — 2 საათამდე, ცენტრიდანულმა ძალამ მიაღწია ისეთ მნიშვნელობას, რომ მზის მოქცევის ძალასთან ერთად გაწყვიტა აპოიოდი ორ არათანაბარ სფეროდ; დიდი სფეროდან წარმოიშვა დედამიწა, ხოლო უფრო მცირედან — მთვარე. ეს მოხდა დაახლოებით ოთხი მილიარდი წლის წინათ.

გაწყვეტის შემდეგ პირველ ხანებში დედამიწა და მთვარე თითქმის ერთმანეთს ეხებოდნენ (მოქცევითი ევოლუციის საწყისი მდგომარეობა), იმყოფებოდნენ რა ერთმანეთისაგან, როგორც დარვინმა გვიჩვენა, დაახლოებით 15 000 კმ მანძილზე. დედამიწა თავისი მიზიდულობით იწვევდა მოქცევითი შევრილების გაჩენას მთვარეზე. ზუსტად ასევე მთვარე იწვევდა ასეთივე შევრილების გაჩენას დედამიწაზე. თითოეული ამ სხეულთაგანი ბრუნავდა თავისი ლერძის გარშემო 2—3 საათის განმავლობაში და ამავე პერიოდის განმავლობაში მთვარე გარენოიქტეოდა დედამიწის ირგვლივ, ისე რომ „თვე“ „დღე-ღამის“ ტოლი იყო. ამის გამო მთვარე მუდამ დედამიწის ერთი და იმავე წერტილისაკენ იყო მიქცეული და ურთიერთისაკენ მიმართული მოქცევითი შევრილები არ გადაინაცვლებდნენ მათ ზედაპირებზე; ადგილი არ ჰქონდა მოქცევით ხახუნს (თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მზის მოქცევების შედარებით მცირე მოქმედებას).

მაგრამ ასეთი ბრუნვა არამდგრადია და დიდხანს ვერ გაგრძელდება. ამიტომ იგი დაირღვა და ველარ აღდგებოდა. „თვე“ გახდა დღე-ღამეზე უფრო დიდი, მოქცევითმა შევრილებმა იწყეს დედამიწის გარშემო გადაადგილება და ვინაიდან დედამიწის მასა ბლანტი იყო, შევრილებსა და მის ზედაპირს შორის გაჩნდა მოქცევითი ხახუნი, მნიშვნელოვნად უფრო ძლიერი, ვიდრე ახლაა, ვინაიდან მაშინ მთვარე ბევრად უფრო ახლოს იყო, მოქცე-

ვითი ხახუნის ზემოქმედებით დედამიწის ბრუნვა განუწყვეტლივ წელდებოდა, მისი მოძრაობის რაოდენობის მომენტი მცირდებოდა და ამიტომ მთვარე თანდათან შორდებოდა დედამიწას, ვინაიდან დედამიწა-მთვარის სისტემის მოძრაობის რაოდენობის მომენტების ჯამი უნდა დარჩეს მუდმივი.

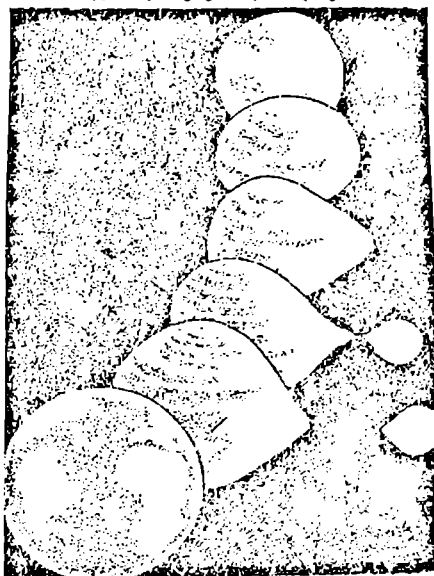
მთვარის დედამიწიდან მანძილის ზრდასთან ერთად მატულობდა (ეკვლერის მესამე კანონის შესაბამისად) ცთომილის გარშემო თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი; „თვე“ თანდათან იზრდებოდა.

3—4 მილიარდი წლის განმავლობაში, რომელიც გავიდა მოქცევითი ევოლუციის დასაწყისიდან, დღე-ღამე გაიზარდა 8—12-ჯერ და მიაღწია 24 საათს, ხოლო თვე ბევრად უფრო მეტად—27,3 დღე-ღამემდე. ამგვარად, თვე იზრდებოდა დღე-ღამეზე უფრო სწრაფად. მაგრამ მომავალში, დარვინის გამოთვლების მიხედვით, დღე-ღამე დაიწყებს უფრო სწრაფად ზრდას, ვიდრე თვე. რამდენიმე მილიარდი წლის შემდეგ (თუ მანამდე დედამიწას შერჩება ოკეანეები) დღე-ღამე და თვე ხელახლა გათანაბრდება და იქნება დაახლოებით 50—60

ახლანდელი დღე-ღამის შემცველი. დედამიწა მიქცეული იქნება მთვარისაკენ მუდამ ერთი და იმავე ნახევარსფეროთი, მაგრამ, რადგან მთვარე ახლაც იმოფება დედამიწის მიმართ ასეთ მდგომარეობაში (§ 227), ამიტომ ორივე სხეულის გარემოქცევა იწარმოებს ისე, თითქო ისინი ჩამოცმულია ერთ მყარ ლერძზე. ეს მდებარეობა იქნება მდგრადი და ამიტომ შეუძლია იარსებოს განუსაზღვრელი დროის განმავლობაში.

დარვინის თეორიის სასარგებლოდ ლაპარაკობს ის ფაქტი, რომ მთვარე დედამიწისაკენ მოქცეულია მუდამ ერთი მხრით. მთვარის ასეთი მდებარეობა გამოწვეულია მოქცევების ხახუნის ძალით, რომელთაც დედამიწა ოდესღაც ახდენდა მთვარეზე. იგივე თავისებურება ახასიათებს, როგორც ჩანს, სხვა ცთომილთა თანამგზავრებს და მიზეზიც იგივე უნდა იყოს.

მოქცევითი ხახუნით შეიძლება აიხსნას აგრეთვე მარსის თანამგზავრის — ფობოსის მოძრაობა (§ 248), რომლის გარემოქცევის დრო ცთომილის ირგვლივ სამჯერ უფრო ხანმოკლეა თვით ცთომილის ბრუნვის პერიოდზე. შეიძლება დაეფუძვას, რომ მარსი ოდესღაც ლერძის გარშემო ბრუნავდა უფრო სწრაფად, ვიდრე ახლა, ასე რომ მისი დღე-ღამე იყო თანამგზავრის



ნახ. 169.

გარემოქცევის პერიოდზე ხანგრძლივი, მაგრამ დროთა განმავლობაში მარსის ბრუნვა შენედა მზის მოქცევათა მოქმედებით, რომელნიც მარსზე იწვევდნენ ბევრად უფრო ძლიერ მოქცევებს, ვიდრე თანამგზავრები, რადგანაც თანამგზავრთა მასა უმნიშვნელოა (დედამიწაზე კი, პირობით, მთვარისმიერი მოქცევები უფრო ძლიერია).

მოქცევების თეორიით ცდილობენ აგრეთვე ორმაგ ვარსკვლავთა წარმოშობის ახსნას.

§ 345. ლაპლასის ჰიპოთეზის სახეცვლილებანი. მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარში შეიქმნა მრავალი ჰიპოთეზა, რომლებიც ავსებდნენ ანდა ცვლიდნენ ლაპლასის ჰიპოთეზას. ძირითადი ახალი იდეები, რომელთაც ეს ჰიპოთეზები შეიცავს, შემდეგია:

1. საწყისი ნისლეული წარმოდგენილი აქვთ არა გზობრივი და გავარვარებული სახით, როგორც ეს ლაპლასის ჰიპოთეზაშია, არამედ ცივი და ცალკეული მყარი მტვეროვანი ნაწილაკებისაგან ან მეტეორული სხეულებებისაგან შემდგარი. ნაწილაკთა ურთიერთ დაჯახების შედეგად ასეთი ბნელი მტვეროვანი ღრუბელი შეიძლება გაცხელდეს და გახად იქცეს ნაწილობრივ ან მთლიანად.

2. უშვებენ, რომ ნისლეულებში წარმოიშენენ გრივალური მოძრაობანი, დედამიწის ატმოსფეროს გრივალთა მსგავსნი და რომ მზე და ცთომილები გრივალის შიგნით მოყოლილი ნაწილაკებისაგან შეიქმნენ.

§ 346. ვარსკვლავთ მექანიკური ევოლუციის ჰიპოთეზები. XX საუკუნის დასაწყისის თეორიულმა გამოკვლევებმა მიგვიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ სივრცეში განმზოლოებული მატერიის გორგალის (მომავალი ვარსკვლავის) განვითარება ნორმალურად უნდა მიდიოდეს არა იმგვარად, როგორც ეს ლაპლასს ჰქონდა წარმოდგენილი, არამედ ერთ-ერთი რომელიმე ქვემოთ მოყვანილი გზით.

1. თუ გავიგან გორგალს დასაწყისში აქვს საკმარისად სწრაფი ბრუნვა, მაშინ, როგორც ეს ლიაპუნოვმა გვიჩვენა, ბრუნვის შემდგომი აჩქარების დროს მასა შეიძლება გაწყდეს ორად და წარმოიშვას ორმაგი ვარსკვლავი, ორი მზე. თუკი ვარსკვლავის გარშემო იყო გაიშვიათებული „ლაპლასისეული“ ატმოსფერო, ცენტრალური სხეულის სინათლის წნევის მოქმედებით ის გაიბნეოდა სივრცეში (§ 268).

2. თუ ბრუნვის საწყისი სიჩქარე აღმოჩნდება არასაკმარისი გაწყვეტისათვის, მიიღება ცალკეული მზე, რომელიც ნელა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო.

ვარსკვლავთ „ნორმალური“ ევოლუციის არც ერთ და არც მეორე გზაზე არ ჩანს ცთომილების წარმოშობის ახსნა, ე. ი. ვარსკვლავის მცირე თანამგზავრთა წარმოქმნისა, რომელთა მასები ათასეულებჯერ ნაკლებია თვით ცენტრალური სხეულის მასაზე. ამიტომ მეცნიერი-მექანიკები თვლიდნენ, რომ ცთომილები შეიძლებოდა წარმოშობილიყვნენ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ევოლუციის მიმდინარეობა დაირღვეოდა გარეგანი ძალის მოქმედებით. აქედან, მათი აზრით, გამომდინარეობს მესამე გზის შესაძლებლობა.

3. განცალკევებული მზის მახლობლად გაიარა მეორე სხეულმა ან სხეულთა ჯგუფმა და ამ „ნახევარშეჯახების“ შედეგად გაჩნდა ცთომილთა სისტემა. თვით ნახევარშეჯახება თეორიულად წარმოდგენილი აქვთ სხვადასხვანაირად.

§ მ 17. „ნახევარშეჯახების“ ჰიპოთეზები. ა) მულტონისა და ჩემბერლინის ჰიპოთეზის მიხედვით მოახლოებულ ვარსკვლავს მზეზე უნდა გამოეწვია უზარმაზარი მოქცევები (§ 181), რომელთა ზემოქმედებით მზის ატმოსფეროს ორი დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილებიდან ამოსროლილ იქნა ნივთიერებათა დიდი მასები — უზარმაზარი პროტუბერანცების მაგვარი რამ (§ 214); სწორედ ამ გაზოვანი ნაკადიდან წარმოიშვნენ ცთომილები.

ბ) ჯინსის ჰიპოთეზის თანახმად, შემაშუოთებელი ვარსკვლავი მივიდა მზესთან მეტისმეტად ახლოს, ისე რომ მოქცევათა წარმომშობი ძალები მზის ერთ ნახევარსფეროზე აღმოჩნდა ბევრად უფრო ძლიერი, ვიდრე საწინააღმდეგო მხარეს; ამიტომ მოქცევითი შეერილების ნაწილაკები მოწყდნენ მზის ერთ მხარეს და გაექანნენ შემაშუოთებელი სხეულისაკენ. ასეთნაირად ამოტყორცნილი გაზოვანი ნაკადი (უფრო მეტად მკვრივი და ძლიერი, ვიდრე ნაკადები წინა ჰიპოთეზებში) შემდეგში დაწყდა ცალკეულ გორგალებად — ცთომილებად.

„ნახევარშეჯახების“ ჰიპოთეზები ანტიმექნიერულია, ვინაიდან ყველა ისინი დაფუძნებულია ვარსკვლავთ ურთიერთ მიახლოების შემთხვევითობაზე და საბოლოო ჯამში მიგვაყვართ აღიარებამდე, რომ მზის სისტემა წარმოადგენს გამონაკლისს მთელს უსასრულო სამყაროში.

მართლაც, ვარსკვლავთ შორის მანძილები (თვით გიგანტ-ვარსკვლავთა სიდიდებთან შედარებითაც კი) იმდენად დიდია, რომ მათი მკვიდრო მიახლოება, რომლის დროსაც შესაძლებელია მათი ზედაპირებიდან მასების ამოსროლა, სრულიად წარმოუდგენელია, მით უფრო, რომ ვარსკვლავთ სისტემებში თითოეული ვარსკვლავი მოძრაობს სისტემის ცენტრის გარშემო თავის ორბიტზე.

აქედან „ნახევარშეჯახების“ ჰიპოთეზათა ავტორებს და მათ თანამიმდევრებს გამოყავთ დასკვნა იმის შესახებ, რომ ჩვენი ცთომილთა სისტემა ერთადერთია სამყაროში, ხოლო დედამიწა — ერთადერთი განსაკუთრებული ცთომილი, რომელზედაც სიცოცხლე არსებობს. ამგვარად, ამ ჰიპოთეზათა მქადაგებელნი აუცილებლად მიდიან რელიგიურ ანთროპოცენტრიზმსა და ზღაპრებამდე სამყაროსა და დედამიწის შექმნის შესახებ.

მაგრამ ამერიკელმა ასტრონომმა რესელმა მიუთითა, რომ ჯინსის ჰიპოთეზას არ შეუძლია ახსნას მზის სისტემის დიდი ზომა, რამდენადაც მზიდან მოწყვეტილ მასებს უნდა ემოდრავათ მზის გარშემო მისგან არაღილ მანძილებზე, ძალიან გაჭიმულ ორბიტებზე.

საბჭოთა მეცნიერ ნ. პარიისკის მიერ ჩატარებულმა მათემატიკურმა გამოთვლებმა საბოლოოდ დაამტკიცა ჯინსის ჰიპოთეზის უმწეობა. ამას გარდა, მსგავსი ჰიპოთეზები წმინდა მექანიკური ჰიპოთეზებია, რადგანაც ისინი

არ განიხილავენ გავარდნარებული ვაზიდან, რომლის ტემპერატურა ასეული ათასობით გრადუსია, ცთომილების წარმოშობის ფიზიკურ შესაძლებლობას. ვაზების თანამედროვე კინეტიკური თეორიის თანახმად, მზის ნივთიერების გუნდისაგან ცთომილები ვერ წარმოიქმნებოდა: ვაზი საკმაოდ ჩქარა გაიფანტებოდა სივრცეში.

ამას უნდა დამატოს ისიც, რომ უქანასკნელი წლების განმავლობაში ბევრი ვარსკვლავის ცთომილება (§ 303) აღმოჩენილი. მართალია ეს ცთომილები, ვარსკვლავთა სიშორის გამო, ტელესკოპებში უშუალოდ არ მოჩანს, მაგრამ მათი არსებობა იწვევს ვარსკვლავთ მოძრაობებში გადახვევებს, რაც თანამედროვე ზუსტი დამზერითი მეთოდებით არის აღმოჩენილი. აქედან გამომდინარეობს, რომ სამყაროში არსებობს ჩვენი სისტემის მსგავსი უამრავი მზის სისტემა.

§ 348. საბჭოთა მეცნიერთა კოსმოგონიური ჰიპოთეზები. მიუხედავად იმისა, რომ ცის სხეულთა წარმოშობის პრობლემის გადაწყვეტა არაჩვეულებრივად ძნელია, საბჭოთა მეცნიერებმა გვიჩვენეს მატერიალისტური გზები, რომელთა მიხედვითაც შეიძლება ამ პრობლემის გადაწყვეტა. დაკვირვებითი მასალის საკმაო რაოდენობის უქონლობისა და ცის სხეულთა განვითარების მთელი რიგი თეორიული საკითხების არასაკმარისად დაშუშავების გამო, ჯერ-ჯერობით შეუძლებელია შეიქმნას დასრულებული თეორია ცის სხეულთა წარმოშობის შესახებ.

ამჟამად შეიძლება ლაპარაკი ამ პრობლემის გადაწყვეტაზე მხოლოდ პირველი ნიახლოებით, მეცნიერული ჰიპოთეზების შექმნაზე, რომელთაც შეუძლიათ ახსნან ბევრი (და არა მხოლოდ ჩვენი) ცთომილთა სისტემის წარმოშობა მატერიის განვითარების კანონის საფუძველზე. ასეთი გზები გვიჩვენეს საბჭოთა მეცნიერებმა—აკადემიკოსმა ო. ი. შმიდტმა, აკადემიკოსმა ვ. გ. ფენსენკოვმა და სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტმა ვ. ა. ამბარცუმიანმა.

1. ო. ი. შმიდტის ჰიპოთეზა დაფუძნებულია სამ ცნობილ ფაქტზე; ესენია 1) გალაქტიკის ბრუნვა, 2) ჩვენს გალაქტიკაში და, ამასთანავე, უმთავრესად მის ცენტრალურ სიბრტყეში არსებობა ბნელი მატერიის ღრუბლებისა, რომლებიც შედგებიან, გარდა ვაზისა, მყარი ნაწილაკებისაგან, ბოლიდან და მტერიდან დაწყებული უფრო მსხვილ სხეულებამდე...¹; 3) მეტეორული სხეულები, რომლებსაც ვაკვირდებით ჩვენ „ვარდნილი ვარსკვლავების“ ანუ მეტეორიტების სახით, ეკუთვნიან მზის სისტემას და არ არიან მოსულები ვარსკვლავთშორისი სივრციდან.

შმიდტი თვლის, რომ მზემ გალაქტიკის ცენტრის გარშემო მოძრაობის დროს, გადაჭრა რა გალაქტიკის სიბრტყე, გაიარა მეტეორული მატერიის უზარმაზარი ბრტყელი გროვა. მზის მიზიდულობისა და, აგრეთვე, მზის სხივების სინათლის წნევის გავლენით, გროვის ყველაზე უფრო შემკვრივებულ ნაწილებში მეტეორულმა სხეულებმა იწყეს შეგროვება მცირე გუნდებად. ეს

¹ აკად. ო. ი. შმიდტი, ოთხი ლექცია დედამიწის წარმოშობის თეორიაზე, საქ. სსრ მეცნ. აკად. გამომცემლობა, 1953.

გუნდები იქცნენ მიზიდულობის ადგილობრივ ცენტრებად, რომლებზედაც ცვიოდა მახლობელი მეტეორული სხეულები. მზის მიზიდულობით მოტაცებულმა გუნდებმა იწყეს მზის გარშემო მოძრაობა და გაზრდა მეტეორულ გროვაში გავლის დროს მათზე დაცვენილი მეტეორული სხეულების ხარჯზე. შმიდტის გამოანგარიშებით 7 მილიარდი წლის განმავლობაში ცთომილები გაიზარდნენ თანამედროვე სიდიდემდე, ამასთან, წარმოშობილი ცთომილების სიდიდე დამოკიდებულია მეტეორული გროვის სისქეზე, რომელიც ერთნაირი არ არის მის სხვადასხვა არეში, და აგრეთვე მზიდან თავდაპირველი შემკვრივების ცენტრების მანძილზე. დედამიწის ასაკი, შმიდტის მონაცემით, უახლოვდება თანამედროვე გეოფიზიკის მონაცემებს, რომლის შეფასებით დედამიწის ქერქის ასაკი 2—3 მილიარდი წლის ტოლია. ცხადია, რომ დედამიწის ქერქი უფრო ახალგაზრდა უნდა იყოს თვით დედამიწაზე.

ეს ჰიპოთეზა დამაკმაყოფილებლად ხსნის ყველა ცთომილის პირდაპირ მოძრაობას, რამდენადაც მზის მიერ მოტაცებული მეტეორული ნაკადის არაერთგვაროვნებას უნდა მოეყვანა ცთომილები მოძრაობაში ერთი და იმავე მიმართულებით, ამასთან მათი ორბიტები ახლოს უნდა იყოს წრეხაზთან.

ცთომილების მიერ მოტაცებით მსგავსადვე წარმოიშვნენ თანამგზავრებიც (გარდა მთვარისა). აქ შეიძლება ადგილი ჰქონოდა თანამგზავრთა შებრუნებულ მოძრაობასაც — ყველაფერი დამოკიდებული იყო მეტეორული გროვის ადგილობრივ შემკვრივებებზე და იმაზე, რომ მეტეორულ ნაწილაკებზე გავლენას ახდენდა არა მარტო ცთომილის, არამედ მზის მიზიდულობაც.

ვინაიდან ჩვენი გალაქტიკის ბირთვის გარშემო მოძრაობის დროს ბევრი ვარსკვლავი გადაკვეთს მის ცენტრალურ სიბრტყეს, ამიტომ მათ შორის იმათ, რომლებიც გაივლიან მეტეორულ გროვას, შეიძლება წარმოექმნათ ცთომილები. ამით, შმიდტის ჰიპოთეზის მიხედვით, აიხსნება მრავალრიცხოვანი ცთომილთ სისტემის არსებობა ჩვენს გალაქტიკაში.

2. ვ. გ. ფენცენკოვის ჰიპოთეზა დაფუძნებულია თვით მზის ევოლუციაზე, იმ პროცესებზე და რეაქციებზე, რომლებსაც ადგილი ჰქონდა მის ბირთვში. ცნობილია, რომ ახლა მზე გამოყოფს ენერჯიის არაჩვეულებრივად დიდ რაოდენობას წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნის ხარჯზე. გარდაქმნის ეს პროცესი შესაძლებელია მხოლოდ და მხოლოდ მზის წიაღში ძალიან დიდი ტემპერატურის დროს, რომელიც $2 \cdot 10^7$ გრადუსს აღემატება. მაგრამ რამდენიმე მილიარდი წლის წინათ მზე იმყოფებოდა სულ სხვა მდგომარეობაში, ვიდრე ახლა — ის იყო უზარმაზარი ცივი ვარსკვლავი, რომლის ბირთვში ტემპერატურა დაახლოებით 2—3 მილიონი გრადუსი იყო. ასეთი დაბალი ტემპერატურის დროს წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნა არ ხდებდა, მაგრამ სამაგიეროდ მზის ენერჯიის წყაროს სხვა ატომბირთვული რეაქციებით წარმოადგენს ბერილიუმის, ბორის ან ლითიუმის მონაწილეობით, რომელთა მიმდინარეობა შესაძლებელია ასეთ პირობებში. მაგრამ დახარჯა რა ეს ქიმიური ელემენტები, ენერჯიის წყაროს მოკლებულმა მზემ დაიწყო სწრაფად შეკუმშვა, რის შედეგად მისი ბრუნვის სიჩქარე მკვეთრად გაიზარდა. შეკუმშვის

ეს პროცესი უნდა გაგრძელებულიყო რამდენიმე ათას წელიწადს მანამ, სანამ ტემპერატურა მზის წიაღში არ გახდა 20 მილიონი გრადუსი, როცა უკვე დაიწყო წყალბადის ჰელიუმში გარდაქმნის ატომბირთვული რეაქციები.

ამ გარდამავალ პერიოდში, ბრუნვის სიჩქარის განუწყვეტლივ ზრდის დროს, მზემ დაკარგა მდგრადობა, თანდათან განიცადა დეფორმირება და მიიღო არამდგრადი მსხლისებური ფორმა (§ 344, ა. ლიაპუნოვისა და ჯ. დარვინის გამოკვლევები). ბრუნვის აჩქარების დროს მსხლისებური ამონაზარდი ამოსროლილ იქნა მზის მიერ წაგრძელებული ნაკადის სახით და დაიშალა სფეროსებურ შემკვრივებდად, რომლებიც თანდათან გაცივდნენ და წარმოშვეს ცთომილები. თავდაპირველად ცთომილთ სისტემას ჰქონდა არც ისე დიდი ზომა (რამდენიმე მილიონი კილომეტრი დიამეტრით), მაგრამ შემდეგში, მოქცევითი ხახუნისა (§ 343) და გამოსხივების გამო მზის მასის საუკუნეებრივი შემცირების შედეგად, ცთომილები დაშორდნენ მზეს და ცთომილთ სისტემამ მიაღწია თანამედროვე სიდიდეს. რადგან მსგავსი გარდამავალი პერიოდი მოსალოდნელია მრავალი ვარსკვლავის განვითარებაში, ცთომილთა სისტემები მრავალრიცხოვანი უნდა იყოს.

3. ვ. ა. ამბარცუმიანის ჰიპოთეზა ემყარება მის უკანასკნელ შრომებს, რომლებშიც დადგინდა ვარსკვლავთ ჯგუფების — ასოციაციების არსებობა და ვარსკვლავების უაღრესად სხვადასხვანაირი ასაკი ჩვენ გალაქტიკაში (ამბარცუმიანი, კუპარკინი). ვარსკვლავები, ამბარცუმიანის იდეის მიხედვით, მკვრივდებიან (ჩნდებიან) ვარსკვლავამდელი მატერიიდან არა თითო-თითოდ, არამედ ჯგუფებად. ამ ჯგუფებს მან ასოციაციები უწოდა. სიჩქარეთა განსხვავების გამო ასოციაციები თანდათან იშლებიან. წარმოშობილი ვარსკვლავების რაოდენობა მოცემულ წარმოქმნილ ასოციაციაში დამოკიდებულია მრავალ პირობაზე, მათ შორის ვარსკვლავამდელი მატერიის რაოდენობაზე, რომელიც უმეტესად გაზოვან ან ჰტეროვან მდგომარეობაშია. ამასთან შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს ისეთ შემთხვევებს, როდესაც ასოციაციაში წარმოიშვება ერთი დიდი ვარსკვლავი და მთელი რიგი მცირე ვარსკვლავებისა. დიდი ვარსკვლავის უზარმაზარი მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით პატარა ვარსკვლავები კი არ განიზნევიან სივრცეში, არამედ იწყებენ დიდი ვარსკვლავის გარშემო გარემოქცევას. პატარა ვარსკვლავები ცივდებიან შედარებით სწრაფად და იქცევიან ცივ ცთომილებად, რომლებიც გარემოიქცევიან მთავარი ვარსკვლავის — მზის გარშემო.

ამგვარად, ამბარცუმიანი თვლის, რომ მზისა და ცთომილების ასაკი დაახლოებით ერთი და იმავე რიგისაა. ამგვარადვე შეიძლებოდა წარმოშობილიყო ცთომილთა სისტემები სხვა ვარსკვლავთა გარშემო.

საბჭოთა მეცნიერების სამივე ჰიპოთეზის დამახასიათებელი განსხვავება კაპიტალისტური ქვეყნების მეცნიერთა კოსმოგონიური ჰიპოთეზებისაგან იმაში მდგომარეობს, რომ საბჭოთა ჰიპოთეზები მატერიალისტურია; მათში ცთომილების წარმოშობა განხილულია არა როგორც გამონაკლისი ბუნებაში, არამედ როგორც მატერიის განვითარების კანონზომიერი პროცესი.

§ 349. ვარსკვლავთ კოსმოგონიის პრობლემები. მხოლოდ ასტროფიზიკისა და ვარსკვლავთ ასტრონომიის უკანასკნელი ათეული წლების მიღწევებმა მოგვცა შესაძლებლობა, შევდგომოდით ვარსკვლავთა წარმოშობისა და განვითარების პრობლემის ამოხსნას მთელი მისი მრავალფეროვნებით. XIX საუკუნის ბოლოსა და XX საუკუნის დასაწყისში გამოთქმული ჰიპოთეზები ვარსკვლავთა წარმოშობის შესახებ მექანიკური იყო და, ცხადია, არ შეეძლო პასუხი ისეთ კითხვებზე, როგორიცაა მაგალითად: გალაქტიკის ყველა ვარსკვლავი წარმოიშვა თუ არა ერთდროულად, ერთნაირი თუ სხვადასხვა სახით, ნივთიერების როგორი მდგომარეობიდან, როგორ წარმოიქმნენ ჯერადი სისტემები, როგორ არიან დაკავშირებულნი ვარსკვლავები მატერიის არსებობის სხვა ფორმებთან და ა. შ. ასეთია არასრული სია იმ პრობლემებისა, რომელთაც შეისწავლის თანამედროვე ვარსკვლავთა კოსმოგონია.

§ 350. სპექტრი-ბრწყინვალეების დიაგრამა და მისი ახსნის ცდები. „სპექტრი-ბრწყინვალეების“ დამოკიდებულების (§ 292) აღმოჩენას ვარსკვლავთ კოსმოგონიისათვის თითქმის ისეთივე მნიშვნელობა ჰქონდა, როგორც მზის სისტემის წევრების მოძრაობის ძირითად კანონზომიერებებს ცთომილთა კოსმოგონიისათვის. მთავარი მიმდევრობის გასწვრივ თანდათანობით ნელ ცვლილებას უნებურად მიყვებართ ვარსკვლავის არსებობის განმავლობაში მისი თანდათანობითი შეცვლის მოსაზრებამდე. როგორია ის პროცესები, რომლებიც იწვევენ ვარსკვლავთა ევოლუციას და როგორ არიან დაკავშირებულნი მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავები სხვა ვარსკვლავებთან?

ამერიკელი ასტრონომის რესელის ვარაუდით ვარსკვლავის ევოლუციის მთავარ ფაქტორს შეეკუმშვა წარმოადგენს. ვარსკვლავების დაყოფას ჯუჯებად და გიგანტებად რესელი შემდგენიარად ხსნიდა: „ახალგაზრდა“ ვარსკვლავი წარმოადგენს ძლიერ მცირე სიმკვრივისა და შედარებით არამალალი ტემპერატურის მქონე გაზოვან სფეროს, რომელიც სუსტი წითელი სინათლით ანათებს. მაგრამ, რადგანაც სფეროს ზომა უზარმაზარია, ამიტომ მისი დისკოს მიერ გამოგზავნილი სინათლის საერთო რაოდენობა ძლიერ დიდია და ჩვენ წითელი გიგანტი ვარსკვლავი გვაქვს. შეკუმშვის შედეგად დროთა განმავლობაში სფეროს ზომა კლებულობს. მაგრამ გაზოვანი მასის შეკუმშვის პროცესს თან ახლავს მისი ტემპერატურის გადიდება და, ამის წყალობით, მნათობის ზედაპირული სიკაშკაშის გაზრდა. ვარსკვლავი სულ უფრო და უფრო ცხელი, მოთეთრო ხდება და მრავალი მილიონი წლის განმავლობაში, რჩება რა ისევ გიგანტად, შებრუნებული რიგით გადის ყველა სპექტრულ კლასს M, K, G, F, A, B. ამ უკანასკნელში ის მაქსიმალურ ტემპერატურას აღწევს.

ვარსკვლავის უდიდესი აყვავების პერიოდის შემდეგ იწყება მისი დაცემა: ის გადადის მთავარ მიმდევრობაზე და თანდათანობით ჯუჯად იქცევა; სიბნობის რაოდენობა, რომელიც ვითარდება შემდგომი შეკუმშვისას, უკვე აღარ არის საკმარისი გამოსხივებით გამოწვეული დანაკარგის ასანაზღაურებლად, ტემპერატურა ეცემა, ზედაპირის სიკაშკაშე კლებულობს, ბრწყინვალეობა სუსტდება და ის გადის იმავე სპექტრულ კლასებს, მხოლოდ უკვე A, F, G, K, M მიმდევრობით, ქრება რა ჩვენთვის მკვრივი მუქი წითელი მიმქრალი ჯუჯა

ვარსკვლავის სახით, რომელიც ათასეულებჯერ უფრო სუსტია, ვიდრე თავისი ისტორიის დასაწყისში.

რესელის მიერ მოცემული ვარსკვლავის „სიციცხლის“ სურათი თითქოს უნდა ეფარდებოდეს სპექტრი-ბრწყინვალეების დიაგრამაზე წარმოდგენილ დაკვირვებების მონაცემებს. მაგრამ, როგორც შემდგომ აღმოჩნდა, რესელის ჰიპოთეზა მთლიანად უარიყოფა ვარსკვლავთ მასების შესახებ მონაცემებით. ვარსკვლავთ მასების გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ გიგანტებისა და ჯუჯების მასებს შორის არსებობს შესამჩნევი განსხვავება, რომელიც არასგზით არ შეიძლება აიხსნას მასის დაკარგვით გამოსხივების ხარჯზე, როგორც ამას რესელი უშვებდა. მეორე მხრივ, გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ მხოლოდ შეკუმშვის ხარჯზე შეუძლია ვარსკვლავს — როგორც მნათ სხეულს — იარსებოს ბევრად უფრო ნაკლებ (ათეული მილიონობით წლების რიგის) ხანს, ვიდრე სინამდვილეში არსებობენ ვარსკვლავები (ასეული და ათასეული მილიარდობით წლების რიგი). რესელის ჰიპოთეზა ძალზე პრიმიტიული იყო იმდენად, რამდენადაც მასში არ იყო გათვალისწინებული ის პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ ვარსკვლავთ წიაღში — ატომბირთვული გარდაქმნების პროცესები.

სპექტრი-ბრწყინვალეების დიაგრამის ინტერპრეტაციის დროს საბჭოთა მეცნიერები გამოდიან იმ მონაცემთა სრული ერთობლიობიდან, რომელიც თანამედროვე ასტრონომიას მოეპოვება, აქცევენ რა განსაკუთრებულ ყურადღებას ობიექტებს, რომლებიც იმყოფებიან არამდგრად მდგომარეობაში, თავისი განვითარების მობრუნების ეტაპებზე, როცა ნელ-ნელა დაგროვდები რაოდენობრივი ცვლილებები იწყევენ ობიექტის მდგომარეობის თვისობრივ ცვლილებას; ასეთებია, მაგალითად, სხვადასხვა არასტაციონალური ვარსკვლავები (ახლები, ზეახლები, ცვალებადები, ვოლფ-რაიეს ტიპის ვარსკვლავები), ანდა ვარსკვლავთ არამდგრადი ჯგუფები (ვარსკვლავთ ღია გროვები, ვარსკვლავთ ასოციაციები).

§ 351. „ხნიერი“ და „ახალგაზრდა“ ვარსკვლავები. არასტაციონალური ობიექტების შესწავლისას საბჭოთა მეცნიერებმა დაამტკიცეს, რომ სპექტრი-ბრწყინვალეების დიაგრამის სხვადასხვა ადგილზე მყოფი ვარსკვლავები, მართლაც, სხვადასხვა ასაკის ობიექტებს წარმოადგენენ; ასე, მაგალითად, ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვმა დაადგინა, რომ ვოლფ-რაიეს ტიპის ვარსკვლავები, რომელთათვისაც მათი სპექტრების მიხედვით უშუალოდ შეიმჩნევა ზედაპირიდან ნივთიერების გამოდენა, ისეთი „მფლანგუელები“ არიან, რომ შეუძლიათ თავიანთი მასა სრულად დახარჯონ რამდენიმე ასეული ათასი წლის განმავლობაში; მაშასადამე, მათი ასაკი ამ ვადაზე მეტი არ შეიძლება იყოს.

ამასთანავე სტაციონალური ვარსკვლავების (ისეთის, როგორც მზეა) ასაკი მილიარდობით წლებით განისაზღვრება. ვარსკვლავებს შორის უფრო „ხნიერი“ ობიექტებიც არსებობს.

ვარსკვლავების ასაკის შეფასების სხვა ხერხს გვაძლევს ვარსკვლავთა სხვადასხვა გროვის გამოკვლევა. გალაქტიკის ბირთვში შექმავალი ვარსკვლავებისა და აგრეთვე ვარსკვლავთა ახლომდებარე ჯგუფების მიზიდულობის

გავლენით გროვები თანდათან „კარგავენ“ მათში შემავალ ვარსკვლავებს და მიმოიფანტებიან. ამისათვის საჭირო დრო სფერული გროვების შემთხვევაში (ასეული და ათასეული მილიარდი წლები) ბევრად უფრო მეტია, ვიდრე ღია გროვებისათვის (ასეული და ათასეული მილიონი წლები) და, მით უმეტეს, ვარსკვლავთა ასოციაციების შემთხვევებში, რომლებსაც შეუძლიათ დარჩნენ, როგორც ერთიანი წარმონაქმნები სულ მხოლოდ რამდენიმე მილიონი, ან ასეული ათასობით წელიც კი; რადგანაც ვარსკვლავთა ყველა გროვა, ალბათ, ერთად წარმოიშვა, ამიტომ გროვის არსებობის დროის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ მათში შემავალი ვარსკვლავების ასაკზე.

აკადემიკოსმა ვ. ამბარცუმიანმა, — ვარსკვლავთ სისტემების გამოკვლევებიდან გამომდინარე, დაადგინა კოსმოგონიისათვის უმნიშვნელოვანესი ფაქტები: 1. გალაქტიკაში ვარსკვლავთ წარმოშობის პროცესი გრძელდება უწყვეტად, ე. ი. ვარსკვლავები წარმოიშებიან ამჟამადაც.

2. ვარსკვლავები წარმოიშებიან ჯგუფებად.

§ მნშ. ვარსკვლავთ ევოლუცია. თანახმად ვარსკვლავთ ევოლუციის ჰიპოთეზისა, რომელიც მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავებისათვის შეიმუშავა აკადემიკოსმა ვ. ფესენკოვმა, ახლახან აღმოცენებული ახალგაზრდა ვარსკვლავები მთავარი მიმდევრობის საშუალო ხაზის რამდენადმე მაღლა მდებარეობს. ვარსკვლავის განვითარების პირველ სტადიაზე ყველაზე უფრო არსებით ფაქტორს, გრავიტაციულ შეკუმშვასთან ერთად, წარმოადგენს კორპუსკულური გამოსხივება, ე. ი. ვარსკვლავის ზედაპირიდან მატერიის ნაწილაკების გამოდენა. კორპუსკულური გამოდენა ამ დროს ვარსკვლავის არამდგრადი მდგომარეობის შედეგია. ვარსკვლავი წარმოადგენს გიგანტურ ცისფერ სფეროს რომელსაც აქვს 20—25 ათასი გრადუსი ზედაპირული ტემპერატურა და ძლიერ ჩქარი ღერძული ბრუნვა. ვარსკვლავის ასეთი მდგომარეობა არ შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე ათეულ მილიონ წელზე მეტ ხანს, რადგანაც კორპუსკულური გამოსხივების ხარჯზე ვარსკვლავი კარგავს თავისი მასისა და „ბრუნვის რაოდენობის“ (მოძრაობის რაოდენობის მომენტი) ნაწილს და თანდათან ანელებს ბრუნვას; მცირდება ვარსკვლავის ზომა და ბრწყინვალეობა. ყველა ამ ცვლილების შედეგად ვარსკვლავი „ჩამოდის“ მთავარი მიმდევრობის გასწვრივ მის შუა ნაწილში, გადადის რა თანდათან მდგრად მდგომარეობაში.

ვარსკვლავის „სიცოცხლის“ შემდგომ პერიოდში მის განვითარებაში ძირითადი როლის შესრულებას იწყებს მის ღრმა წიაღში ატომბირთვული გარდაქმნები და ზედაპირიდან გამოსხივების მეშვეობით ნივთიერების დაკარგვა. თანდათან იცვლება ვარსკვლავის მასა, ზომები, ტემპერატურა, ქიმიური შედგენილობა, მხოლოდ ბევრად უფრო ნელა, ვიდრე კორპუსკულური გამოსხივების სტადიაში. ასე, მაგალითად, ა. მასვეიჩის გამოთვლების თანახმად, ჩვენი მზე დაახლოებით 100 მილიარდი წლის განმავლობაში მთავარი მიმდევრობის გასწვრივ ისე უმნიშვნელოდ გადაადგილდება, რომ დედამიწაზე პრაქტიკულად არც კი შეიმჩნევა მზის გამოსხივების ინტენსივობის შეცვლა.

ახალგაზრდა ვარსკვლავები შეიძლება იყოს არა მარტო O — B კლასის ვარსკვლავები, არამედ უფრო გვიანდელი სპექტრული კლასებისაც; მაშინ მათი განვითარების პირველი სტადია მიმდინარეობს რამდენადმე სხვა ვადებში, მაგრამ საერთოდ ევოლუცია, ალბათ, ზემოთ გადმოცემულის ანალოგიურია.

§ 353. ნისლეულები. საბჭოთა კავშირში განსაკუთრებით უკანასკნელ წლებში ჩატარებულმა სხვადასხვა ნისლეულის გამოკვლევებმა საშუალება მოგვცეს დაგვედგინა მთელი რიგი ფაქტებისა, რომელთაც დიდი კოსმოგონიური მნიშვნელობა აქვთ.

აკადემიკოს გ. შაინის მიერ აღმოჩენილ იქნა მრავალი ახალი ნისლეული და შეფასდა მათი მასები. აღმოჩნდა, რომ მთელ რიგ შემთხვევებში ნისლეულთა მასები ათასჯერ აღემატება მზის მასას. ნისლეულთა სივრცული განაწილების გამოკვლევამ საშუალება მოგვცა, დავემტკიცებინა მათი კავშირი O — B კლასების ცხელ „ახალგაზრდა“ ვარსკვლავებთან. სხვადასხვა ნისლეულის სტრუქტურული თავისებურებების შესწავლამ კი გვიჩვენა, რომ მათი დამახასიათებელი თავისებურებანი (მაგალითად, ბოჭკოვანი სტრუქტურა) აღმოცენდებიან, როგორც შედეგი ვარსკვლავთშორისეთის მატერიის მოძრაობისა, ცალკეული მასების დაჯახებისა და სხვ.

აკადემიკოსმა ვ. ფესენკოვმა ყურადღება მიექცია ზოგიერთი თითქოს ცალკეული „ვარსკვლავთმაგვარ“ შემკვრივებებად დაშლილი ბოჭკოვანი ნისლეულის თავისებურებებს.

გ. შაინის, ვ. ფესენკოვისა და სხვათა შრომების მიხედვით ჩანს, რომ ნისლეულთა შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც ვარსკვლავთშორისობის პროცესის, ისე მატერიის იმ მდგომარეობის შესწავლისათვის, რომელიც წინ უძღვის მას.

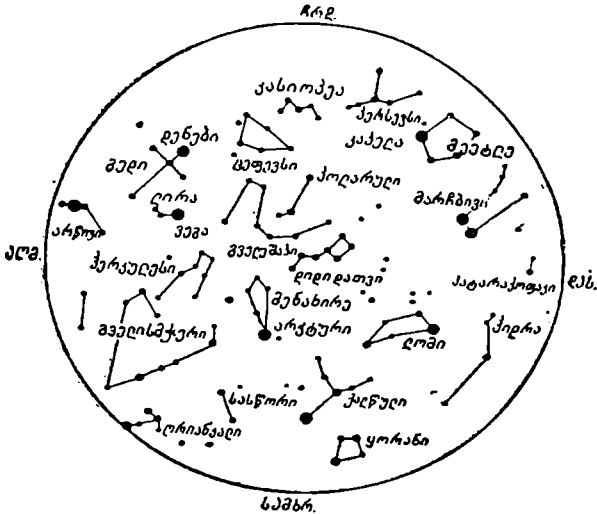
ამასთანავე ვარსკვლავთშორისეთის გარემო განუწყვეტლივ ივსება ახლებისა და ახლის მსგავსთა აფეთქებებისას ამოტყორცნილი ნივთიერების კორპუსკულური გამოსხივებისა და სხვა პროცესების ხარჯზე.

§ 354. სხვა კოსმოგონიური პრობლემები. ცალკეული გალაქტიკური ობიექტებისა და მათი ჯგუფების წარმოშობასთან ერთად დგას საკითხი გალაქტიკებისა და უფრო დიდი მასშტაბის სისტემების წარმოშობის შესახებ. თუმცა წინათაც იყო გამოთქმული ჰიპოთეზები, რითაც ცდილობდნენ, აეხსნათ ვარსკვლავთ სისტემების წარმოშობა, მაგრამ ამ პრობლემის დამუშავება არსებითად ჯერ მხოლოდ ახლა იწყება. აშკარაა, რომ ცალკეული ვარსკვლავების აღმოცენებისა და დალუპვის პროცესებში მრავალი დეტალი ჩვენთვის ცხადი გახდება მაშინ, როდესაც საერთოდ გალაქტიკების წარმოშობისა და განვითარების შესახებ მეტი კონკრეტული მონაცემები გვექნება.

დამატება I

ცის გაცნობა

§ 355. თანავარსკვლავედების გაცნობა (ასტროგნოზია). ვარსკვლავიერი ცის გაცნობის დაწყება ყველაზე უფრო მოსახერხებელია დიდი დათვის თანავარსკვლავედით, რომელიც ჩვენს განედებში არასოდეს არ ჩადის. ზაფხულის ღამეებში დიდი დათვი ცის ჩრდილო-დასავლეთ მხარეს მოჩანს „კუდი“ ზევით, შემოდგომაზე ჩრდილოეთით პორიზონტის გაყოლებით განლაგდება და უჭირავს ყველაზე დაბალი მდებარეობა, ზამთრობით — ჩრდილო-აღმოსავლეთით კუდით ქვემოთ, ბოლოს, გაზაფხულის ღამეებში — ზენიტის მახლობლად გადმოყირავებულ მდგომარეობაში. ვიპოვინით რა დიდ დათვს, მისგან,



ნახ. 170. გაზაფხულის ცა (ვარსკვლ. დრო 14^h)
15 აპრილი 12 ს.; 15 მაისი 10 ს.

უპირველეს ყოვლისა, გადავდივართ პოლარულ ვარსკვლავზე, გავაველებთ რა მის ორ α და β ვარსკვლავებზე სწორს (ნახ. 170). პოლარული ვარსკვლავი ერთ-

ხელ და სამუდამოდ მოგვეცემს ჩრდილოეთის მიმართულებას საკმაო სიზუსტით. ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ვიცოდეთ ამ „გზის მაჩვენებელი“ ვარსკვლავის პოვნა ღამის სხვადასხვა საათისა და წლის სხვადასხვა დღისათვის დიდი დათვის თანავარსკვლავედის მიხედვით.

თუ დიდი დათვის „კუდიდან“ გავავლებთ სწორი ხაზის მონაკვეთს პოლუსზე და გავაგრძელებთ მას პოლუსიდან იმდენსავე მანძილზე, ვიპოვებთ აგრეთვე მეტად შესამჩნევ ჩაუვალ კასიოპეის თანავარსკვლავედს, რომელიც მე-2 და მე-3 სიდიდის ხუთი ვარსკვლავისაგან შედგება და ირმის ნახტომში W ასოს (ან გადმობრუნებული M-ის) მსგავსი განლაგება აქვს. ეს თანავარსკვლავედი დიდი დათვის სიმეტრიულია პოლუსის მიმართ; როდესაც ერთი გადის ზედა კულმინაციაში ზენიტის მახლობლად, მეორე ამ დროს პოლუსის ქვემოთ ქვედა კულმინაციაში იმყოფება.

ამ ორი ჩაუვალი თანავარსკვლავედიდან ადვილია გადასვლა სხვა თანავარსკვლავედებზე. მაგალითად, თუ გავაგრძელებთ დიდი დათვის კუდს და მოვხრით მისი გამრუდების მიმართულებით, დავინახავთ პირველი სიდიდის ყვითელ ვარსკვლავს: ეს არქტურია მენახირის თანავარსკვლავედში (α Bootis). ეს ვარსკვლავი უკვე ჩამავალ ვარსკვლავებს მიეკუთვნება, ასე რომ ჩვენ მას ყოველ საღამოს ვერ დავინახავთ. თუ გადავინაცვლებთ კასიოპეიდან ირმის ნახტომის გასწვრივ საათის ისრის მიმართულებით, ვიპოვებთ პერსეუსის ვარსკვლავების ძეწვეს, შემდეგ მოყვითალო კაპელას მეეტლის თანავარსკვლავედში.

კაპელა—პირველი სიდიდის ვარსკვლავებიდან პოლუსთან ყველაზე უახლოესი ვარსკვლავია. თუ კაპელა—პოლარულ მონაკვეთს პოლარულის იქითაც გავაგრძელებთ მანძილზე, რომელიც ცოტათი მეტია ამ მონაკვეთზე, ვიპოვებთ ჩრდილოეთი ცის ყველაზე კაშკაშა—თეთრ ვეგას ლირის თანავარსკვლავედში. მოსკოვის განედზე არც ვეგა და არც კაპელა არასოდეს არ ჩადის¹, დიდ დათვთან და კასიოპეასთან ერთად, ისინი ქმნიან ოთხ გამოსავალ ორიენტირს, რომელთაგან შეიძლება თანდათანობით გადასვლა დანარჩენ თანავარსკვლავედებზე.

§ მნვ. საღამოს ცა წლის სხვადასხვა დროს. თანდართულ რუკებზე სქემატურად არის გამოსახული ვარსკვლავიერი ცა მოსკოვის² განედისათვის ($\varphi = +56^\circ$) ვარსკვლავთმეირი დროის სხვადასხვა საათზე.

თითოეულ რუკაზე წერე გამობატავს ჰორიზონტს, ზენიტი მდებარეობს ცენტრში. თუ სახით მოვექცევით სამხრეთისაკენ და დავიქვრთ რუკას ვერტიკალურად, მაშინ სამხრეთის წერტილის მახლობლად იქნება ჰორიზონტის სამხრეთი ნაწილი, ხოლო ცის აღმოსავლეთი და დასავლეთი მხარე იქნება შესაბამისად მარცხნივ და მარჯვნივ, როგორც ეს რუკაზეა მოცემული. ეს რუკები განკუთვნილია მხოლოდ საერთო ორიენტაციისათვის და არავითარ შემთხვევაში არ შეუძლია შეცვალოს ვარსკვლავთა ატლასების რუკები.

¹ თბილისისათვის ორივე ვარსკვლავი ჩამავალია.

² იგივე ნახაზები გამოდგება ჩვენი განედებისათვისაც. ქართ. გამოც. რედ.

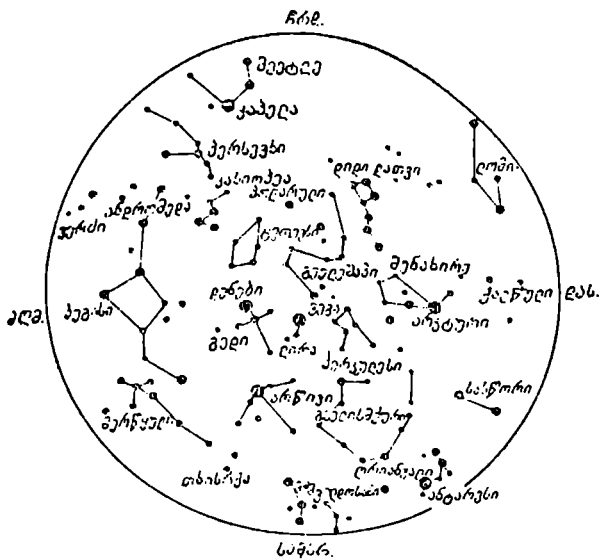
გ ა ზ ა ფ ხ უ ლ ი ს ც ა—ყველაზე უფრო ღარიბია კაშკაშა ვარსკვლავებით. ირმის ნახტომი ჰორიზონტის მახლობლად მდებარეობს და ამიტომ ცუდად მოჩანს. გაზაფხულის თანავარსკვლავედებიდან ყველაზე შესამჩნევია ლომის თანავარსკვლავედი, რომლის მთავარი ვარსკვლავები ქნინიან საყნაოდ წესიერ ტრაპეციას; აგრეთვე ქალწული და მენახირე თავისი არქტურით. დაბლა, სამხრეთით, მოჩანს მეორე არაწესიერი ტრაპეცია—ყორნისა, ხოლო სამხრეთ-აღმოსავლეთით რამდენადმე მოგვიანებით ამოდის წითელი ანტარესი (ლრიან-კალის თანავარსკვლავედშია, ნახ. 170).

ზ ა ფ ხ უ ლ ი ს ც ა. სსრ კავშირის ჩრდილო ნაწილში ამ დროს, თეთრი ლამეების გამო, მოჩანს მხოლოდ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავები. მხოლოდ აგვისტოს დასაწყისში მოსკოვის განედზე შუალამისათვის ჩამობნელებია იმდენად, რომ მოჩანს ირმის ნახტომი მთელი თავისი სილამაზით და ამასთან მისი ყველაზე მდიდარი „ზაფხულის“ ნაწილი. ზაფხულის ცის ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავია ვეგა ლირის პატარა თანავარსკვლავედში (ზენიტის მახლობლად) და არქტური (დასავლეთით). ვეგა, ირმის ნახტომის ორი პირველი სიდიდის ვარსკვლავთან — ალტაირთან (არწივის თანავარსკვლავედშია) და დენებთან (გედის თანავარსკვლავედშია) ერთად ქნის კარგად შესამჩნევ დიდ სამკუთხედს. ორივე თანავარსკვლავედი ირმის ნახტომშია. საბჭოთა კავშირის ჩრდილო ნაწილში მხოლოდ ეს სამკუთხედი შესამჩნევი ზაფხულის ნათელ ცაზე. სამხრეთით კი ზაფხულის ცის მთავარ მშვენებას წარმოადგენს ლრიან-კალისა და მშვილდოსნის თანავარსკვლავედები, რომლებიც ირმის ნახტომის ყველაზე ნათელ და განიერ ნაწილში მდებარეობენ (ნახ. 171).

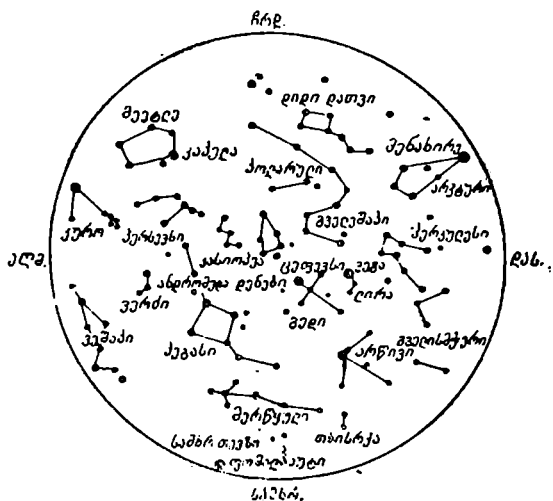
შ ე მ ო დ გ ო მ ი ს ც ა. გვიან შემოდგომამდე ლამის ცის სურათი ძლიერ ნელა იცვლება და იგივე ლირისა და გედის თანავარსკვლავედები დიდხანს რჩება ზენიტის მახლობლად. შემოდგომის დასაწყისი ჩვენთან ირმის ნახტომის ხილვადობის ყველაზე საუკეთესო დროა. ცის აღმოსავლეთით მოჩანს ანდრომედა პეგასთან ერთად, რომლებიც ერთად ქნინიან დიდი დათვის ციცხვის მსგავს ფიგურას, მაგრამ მნიშვნელოვნად უფრო დიდს. მას მოსდევს კუროს თანავარსკვლავედი წითელი აღდებარანიტურთ და ხომლით. „ზამთრის“ კაპელა ყოველ საღამომობით სულ მაღლა და მაღლა იწეებს, ხოლო თითქმის მის პირდაპირ, პოლუსის მეორე მხარეს მდებარე „გაზაფხულის“ ვეგა სულ უფრო ქვევით ეშვება (ნახ. 172).

ზ ა მ თ რ ი ს ც ა (ნახ. 173) ყველაზე უფრო მდიდარია კაშკაშა ვარსკვლავებით. წლის ამ დროს ყველაზე შესამჩნევი თანავარსკვლავედებია: მარჩბივი კაშკაშა ვარსკვლავებით—კასტორითა და პოლუქსით, ორიონი — ცის ყველაზე ლამაზი თანავარსკვლავედი, პირველი სიდიდის ორი ვარსკვლავით—რიგელითა და ბეტელჰეიზით და დიდი ქოფაკი სირიუსით, რომელიც მთელი ცის ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავია. ირმის ნახტომის ის ნაწილი კი, რომელიც ზამთრობით მოჩანს, პირიქით, ნაკლებად საინტერესოა.

სასარგებლოა ყოველი რუკის შედარება მის წინა და მომდევნო რუკებთან—დაწყებული პოლუსის მახლობელი თანავარსკვლავედებიდან. ეს მოგვემს



ნახ. 171. ზაფხუღის ცა (ვარსკვლ. დრო 19^ა) 1 იღლის 12 ს.; 1 აგვისტო 10 ს.

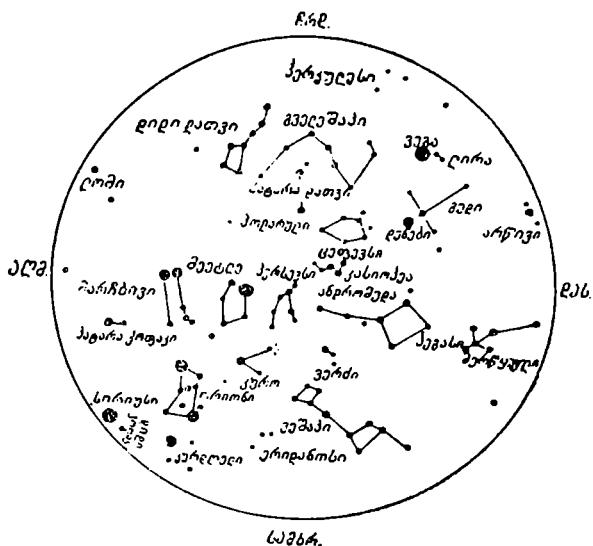


ნახ. 172. შემოღდომის ცა (ვარსკვლ. დრო 21^ა) 1 სექტემბერი 11 ს.; 1 ოქტომბერი 9 ს.

წარმოდგენას ცის სახის ცვლილებაზე დედამიწის დღელამური ბრუნვისა და წლიური მოძრაობის გამო და რამდენადმე მაინც შეძლებს ცის გლობუსის მაგიერობის გაწევას.

§ 357. პრაქტიკული მითითებები შეუიარაღებელი თვალით დაკვირვებისათვის. უნდა მივჩვიოთ ვარსკვლავებს შორის კუთხური მანძილის გრადუსებში შეფასებას. მაგალითად, დიდი დათვის თანავარსკვლავედის α და β ვარსკვლავებს შორის მანძილი შეადგენს დაახლოებით $5\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს, დიდი დათვის α -სა და პოლარულ ვარსკვლავს შორის მანძილი— 29° -ს. მე-2 სიდიდის სამი კავკაზა ვარსკვლავი, რომლებიც „ორიონის სარტყელს“ შეადგენენ, იმყოფებიან ერთიმეორესთან განსაკუთრებით ახლოს, სულ მხოლოდ $1\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის მანძილზე.

გარდა ამისა, უნდა ვისწავლოთ ვარსკვლავთ ბრწყინვალეების დაახლოებითი შეფასება ვარსკვლავიერ სიდიდეებში. 1-ლი სიდიდის ტიპიურ



ნახ. 173. ზამთრის ცა (ვარსკვლ. დრო 7^h) 1 თებერვალი 11 ს.;
1 მარტი 9 ს.

ვარსკვლავს წარმოდგენს ალტარი ან არწივის თანავარსკვლავედში და აღდებარანი კუროს თანავარსკვლავედში; ვეგა, არქტური და კაპელა მიეკუთვნება, ზუსტად რომ ვთქვათ, ნულოვანი სიდიდის ვარსკვლავებს, ხოლო სირიუსი— მინუს მეორე (უფრო ზუსტად—1,58) სიდიდისას. მე-2 სიდიდის ნორმალურ ვარსკვლავებად ითვლება პოლარული და დიდი დათვის α ვარსკვლავები. მე-2 სიდიდის ვარსკვლავებს მიეკუთვნება აგრეთვე დიდი დათვის 5 ვარსკვლავი. კასიოპეას 5 ვარსკვლავიდან 3 მიეკუთვნება მე-2 სიდიდის ვარსკვლავებს,

ხოლო დანარჩენი ორი 2ე-3 სიდიდისას. დიდი დათვის შვიდი ვარსკვლავიდან ყველაზე წკრთალ ვარსკვლავს (ბ) აქვს 3,5 ვარსკვლავიერი სიდიდე.

ცის გაცნობის დროს საპირთა ყურადღება მიექცეს ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებს, რომელნიც ცაზე ეკლიპტიკის მდებარეობას გვიჩვენებენ. საწინააღმდეგოდ ეკვატორისა, რომელსაც ცაზე უცვლელი ადგილი უკავია, ეკლიპტიკა საშუალო დროის სხედასხევა საათში სხედასხევა მდებარეობას იკავებს, მაგრამ ჰორიზონტს ყოველთვის გადაკვეთს ორ დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილში. თანდართულ რუკებზე ზოდიაქოს მონახვა წარმოადგენს მეტად სასარგებლო საგარჯიშოს მოსწავლეთათვის.

§ 358. მთვარისა და ცთომილების მოძრაობა. მნათობთა საკუთარი მოძრაობის შესწავლა მთვარით უნდა დაიწყეთ. აუცილებელია VI თავში აღწერილი მთვარის მოძრაობის თავისებურებანი შემოწმდეს საკუთარი დაკვირვებებით.

ყველაზე საინტერესოა „ახალი მთვარის“ ნამგალზე დაკვირვება იანვარ-აპრილში ახალმთვარეობიდან 3—6 დღის შემდეგ. წლის ამ დროისათვის ის ჩადის მზეზე უფრო გვიან (რატომ?) და დიდხანს მოჩანს ღამის ბნელ ცაზე. თუ მთვარის მდებარეობას აღვნიშნავთ ვარსკვლავების მიმართ მთელი რიგი ღამეებისათვის და მას ვარსკვლავიერ რუკაზე გადავიტანთ, ჩვენ აშკარად დავრწმუნდებით მთვარის სწრაფ მოძრაობაში აღმოსავლეთისაკენ ზოდიაქოს ვარსკვლავების გასწვრივ. ამასთან აღვნიშნოთ: 1) ფაზის ცვლილება მზიდან კუთხური მანძილის ცვლილებასთან ერთად, 2) მთვარის ნამგლის ბოლოების და ტერმინატორის მდებარეობა მზის მიმართ, 3) ფერფლისებრი სინათლე. თუ დაკვირვებები საკმარისად ზუსტია, შეგვიძლია დავრწმუნდეთ იმაში, რომ მთვარე არ მოძრაობს ეკლიპტიკაზე და აღვნიშნოთ ეკლიპტიკიდან მისი უდიდესი გადახრის მდებარეობა დაახლოებით (5° , ე. ი. მთვარის 10 დისკო) და აგრეთვე ნასკვების მდებარეობაც. ბოლოს, თუ თვიდან თვემდე ვაწარმოებთ მთვარის ერთსა და იმავე ვარსკვლავთან დაბრუნების აღნიშვნას, შეიძლება აღმოვაჩინოთ მთვარის ორბიტის მდებარეობის ცვლილება.

ცთომილები მთვარეზე ბევრად უფრო ნელა გადაადგილდებიან. ამიტომ, იმისათვის, რომ აღმოვაჩინოთ მათი მოძრაობა, საკმარისია აღვნიშნოთ რუკებზე ცთომილების მდებარეობები ვარსკვლავების მიმართ დროის დიდი შუალედებისათვის: მაგალითად, მარსისათვის ყოველ 5—10 დღის შემდეგ, იუპიტერისათვის ერთი თვის შემდეგ. ცთომილთა მოძრაობაზე დაკვირვება პირისპირდგომის ეპოქის მახლობლად უნდა ხდებოდეს, 1—2 თვით ადრე პირისპირდგომამდე, იმისათვის რომ უქუსვლითი მოძრაობის „მარყუქი“ გამოვსახოთ. ცნობები პირისპირდგომის დროთა შესახებ მოიცემა ასტრონომიულ კალენდრებში. ამ დაკვირვებისათვის განსაკუთრებით მოხერხებულია იუპიტერი. ის სრულ გარემოქცევას მზის გარშემო ასრულებს 12 წელიწადში და ამიტომ შებრუნებული მოძრაობის „მარყუქს“ ყოველ შემდგომ წელში აღწერილ დაახლოებით შემდეგ მომდევნო (აღმოსავლეთისაკენ) ზოდიაქურ თანავარსკვლავებში: 1960 წ. ღრიანკალის, ხოლო 1961 წ. მშვილდოსნის თანავარსკვლავებში და ა. შ.

ხშირად შეიძლება რამდენიმე ცთომილის ერთდროულად დანახვა და დაკვირვება იმაზე, თუ როგორ უსწრებს ერთი მათგანი მეორეს. როცა ცთომილები დაშორებულია ერთმანეთისაგან, ეს იძლევა ეკლიპტიკის მდებარეობის დაახლოებითი განსაზღვრის საშუალებას.

§ 359. ცხ. გაცნობა ტელესკოპით. შედარებით ხშირად გვხვდება ტელესკოპები (რეფრაქტორები) 40-დან 100 მმ დიამეტრიანი ობიექტივებით (1,5—4-დუმიანი) და ასტრონომიული ოკულარებით, რომლებიც შებრუნებულ გამოსახულებას იძლევიან. ტელესკოპი დადგმული უნდა იყოს მასიურ ურყევ სადგარზე. თუ ტელესკოპს აქვს რამდენიმე ოკულარი, ყოველ შემთხვევაში დასაწყისში უნდა ვისარგებლოთ ყველაზე მცირე გამადიდებლობით (ყველაზე დიდი ოკულარით). ცალკეული დამკვირვებლისათვის ოკულარი უნდა „დავაყენოთ თვალის მიხედვით“, ე. ი. უნდა შევწიოთ ან გამოვწიოთ, ისე რომ ვარსკვლავები, რომლებსაც ძალიან დიდი სიკაშკაშე არა აქვთ, გამოვიდნენ „წერტილების“ სახით, ხოლო მთვარის კიდე იყოს მკვეთრად გამოხაზული.

ა) მზე. ვინაიდან ტელესკოპი, ასანთი მინის მსგავსად, სხივებს ერთ წერტილში კრებს, ამიტომ მზეზე პირდაპირ ოკულარით ყურება არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება; არ შეიძლება აგრეთვე მზეზე ტელესკოპის დაყენება ისე, როგორც სხვა მნათობზე—დამიზნებით. ტელესკოპს დაყენებენ მისი ჩრდილის მიხედვით, ხოლო მზეზე დაკვირვებისათვის ოკულარს სპეციალურ ძალიან მუქ მინას მიახრახნიან. მაგრამ ბევრად უფრო მოხერხებულია, ტელესკოპში სრულიად რომ არ გავიხედოთ, არამედ მზის გამოსახულება მივიღოთ თეთრ ეკრანზე, რომელიც ოკულარის (მუქი მინის გარეშე) წინ იდგმება. რამდენადაც უფრო შორსაა ოკულარიდან ეკრანი, მით უფრო დიდია, მაგრამ ამასთან ერთად მკრთალია მზის გამოსახულება. ამისათვის საჭიროა მოეწყოს დაბნელება რაიმე სახით, მაგალითად, ტელესკოპის ობიექტივიდან ბოლოზე უნდა ჩამოეცვას მუყაოს წრე. თვით სუსტი ტელესკოპიც კი უჩვენებს მზეზე ლაქებსა და ჩირალდნებს (უკანასკნელს დისკოს ნაპირებზე) უამრავი დეტალებით. თუ ჩავიხატავთ ლაქების რომელიმე ჯგუფს რამდენიმე დღის განმავლობაში ზედიზედ, ჩვენ შეგვიძლია თვალყური ვადევნოთ მის ცვლილებას, ზოგის გაქრობასა და სხვათა გამოჩენას; ხოლო, გავზომავთ რა რაიმე ხერხით ცალკეული ლაქის მდებარეობას მზის დისკოზე, ჩვენ შევძლებთ განვსაზღვროთ მზის ლერძის გარშემო ბრუნვის დრო და ბრუნვის ლერძის მიმართულება დაახლოებით. საინტერესოა წინასწარ გამოითვალოს ის დრო, როდესაც აღმოსავლეთ ნაპირიდან მიმალული ლაქების რომელიმე ჯგუფი გამოჩნდება ხელახლა და შემჩნეული იქნეს მისი დაბრუნება. განსაკუთრებით დიდი ჯგუფების დანახვას, სასურველია, შევეცადოთ შეუიარაღებელი თვალით (გამურული მინით), რაც საკმარისად ხშირად ხერხდება. მზის დისკოზე ლაქების მდებარეობის განსაზღვრის დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ დღის განმავლობაში კუთხე, რომელსაც მზის ლერძი შეადგენს ვერტიკალურ ხაზთან, ძლიერ იცვლება, როგორც იცვლება, მაგალითად, მთვარის ნამგლის დახრა. უნდა ვისწავლოთ აღნიშნული მიზეზით გამოწვეული მზის ლაქების გადაადგილების გარჩევა მათი ნამდვილი მოძრაობისაგან. კიდევ უფრო მარ-

ტივია დაკვირვების წარმოება რამდენიმე დღეს ზედიზედ, შეძლებისამებრ, ერთსა და იმავე საათზე.

ბ) მთვარე—საუკეთესო ობიექტია დაკვირვებისათვის, რომელიც დამკვირვებელზე უდიდეს შთაბეჭდილებას ახდენს. სუსტ მილშიც კი მასზე მოჩანს პეიზაჟები—მზის მიერ განათებული დაბლობები და მთები, რომელთაგან მიემართებიან შავი ჩრდილები. სრულმთვარეობისას მთვარე ნაკლებადაა საინტერესო, ხოლო არასრული მთვარის დროს ყოველთვის განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს სინათლის საზღვარი (ტერმინატორი). ამ ხაზზე მთების ჩრდილები განსაკუთრებით გრძელია, ამიტომ ზედაპირის რელიეფი მეტისმეტად მკაფიოდ არის გამოხატული. შემდეგი სალამოსათვის ტერმინატორი გადაადგილდება ზედაპირის სხვა ნაწილში, ხოლო წინააღმდეგობის უბნები ხდება ნაკლებ ეფექტიანი. ამიტომ მთვარის ზედაპირის შესწავლა ნაწილ-ნაწილ ხდება მთვარის ზრდასთან ან მის კლებასთან ერთად. საუკეთესო დრო მთვარეზე დაკვირვებისათვის—ეს არის პირველი მეოთხედის შემდეგ 1—2 დღე-ღამე, როცა მთვარის ყველაზე ლამაზი პეიზაჟი ჩანს: ალპები და აპენინები პლატონისა და არქიმედეს კრატერებით (ნახ. 111). სრულ მთვარეობისას საინტერესოა, უმთავრესად, ნათელი სხივები, რომლებიც ტიხოს, კოპერნიკისა და სხვათა კრატერებიდან განიშლებიან. საჭიროა, აგრეთვე, მიექცეს ყურადღება დისკოს ნაპირებთან მდებარე ლაქებსა და კრატერებს, რომლებიც შესამჩნევად გადაადგილდებიან ლიბრაციის გამო. მთვარის ზედაპირის გაცნობის დროს აუცილებელია გვექონდეს მთვარის რუკა დაწვრილებითი აღწერით.

გ) ცთომილები. მერკურზე (რომელიც იშვიათად ჩანს) და ვენერაზე შეიძლება მხოლოდ ფაზების გარჩევა; არავითარი დეტალი თვით ცთომილებზე არ მოჩანს. მარსზეც ასევე 3—4-გოჯიან ტელესკოპში შეიძლება დავინახოთ მხოლოდ ნათელი პოლარული ლაქა და ერთი-ორი ბნელი ლაქა. ბევრად უფრო საინტერესოა ორი დიდი ცთომილი—იუპიტერი და სატურნი. კარგად მოჩანს იუპიტერის შეკუმშულობა და ზოლები მის დისკოზე, ხოლო 4-გოჯიან ტელესკოპში ზოგჯერ შეიძლება შეინიშნულ იქნეს ამ ზოლებში მიმდინარე ცვლილებებიც კი. ნებისმიერი ტელესკოპით შეიძლება დავინახოთ გალილეის ოთხი თანამგზავრი, რომლებიც დემონსტრაციისათვის ყველაზე საუკეთესო ობიექტებს წარმოადგენენ. ამ დროს აუცილებლად ხელთ უნდა გვექონდეს ასტრონომიული კალენდარი, რომელშიც ყოველი დღისათვის მოცემულია თანამგზავრთა განლაგება და მათ მიერ წარმოდგენილი მოვლენები, როგორიცაა, კერძოდ დაბნელებები და დაფარვები.

სატურნი თავისი რგოლით კარგად მოჩანს საშუალო სიდიდის ტელესკოპებში და ბევრზე ახდენს თითქმის ისეთსავე ძლიერ შთაბეჭდილებას, როგორც მთვარე. სატურნის ცხრა თანამგზავრიდან სუსტ ტელესკოპებში მხოლოდ ერთი, ტიტანი, მოჩანს.

დანარჩენი ცთომილები სუსტ ინსტრუმენტებში გარეგნულად არაფრით არ განსხვავდება ვარსკვლავებისაგან და ამიტომ არ იწვევს არავითარ ინტერესს.

დ) ვარსკვლავიერი სამყარო. არცერთ ვარსკვლავზე, რომელიც ტელესკოპითაც არ უნდა ვაკვირდებოდეთ მათ, არაფერი არ მოჩანს, ისინი

ყველა „ნაპერწყლბად“, „წერტილებად“ წარმოგვიდგება, მათი „დისკობი“, რომელთაც ტელესკოპში ვხედავთ, არაა რეალური, არამედ ობიექტივის არასრულქმნილობის შედეგია; ისინი ვარსკვლავები კი არაა, არამედ მათი „გამოსახულებებია“. რაც უფრო კარგი ხარისხისაა ინსტრუმენტი, მით უფრო მცირეა ეს გამოსახულება. ამიტომ დაკვირვებისათვის საინტერესოა, უმთავრესად, არა ცალკეული ვარსკვლავები, არამედ ვარსკვლავთა ჯგუფები, ე. ი. ორმაგი ვარსკვლავები და ვარსკვლავთ გროვები.

ყველაზე სუსტი ტელესკოპისათვის მისაწვდომი ორმაგი ვარსკვლავებიდან საინტერესოა დიდი დათვის ζ (მიცარი, § 302), რომელიც ერთმანეთისაგან 14" მანძილთ დაშორებულ მე-2 და მე-4 სიდიდის ორი ვარსკვლავისაგან შედგება. დაკვირვების დროს ყურადღება უნდა მიექცეს მის შორეულ თანამგზავრ ალკორს, რომელიც შეუიარაღებელი თვალითაც კი ჩანს. ჩვენი ცის ყველაზე ულამაზეს ორმაგ ვარსკვლავს წარმოადგენს ანდრომედას γ, მე-3 სიდიდის ნარინჯისფერი ვარსკვლავი, მე-5 სიდიდის ლურჯი თანამგზავრით 10" მანძილზე. ყველაზე კაშკაშა ორმაგი ვარსკვლავი, რომელიც ჩვენგან ჩანს, კასტორია (მარჩბივის α), მე-2 სიდიდის ვარსკვლავი, მე-3 სიდიდის თანამგზავრით 5"-ის მანძილზე. ეს ვარსკვლავი ტელესკოპში, რომელსაც არა ნაკლები 80 მმ (3-გოჯიანი) ობიექტივი აქვს, იშლება ცალკეულ ვარსკვლავებად. უფრო ძლიერი ტელესკოპით სასურველია ვიპოვოთ ლირის ε, მე-4 სიდიდის ვარსკვლავი, ევგას მახლობლად. ძალიან კარგი მხედველობის ადამიანი ამჩნევს მის ორმაგობას (მანძილი 3 $\frac{1}{2}$ "). 3—4-ლუმიან ტელესკოპში ლირის ε-ის თითოეული ვარსკვლავი აგრეთვე ორად იყოფა (მანძილი სამ-სამი სექუნდია), ასე რომ ეს ვარსკვლავი ოთხმაგია.

ვარსკვლავთ გროვებიდან ყველაზე მისაწვდომია ხომლი. ის მთვარიან ლამეშიც კი შესამჩნევია, ვინაიდან კაშკაშა ვარსკვლავებისაგან შედგება. კიდევ უფრო ლამაზი და ვარსკვლავებით მდიდარია ვარსკვლავთ ორმაგი გროვა პერსეესის თანავარსკვლავედში, ეგრეთ წოდებული პერსეესის χ და ჰ; ბინოკლში ის მოჩანს, როგორც შემკვერივება ირმის ნახტომზე კასიოპეასა და პერსეესის „ძეწკვს“ შუა. ვარსკვლავთ გროვებზე დაკვირვების დროს უნდა გამოვიყენოთ ყველაზე მცირე გამაძიდებლობა იმისათვის, რომ მთელი გროვა მოთავსდეს ტელესკოპის მხედველობის არეში. სუსტი ტელესკოპებით შეიძლება დავაკვირდეთ მხოლოდ გაბნეულ გროვებს.

ნისლეულებზედაც აგრეთვე ძალიან ცოტა დეტალები მოჩანს. მათ შორის ყველაზე კაშკაშა—ანდრომედას ნისლეული შეუიარაღებელი თვალით შეიძლება ადვილად ვიპოვოთ ვარსკვლავიერი რუკის საშუალებით. მაგრამ მისი სპირალური აგებულება არცერთ ტელესკოპში არ ჩანს და მხოლოდ ფოტოგრაფიებზე გამოდის. ასევე, ორიონის ნისლეული, რომელიც ბინოკლშიც კი შესამჩნევია (ეგრეთ წოდებული ორიონის „მახვილში“ „სარტყლის“ ქვემოთ), ბევრად უფრო ცუდად მოჩანს, ვიდრე გამოსახულია ჩვეულებრივ სურათებზე, რომლებიც მიღებულია აგრეთვე ფოტოგრაფიებით. ყურადღებას იპყრობს რგოლისებური ნისლეული ლირის თანავარსკვლავედში, რომელსაც ადვილად ვიპოვით რუკებზე. როგორც ნისლეულებზე, ისე ვარსკვლავთ გროვებზე დაკვირვება უმთავროს ლამეებში უნდა წარმოებდეს და ყველაზე მცირე გამაძიდებლობით; პლანეტურ ნისლეულებზე დაკვირვება კი საჭიროა დიდი გამაძიდებლობით.

ცხრილი I. ბერძნული ანბანი

α ალფა	η ეტა	υ ნიუ	z ტაუ
β ბეტა	θ თეტა	ξ ქსი	σ იასილონ
γ გამა	ι იოტა	ο ომიკრონ	φ ფი
δ დელტა	κ კაპა	π პი	χ ხი
ε ეპსილონ	λ ლამბდა	ρ რო	ψ პსი
ζ ეტა	μ მიუ	σ სიგმა	ω ომეგა

ცხრილი II. საშუალო დროის შუალედების ვარსკვლავთმომიერი დროის შუალედებად გარდაქმნა

სათები		მინუტები			
საშუალო დრო	შესწორება ემარტება	საშუალო დრო	შესწორება ემარტება	საშუალო დრო	შესწორება ემარტება
1	2	3	4	5	6
1 ^h	0 ^m 9 ^s ,856	1 ^m	0 ^s ,164	31 ^m	5 ^s ,093
2	0 19,713	2	0,329	32	5,257
3	0 29,569	3	0,493	33	5,421
4	0 39,426	4	0,657	34	5,585
5	0 49,282	5	0,821	35	5,750
6	0 59,139	6	0,986	36	5,914
7	1 8,995	7	1,150	37	6,078
8	1 18,852	8	1,314	38	6,242
9	1 28,708	9	1,478	39	6,407
10	1 38,565	10	1,643	40	6,571
11	1 48,421	11	1,807	41	6,735
12	1 58,278	12	1,971	42	6,900
13	2 8,134	13	2,136	43	7,064
14	2 17,991	14	2,300	44	7,228
15	2 27,847	15	2,464	45	7,392
16	2 37,704	16	2,628	46	7,557
17	2 47,560	17	2,793	47	7,721
18	2 57,417	18	2,957	48	7,885
19	3 7,273	19	3,121	49	8,049
20	3 17,129	20	3,285	50	8,214
21	3 26,986	21	3,450	51	8,378
22	3 36,842	22	3,614	52	8,542
23	3 46,699	23	3,778	53	8,707
24	3 56,555	24	3,943	54	8,871
სეკუნდები		25	4,107	55	9,035
		26	4,271	56	9,199
10 ^s	0 ^s ,027	27	4,435	57	9,364
20	0, 055	28	4,600	58	9,528
30	0, 082	29	4,764	59	9,692
40	0, 110	30	4,928	60	9,856
50	0, 137				

საშუალო დღე-ღამე = 24^h 0^m 56^s,555 = 1,00273791 ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე

ცხრილი III. ვარსკვლავთმომიერი დროის შუალედების საშუალო დროის
შუალედებად გარდაქმნა

სათეობი		მინუტები			
ვარსკვლავთ- მომიერი დრო	შესწორება აკლებება	ვარსკვლავთ- მომიერი დრო	შესწორება აკლებება	ვარსკვლავთ- მომიერი დრო	შესწორება აკლებება
1	2	3	4	5	6
1 ^h	0 ^m 9 ^s ,830	1 ^m	0 ^s ,161	31 ^m	5 ^s ,079
2	0 19,659	2	0,323	32	5,242
3	0 29,489	3	0,491	33	5,406
4	0 39,318	4	0,655	34	5,570
5	0 49,148	5	0,819	35	5,734
6	0 58,977	6	0,983	36	5,898
7	1 8,807	7	1,147	37	6,062
8	1 18,636	8	1,311	38	6,225
9	1 28,466	9	1,474	39	6,389
10	1 38,296	10	1,638	40	6,552
11	1 48,125	11	1,802	41	6,717
12	1 57,955	12	1,966	42	6,881
13	2 7,784	13	2,130	43	7,045
14	2 17,614	14	2,294	44	7,208
15	2 27,443	15	2,457	45	7,372
16	2 37,273	16	2,621	46	7,536
17	2 47,102	17	2,785	47	7,700
18	2 56,932	18	2,949	48	7,864
19	3 6,762	19	3,113	49	8,027
20	3 16,591	20	3,277	50	8,191
21	3 26,421	21	3,440	51	8,355
22	3 36,250	22	3,604	52	8,519
23	3 46,080	23	3,768	53	8,683
24	3 55,910	24	3,932	54	8,847
სეკუნდები		25	4,096	55	9,010
10 ^m	0 ^s ,027	26	4,259	56	9,174
20	0,055	27	4,423	57	9,338
30	0,082	28	4,587	58	9,502
40	0,109	29	4,751	59	9,666
50	0,137	30	4,915	60	9,830

ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე=23^h 56^m 04^s,091=0,99726957 საშუალო დღე-ღამეს.

ცხრილი IV. შიას და დღოდ ცოლილების ელემენტები

ეთნიკური სახელწოდება	შის გარეშე ბრუნვის ვარსკვლავობები დრო		საშუალო მანძილი მუიდან		საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	კვატორული დამეტი		საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან
	დღე-ღამე	წუთი	საშუალო მანძილი მუიდან	საშუალო მანძილი მუიდან							კვ.მ	კვ.მ			
მეგრები	87,97	—	0,387	57,9	0,206	700	0,04	0,88	0,37	4700	0	87x 23x 1(8)	—	—	—
აჭარა	224,70	—	0,723	108,1	0,007	3 24	0,83	0,93	0,97	12400	0	30x ?	—	—	—
ღვამიჭა	365,26	15	1,000	1,95	0,017	0	1,00	1,00	1,00	12757	288	23x 56x 4x 1	1	—	—
ბარსი	686,98	1 322x	1,524	227,8	0,093	1 51	0,11	0,69	0,54	6500	105	24 37 27,6	2	—	—
ეზობური	4392,59	11 315	5,203	777,8	0,048	1 18 31x,4	0,25	1,14	1,14	142000	16	9 55 41	12	—	—
საბურნი	10759,20	29 167	9,639	1426,1	0,056	2 29 95,2	0,13	9,4	9,4	120000	11	10 14 24	9	—	—
ურანი	30635,93	84 4	19,191	2469,1	0,047	0 46 14,6	0,24	4,0	4,0	51000	13	10 48	5	—	—
ნაბტნი	60187,64	164 285	30,071	4495,7	0,009	1 46 17,3	0,22	4,3	4,3	55000	40	15 46	2	—	—
ალბტნი	90737,2	248 153	39,458	5899,0	0,239	17 09 < 1	?	0,467	0,467	5900?	?	?	?	—	—
მეც	—	—	—	—	—	—	333400	0,26	10,91	1391000	0	25x	—	—	—

1 კოლუსის ახლი ზონისათვის ბრუნვის პერიოდი = 9 ს. 55 მიწ. 41 სეკ. კვატორული ზონისთვის—9^h 30^m 30^s

2 კოლუსის ახლი ზონისათვის ბრუნვის პერიოდი = 10 ს. 38 მიწ.

ცხრილი V. ცოთმოხლოთა თანამგზავრების ელემენტები

სახელწოდება	აღმოჩენა	სამუდლო მანძილი ცოთმოხლოდან		(ედმსფდ) მსმკუღაი	წმინდების მანძილი	ორბირის დახრა		სფენდებულს	ედმსფდ მსმკუღაი	მდებარეობის აღწერა
		ცოთმოხლოდან	კოლომბოვრებში			ცოთმოხლოდან	სიბრტყელში			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
დედამიწა	—	60,27	384,400	8'50"	27,32166	180'18"	509'	3473	— 12,7	0,055
მთვარე	—	2,77	9500	099"	0,31891	10	250'11"	16	11,5	0,017
ზარსი	ხოლო 1877	6,96	25880	0'21"	1,26234	2	250'16"	8	13,0	0,005
ფობოსი	ხოლო 1877									
დეიმოსი										
იუპიტერი										
I იო	გალილეი 1610	5,91	22400	1'52"	1,70814	0	307'	3700	5,5	0,000
II ევროპა	გალილეი 1610	9,41	67100	2'58"	3,65318	0	306'	3220	6,1	0,000
III განიმედი	გალილეი 1610	15,04	1,059 · 10 ⁶	4'14"	7,15,55	0	302'	5150	5,1	0,002
IV კალისტო	გალილეი 1610	26,37	1,851 · 10 ⁶	8'19"	16,6,802	0	26,37'	5130	6,2	0,005
V	ბარნაბეი 1892	2,56	182000	0'56"	0,38418	0	307'	160	14,0	0,003
VI	პერაინი 1903	160,4	11,4 · 10 ⁶	0'51"	250,021	31	250,57'	160	14,7	0,155
VII	პერაინი 1905	165,10	11,73 · 10 ⁶	0'52"	259,17	30	270,85'	56	17,5	0,207
VIII	მელპორე 1905	330,7	23,5 · 10 ⁶	10,16"	7,38,9	1,5	1480'1"	56	16,3	0,378
IX	ნიკოლონი 1914	3195,0	21 · 10 ⁶	10,16"	7,38,9	1,5	1480'1"	27	18,0	0,170
X	ნიკოლონი 1934	165,0	11,75 · 10 ⁶	0'51"	260,5	—	260'21"	24	18,8	0,217
XI	ნიკოლონი 1934	316,70	22,5 · 10 ⁶	10,99"	182,5	—	1630'37"	909	18,5	0,207
XII	ნიკოლონი 1951	286	21 · 10 ⁶	10,99"	182,5	—	1480	307	18,3	0,135

სახელწოდება	აღმოჩენა	საშუალო მანძილი		5	6	ორბითის დაშრა		9	10	11
		სომხ-ლორთის რაიონში	კალაშკინის რაიონში			სომხ-ლორთის რაიონში	სომხ-ლორთის რაიონში			
I მბახი	კერძული	3,10	155(100)	0'27"	0,9;2,2	2	26°45'	590	12,1	0,019
II ვეკელაღისი	კერძული	3,97	299(100)	0'31"	1,37022	0	26°45'	70	11,6	0,005
III ტუთია	კასპი	4,92	294(500)	0'43"	1,98780	1	26°45'	1200	10,5	0,000
IV დონე	კასპი	6,30	377(500)	0'55"	2,75692	0	26°42'	1400	10,7	2,002
V რუა	კასპი	8,79	527(100)	1'16"	4,51750	0	26°42'	1850	10,0	0,001
VI ტიბანი	კიუვანკა	20,38	1,322 10*	2'57"	15,84545	0	26°7'	5500	8,9	0,029
VII კობრინი	ბონდი	24,70	1,451 10*	3'34"	21,27666	1	26°0'	500?	13,0	0,119
VIII იაგუტი	კასპი	59,4	3,562 10*	8'45"	79,83082	14	16°18'	1600?	10,1-11,9	0,028
IX ფეშე	ბიკეონი	216,2	12,961 10*	31'10"	550,45	149	17°47'	920?	—	0,168
რგული	კიუვანკა	1,48-2,29	90 · 10*	20"	4 საათიდან — 14 საათამდე	—	26°45'	—	—	—
ურანი										
I აბოლო*	ლაკელი	7,52	191(900)	0'14"	2,52038	0?	97°59'	800?	15,5	0,007
II უბბიელო*	ლაკელი	10,46	267(200)	0'19"	4,14419	0?	97°59'	640?	15,8	0,008
III ტიბანა*	კერძული	17,21	439(200)	0'32"	8,70588	0?	97°59'	1600?	14,0	0,002
IV ბებრინი*	კერძული	24,01	587(000)	0'42"	13,46326	0?	97°59'	1450?	14,2	0,001
V შირაბაქა*	კერძული	5,11	130(400)		1,41	—	?	—	17,0	—
ნუბუნი										
I ტრიტონი*	ლაკელი	12,9	356(700)	0'16"	5,87633	—	130°50'	4800?	13,6	0,000
II ნეჩიდა*	კერძული	200	5,57 · 10*	6 7'	359,4	—	5-6°	920	19,5	0,76

*) მოძიება შეზღუდულია

ცხრილი VI. ყველაზე კარგა ვარსკვლავები

აღნიშვნა	სახელწოდება	მდებარეობა	სკანდინავია	საკუთარი მოძრაობა	პარალაკსი	მანძილ სინათლის წლებში	აბსოლუტ. სიდიდე	პარალაკსი	პერიოდი	სიჩქარე	სიჩქარე
* დიდი ჯორჯის ა გენის ბურზემლის "	სირიუსი	-1,6	A1	1" 315	0" 375	8,7	+1 ^m 3	23	1,8	3,4	0,42
* ვენეციის ა	კანოპუსი	-0,9	F0	0 022	0 018	140	-4, 6	5400	85	(60)	0,0001
* ლორის ა	ტოლმეკი	+0,1	G0	3 682	0 751	4,3	+4, 7	1,0	1,0	1,1	1,4
* ვეილის ა	ჰაბლა	0,1	A0	0 848	0 123	27	+0, 6	125	2,2	2,8	0,28
* ვეილის ა	კაპელა	0,2	G0	0 439	0 079	52	-0, 0	80	12	7,5	0,018
* ვეილის ა	არქტურის	0,2	K2	2 287	0 090	37	-0, 0	23000	26	(11)	0,001
* ვეილის ა	როგელ	0,3	B6	0 005	0 005	540	-6, 2	6	33	(40)	0,0014
* პატარა ჯორჯის ა	პროციონი	0,5	F5	1 242	0 288	11,2	+2, 2	6	1,8	1,2	0,28
* ვეილის ა	ერიდანოსის ა	0,6	B5	0 063	0 034	96	-1, 7	370	—	—	—
* ვეილის ა	კენტავრის β	0,9	B1	0 089	0 016	190	-3, 1	1450	—	—	—
* ვეილის ა	არვუზის ა	0,9	A7	0 659	0 198	16	+2, 4	8	1,4	(1,7)	0,6
* ვეილის ა	ორიონის ა	(0,9)	M2	0 082	0 005	300	-5, 6	13000	360	(15)	10 ⁻⁶
* ვეილის ა	ბეტელგეიზე	1,0	B1	0 048	0 018	250	-2, 8	1000	—	—	—
* ვეილის ა	ალდარანი	1,1	K5	0 205	0 048	64	-0, 5	125	40	(4)	2,10 ⁻⁶
* ვეილის ა	საიკა	1,2	B1	0 061	0 021	300	-2, 0	1000	5	(11)	0,14
* ვეილის ა	პოლუქსი	1,2	K0	0 628	0 100	38	+1, 0	70	330	(50)	10 ⁻⁶
* ვეილის ა	ლორანკლის ა	1,2	M1	0 082	0 019	170	-2, 4	700	—	—	—
* ვეილის ა	სამბარის თვის ა	1,3	A3	0 367	0 144	23	+2, 1	11	35	(35)	0,001
* ვეილის ა	ფორდის ა	1,3	A2	0 004	0 035	800	-0, 7	9400	—	—	—
* ვეილის ა	ფორდის ბ	1,3	B7	0 244	0 089	80	-0, 2	140	—	—	—
* ვეილის ა	ბე	+1,5	B1	0 051	0 010	330	-3, 5	2000	—	—	—
		-26,9	G2	—	—	—	+4, 9	1	1	1	1,4

საშუალო მოთხოვნილება 1-ლი სიდიდის ყველა ვარსკვლავი (21) ვარსკვლავებით აღინშნულია ორმაგი და სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავები. მე-8 სტეში მოცემულია აბსოლუტური სიდიდეები, ე. ი. ვარსკვლავების "სიდიდეები", ხილული ერთი და იმავე მანძილიდან, რომელიც 0^m1 პარალაკსს შეესაბამება. გვხვთ ვარსკვლავებისათვის ისინი გამოიდან უარყოფითი, შესაძარბლად უკანასკნელ სტრიკონში მოცემულია ზედიზედ; მანძილები მოცემულია სინათლის წლებში, ოთხი კვლევაზე დიდი ვარსკვლავის დაამტკიცებია განსახლებულია ვახოვების ინტერფერომეტრის საფუძველზე. დანარჩენებისათვის გამოთვლილია ფერის მაჩვენებლის მიხედვით. მაკები განსახლებულია ზუსტად მხოლოდ ხუთი ორმაგი ვარსკვლავისათვის, დანარჩენები (ფრჩხილებში) "ბას-ნათება" მრუდის მიხედვით. ორმაგი ვარსკვლავები-სათვის მოცემულია ორმაგი კომპონენტის საერთო მასა.

ცხრილი VII. უახლესი ვარსკვლავები

სახელწოდება ან აღნიშვნა კატალოგების მიხედვით	ბილუმი სიდიდე		სპექტრი	საკუთარი მოძრაობა	პარალაქი	მანძილი (სინათლის წლებში)	აბსოლუტუ- რი სიდიდე	ნათება ($\odot = 1$)
	2	3						
პროქსმა	10,5	M	3" 85	0" 762	4,2	+14,9	0,000086	
ვენუსების α-ს A	10,3	G0	3 67	0 756	4,3	+ 4,7	1,04	
ვენუსების α-ს B	11,7	K5	3 67	0 756	4,3	+ 6,1	0,28	
ბარნარდის ვარსკვლავი	9,5	M6	3 37	0 560	5,9	+15,2	0,0004	
ვოლფ 359	19,5	M8	4 67	0 403	8,2	+16,5	0,00002	
ლალანდი 21185	7,5	M2	4 77	0 388	4,5	+10,5	0,0005	
სირიუსი A	1,6	AU	1 32	0 376	8,7	+ 1,3	2,5	
სირიუსი B (თანამგზავი)	+8,0	A6	1 32	0 376	8,7	+10,9	0,0084	
როსი 154	10,6	M6	0 68	0 350	9,5	+13,3	0,0004	
კაპტაინის ვარსკვლავი	9,2	M0	8 75	0 251	13,0	+11,2	0,0026	
როსი 248	12,2	M6	1 82	0 320	10,1	+14,7	0,0001	
ჰენზიკი α	3,6	K0	1 92	0 278	11,7	+ 5,8	0,38	
ჰოციონი A	0,5	F5	1 24	0 291	11,2	+ 2,8	5,9	
პროციონი B	10,8	?	1 24	0 291	11,2	+13,1	0,00045	
ბრიჯესის ε	3,8	K2	0 97	0 305	10,5	+ 6,2	0,26	
მისის 61 A	5,6	M0	5 26	0 299	10,7	+ 7,9	0,054	
მისის 61 B	16,3	M0	5 21	0 299	10,7	+ 8,6	0,028	
ლაკაილი 9352	7,2	M0	6 91	0 278	11,7	+ 9,4	0,0136	
სტარუმი 2398	8,9	M4	2 31	0 289	11,4	+11,1	0,0028	
ბუგმბოიჯი 34	8,1	M2	2 89	0 284	11,7	+10,3	0,006	
ინდოუსი ε	4,7	K5	4 60	0 288	11,4	+ 7,0	0,124	
როსი 614	10,9	?	0 97	0 255	12,7	+12,9	0,0017	
კრიფეი 60 A	9,9	M6	0 87	0 255	12,6	+11,9	0,00187	
კრიფეი 60 B	11,4	M6	0 87	0 258	12,6	+13,4	0,00034	
ვან-ჰანენის ვარსკვლავი	12,4	F3	3 0	0 236	12,8	+14,3	0,0002	
ვორდობა 29191	6,6	M1	3 51	0 255	12,6	+ 8,6	0,029	
მე	-26,7	G0	-	-	-	+ 4,9	1	

ცხრილში მოყვანილია თითქმის ყველა ვარსკვლავი, რომლებიც მითაყვებულა სფეროს შიგნით, რომლის ცენტრი მზეზე და რადიუსი 4 პარსეკია, ამ სფეროს შიგნით, შესაძლოა არის კიდევ ჩვენთვის უცნობი ვარსკვლავები, მაგრამ მათი როცხები, ალბათ, მცირეა. ჩვენი გალაქტიკური სისტემის ამ მცირე არის ვარსკვლავთ "დასახლებობა" შემაღლებულმა ტიპის მთელი სისტემისათვის. ვარსკვლავთ დიდი უმრავლესობა ვარსკვლავთ, მხოლოდ სამი ვარსკვლავი მზეზე კანკა და მხოლოდ ერთი მათგანი ნამდვილი "გიგანტი". არსებითი ვარსკვლავი B სპექტრული კლასისა და არსებითი წითელი გიგანტი არ არის ჩვენს არეში, ისინი ძალიან იშვიათია. თუთი ვარსკვლავი კი-როქით, აქ არის ანა ნაკლებ სამისა. ცხადია, ისინი სრულყოფილად არა იშვიათი ნაგვარებში.

ცხრილი VIII. თანავარსკვლავედების სახელწოდება და აღნიშვნა

ცხრილში მოთავსებულია: 1) ყველა თანავარსკვლავედის სრული ლათინური სახელწოდება, 2) მათი შემოკლებული საერთაშორისო აღნიშვნები, 3) ქართული სახელწოდება, 4) რუსული სახელწოდება.

თანავარსკვლავედები, რომლებიც მდებარეობენ—50° დაბრლიობიდან სამხრეთით. აღნიშნულია ს ასოთი,

ლათინური სახელწოდება	აღნიშვნა	ქართული სახელწოდება	რუსული სახელწოდება
Andromeda	And	ანდრომედა	Андромеда
Antlia	Ant	ტუმბო	Насос
Apus ს	Aps	სამოთხის ჩიტ	Райская Птица
Aquarius	Aqr	მერწყული	Водолей
Aquila	Aql	აოწივი	Орёл
Ara ს	Ara	სამსხვერპლო	Журтвенник
Aries	Ari	ვერძი	Овен
Auriga	Aur	შეტეულ	Возничий
Bootes	Boo	მენახირე	Вознас
Caelum	Cae	საპროსი	Резец
Camelopardalis	Cam	ჟირაფი	Жираф
Cancer	Cnc	კირჩხიბი	Рак
Canes Venatici.	CVn	მწყერები	Гончие Собаки
Canis Major	CMa	დიდი კოფაკი	Большой Пёс
Canis Minor	CMi	პატარა კოფაკი	Малый Пёс
Capricornus	Cap	თხის რქა	Козерог
Carina ს	Car	გემის ბურბეშალი	Киль
Cassiopeja	Cas	კასიოპეა	Кассиопея
Centaurus ს	Cen	კენტავრი	Центавр
Cepheus	Cep	ცეფეუსი	Цефей
Cetus	Cet	ვეშაპი	Кит
Chamaeleon ს	Cha	ქამელეონი	Хамелеон
Circinus ს	Cir	ფარგალი	Циркуль
Columba	Col	მტრედი	Голубь
Coma Berenices	Com	ბერენიკეს თმები	Волосы Береники
Corona Austrina	CrA	სამხრეთ. გვირგვინი	Южная Корона
Corona Borealis	CrB	ჩრდილ. გვირგვინი	Северная "
Corvus	Crv	ყორანი	Ворон
Crater	Crt	ფილა	Чаша
Crux ს	Cru	ჯვარი (სამხრეთის)	Крест (Южный)
Cygnus	Cyg	გელი	Лебедь
Delphinus	Del	დელფინი	Дельфин
Dorado ს	Dor	ოქროს თევზი	Золотая Рыба
Draco	Dra	გველეშაპი	Дракон
Equuleus	Equ	პატარა ცხენი	Малый Конь
Eridanus	Eri	ერიდანოსი	Эридан
Fornax	For	ლუმელი	Печь
Gemini	Gem	მარჩბივი	Близнецы
Grus	Gru	წყრო	Журавль
Herkules	Her	ჰერკულესი	Геркулес
Horologium ს	Hor	სათი	Часы
Hydra	Hya	ჰიდრა	Гидра
Hydrus ს	Hyi	სამხრეთის ჰიდრა	Южная Гидра
Indus ს	Ind	ინდოელი	Индеец
Lacerta	Lac	ხელიკი	Ящерица
Leo	Leo	ლომი	Лев
Leo Minor	LMi	პატარა ლომი	Малый Лев
Lepus	Lep	კურდღელი	Заяц
Libra	Lib	სასწორი	Весы
Lupus	Lup	მგელი	Волк

ლათინური სახელწოდება	აღნიშვნა	ქართული სახელწოდება	რუსული სახელწოდება
Lynx	Lyn	ფოცხვერი	Рысь
Lyra	Lyr	ლირა	Ли́ра
Mensa ს	Mon	სუფრის მთა	Столовая Го́ра
Microscopium	Mic	მიკროსკოპი	Микроскоп
Monoceros	Mon	მარტორქა	Единорог
Musca ს	Mus	ბუზი	Му́ха
Norma ს	Nor	გონიო	Наугольник
Octans ს	Oct	ოქტანტი	Окта́нт
Ophiuchus	Oph	ფელისმკვერი	Змееносец
Orion	Ori	ორიონი	Орион
Pavo ს	Pav	ფარშევანგი	Павлин
Pegasus	Peg	პეგასი	Пегас
Persens	Per	პერსეუსი	Персей
Phoenix	Phx	ფენიქსი	Фени́кс
Pictor ს	Pic	მატყვარი	Живописец
Pisces	Psc	თევზები	Рыбы
Piscis Austrinus	PsA	სამხრეთის თევზი	Южная Рыба
Puppis	Pup	კიჩო	Корма
Pyxis	Pyx	კომპასი	Компас
Reticulum ს	Ret	ბადურა	Сетья
Sagitta	Sge	ისარი	Стрела
Sagittarius	Sgr	მშვილდოსანი	Стрелец
Scorpius	Sco	ლოიანკალი	Скорпион
Sculptor ს	Scl	მოქანდაკე	Скульптор
Scutum	Set	ფარი	Щит
Serpens	Ser	გველი	Змея
Sextans	Sex	სექსტანტი	Секстан
Taurus	Tau	კურო	Телец
Telescopium ს	Tel	ტელესკოპი	Телескоп
Triangulum	Tri	სამკუთხედი	Треугольник
Triangulum Australe ს	TrA	სამხრეთის სამკუთხედი	Южный Треуголь- ник
Tucana ს	Tuc	ტუკანი	Тука́н
Ursa Major	UMa	დიდი დათვი	Большая Медведица
Ursa Minor	UMi	პატარა დათვი	Малая Медведица
Vela	Vel	იალქნები	Паруса
Virgo	Vir	ქალწული	Дева
Volans ს	Vol	მფრინავი თევზი	Летучая Рыба
Vulpecula	Vul	მელა	Лисица

ლიტერატურა

ზოგადი ასტრონომიის კურსები

1. Блажко С. Н., Курс общей астрономии, Гостехиздат, 1947.
2. Попов П. И., Баев К. А., Воронцов-Вельяминов Б. А., Кунигский Р. В., Астрономия. Учебник для высших педагогических учебных заведений, изд. 3-е, Учпедгиз, 1953.

II თავისათვის

მზის მოძრაობა, დროის გაზომვა

1. Кузьмин Б. С., Основы астрономического метода измерения времени: Гостехиздат, 1954.

III თავისათვის

ზოგიერთი ცნობა ხერხული ტრიგონომეტრიიდან

1. Блажко С. Н., Курс сферической астрономии, изд. 2-е, Гостехиздат, 1953.
2. Степанов Н. Н., Сферическая тригонометрия, изд. 2-е, Гостехиздат, 1948.

IV თავისათვის

ასტრონომიული ინსტრუმენტები

1. Димитров Г. и Бэкер Д., Телескопы, Гостехиздат, 1947.
2. Максutow Д. Д., Астрономическая оптика, Гостехиздат, 1946.
3. Максutow Д. Д., Изготовление и исследование астрономической оптики, Гостехиздат, 1948.
4. Навашин М. С., Телескоп астронома-любителя, Гостехиздат, 1949.
5. Навашин М. С., Самодельный телескоп-рефлектор, Гостехиздат, 1953.

V თავისათვის

პრაქტიკული ასტრონომიის ძირითადი ამოცანები

1. Блажко С. Н., Курс практической астрономии, изд. 3-е, Гостехиздат, 1951.
2. Кунигский Р. В., Курс авиационной астрономии, Воениздат, 1949.

3. Михайлов А. А., Курс гравиметрии и теории фигуры Земли, изд. 2-е, ГУГК, 1939.
4. Попов П. И., Общеизвестная практическая астрономия, изд. 3-е, Гостехиздат, 1953.
5. Хлюстин Б. П., Мореходная астрономия, изд. «Морской транспорт», 1948.

VI თავისთვის

მთვარის მოძრაობა. დაბნელებები

1. Михайлов А. А., Теория затмений, изд. 2-е, Гостехиздат, 1954.
2. Солнечные затмения и их наблюдения (сборник). Гостехиздат, 1954.

VII თავისთვის

ცთომილები მოძრაობა

VIII თავისთვის

მსოფლიო მიწოდულობის კანონი

1. Дарвин Дж., Приливы и родственные им явления в солнечной системе, ГИЗ, 1923.
2. Дубошин Г. Н., Введение в небесную механику, ОНТИ, 1933.
3. Дубяго А. Д., Определение орбит, Гостехиздат, 1949.
4. Паули В., Теория относительности, Гостехиздат, 1947.
5. Субботин М. Ф., Курс небесной механики; т. I, изд. 2-е, Гостехиздат, 1941; т. II, ОНТИ, 1937; т. III, Гостехиздат, 1949.

IX თავისთვის

ასტროფიზიკურ გამოკვლევება ძირითადი შეთოდები

1. Воронцов-Вельяминов Б. А., Курс практической астрофизики, Гостехиздат, 1940.
2. Курс астрофизики и звездной астрономии, т. I. Отв. редактор А. А. Михайлов, Гостехиздат, 1951.
3. Шкловский И. С., Радиоастрономия, изд. 2-е, Гостехиздат, 1955.

X თავისთვის

მზე

1. Калитин Н. Н., Лучи Солнца, Изд. АН СССР, 1947.
2. Масевич А. Г., Источник энергии Солнца и звезд, Изд-во АН СССР, 1949.
3. Шаронов В. В., Солнце и его наблюдение, изд. 2-е, Гостехиздат, 1953.
4. Шкловский И. С., Солнечная корона, Гостехиздат, 1951.

XI თავისთვის

მთვარე

1. Уинпл Ф., Земля, Луна и планеты, Гостехиздат, 1947.
2. Хабаров А. В., Об основных вопросах истории развития поверхности Луны, Географиз, 1949.

XII თავისათვის

სტომილები და თანამგზავრები

1. Сытинская Н. Н., Есть ли жизнь на других мирах? Изд-во АН СССР, 1949.
2. Тихов Г. А., Астробиология, Изд-во «Молодая гвардия», 1953.
3. Уинпл Ф., Земля, Луна и планеты, Гостехиздат, 1947.
4. Шаронов В. В., Марс, Изд-во АН СССР, 1947.

XIII თავისათვის

კომეტები, მეტეორები და მეტეორიტები

1. Ватсон Ф., Между планетами, Гостехиздат, 1947.
2. Зигель Ф. Ю., Кометы, Гостехиздат, 1953, сер. «Популярные лекции по астрономии».
3. Крипов Е. Л., Основы метеоритики, Гостехиздат, 1955.
4. Орлов С. В., Природа комет, Гостехиздат, 1944.
5. Фесенков В. Г., Метеорная материя в междупланетном пространстве, Изд-во АН СССР, 1947.

XIV თავისათვის

ვარსკვლავები და ნისლეულები

1. Агекян Т. А., Звездная вселенная, Гостехиздат, 1955.
2. Воронцов-Вельяминов Б. А., Газовые туманности и новые звезды, Изд-во АН СССР, 1948.
3. Гольдберг Л. и Аллер Л., Атомы, Гостехиздат, 1947.

XV თავისათვის

გალაქტიკის აგებულება. სხვა გალაქტიკები

1. Бок Б., Бок П., Млечный Путь, Гостехиздат, 1947.
2. Кукаркин Б. В., Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд, Гостехиздат, 1948.
3. Паренаго П. П., Курс звездной астрономии, изд. 3-е, Гостехиздат, 1954.
4. Шепли Х., Галактики, Гостехиздат, 1947.

XVI თავისათვის

ცის სხეულების წარმოშობა და განვითარება

1. Левин Б. Ю., Происхождение Земли и планет, Гостехиздат, 1954, сер. «Популярные лекции по астрономии».
2. Фесенков В. Г., Космогония солнечной системы, Изд-во АН СССР, 1944.
3. Фесенков В. Г., Происхождение небесных тел по современным данным, Изд-во АН СССР, 1953.
4. Шмидт О. Ю., Четыре лекции о происхождении Земли, Изд-во АН СССР, 1950.

1. Берри А. Краткая история астрономии. изд. 2-е, под ред. Кунцикого Р. В., Гостехиздат, 1946.
2. Галилео Галилей, Диалог о двух главнейших системах мировой и коперниковой, Гостехиздат. 1948.
3. Джордано Бруно, О причине, начале и едином, Союзгиз, 1934.
4. Джордано Бруно, О бесконечности, вселенной и мирах, Союзгиз, 1936.
5. Кары-Ниязов Т. Н., Астрономическая школа Улугбека, Изд-во АН СССР, 1950.
6. Куликовский П. Г., Ломоносов — астроном и астрофизик, Гостехиздат, 1950.
7. Кунцикий Р. В., Развитие взглядов на строение солнечной системы. изд. 5-е, Гостехиздат, 1952.
8. Николай Коперник (1473—1543). Сборник статей 400-летию со дня смерти, Изд-во АН СССР, 1947
9. Перель Ю. Г., Выдающиеся русские астрономы, Гостехиздат, 1951.
10. Райков Б. Е., Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России, изд. 2-е, АН СССР, 1947.
11. Труды Института истории естествознания АН СССР, том II, 1948. Статьи Фесенкова В. Г. и Воронцова-Вельяминова Б. А. по истории астрономии в России и в СССР.

ასტროლოგია და კვირვებებისათვის

1. Бронштэн В. А. и Орлов С. В., Инструкции для наблюдений планет и комет, Изд-во АН СССР, 1948.
2. Богуславская Н. Я. и Базилевич В. В., Инструкция для наблюдений Солнца, Изд-во АН СССР, 1948.
3. Богуславская Н. Я., Бронштэн В. А. и Левин Б. Ю., Инструкции для наблюдений солнечных и лунных затмений, Изд-во АН СССР, 1952.
4. Дагаев М. М. и Федынский В. В., Инструкция для наблюдений метеоров, Изд-во АН СССР, 1949.
5. Исаев С. И., Богуславская Н. Я. Бронштэн В. А., Инструкция для наблюдений полярных сияний и серебристых облаков, Изд-во АН СССР, 1948.
6. Зигель Ф. Ю., Под редакцией Б. В. Кукаркина, Инструкция для наблюдений переменных звезд, Изд-во АН СССР, 1948.
7. Путилин И. И., Инструкция для наблюдений малых планет, Изд-во АН СССР, 1950.

დამხმარე ლიტერატურა და რუკები

1. Астрономический календарь (ежегодник). Издается Гостехиздатом в Москве.
2. Воронцов-Вельяминов Б. А., Сборник задач и упражнений по астрономии. изд. 3-е, Гостехиздат, 1953.
3. Куликовский П. Г., Справочник астронома-любителя, изд. 2-е, Гостехиздат, 1953.
4. Михайлов А. А., Звездный атлас, изд. 2-е, Моск. О-во Любителей Астрономии, 1920.

5. Михайлов А. А., Атлас северного звездного неба, ГИЗ, 1920.
 6. Михайлов А. А., Звездный атлас, Гостехиздат, 1952.
 7. Набоков М. Е., Астрономические наблюдения с биноклем, изд. 3-е, Гостехиздат, 1948.
 8. Попов П. И. и Богуславская Н. Я., Практикум по астрономии в педагогических институтах, Учпедгиз, 1947.
 9. Русский астрономический календарь (постоянная часть), изд. 4-е, Нижний Новгород, 1930.
-

1

2

პ ი რ თ ა ს ა ძ ი ე ზ ე ლ ი

- ბღაშსი 14, 182, 270
 იშბარცუმიანი ე. 346, 351, 354, 355, 388, 390
 არგელანდერი 307, 326
 არისტარქე 11, 147, 246
 არისტოტელე 11, 13, 155, 167
 ასტაოვიჩი ი. 301
- ზაკუნდი ო. 286
 ზელიაკვი ს. 262
 ბელოპოლსკი ა. 15, 17, 201, 211, 262, 269, 331
 ბესელი 14, 111, 122, 321
 ბეტე 237
 ბირუნი 12, 148
 ბლაჟკო ს. 17, 328, 331
 ბრადლეი 14, 122, 123, 124
 ბრაჟე ტიზო 156, 246, 274
 ბრედისინი თ. 15, 17, 262, 266, 283, 384
 ბრუნო ჟორდანო 154, 155
 ბუნზენი 15
- ზალე 182, 270
 გალილეი 14, 155, 166, 167, 266
 განსკი ა. 17, 225
 გნევიშევი მ. 218
 გორდელაჟე შ. 346, 354
 გურევიჩი 334
- დარეინი ჟორჯი 383, 385, 390
 დომპლერი 15
- მინდგტონი 331
 ევლოჟს კნაღელი 11
 ეილერი 14, 176, 183
- ეიშმტეინი 172, 227, 367
 ენგელსი 10, 14, 153, 378
 ენკე 286
 ერატოსენე 11, 108
- ჰიშნეცკი 3, 7
 ვორონცოვ-ველიამინოვი ბ. 281, 315, 334, 346, 351, 353, 358
 ვსესხვიატსკი ს. 289
- იზოტოვი 111
- პალონიაცი ა. 373
 კანტი 15, 378, 379, 383
 კაბტეინი 340
 კარამზინი 16
 კეპლერი 14, 156, 159, 166, 167, 172, 176
 კირსპოფი 15, 200
 კიუსტნერი 256
 კლერო 14
 კოვალევსკაია ს. 269
 კოვალსკი მ. 15, 182, 322, 330
 კონტი 196
 კომენიცი ნიკოლოზი 13, 118, 122, 148—151, 152, 159, 167, 246
 კოსტინსკი ს. 17, 261
 კრასოვსკი ე. 373
 კრასოვსკი ფ. 110, 111
 კრატი ვ. 218
 კრინოვი ე. 260
 კუკარკინი-ბ. 311, 326, 330, 353, 355, 373, 390
 კულიკო ლ. 298
 კუნციკი რ. 339

წავრანეი 14, 181, 289
ლაპლასი 14, 15, 176, 181, 269, 287, 380
ლებედევი პ. 285
ლებედინსკი ა. 334
ლევერიე 14, 182, 270, 287
ლევინი ბ. 295
ლეკსელი ა. 17, 182, 287
ლეინი ე. 261
ლიაპუნოვი ა. 383, 384, 390
ლილიო 57
ლიპსი ა. 243
ლოველი 260, 271
ლოკიერი 15, 220
ლომონოსოვი მ. 17, 76, 255, 286

შაგელანი 54

შაიკელსონი 316
შაკურთოვი დ. 15, 79, 226
შანდელშტამი ლ. 249
შარქსი კ. 10
შილნი 367
შიხაილოვი ა. 137, 227
შიროზოვი ნ. 262

ნაბოკოვი მ. 351

ნატანსონი 316
ნეუმიინი გ. 274
ნიკონოვი ე. 373
ნიუტონი ი. 14, 166—170, 172, 176, 182,
274, 276, 378.

წგოროდნიკოვი ე. 339, 347, 373

ოორტი 370—373
ორლოვი ს. 284, 289

ბაელოვი ნ. 86, 206

ბაბაღესი ნ. 249
ბარენაგო პ. 271, 315, 326, 335, 339, 347,
351, 353, 372, 373
ბარისკი ნ. 387
ბერეგოშნიკოვი 17
ბეტერსი ნ. 17
ბეტრე I 16
ბიაცი 261
ბლატონი 145
ბონომაროვი ნ. 226
ბოზოვი ა. 107
ბტოლდემე 12, 13, 145, 147, 153, 307
ბუნიკარე ა. 383

ძდანოვი ა. 367

რადლოვა ლ. 260
რესელი 314, 387
რუბაშოვი ბ. 238
რუმოვსკი ს. 17

სკიაპარელი 260, 291

სობოლევი ე. 269
სოზიგენი 56
სტანიუკოვიჩი კ. 296
სტოლეტოვი ა. 206
სტრუევი ე. 14, 15, 17, 101, 110, 122, 319,
346

ტიხოვი გ. 2, 259, 260

შლუგბეკი 12, 100, 307
უმოვი ნ. 331

შედინსკი ე. 296

ფესენკოვი ე. 243, 260, 298, 301, 339, 369,
388, 389

ფლორია ნ. 347
ფრაუნჰოფერი 200

შაინი გ. 328

შეპლი 331
შმილტი ო. 15, 388
შტერნბერგი პ. 113, 262, 256

ჩეჩიკი პ. 295

ტეზარი იულიუს 56

ტერასკი ე. 98, 209, 229, 304, 325
ტერასკაიო ლ. 325
ტინგერი ნ. 104

ჭინსი 387

ჭონსი სპენსერი 120

მაღვი 11, 14, 16, 276, 286

პერშელი ე. 14, 270, 319, 339, 379
პიპარკე 11, 12, 13, 184, 307

პიუგენსი 167, 268

პუცი 167

ს ა ბ ა ნ თ ა ს ა კ ი ე ზ ე ლ ი

- აბერაცია სინათლისა 123—127, 306
 კრომატული 71
 აბსოლუტურად შავი სხეული 228
 აბსოლუტური ბრწყინვალება 304, 305
 აბსოლუტური განსაზღვრა კოორდინატებისა 97
 აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე 304, 305
 „
 „ ს_a 305
 აღონისი 263
 აზიმუტი 30
 ალბერტი 263
 ალგოლი 306, 326
 „ მისი ტიპის ვარსკვლავები 326
 ამბარკუმინის ჰიპოთეზა 390
 ამოცანა ორი სხეულისა 172, 173, 176
 „ სამი სხეულისა 176
 ანდრომედიდები 295
 ანომალია ექსცენტრული 162
 „ საშუალო 161
 „ კეშმარიტი 163
 ანტარესი 316, 397, 409
 აპექსი 125, 291
 აპოიდი 384
 აპოგეუმი 41, 134
 აპოლონი 263
 აპოქრომატები 71
 არქტური 304—306, 337, 338, 397, 399
 ასაკი დედამიწისა 392, 393
 „ მზისა 392, 393
 ასტეროიდები 251, 261—265
 ასტროგნოზია 395, 396
 ასტროგრაფი 98
 ასტროლოგია 148
 ასტრომეტრია 7, 104—127
 ასტრონომია 5
 ვარსკვლავთ 8, 17, 308
 თეორიული 7
 პრაქტიკული 7, 87
 საავიაციო 7
 საველე 7
 საზღვაო 7
 „ სფერული 7
 ასტრონომიის განსაზღვრა 5
 „ ისტორიული განვითარება 10—18
 „ მნიშვნელობა 8—9
 ასტრონომიული დაკვირვებანი 69
 ერთეული 118
 იარაღები 69—103
 პუნქტები 112
 სამკუთხედი 63
 „ ყოველწლიური 308
 ასტროფიზიკა 8, 17
 ასტროფოტოგრაფია 97—100
 ასტროფოტოგრაფიული იარაღები 98—100
 ასტროფოტომეტრია 205
 ატმოსფერო დედამიწისა 20
 დიდი ციომილებისა 265
 ვენერას 255
 იუპიტერისა 266
 მარსისა 258—259
 მზისა 211, 219
 მთვარისა 242—244
 ატომბირთვული რეაქციები 235—237, 389, 393
 აფელიუმი 41
 აფსიდების ზაზი 134
 აქილეესი 263
 აქრომატული ობიექტივი 71, 76

აქსიომები მოძრაობისა 167, 168
 ახალი სტილი 56—57
 ახალმოთარეობა 129—130, 132

 ბაზისი გეოდეზიური 109
 „ ასტრომეტრიული 113, 117
 ბეტელჰეიზე 316, 326, 397, 409
 ბირთვი კომეტისა 278
 მზის ლაქისა 212, 214
 ბოლიდები 296
 ბონის ნუსხა 308
 ბრუნვა გალაქტიკისა 370—373
 „ ცის სფეროსი 22—23
 პრეციზიონალობა 205

 ბაზუხელის დედამთაობის წერტილი 31,
 32, 36
 ბაზუხელის ცა 597
 „ დედამთაობა 36
 გაზოვანი კუდი დედამიწისა 300—301
 გალაქტიკა 6, 7, 348, 349, 368, 369, 373,
 374, 376
 გალაქტიკის ბირთვი 373, 374
 გალაქტიკური სიბრტყე 347
 გამოსახულების სიკაშკაშე 73
 განედი ასტრონომიული 39
 გალაქტიკური 348—349
 „ გეოგრაფიული 33
 განედის წრე 39
 განტოლება დროისა 46—48
 კუბურისა 164
 სინოდური მოძრაობისა 130, 151
 ცენტრისა 47
 გარემოცევა ვარსკვლავიერი 151, 152
 „ სინოდური 151, 152
 გარე ცთომილები 150, 151
 გაუსის მუდმივი 173
 გაფართოების პროცესში მყოფი სამყარო
 356
 გეოდეზია 9
 გეოდეზიური აგებებები 111—113
 გეოიდი 111
 გილაღო 264
 გლობულები 358
 გრადუსი დედამიწის მერიდიანისა 108, 110
 გრადუსული გაზომვები 108
 გრაფიკული 112—113
 გრაფიტაციული გადაადგილება 202—203
 გრანულაციამ 211

გრძელი ასტრონომიული 39
 აღმავალი კენძისა 160
 გალაქტიკური 343—349
 განსაზღვრა 106—107
 გეოგრაფიული 50
 ეპოქაში 161

 ღანებლება მზისა 135—138, 224—227
 „ მთვარისა 138—141
 დაფარვები მნათობებისა მთვარით 134—135
 დახრა ეკლიპტიკისა 36, 41—42
 „ ორბიტისა 160
 დახრილობა 30, 82
 დახრილობის ღერძი 95
 „ წრე 30, 31
 დედამიწა 152, 158, 251—252, 406
 ასაკი 393—394
 ბრუნვა 25—26
 ზომა 110—111
 მასა 406
 სიკვერივე 406
 სფეროსებრიობა 107—111
 შექმნილობა 110
 დედამიწის ელიფსოიდი 110—111
 დეიმოსი, მარსის თანამგზავრი 407
 დენები 397
 დეფიენტი 146
 დოპლერ-ბელოპოლსკის პრინციპი 202, 211,
 269, 271, 323, 338
 დრაკონიდები 291—295
 დრო ადგილობრივი 50
 ამოცანები 62—63
 დეკრეტული 53
 ეარსკვლავთმეორი 43, 48, 49
 ზოლური 50—53
 მსოფლიო 51
 სამოქალაქო 46
 საშუალო მზისმეორი 46, 48
 კეპლერიტი მზისმეორი 45
 დღე-ღამე ვარსკვლავთმეორი 42—43
 მზისმეორი 44, 45, 48
 დედამთაობის კოლური 31
 „ წინსწრება 185
 დედამური წრე 23

 ეპოლუცია მოქცეითი 383—386
 ნისლეულებისა 379—380, 394
 ცის სხეულებისა 378—394
 ეკვატორიალი 95
 ეკლიპტიკა 35—36, 40—42
 ენერჯია მზისა და ვარსკვლავებისა 230
 ეპიციკლები 146, 153

ერა „ქრისტეს დაბადებიდან“ 59
 ეროტი 120
 ეფემერიდები 7, 161
 ექსცენტრისტები 87, 163 .
 ექსცენტრული ანომალია 162

მარდნილი ვარსკვლავები 289—291
 ვარსკვლავები 302—336
 ამომსვლელი 27—28
 ამოსვლელი 27—28
 ახალი 332—335
 ახლის მსვავსი 334—335
 გიგანტი და ჭუჭუბი 313—316, 317
 ელფ-რაიესი 311
 ორმაგი 318—325, 386
 სპექტრულად ორმაგი 318 --325
 ფუნდამენტალური 84
 ქუჩუქა 313
 ჩამსვლელი 27—28
 ჩუსვლელი 27—28
 ცვალებადი 325—329
 ხილული და საშუალო ადგი-
 ლები 306

ვარსკვლავების ასაკი 392—394
 აღნიშვნები 305—306
 ბრწყინვალება 303—304
 დიამეტრები 316—317
 ევოლუცია 393—394
 მანძილები 122—123
 მოძრაობანი 307
 რიცხვი 308—309
 სიჩქარე 338—339
 სპექტრები 311
 ტემპერატურები 313
 ფერი 309—310
 ხილული ბრწყინვალება 302—
 304

ვარსკვლავთ აბსოლუტური სიდიდეები 304—
 305
 ასოციაციები 354—355
 გაბნეული გროვები 349—351
 გროვები 349—354
 კატალოგები 307—308
 ნაკადები 340—341
 ნაკადების ვერტექსები 341
 პარალაქსები და მანძილები
 121—123, 322
 რუკები 308
 საკუთარი მოძრაობანი 337—
 338
 სპექტრული კლასები 311—312

ვარსკვლავთ სფერული გროვები 351—353
 წიშები 292
 ციმციმი 310
 სპექტრების კლასიფიკაცია 311
 —312

„ ხილული ადგილები 306
 „ ხილული სიდიდეები 303—304
 ვარსკვლავთმეორი დრო 32, 43—44
 „ დღე-ღამე 42—43
 „ თვე 129—130
 „ წელიწადი 130
 ვეგა 304, 306, 338, 397, 403, 409
 ვენერა 6, 143, 152, 158, 251—252, 254,
 255, 402, 406
 ვენერას გალა მზის დისკოზე 255—256
 ვერტიკალი 29
 ვერტიკალური წრე 29
 ხაზი 24
 ვესტა 262
 ეილსონის მოვლენა 214
 ეინის გადანაცვლების კანონი 229
 ელადილენა 262

ზამთრის შებულობა 36
 „ ცა 397—399
 ზაფხულის ცა 397
 ზეგალაქტიკა 365
 ზედა ციომილები 144, 145, 150, 151, 257
 ზენიტი 24, 25
 ზენიტური მანძილი 30
 ზოდიაქო 39—40
 ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები 39—40
 ზოდიაქური სინათლე 300
 ზღვები მარსზე 260
 მთვარეზე 245

თანავარსკვლავედები 305, 337
 თანამგზავრები იუპიტერისა 179, 266—267
 მარსისა 260—261
 სატურნისა 269—270
 ურანისა და ნეპტუნისა 271
 „ ციომილებსა 6
 თარიღის ცელის ხაზი 53—54
 თეთრი ჭუჭა ვარსკვლავები 317
 თეოდოლიტი 93—94
 „თვალისა და ყურის“ მეთოდი 85
 თვე ანომალისტური 241
 ღრაკონული 140, 242
 ვარსკვლავთმეორი 129—130, 140
 სიდერული 129
 სინოდური 129—130

მარადები ასტრონომიული 69—103
" საზომი 82—103
იაფეთი 270, 408
იონიზაცია 203
ირმის ნახტომი 347—348, 353
იუპიტერი 265—267
" თანამგზავრები 266—267
იუპიტერის წითელი ლაქა 266

ძალენდარი 54—59
" გრიგორიუსისა 56—57
ებრაული 55
ეგვიპტური 55—56
იულიუსისა 56
მაკედონიური 55
მზისა 55—56
მთვარე-მზისა 55
" მთვარისა 55
კანოპუსი 338, 409
კანტის ჰიპოთეზა 378—379
კაპელა 306, 324, 338, 395, 399, 409
კაპის ფოტოგრაფიული წუსხა 308
კაპტეინის ნაკადები 340—341
" ფიგურები 341
კასინის კანონი 240
კასტორი 397, 403
კებლერის კანონები 134, 156—161, 165,
167, 168, 183, 241, 253, 322, 383
კვლები მთვარეზე 247
კვანძები ორბიტის 322
კირხჰოფის კანონი 200—201
კლასიფიკაცია ვარსკვლავთ სპექტრებისა
311, 312

კოლიმატორი 198
კოლიმაცია 87
კომა 278

კომეტა ბიელასი 287
" ლეკსელისა 287
მორაჰუზისა 280
ნეუმიინისა 274
შვასმან-ვახმანისა 278
ჩიაკობინი-ცინერისა 295
" ჰალეისა 276, 281, 286

კომეტა ენკე-ბაკლუნდისა 286
" 1811 წ. 280
1862 III 294
1866 I, 294
1882 II 286
" 1914 V 275
კომეტები 6, 7, 274—298

კომეტების ბუნება 282—283
დაშლა 282, 294—295
დაჯახებანი 288
მოძრაობა 275
პერიოდული 276
სახე 278
სიდიდე და მასა 280—281
" სპექტრი 281
" წარმოშობა 288—289
კომეტის თავი 287
" კული 278, 283—285
კონტრაქციული თეორია მზის ენერჯისა
234
კოორდინატები ასტრონომიული 29
" გალაქტიკური 348
გეოგრაფიული 8
გეოცენტრული 184
ეკვატორული 30—31
ეკლიპტიკური 38—39
ჰელიოცენტრული 164
" პარიზონტული 29—30
კოორდინატების გარდაქმნა 66—67
კორონიუმი 225
კოსმოგონია 8
კოსმოგონიური ჰიპოთეზები 380—394
კოსმოლოგია 378
კოსმოსური კალციუმი 345
" მტვერი 346—347
კრატერები მთვარისა 245
კრიტიკული სიჩქარე 244
კუთხური მანძილი 28—29
კულმინაცია 25, 32

ლაპლასის ჰიპოთეზა 380—383
ლაქები მზეზე 212—214
ლონიდები 291—293

მაგლანის ღრუბლები 363
მაგნიტიზმი მზის ლაქებისა 214—216
მაგნიტური ქარიშხლები 218
მარსი 118—119, 152, 156, 158, 251—261,
402, 406
" თანამგზავრები 260—261
მერიდიანის რკალი, გავოგვა 110
მერიდიანული წრე 84—86
მერკური 152, 158, 193, 251—254, 402, 406
" მზის დისკოზე გავლა 255—256
პერიპელიუმის მოძრაობა 193
მეტაგალაქტიკა 365—368
მეტეორები 5, 6, 289—296
მეტეორიტები 248, 294, 296—299

პეტეორული გროვა 291—295
 „ ნაკადები 295
 „ სხეულები 6, 282, 283, 289,
 294, 296
 მზე 208—238, 372, 374, 401
 მზებუღობა 36
 მზებუღობის წერტილები 36
 მზის ამოსვლა და ჩასვლა 93
 ასაკი 392
 ატმოსფერო 218—219
 ბრუნვა 210—211
 განზიდულობის ძალა 283—285
 გრანულაცია 211
 დაბნელება 134—141
 დაკვირვება 401
 ეკვატორული აჩქარება 210—211
 ენერჯია 230—231
 ენერჯიის წყაროები 234—238
 თეორია 232—238
 კორონა 137, 224—227
 ლაქები 212—214
 ლაქების მაგნიტიზმი 214—216
 ლაქების პერიოდულობა 216—217, 140
 —141
 მანძილი 208
 მასა 208
 მუდმივი 227—228
 რგოლისებური დაბნელება 137
 პარალაქსი 118—121
 სიდიდე 208
 სიკაშკაშე 209—210
 სიმკვრივე 209—210
 სისტემა 6
 სისტემის მდგრადობა 181
 სპექტრი 218—220
 ტემპერატურა 228—229
 ულტრაიისფერი რადიაცია 218
 ფოტოსფერო 211—212
 „ წლავრი მოძრაობა 35—40
 მზისმიერი დრო საშუალო 46
 „ „ კემპარტი 45—46
 მთვარე 189, 190, 239—251, 400, 402
 მთვარის ატმოსფერო 242—244
 ბრუნვა 239—240
 ბრწყინვალება 245
 დაბნელება 138—141
 დაკვირვება 402
 დიამეტრი 239
 ზედაპირის აგებულება 245—248
 ზომები 239
 კვანძების მოძრაობა 131

მთვარის კრატერების წარმოშობის ჰეტეორი-
 ტული ჰიპოთეზა 248
 ლიბრაცია 241—242
 მანძილები 114
 მასა 183, 239
 მთები 247
 მოძრაობა 129—141, 400
 „ ორბიტი 133—134
 პარალაქსი 113—114
 სიბო 245
 სიმკვრივე 239
 ფაზები 131—133
 „ შემოთება 178—180
 „ ცვლილებები 248
 „ წარმოშობა 383—384
 მიზიდულობა 166, 170—173
 მიკრომეტრი 85
 „ უპიროვნო 86
 „ ძაფიანი 96—97
 მიკროფოტომეტრი 206
 მილის გამადიდებლობა 70
 მიცარი 325
 მნათობის ამოსვლა, გამოთვლა 67, 68, 93
 „ სიმაღლე 30
 „ ჩასვლა, გამოთვლა 67, 68, 93
 მოქცევა და უკუქცევა 189—192, 248—249
 მოქცევითი ევოლუცია 383—386
 ტალღა 191
 ხახუნი 241, 383
 მოქცევის ძალა 191
 მოძრაი გროვეები (ვარსკვლავებისა) 341—
 343
 მოძრაობა დედამიწის ღერძისა (პოლუსები-
 სა) 184, 185, 256—257
 „ მზის სისტემისა 339
 „ ცთომილებისა 143—165
 მსოფლიო მიზიდულობა 166—193
 „ მიზიდულობის კანონი 170—172
 მუდმივი აბერაციისა 126
 „ მიზიდულობისა 170
 „ რეფრაქციისა 92
 მცირე ცთომილები 120, 252, 253, 261—265
 ნადირი 24
 ნაკადები ვარსკვლავებისა 340—341, 344
 „ მეტეორებისა 291—294
 ნაკიანი წელიწადი 56
 ნამატი საათი 192, 240
 „ნაერწყლული“ ხაზები სპექტრებში 315
 ნებტუნი 152, 158, 181—182, 251—253,
 270—271, 406
 თანამგზავრები 271

- ნიველირება 112
 ნისლეულები 7, 356—364
 გალაქტიკური 356
 ვარვგალაქტიკური 360—364
 პლანეტური 312
 სპირალური 360—363
 ნიუტონის კანონი მოძრაობისა 167—168
 ნუტაცია 188, 189

 ობიექტივი 69, 70
 " აკრომატიული 71
 ობსერვატორიები 100—103
 ოკულარი 70, 71
 ოარტის პიპოთეზა გალაქტიკის ბრუნვისა 370—373
 ორბიტის ელემენტები 161—162
 ორიენტირება ცის მიხედვით 10
 ორიონის ტრაპეცია 321

 პალადა 261
 პარაბოლური კომეტები 275, 276
 სიჩქარე 174, 244, 294
 პარალაქსი დღელამური 117
 ვარსკვლავებისა 121—123, 315
 მზისა 118—121
 მოძრაე გროვათა 343, 349
 სპექტრული 315
 სფერული გროვებისა 351
 " წლიური 117
 პარალაქტური გადაადგილება 149
 დანადგარი 95
 " სამკუთხედი 66
 პარალელი დღელამური 23
 პარსეკი 123
 პერიასტრი 322
 პერიგეუმი 41, 134
 პერიოდული შემოთებები მთვარისა 179
 " ცთომილებისა 180
 პერიპელიუმი 41
 პერსეიდები 294
 პირდაპირი ადვლენა 31, 84, 86
 პირველი ვერტიკალი 29
 პირისპირდგომა ცთომილებისა 120, 145, 257
 258
 პირისპირნათება 300—301
 პირველული შეცდომები 87
 პლეადები (ხომლი) 349, 356, 403
 პლუტონი 152, 158, 251—253, 271—272, 382, 406
 პოლარული ვარსკვლავი 23, 184, 395, 398
 " ლაქები მარსზე 259—260
- პოლარული ნათება 218
 სფერული სამკუთხედი 65
 " ლერძი ევკატორილისა 95
 პოლუსის სიმაღლე 26
 პოლუქსი 397, 409
 პრეცესია 184—188, 306
 " მთვარე-მზისმიერი 187—188
 " საერთო წლიური 185
 " ცთომილთმიერი 187—188
 პრობლემა დედამიწა — მზე 238
 პროტუბერანცები 220—236
 პროციონი 338, 409, 410
 პტოლემეს სისტემა 145—147

 რადიანი 29
 რადიანტი 291, 293, 342
 რესელის დიაგრამა 318
 რესელის პიპოთეზა 387
 რეფლექტორები 75—76, 99
 რეფრაქტორები 69—75; 76
 რეფრაქცია 38, 89—93, 95
 რიგელი 338, 397, 410
 "რკალური" ხაზები სპექტრებში 315

 საათები 87—88
 საათიერი წრე 30
 საათის კუთხე 30
 მეკანონში 96
 " სკლა 89
 სამსახური დროისა 89
 " მზისა 238
 სამყარო 5, 7, 9, 23, 25, 337—377
 სამყაროს პოლუსი 23, 25
 ლერძი 23, 25
 საობიექტივო პრიზმა 204
 საპასაჟო ინსტრუმენტი 89
 სარკიანი ტელესკოპები 75—76
 საროსი 141
 სატურნი 152, 158, 180, 251, 253, 267—
 269, 402, 406
 თანამგზავრები 269—270
 რგოლი 268—269
 საუკუნეებში აჩქარება მთვარისა 193
 შემოთებები მთვარისა 179
 " ცთომილები-
 სა 180
 საქანი 87
 საშუალოდო ზაზი 25
 საშუალო მზე 46
 " მზისმიერი დრო 46
 სექსტანტი 105.

სიღვრიტები 297
 სიზიგიები 192
 სინათლის კოსმოსური შთანთქმა 346, 353—354
 სიჩქარე 122—123
 სხივის გამრუდება მიზიდულობის ველში 227
 წელი 123
 " წნევა 227, 233, 285
 სინდინამა 285
 სინქრონა 285
 სირიუსი 304—306, 320—321, 338, 409
 სპექტრი ანთებისა 218
 გამოსხივებისა 199
 ზოლოვანი 199
 უწყვეტი 198
 შთანთქმისა 200, 311, 360
 " ხაზოვანი 199
 სპექტრის ხაზების შებრუნება 218—219
 სპექტროგრაფი 204
 სპექტროსკოპი 204
 სპექტროპელიოგრაფი 223
 სპექტრული ანალიზი 196—205
 სრულმთავრობა 138
 სტეფანის კანონი 228
 სფეროიდი დედაქონისა 110—111
 სფერული სამკუთხედი 22, 63—66
 სწრაფი ვარსკვლავები 344—345
 სხივური სიჩქარეები 201—202, 343
 ტალკატის მეთოდი განედის განსაზღვრისა 105—106
 ტელესკოპები 69—82
 " მაკსუტოვისა 79—81
 ტიტანი 270, 402, 408
 ტიციუსის წესი 253, 261
 ტრინანგულაცია 109—110
 უახლოესი ვარსკვლავები 410
 უთანასწორობა 176
 უკუსელითი მოძრაობა ცთომილებისა 144, 145, 150
 უნივერსალური იარაღი 93—95
 ურანი 152, 158, 182, 251—253, 270—271, 406
 თანამგზავრები 275
 შაზები მთვარისა 5, 131—138
 " ცთომილებისა 252
 ფარდობითობის თეორია 227
 ფერი ვარსკვლავთა 309—311

ფერის მაჩვენებელი 310
 ფერფლისფერი სინათლე 133
 ფესენკოვის ჰიპოთეზა 389—390
 ფლოკულები 223
 ფობოსი 383, 407
 ფორთოქვითი მეთოდი რეგისტრაციისა 86
 ფორტმეტრია 205—206
 ფრულნაოფერის ხაზები 200, 223
 ფუნდამენტალური კატალოგები 307—308
 ჭვედა შეერთება 143, 150
 ჭვედა ცთომილები 143
 ქრომოსფერო მზისა 211, 220—222
 ქრომოსფეროს ბოქლოები 224
 ქრონოგრაფი 85—86
 ქრონომეტრი 88
 შეერთება ცთომილისა მზესთან 143
 შემამუთებელი ძალა 177—178
 მთვარის მოძრაობისა 178—179
 შემოდგომის დღეამტოლობის წერტილი 37
 შემოდგომის ეა 397
 შესწორება დაკვირვებათა 87
 საათისა 88—89, 266
 შეშფოთებები 176
 მთვარის მოძრაობისა 178—179
 პერიოდული 179—180
 საუქუნეებრივი 179—180
 " ცთომილთ მოძრაობისა 180
 შეჩერება ცთომილისა 145
 შიგა ცთომილები 151
 შიგა ცთომილების ელონგაცია 143
 შმიდტის ჰიპოთეზა 388—389
 ჩირალდნები 213
 შერევა 262
 ცეფიდები 329—331, 351, 362
 ცთომილებზე დაკვირვება 402
 ცთომილები 6, 251—272
 გავლა მზის დისკოზე 255—256
 ზედა შეერთება 143
 მანძილების გაზომვა 118
 კემმარტი მოძრაობა 148
 ხილული მოძრაობა 408

ცის ეკვატორი 25
თალი 20
თალის ფერი 20
„ მერიდიანი 25, 31
„ სფერო 20—33
ცის მექანიკა 7, 8, 176

ძალა მოქცევისა 191
„ მზეზე 209
„ „ მთვარეზე 239
სიმძიმისა 168—170, 203
ძველი სტილი 56

წელთაღრიცხვა 11
წელი გრიგორიუსისა 57
დრაკონული 140
ვარსკვლავთმეორი 186
იულიუსისა 56
მთვარისმეორი 55
ტროპიკული 37, 55, 186

„წითელი გადაადგილება“ 361, 367
367
წლის დროები 36—38, 152
„ „ მარსზე 257—258
წრიული სიჩქარე 175

წინისი პიპოთეზა 387

პარვარდის კლასიფიკაცია სპექტრე-
ბისა 311—312
პელიოცენტრული მსოფლმზებდველო-
ბა 154—156
„ სისტემა 148—149
პელის პიპოთეზა მზის ლაქების შე-
სახებ 215
პელიუმში ვარსკვლავებზე 311
„ მზეზე 220
პერმედი 263
პექტორი 263
პიადები 342, 349
პორიზონტი 24
პორიზონტული სიბრტყე 29—30

ბოლოსიტუაცია

პროფ. ი. ფ. პოლაკის „ზოგადი ასტრონომიის კურსი“ განკუთვნილია უნივერსიტეტებისა და პედაგოგიური ინსტიტუტების სახელმძღვანელოდ ზოგად ასტრონომიაში. რუსულ ენაზე ეს სახელმძღვანელო გამოცემა შედგურ (პირველად 1929 წელს და უკანასკნელად 1955 წელს).

ამ სახელმძღვანელოს შესამე გამოცემის თარგმანი გამოვიდა ქართულ ენაზე 1935 წელს პროფ. ე. ხარაძის რედაქციით. თარგმანი შესრულებული იყო შ. მოსიძის მიერ.

ამავე სახელმძღვანელოს მეექვსე გამოცემის თარგმანი ქართულ ენაზე გამოცემა 1955 წელს ნ. მალნარაძის რედაქციით. თარგმანში მონაწილეობა მიიღეს სტალინის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის კათედრისა და აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის თანამშრომლებმა; კერძოდ, I თავი თარგმნა ვ. ალანია; II, III, IV, V — გ. კვიციელია; VI, VII, XV — თ. კოკლაშვილმა; VIII — ნ. მალნარაძემ; IX, XVI და დამატება I — ნ. კალანაძემ; შესავალი, X, XI, XII, XIII — მ. კოლხიდაშვილმა და XIV — ნ. მალალაშვილმა.

წინამდებარე სახელმძღვანელო ძირითადად მეექვსე გამოცემის თარგმანს წარმოადგენს. მეშვიდე გამოცემიდან აქ შეტანილია მხოლოდ ის სიახლენი, რაც უკანასკნელ ხანში ასტრონომიაში მიღებული რადიოასტრონომიის განვითარების საფუძველზე.

ამის გარდა, მეშვიდე გამოცემის მიხედვით მეექვსე გამოცემის თარგმანში შევასწორეთ ის ადგილები, რაც ამჟამად მოძველებულად ითვლება. ამასთანავე აღნიშნული გამოცემის მიხედვით აქა-იქ მოგვიხდა ნახაზების შეცვლა. ამ ცვლილებებთან დაკავშირებით სათანადო ადგილების თარგმანი შესრულებულია მ. კოლხიდაშვილის მიერ.

ფიქრობთ, წინამდებარე სახელმძღვანელო გამოადგება ქართველ სტუდენტებს, მით უმეტეს, რომ ქართულ ენაზე ზოგად ასტრონომიაში სრული სახელმძღვანელო ამჟამად ჯერ კიდევ არ გვაქვს.

ქართული ასტრონომიული ტერმინოლოგია ჯერჯერობით საბოლოოდ დადგენილი არ არის; ამიტომ თარგმანში ზოგიერთი ცნებისათვის ვსარგებლობთ რამდენიმე შესატყვისი ქართული ტერმინით. ამის გამო ზოგიერთი ტერმინი შესაძლებელია სადავო იყოს.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შეექვე გამოცემის წინასიტყვაობა	3
პირველი გამოცემის წინასიტყვაობიდან	4
შე სა ე ა ლ ი	5

§ 1. ასტრონომიის საგანი (5). § 2. სამყაროს ზოგადი სურათი (5). § 3. ასტრონომიის დაყოფა (7). § 4. ასტრონომიის მნიშვნელობა (8). § 5. ასტრონომიის ისტორიის მოკლე მიმოხილვა (10). § 6. ასტრონომია რუსეთში (16). § 7. ასტრონომია საბჭოთა კავშირში (18).

თ ა ვ ი პ ი რ ე ე ლ ი. ცის სფერო და მისი ბრუნვა 20

§ 8. ცის თალი და ცის სფერო (20). § 9. ცის თალის ფერი (20). § 10. ცის სფეროს თვისებები (21). § 11. ცის სფეროს ბრუნვა (22). § 12. ცის სფეროს ძირითადი წერტილები და წრეები (24). § 13. ცის სფეროს ბრუნვა, როგორც დედამიწის ბრუნვის შედეგი (25). § 14. ცის დღელამური ბრუნვა სხვადასხვა განედზე (26). § 15. ჩაუსვლელი და აშოუსვლელი ვარსკვლავები (27). § 16. გაზომვები ცის სფეროზე (28). § 17. ასტრონომიული კოორდინატები (29). § 18. პოლიზონტული კოორდინატები (29). § 19. ეკვატორული კოორდინატების პირველი სისტემა (30). § 20. ეკვატორული კოორდინატების მეორე სისტემა (31). § 21. ვარსკვლავთმომიერი დრო და ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე (32). § 22. მნათობის სიმაღლე პერიდიანზე (32). საეარჩიშოები პირველი თავისათვის (33).

თ ა ვ ი მ ე ო რ ე. მზე და დრო 35

I. მზის ხილული მოძრაობა. § 23. მზის წლიური მოძრაობის დამამტყიეებელი ფაქტები (35). § 24. ეკლიპტიკა (35). § 25. მზის მოძრაობა ეკლიპტიკაზე. წლის დროები და კლიმატური სარტყლები (36). § 26. კოორდინატების ეკლიპტიკური სისტემა (38). § 27. ზოდიაქო (39). § 28. მზის მოძრაობის უთანაბრობა (40). § 29. მზის მოძრაობა, როგორც დედამიწის მოძრაობის ანარეკლი (40). § 30. ეკლიპტიკის დახრის განსაზღვრა დაკვირვებებიდან (41).

II. დროის გაზომვა. § 31. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე (42). § 32. ვარსკვლავთმომიერი დრო (43). § 33. კემშარიტი მზისმომიერი დღე-ღამე (44). § 34. კემშარიტი მზისმომიერი დრო (45). § 35. საშუალო მზისმომიერი დრო (46). § 36. დროის განტოლება (46). § 37. ზუსტი დამოკიდებულება ვარსკვლავთმომიერი და საშუალო მზისმომიერი დროის ერთეულებს შორის (48). § 38. ვარსკვლავთმომიერი დრო საშუალო შუადღეზე და საშუალო შუადღეზე (49). § 39. დროის სამოქალაქო და ასტრონომიული ანგარიში (49). § 40. ოდგილობრივი დრო და გრძედი (50). § 41. ზოლური დრო (50). § 42. დეკრეტული დრო (53). § 43. თარიღის ცვლის ხაზი (53).

III. კალენდარი (54). § 44. დროის ერთეულები (54). § 45. მთვარის და მზე-მთვარის კალენდრები (55). § 46. შუის კალენდრები (55). § 47. ოულიუსის კალენდარი (მეფის სტილი) (56). § 48. გრიგორიუსის კალენდარი (ახალი სტილი) (56). § 49. ორივე კალენდრის ღირსება-ნაკლოვანებანი (57). § 50. კალენდრის საციხის თანამედროვე მდგომარეობა (58). § 51. ერა „ქრისტეს დაბადებიდან“ (59). სავარჯიშოები II თავისათვის (59).

თ ა ვ ი მ ე ს ა მ ე . ამოცანები დროსა და კოორდინატებზე

62

I. ამოცანები ვარსკვლავთმეორე დროზე. § 52. ამოცანა 1. ვარსკვლავთმეორე დრო აღვილობრივ საშუალო შუალაშეზე (62). § 53. ამოცანა 2. საშუალო დროის გადაყვანა ვარსკვლავთმეორეში (62). § 54. ამოცანა 3. ვარსკვლავთმეორე დროის გადაყვანა საშუალოში (63). § 55. ამოცანა 4. ზედა კულმინაციის საშუალო დროის განსაზღვრა ვარსკვლავისა, რომლის პირდაპირი აღვლენა α მოცემულია (63). § 56. ამოცანა 5. საათის კუთხის განსაზღვრა საშუალო დროის მოცემული T_c მომენტისათვის ვარსკვლავისა, რომლის პირდაპირი აღვლენა α მოცემულია (63).

II. ძირითადი ცნობები სფერული ტრიგონომეტრიიდან. § 57. სფერული სამკუთხეული (63). § 58. ძირითადი ფორმულები ირიბკუთხა სფერული სამკუთხედის ამოსახსენებლად (64). § 59. სწორკუთხა სფერული სამკუთხედი (65).

III. ამოცანები სფერული ტრიგონომეტრიის გამოყენებაზე. § 60. ასტრონომიული სამკუთხედი (66). § 61. ამოცანა 6. (ა,ბ) კოორდინატთა სისტემის გარდაქმნა (A, Z)-ში (66). § 62. ამოცანა 7. მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა (67). § 63. ამოცანა 8. დროის განსაზღვრა მნათობის სიმაღლით (67) § 64. ამოცანა 9. გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა (68). სავარჯიშოები III თავისათვის (68).

თ ა ვ ი მ ე ო თ ხ ე . ასტრონომიული იარაღები და დაკვირვებები

69

I. ტელესკოპი (კოკები). § 65. ასტრონომიული დაკვირვებები (69). § 66. რეფრაქტორები (სამზებრი მილები) (69). § 67. ტელესკოპის გამაღიებლობა (70). § 68. სიძნელეები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ძლიერი გამაღიებლობის დროს (71). § 69. ოპტიკურ სისტემათა აბერაცია (71). § 70. სინათლის დიფრაქცია (72). § 71. გამოსახულების სიკაშკაშე (73). § 72. რეფრაქტორის გამაღიებლობის საზღვარი (75). § 73. რეფლექტორები (სარკიანი ტელესკოპები) (75). § 74. რეფრაქტორების და რეფლექტორების შედარებითი ღირსება (76). § 75. ჩვენი დროის უდიდესი ტელესკოპები (77). § 76. სარკე—ლინზური ტელესკოპები (77). § 77. რადიოტელესკოპები (81).

II. საზომი იარაღები და მნათობთა კოორდინატების განსაზღვრა (82). § 78. დაკვირვება მერიდიანზე (82). § 79. მერიდიანული წრე (84). § 80. დაკვირვება მერიდიანული წრის საშუალებით (85). § 81. დაკვირვებათა შესწორებანი (87). § 82. საათები (87). § 83. საათის შესწორება (88). § 84. საპასაჟო ინსტრუმენტი (89). § 85. რეფრაქცია (89). § 86. რეფრაქციის შედეგები (93). § 87. უნივერსალური იარაღი (თეოდოლიტი) (93). § 88. უნივერსალური იარაღის გამოყენება (94). § 89. ეკვატორიული (95). § 90. დაკვირვებები ეკვატორიული. ძაფიანი მიკრომეტრი (96). § 91. ცის ფოტოგრაფია (ასტროფოტოგრაფია) (97). § 92. ასტროფოტოგრაფიული იარაღები (98). § 93. ობსერვატორიები (100). სავარჯიშოები IV თავისათვის (103).

თ ა ვ ი მ ე ხ უ თ ე . ასტრომეტრიის ძირითადი ამოცანები

104

I. დროის განსაზღვრა. § 94. ცინგერის თანაბარ სიმაღლეთა ხერხი (104).

II. გეოგრაფიული განედის განსაზღვრა. § 95. მერიდიანულ დაკვირვებათა ხერხი. (104). § 96. პოლუსის მახლობელ ვარსკვლავებზე დაკვირვება (105). § 97. ტალკოტის ხერხი (105).

III. გრძედის განსაზღვრა. § 98. ამოცანის ამხსნის ზოგადი გეგმა (106). § 99. კონომეტრების ვალდახანა (106). § 100. დაკვირვება ბუნებრივ (ციურ) სიგნალებზე (106). § 101. რადიოსიგნალების მიღება (107).

IV. დედამიწის სიდიდისა და ფორმის განსაზღვრა. § 102. დედამიწის სფეროვნება (პირველი სიახლოება) (107). § 103. ტრიანგულაცია (109). § 104. დედამიწის სფეროიდი (110). § 105. გეოდეზიური და გრავიმეტრიული სამუშაოების ცნება (111).

V. მნათობთა მანძილებისა და სიდიდების განსაზღვრა. § 106. პარალატური გადაადგილებით მანძილთა განსაზღვრა (113). § 107. პარალაქსი (113). § 108. დამოკლებულზე პარალაქსისა და მანძილს შორის (114). § 109. პარალაქსის გავლენა მნათობის კოორდინატებზე (115). § 110. მნათობის პარალაქსისა და მანძილის განსაზღვრა დაკვირვებებიდან (115). § 111. მნათობთა სიდიდის განსაზღვრა (116). § 112. დღულმური და წლური პარალაქსები (117). § 113. ცთომილთა მანძილების განსაზღვრა (118).

VI. მზის პარალაქსი. § 114. ამოცანის მნიშვნელობა და სირთულე (118) § 115 მზის პარალაქსის განსაზღვრა მარსზე დაკვირვებიდან (118). § 116. დაკვირვებები მცირე ცთომილებზე (120). § 117. მზის პარალაქსის სიდიდე (120).

VII. ვარსკვლავთა წლიური პარალაქსი. § 118. დამოკლებულზე ვარსკვლავის პარალაქსისა და მანძილს შორის (121). § 119. ვარსკვლავთ პარალაქსების განსაზღვრის ისტორია (122). § 120. ვარსკვლავთა მანძილები (122).

VIII. სინათლის აბერაცია. § 121. ბრადლის აღმოჩენა (123). § 122. აბერაციის ახსნა (125). § 123. აბერაციის გავლენა ვარსკვლავთ მდებარეობაზე (127). სავარჯიშოები V თავისათვის (127).

თ ა ვ ი მ ე ე კ ე ს ე. მთავრის მოძრაობა. დაბნელებანი 123
I. მთავრის მოძრაობა. § 124. მთავრის ხილული მოძრაობა (129). § 125. ვარსკვლავთმწერი თვე და სინოდური თვე (129). § 126. მთავრის გზა ვარსკვლავთ შორის (130). § 127. მთავრის კენძების მოძრაობა და მისი შედეგები (131). § 128. მთავრის ფაზები (131). § 129. ფერფლის ფერი სინათლე (133). § 130. მთავრის ორბიტა (133).

II. მზისა და მთავრის დაბნელებანი. § 131. მთავრის მერ მნათობების დაფარვა (134). § 132. მზის დაბნელება (სრული და ნაწილობრივი) (135). § 133. მზის გრავიტაციული დაბნელება (137). § 134. მზის დაბნელების აღწერა (137). § 135. მთავრის დაბნელება (138). § 136. დაბნელების დაწყების პირობები (139). § 137. დაბნელებათა რიტები წელიწადში (140). § 138. დაბნელებათა ციკლი (140). სავარჯიშოები VI თავისათვის (141).

თ ა ვ ი მ ე შ ე ი დ ე. ცთომილთა მოძრაობა 143
§ 139. ცთომილთა მოძრაობის ზოგადი ცნება (143). § 140. ქვედა ცთომილთა მოძრაობა (143). § 141. ზედა ცთომილთა მოძრაობა (144). § 142. სამყაროს გეოცენტრული სისტემა (145). § 143. აზრები დედამიწის მოძრაობის შესახებ (147). § 144. წიგნი „ციური სხეულების გარემოქცევათა შესახებ“ (148). § 145. კოპერნიკის ჰელიოცენტრული სისტემა (148). § 146. ქვედა ცთომილთა მოძრაობის ახსნა კოპერნიკის თეორიით (149). § 147. ზედა ცთომილთა მოძრაობის ახსნა (150). § 148. ცთომილთა ვარსკვლავიური და სინოდური გარემოქცევა (151). § 149. კოპერნიკის სისტემით წლის დროთა ახსნა (152). § 150. კოპერნიკის წელიწადი ასტრონომიაში (152). § 151. ბრძოლა ჰელიოცენტრული მსოფლმხედველობისათვის (154). § 152. ტიხო ბრაჰე და კეპლერი (156). § 153. კეპლერის კანონები (156). § 154. III კანონის მუდმივი სიდიდე (158). § 155. კეპლერის კანონების მნიშვნელობა (159). § 156. ცთომილთა ორბიტების ელემენტები (160). § 157. ცთომილის კოორდინატების განსაზღვრა მისი ორბიტის ელემენტების მიხედვით (161). სავარჯიშოები VII თავისათვის (165).

თ ა ვ ი მ ე რ ე ე. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი 166
§ 158. კეპლერის დასასრულად ნიუტონამდე (166). § 159. ზუსტ მეცნიერებათა დამფარვათა XVII საუკუნის დასასრული (167). § 160. მოძრაობის აქსიომები (167). § 161. კეპლერის კანონების დინამიკური აზრი (168). § 162. მიზიდულობის ძალა და სიმძიმის ძალა (168). § 163. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი (170). § 164. მიზიდულობის განსაკუთრებული თვისებანი (171). § 165. ორი სხეულის ამოცანა (172). § 166. მიზიდულობის მუდმივი (173). § 167. ცოცხალი ძალის განტოლება ორ სხეულის ამოცანებში და მისი

გამოყენება (173). § 168. შემოფოთებანი (176). § 169. შემამოფოთებელი ძალა (177). § 170. მთვარის მოძრაობის შემამოფოთებელი ძალა (178). § 171. მთვარის მოძრაობის შემოფოთებანი (179). § 172. ცოთმილთა შემოფოთებები (180). § 173. მზის სისტემის მდგარლობა (181). § 174. ნებტუნის აღმოჩენა (181). § 175. ცის სხეულთა მისებრ განსაზღვრა (182). § 176. დედამიწის ღერძის მოძრაობა (184). § 177. დედამიწის ღერძის პრეცესიული მოძრაობის შედეგები (184). § 178. პრეცესიის ახსნა (186). § 179. მთვარე — მზისმიერი და ცოთმილთმიერი პრეცესია (187). § 180. ნუტაცია (188). § 181. მთვარე და მოქცევა (189). § 182. მოქცევის ტალღა (191). § 183. მზისმიერი მოქცევები (191). § 184. მოქცევების მოვლენების სირთულე (192). § 185. ხსნის თუ არა მიზიდულობის კანონი მზის სისტემაში ყველა მოძრაობას? - (192). საეარჯიშოები VIII თავისათვის (193).

თ ა ვ ი მ ე ც ხ რ ე. სპექტრული ანალიზი და ფოტომეტრია 195.
§ 186. სპექტრული ანალიზი და მისი მნიშვნელობა (196). § 187. მარტივი და რთული სინათლე (196). § 188. სპექტრის მიღება (197). § 189. მკვირივი სხეულების სპექტრი (უწყვეტო). § 190. გაიშვიათებული ორთქლისა და გაზის გამოსხივების სპექტრები (ხაზოვანი და ზოლოვანი სპექტრები) (199). § 191. შთანთქმის სპექტრი (191). § 192. კირხჰოფის აღმოჩენა (200). § 193. მნათობთა ქიმიური ანალიზი (201). § 194. ხაზების გადაადგილება და სხიულის სიჩქარეები (201). § 195. გრავიტაციული გადაადგილება (202). § 196. სპექტრი და მნათობთა ფიზიკური თვისებანი (203). § 197. სპექტრული ხელსაწყოები (204). § 198. მნათობთა ფოტომეტრია (205). § 199. რადიოასტრონომია (207).

თ ა ვ ი მ ე ა თ ე. მზე 208
§ 200. მზე (208). § 201. მზის მანძილი, სიდიდე და მასა (208). § 202. მზის საერთო სახე და სიკაშკაშე (209). § 203. მზის ბრუნვა (210). § 204. მზე გაზოვანი სფეროა (211). § 205. ფოტოსფერო (211). § 206. მზის ლაქები (212). § 207. მზის ლაქების ბუნება (214). § 208. ლაქების მაგნიტოზომი (214). § 209. მზის მაგნიტური ველი (216). § 210. ლაქების რიცხვისა და მათი მაგნიტოზომის პერიოდული ცვალებადობა (216). § 211. მზის ლაქების კავშირი დედამიწის მოვლენებთან (217). § 212. მზის სპექტრი და ქიმიური შემადგენლობა (218). § 213. მზის სპექტრის უცნობი და გამოუვლინებელი ხაზები (219). § 214. ქრომოსფერო და პროტუბერანციები (220). § 215. ქრომოსფეროზე დაკვირვება მზის მთელი დისკოს გასწვრივ (223). § 216. ასტრონომიული მოვლენები მზის სრული დაბნელების დროს (224). § 217. მზის მუდმივი (227). § 218. მზის ტემპერატურა (228). § 219. მზის კორონის ტემპერატურა (229). § 220. მზის ენერგია და დედამიწის სიცოცხლე (230). § 221. მზის რადიოგამოსხივება (231). § 222. მზის შინაგანი აღნაგობა (232). § 223. მზის ენერჯის წყაროები (234) § 224. დედამიწა-მზის პრობლემა (238).

თ ა ვ ი მ ე თ ე რ თ მ ე ტ ე. მთვარე 239
§ 225. მთვარის სიდიდე (239). § 226. მთვარის ბრუნვა (239). § 227. რატომ არის, რომ მთვარე დედამიწისაკენ ერთი მხრითაა მომართული? (240). § 228. მთვარის ლიბრაცია (241). § 229. მთვარის ატმოსფერო უმნიშვნელოა (242). § 230. მთვარის ატმოსფეროს ბედი (244). § 231. წყალი მთვარეზე (244). § 232. მთვარის სინათლე და სითბო (245). § 233. მთვარის ზედაპირის აგებულება (245). § 234. მთვარის მთების წარმოშობა (248). § 235. ცელიტები მთვარეზე (249). § 236. მთვარის ვავლენა დედამიწაზე (249). § 237. მთვარის რადიოგამოსხივება (249). § 238. მთვარის რადიოლოკაცია (249). საეარჯიშოები XI თავისათვის (249).

თ ა ვ ი მ ე თ ო რ მ ე ტ ე. ცოთმილები 251
§ 239. ცოთმილთა სისტემის მიმოხილვა (251). § 240. ტრიკუსის წესი (253). § 241. პერკური (253). § 242. ვენერა (254). § 243. პერკურისა და ვენერას ვავლა მზის დისკოზე (255). § 244. დედამიწა-მთვარე (256). § 245. დედამიწის პოლუსების მოძრაობა (256).

§ 246. მარსი, მისი მოძრაობა და სიკაშკაშე (257). § 247. მარსის ზედაპირი. დღედიმიასთან მსგავსება (258). § 248. მარსის თანამგზავრები (260). § 249. მცირე ცთომილები (261). § 250. ყველაზე უფრო საინტერესო მცირე ცთომილები (263). § 251. ოთხი შორეული ცთომილის ზოგადი დახასიათება (265). § 252. იუპიტერი (265). § 253. იუპიტერის თანამგზავრები (266). § 254. სატურნი (267). § 255. სატურნის თანამგზავრები (269). § 256. ურანი და ნეპტუნი (270). § 257. პლუტონი (271) სავარაუდოები XII თავისათვის (272).

თ ა ვ ი მ ე ც ა შ ე ტ ე . კომეტები და ვარდნილი ვარსკვლავები 274

§ 258. კომეტების ზოგადი დახასიათება (274). § 259. კომეტების მოძრაობა (275). § 260. კომეტების ორბიტა ცელილება (275). § 261. პერიოდული კომეტები (276). § 262. კომეტის სახე (278). § 263. კომეტის კულის წარმოშობა (278). § 264. კომეტების სიდიდე და მასა (280). § 265. კომეტების სპექტრი (281). § 266. კომეტის ბუნება (282). § 267 კულების სხვადასხვა ტიპი (283). § 268. განშლიველი ძალის არსი (285). § 269. ზოგიერთი შესანიშნავი კომეტა (286). § 270. კომეტის დაქაჩება სამყაროს სხვა სხეულთან (288). § 271. კომეტების წარმოშობის საკითხი (288). § 272. ვარდნილი ვარსკვლავები (მეტეორები) (289). § 273. მეტეორული ნაქალები (291). § 274. მეტეორული სხეულის ორბიტის განსაზღვრა (294). § 275. მეტეორების კავშირი კომეტებთან (294). § 276. დაკვირვება მეტეორებზე (295). § 277. ბოლიდები და მეტეორიტები (296). § 278. XX საუკუნის გიგანტური მეტეორიტული ვარდნები (297). § 279. მეტეორულ სხეულთა მნიშვნელობა სამყაროში (299). § 280. ზოლიაქური სინათლე (300).

თ ა ვ ი მ ე თ ო ხ მ ე ტ ე . ვარსკვლავები 302

§ 281. ვარსკვლავები (302). § 282. ვარსკვლავების ბრწყინვალება და „სიდიდე“ (303). § 283. აბსოლუტური ბრწყინვალება და აბსოლუტური სიდიდე (304). § 284. ვარსკვლავთ აღნიშვნები (305). § 285. ვარსკვლავთ ხილული და საშუალო ადგილები (306). § 286. ვარსკვლავთ კატალოგები და რუკები (307). § 287. ვარსკვლავთ რიხები (308). § 288. ვარსკვლავთ ფერები (309). § 289. ვარსკვლავთ სპექტრები (311). § 290. სპექტრების კლასიფიკაცია (311). § 291. ვარსკვლავთ ტემპერატურები (313). § 292. გიგანტი ვარსკვლავები და ჭუჭუა ვარსკვლავები (313). § 293. ვარსკვლავთ მათება (316). § 294. ვარსკვლავთ დიამეტრები (316). § 295. ვარსკვლავთ მასები (317). § 296. ვარსკვლავთ სიმკვრივეები (317). § 297. ორმაგი ვარსკვლავები (318). § 298; ორმაგი ვარსკვლავების ორბიტების გამოთვლა (321). § 299. ორმაგი ვარსკვლავების მასების განსაზღვრა (322). § 300. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავები (323). § 301. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტის განსაზღვრა (324) § 302. სპექტრულად-ორმაგი ვარსკვლავების თვისებები (324). § 303. ცთომილთა სისტემები ვარსკვლავების გარშემო (325). § 304. ცვალებადი ვარსკვლავები. მათი შესწავლა სსრ კავშირში (325). § 305. ბნელმად-ცვალებადი ვარსკვლავები (326). § 306. ბნელმად-ცვალებადი ვარსკვლავის ელემენტების განსაზღვრა (328). § 307. ცეფეიდები (329). § 308. ცეფეიდების თორია (331). § 309. გრძელპერიოდიანი ცვალებადი ვარსკვლავები (331). § 310. არაწესიერი ცვალებადი ვარსკვლავები (332). § 311. ახალი ვარსკვლავები (332). § 312. ახლისმსგავსი ვარსკვლავები (334). სავარაუდოები XIV თავისთვის (335).

თ ა ვ ი მ ე თ ო ხ მ ე ტ ე . სამყაროს აგებულება 317

I. ვარსკვლავთ მოძრაობანი. § 313. ვარსკვლავთ მოძრაობანი (337). § 314. მოძრაობა მზეღველობის სხივის გასწვრივ (338). § 315. ვარსკვლავთ ჰელოციენტრი სიჩქარები (338). § 316. მზის სისტემის მოძრაობა (339). § 317. კაპტეინის ვარსკვლავთ ნაკადობი (340). § 318. მოძრაი გროვები (341). § 319. მოძრა გროვათა პარალაქსების განსაზღვრა (343). § 320. კავშირი სპექტრულ კლასსა და სიჩქარეს შორის (344). § 321. ვარსკვლავები, რომლებიც დიდ ნაკადებს არ მიეკუთვნებიან (344). § 322. გაიშვითებული მატერია ვარსკვლავთშორის სივრცეში (345).

II. ვარსკვლავთ გროვები. § 323. ირმის ნახტომი (347). § 324. გალაქტიკური კორდინატები (348). § 325. გალაქტიკური ვარსკვლავთ გროვები (349). § 326. ვარსკვლავთ ასოციაციები (354).

III. § 327. ნისლეულები (356). § 328. რადიოგამოსხივების დისკრეტული წყაროები (359). § 329. რადიონისლეულები (359). § 330. გარეგალაქტიკური ნისლეულები (360). § 331. მეტაგალაქტიკა (365).

IV. ვარსკვლავთ სამყაროს აგებულება. § 332. ვარსკვლავთ განაწილება ჩვენს გალაქტიკაში (368). § 333. ჩვენი გალაქტიკის შესწავლის სიძნელე (369). § 334. ოორტი: თეორია გალაქტიკის ბრუნვის შესახებ (370). § 335. გალაქტიკის შემადგენელი ქვესისტემები (373). § 336. გალაქტიკის რადიოგამოსხივება (374). § 337. ჩვენი გალაქტიკის სპირალური სტრუქტურა (376).

თ ა ვ ი მ ე თ ე ქ ე ს მ ე ტ ე ცის სხეულების ევოლუცია 378.

§ 338. XVIII საუკუნის დასაწყისის კოსმოლოგია (378). § 339. კანტის ჰიპოთეზა (378).

§ 340. პერშელის იდეები ნისლეულების ევოლუციის შესახებ (379). § 341. ლაპლასის ჰიპოთეზა (380). § 342. ლაპლასის ჰიპოთეზის შეფასება (382). § 343. მოქცევითი ხახუნი (383). § 344. მთვარის წარმოშობა და მოქცევითი ევოლუცია (383). § 345. ლაპლასის ჰიპოთეზის საბეცდოილებანი (386). § 346. ვარსკვლავთ მექანიკური ევოლუცია: ჰიპოთეზები (386). § 347. „ნახევარშეჯახების“ ჰიპოთეზები (387). § 348. საბჭოთა მეცნიერთა კოსმოგონიური ჰიპოთეზები (388). § 349. ვარსკვლავთ კოსმოგონიის პრობლემები (391). § 350. სპექტრი—ბრწყინვალეების დიაგრამა და მისი ახსნის ცდები (391). § 351. „ნიერი“ და „ახალგაზრდა“ ვარსკვლავები (392). § 352. ვარსკვლავთ ევოლუცია (393). § 353. ნისლეულები (394). § 354. სხვა კოსმოგონიური პრობლემები (394).

ღ ა მ ა ტ ე ბ ა I. ცის გაცნობა 395

§ 355. თანავარსკვლაველების გაცნობა (ასტროგნოზია) (395). § 356. საღამოს ცა წლის სხვადასხვა დროს (396). § 357. პრაქტიკული მითითებები შეუიარაღებელი თვალით დაკვირვებისათვის (399). § 358. მთვარისა და ცთომილების მოძრაობა (400). § 359. ცის გაცნობა ტელესკოპით (401).

ცხრილები 404

ლიტერატურა 413

პირთა და საგანთა საძიებელი 419

ბოლოსიტყვაობა 427

რედაქტორი ნ. შალვაშვილი

გამომცემლობის რედაქტორი ვ. გორგაძე

ტექნიკური რედაქტორი ნ. ბერიძე

კორექტორი ვ. შალვაშვილი

კონტროლიორ-კორექტორი ა. სტურუა

გადაეცა წარმოებას 2/IX-60 წ.
ხელმოწერილია დასაბეჭდად 14/XII-61 წ.
ანაწყოების ზომა 7×11 .
ქალაქის ზომა $70 \times 108^{1/16}$.
ნაბეჭდ თაბახთა რაოდენობა 27,8.
საალრიცხვო-საგამომცემლო თაბახთა რაოდენობა 31,08.
შეკვეთის № 1426. ტირაჟი 2000.

ფასი 1 მან. 37 კპპ.

ობილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობის სტამბ.,
თბილისი, ი. ჯავახიშვილის კროსპექტი, 1.