

მ. ი მ ნ ე ძ ე

**ზოგადი
ესკოლოგია**

რედაქტორი მ. ვაშაძიძე

წინასიტყვაობა

ეს წიგნი წარმოსდგა იმ ლექციებისაგან, რომელსაც ავტორი კითხულობდა 1940—1941 წელს სტალინის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, ხოლო შემდეგ სხვადასხვა დროს სოხუმის, თბილისის, ქუთაისისა და თელავის პედაგოგიურ ინსტიტუტებში. მოცულობით იგი საკმაოდ ნაკლებია ამ საგანში არსებულ სხვა სახელმძღვანელოებზე. ეს შემცირება არ არის გამოწვეული საპროგრამო საკითხის გამოტოვებით, ან მათი კონსპექტური გადმოცემით. უკანასკნელ დროს პედაგოგიურ ლიტერატურაში აღნიშნავენ, რომ უმადლესი სკოლის ზოგი სახელმძღვანელო გადატვირთულია ციფრებითა და წვრილშანებით. კერძოდ, ჩემი აზრით, ასე არის ზოგადი ასტრონომიის სახელმძღვანელოებშიც და მათი შემცირება სასარგებლო იქნება ამ საგნის სწავლებისათვის.

მეორე განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვეულებრივად ასტრონომიის სახელმძღვანელოში მოცემულ სავარჯიშოს მხოლოდ ზოგჯერ აქვს მოკლე პასუხი და არ არის მოყვანილი ამოხსნები. კურსის პირველი გაცნობის დროს მკითხველისათვის ეს სავარჯიშოები დაუძლეველია, თუმცა ისინი თავისთავად აღვილია. პრაქტიკული ვარჯიშობა გასაღებს იძლევა თეორიის სწორი გაგებისათვის. ამიტომ აუცილებლად მივიჩნეოთ თითოეული თავისათვის დამერთო სავარჯიშოთა საკმაო რიცხვი, რომელთა უმრავლესობა ამოხსნილია. ამ ამოხსნათა მიხედვით მკითხველი ისწავლის თეორიული მასალის გამოყენებას და ამავე დროს განავითარებს თავის თეორიულ ცოდნას. საპირაო შემთხვევაში აღვილად შეიძლება ანალოგიური სავარჯიშოს შედგენა; მაგალითად, ამოცანაში მოცემული ვარსკვლავის მაგიერ აიღება უცნობი მნათობი ნებისმიერი კოორდინატებით.

კურსი დაყოფილია 6 თავად და 32 პარაგრაფად, პარაგრაფები კი იყოფა ქვესაკითხებად. თითოეული თავის შინაარსი ძირითადად შერჩეულია შესაბამის ასტრონომიული მეცნიერებიდან; ხოლო პირველი თავი (შესავალი) შედგება უფრო დამხმარე, მოსამზადებელი საკითხებისაგან. წიგნი განზრახულია პედინსტიტუტების ფიზიკა-მათემატიკური და გეოგრაფიული ფაკულტეტებისათვის; აგრეთვე შეიძლება მან დახმარება გაუწიოს ამ საგნის მასწავლებლებს საშუალო სკოლაში. ის საკითხები, რომლებიც გეოგრაფებისთვის არ არის სავალდებულო აღნიშნულია ვარსკვლავით.

სახელმძღვანელოს შედგენის დროს ვსარგებლობდი რუსულ და ქართულ ენაზე არსებული ასტრონომიული ლიტერატურით, რომელთაგან პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს შემდეგი წიგნები: 1) ი. ფ. პოლაკი—ასტრონომია, 1935 წ. 2) П. И. Попов, К. Л. Баев, Б. А. Воронцов-Вельяминов, Р. В. Куницкий—Астрономия, 1949 г. 3) С. Н. Блажко—Курс общей астрономии, 1947 г. 4) Б. А. Воронцов-Вельяминов—Сборник задач и упражнений по астрономии, 1939 г.

წიგნი ალბათ უნაკლო არ იქნება და ავტორი მადლობით მიიღებს ყოველ საქმიან შენიშვნას.

1954 წლის 31 მაისი

აბოლაი

თ ა ვ ი

შესავალი

§ 1. ასტრონომიის საგანი და მეთოდი

ა) ასტრონომიის წარმოშობა და განვითარება

სიტყვა „ასტრონომია“ წარმოდგება ორი ბერძნული სიტყვისაგან. „ასტრონ“ ნიშნავს ვარსკვლავს და „ნომოს“—კანონს. ეს იყო მეცნიერება მნათობთა მოძრაობის კანონების შესახებ. ქართულად მას უწოდებდნენ ვარსკვლავთმრიცხველობას.

ასტრონომია ყველაზე ძველი მეცნიერებაა. უძველესი ასტრონომიული ჩანაწერი გვხვდება 30-საუკუნიდან ჩვენს წელთაღრიცხვამდე ინდოელებისა და ჩინელების მატინანებში. 25 საუკუნიდან (ჩვენს წელთაღრიცხვამდე) იწყებს განვითარებას ეგვიპტელების, კალდეელებისა და ბაბილონელების ასტრონომია. ასტრონომიის (და საერთოდ ყოველი მეცნიერების) ისტორიის შესწავლა ძლიერ მნიშვნელოვანია. ენგელსი ამბობს: „უნდა შევისწავლოთ ბუნებისმეცნიერების ცალკეულ დარგთა თანმიმდევრული განვითარება. პირველად ასტრონომია, რომელიც უკვე წელიწადის დროთა გამო აბსოლუტურად საჭიროა შეჯოგე და მიწათმოქმედი ხალხებისათვის“¹.

ენგელსის ეს შენიშვნა გვიჩვენებს რომ ასტრონომიის წარმოშობის მიზეზი პრაქტიკული აუცილებლობა იყო. ძველ ხალხებს იგი სჭირდებოდა თავიანთი მეურნეობის მოსაწესრიგებლად. მაგალითად, ეგვიპტეში ნილოსი ყოველწლივით გადმოდის ნაპირებიდან და წყლითა და შლამით ფარავს მიდამოებს. ეს ხდება დაახლოებით ერთსა და იმავე დროს (ივლისის ბოლოს), მაგრამ მაშინ წლის ხანგრძლიობა არ იცოდნენ. მისი განსაზღვრისათვის საჭირო იყო მზის მოძრაობის შესწავლა, რისთვისაც აუცილებელი აღმოჩნდა ვარსკვლავებზე დაკვირვების წარმოება. გარდა ამისა, ნილოსი თავისი შლამით შლიდა საზღვრებს და ამით დევას იწვევდა მიწის მფლობელებს შორის. ვარსკვლავები კი საშუალებას იძლეოდა გარემოს სწორი ორიენტაცია მოეხდინათ და აღედგინათ ეს სა-

¹ ფ. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა. 1950 წ., გვ. 187.

ზღვრები. აუცილებელი აღმოჩნდა ასტრონომიული დაკვირვება არხების გაყვანისათვისაც, მათი სიღრმისა და მიმართულების განსაზღვრისათვის. ამავდროულად გამო წარმოიშვა ასტრონომია ბაბილონში (მესოპოტამიაში), სადაც ტიგროსმა და ეფრატმა უფრო შფოთიანი წყალდიდობა იცოდა ვიდრე ნილოსმა. ასევე ჩინეთში და ინდოეთში. ყველა ამ ქვეყნებში კულტურა წარმოიშვა დიდი მდინარეების ბასეინებში, მაგრამ ყველგან ერთმანეთის დამოუკიდებლად. მწყემსებსა და მომთაბარე ხალხებს სკირდებოდათ ვარსკვლავებზე (და მთვარეზე) დაკვირვება ადგილმდებარეობის გასაგნებად და დროის გასაგებად. ნაოსნობაშიც აუცილებელი იყო ასტრონომია, რადგან იმ დროს ზღვაზე ორიენტაცია ხდებოდა მხოლოდ ვარსკვლავების საშუალებით.

მაგრამ ასტრონომიას წინ ეწეოდა არა მარტო პრაქტიკული საკიროება, არამედ ის განსაკუთრებული ინტერესიც, რომელსაც ადამიანი მუდამ იჩენდა ციური სხეულებისადმი. მშვიდობიანი კომეტის გამოჩენა ცაზე უფრო მეტ პანიკას იწვევდა, ვიდრე გამანადგურებელი სტიქიური უბედურებანი—წყალდიდობა და მიწისძვრები. ახლა არც შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, რომ ადამიანმა ყოველი მიმართულებით გადასეროს დედამიწა და არ დაინტერესდეს თუ რა არის დედამიწის იქით. ძველად ამ ბუნებრივ ინტერესს კიდევ უფრო აძლიერებდა რწმენა ბედისწერის შესახებ;—ფიქრობდნენ რომ ადამიანის ბედი წინასწარ არის განსაზღვრული ზეცაში და მისი გაგება შეიძლება ვარსკვლავებზე დაკვირვების გზით. ამ ნიადაგზე წარმოიშვა ცრუ მეცნიერება ასტროლოგია ანუ მკითხაობა პლანეტებისა და ვარსკვლავთა საშუალებით. პირველ ხანებში ამ ცრუ მეცნიერებამ დადებითი როლი ითამაშა ასტრონომიის განვითარებაში. მეფეები და ფარაონები დაინტერესებულები იყვნენ წინასწარ გაეგოთ თავიანთი სახელმწიფოების ბედი. ამიტომ ისინი კარგ პირობებს უქმნიდნენ ასტრონომებს დაკვირვებებისათვის, რომ მათ შემდეგ თავის დროზე მოეხდინათ ასტროლოგიური მკითხაობა და მიეცათ გაფრთხილება „მოსალოდნელი უბედურებისათვის“.

ძველ მონათმფლობელურ დესპოტურ სახელმწიფოებში (ეგვიპტე, ბაბილონი და სხვა) ასტრონომიის განვითარებამ მიაღწია დაახლოებით ერთსა და იმავე დონეს და შემდეგ გაიყინა ერთ წერტილზე. როგორც ჩანს საზოგადოების საწარმოო პირობები არ იძლეოდა მეტი განვითარების საშუალებას. მეექვსე საუკუნიდან (ჩვენს წელთაღრიცხვამდე) ისტორიის ასპარეზზე გამოდის ბერძნები, რომლებმაც თავიანთი კუნძულების და ნახევარკუნძულების უნაყოფობის გამო ვაჭრობა აირჩიეს არსებობის ძირითად საშუალებად. ეგვიპტეში და ბაბილონში მოგზაურობის დროს მათ შეისწავლეს ძველი აღმოსავლეთის ასტრონომია და შემდეგ განავითარეს იგი. ბერძნული ასტრონომიის მწვერვალი იყო ჰიპარქი, რომელიც ცხოვრობდა II საუკუნეში ჩვენს ერამდე. ძველი ასტრონომიის მთელ მიღწევებს თავი მოუყარა პტოლომემ (II საუკ.

ჩენი წელთაღრიცხვით) თავის წიგნში „მაგელე სინტაქსის“, რაც ნიშნავს „დიდ თხზულებას“. ამის შემდეგ ქრისტიანულ ქვეყნებში იწყება უმოქმედობის დიდი პერიოდი; ძირითად ავტორიტეტად იქ ხდება „დაბადება“ და ყოველი ახალი მეცნიერული აზრი სასტიკად იდევნებოდა. VII საუკუნიდან მეცნიერებას მისდევდნენ არაბები, რომლებმაც ასტრონომიაში ზოგიერთი დაკვირვების გაუმჯობესება მოახერხეს, მაგრამ თეორია დიდათ ვერ წასწიეს წინ.

XIII საუკუნეში ჯვაროსანთა ომებში გაიმარჯვა თურქებმა და ისინი დაეუფლენ ქრისტიანული რელიგიის „წმიდა ადგილებს“ იერუსალიმს და სხვათა. მაგრამ მნიშვნელობა ქონდა არა „წმიდა ადგილებს“ არამედ იმ გარემოებას, რომ დაიკეტა გზა ინდოეთისაკენ, რომელიც მაშინ ითვლებოდა ზღაპრულად მდიდარ ქვეყნად. საჭირო იყო ახალი გზის პოვნა ინდოეთისაკენ; ამ მიზნით მოეწყო კოლუმბის (1492 წ.) და მაგელანის (1520—1522 წ.) მოგზაურობანი. ამ დიდ გეოგრაფიულ მოგზაურობათა დროს გამოირკვა ძველ ასტრონომიულ წარმოდგენათა არა სისწორე და თვალსაჩინოდ დამტკიცდა დედამიწის სფეროსებურობა (რომელსაც თუმცა ჯერ კიდევ ძველი ბერძნები აღიარებდნენ, მაგრამ შემდეგ მივიწყებულ იქნა). ამას მოჰყვა ალორძინების ეპოქა ანუ რენესანსი, როცა მეცნიერების ყველა დარგი იწყებს გამოცოცხლებას. განსაკუთრებული მოთხოვნილება შეიქმნა ასტრონომიის განვითარებაზე; ამას მოითხოვდა შორეული მოგზაურობა, რაც სჭირდებოდა ახალ წარმოშობილ ბურჟუაზიას, აგრეთვე კალენდრის რეფორმასთან დაკავშირებული საკითხები. 1543 წელს კოპერნიკმა გამოაქვეყნა სამყაროს აგებულების ახალი თეორია, რომელსაც უდიდესი მსოფლმხედველობრივი მნიშვნელობა ჰქონდა. ეკლესია დიდ წინააღმდეგობას უწევდა ახალ თეორიას, მაგრამ იგი გზას იკაფავდა მეცნიერებაში და ახალ-ახალ აღმოჩენებს ახდენდა. XVII საუკუნის დასაწყისში კეპლერმა დაადგინა ცთომილთა მოძრაობის კანონები, ხოლო იმავე საუკუნის ოთხმოციან წლებში ნიუტონმა კეპლერის კანონებზე დაყრდნობით აღმოაჩინა მიზიდულობის კანონი და საფუძველი ჩაუყარა უსასრულო მცირეთა მათემატიკას და თეორიულ მექანიკას. ამავე საუკუნეში იქნა აღმოჩენილი ტელესკოპი, რომელიც ტექნიკის განვითარებასთან ერთად თანდათან უმჯობესდებოდა და დიდათ უწყობდა ხელს ასტრონომიის განვითარებას. XVIII—XIX საუკუნეში მუშავდებოდა ციურ სხეულთა მოძრაობის საკითხები მიზიდულობის კანონის საფუძველზე და განვითარდა კლასიკური ციური მექანიკა. ამ ნიადაგზე წარმოიშვა აგრეთვე კანტისა და ლაპლასის კოსმოგონიური ჰიპოტეზები. ამავე პერიოდში საფუძველი ჩაეყარა სავარსკვლავეო ასტრონომიას. XIX საუკუნის პირველ ნახევარში ძირითად ამოცანად გადაიქცა ვარსკვლავთა ზუსტი მდებარეობის განსაზღვრა. ამ საქმეში ყველაზე მეტი დამსახურება პულკოვოს ობსერვატორიას ეკუთვნის.

XIX საუკუნის II ნახევარში აღმოჩენილ იქნა სპექტრული ანალიზის კანონები, რამაც გამოიწვია ასტრონომიის ახალი დარგის—ასტროფიზიკის წარმოშობა, რომელიც თავისი განვითარების უდიდესს გაქანებას ახლა განიცდის. ასტროფიზიკას დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო ციური სხეულების შესწავლისათვის, არამედ აგრეთვე ახალი ფიზიკისათვის, ატომის ბუნებისა და აგებულების გამოკვლევის საქმეში. თანამედროვე ფიზიკური თეორია და განვითარებული ოპტიკური ტექნიკა დიდად უწყობს ხელს სამყაროს აგებულების გამოკვლევას. ზოგი ბურჟუაზიული მეცნიერი, გამოდის რა თავისი იდეალისტური მსოფლმხედველობიდან, დაკვირვებითი ფაქტების განზოგადების დროს არასწორ, ზოგჯერ ფიდეისტურ დასკვნამდე მიდის. საბჭოთა მეცნიერები, რომლებიც ეყრდნობა დიალექტიკური მატერიალიზმის ერთადერთ სწორ მეთოდს, უფრო ღრმად იხედება მოვლენაში და ნამდვილ მეცნიერულ ახსნას იძლევა. ამიტომ არის რომ ასტრონომიის ბევრ დარგში, განსაკუთრებით ასტროფიზიკისა და კოსმოგონიის საკითხებში, წამყვანი როლი საბჭოთა მეცნიერებს ეკუთვნის.

← *ბ) ასტრონომიის საგანი*

ასტრონომიის შესწავლის ობიექტებია: მზე, მთვარე, ვარსკვლავები, ცთომილები, კომეტები, ნისლეულები და სხვა. უმთავრესად ასტრონომია სწავლობს ორ საკითხს: 1) ციურ სხეულთა მოძრაობას და 2) ციურ სხეულთა ფიზიკურ ბუნებას. სწავლობს აგრეთვე ციურ სხეულთა ფორმას და განიხილავს მათი წარმოშობისა და განვითარების საკითხებს.*

პირველ საკითხს სწავლობს შემდეგი დისციპლინები: *ა) სფერული ასტრონომია*, ირკვევს ციურ სხეულთა მოძრაობას და მდებარეობას (როგორც ხილულს, ისე ნამდვილს), მაგრამ მოძრაობას განიხილავს მათი გამომწვევი მიზეზების გარეშე. *ბ) პრაქტიკული ასტრონომია* სწავლობს ასტრონომიული იარაღების აგებულებას, დაკვირვების მეთოდებს, დაკვირვებიდან შეცდომათა გამორიცხვას, დაკვირვების გამოყენებას პრაქტიკული მიზნებისათვის¹ და სხვა. *ც) თეორიული ასტრონომია* სწავლობს ერთი ცთომილის (ან კომეტის) მოძრაობას მზის გარშემო, მზისა და ცთომილის ურთიერთ მიზიდულების შედეგად. *დ) ციური მექანიკა* სწავლობს ცთომილების (პლანეტების) და კომეტების მოძრაობას, როცა მზის მიზიდულობას გარდა მხედველობაშია მიღებული ცდომილების მიზიდულობაც. თეორიული ასტრონომია განიხილება, როგორც ციური მექანიკის პირველი ნაწილი. ამ ოთხ დისციპლინას ხშირად უწოდებენ საკუთრივ ასტრონომიას ან კლასიკურ ასტრონომიას.

¹ პრაქტიკული მიზნებისათვის განსაკუთრებით გამოიყენება ვარსკვლავების და ცთომილთა ზუსტი კოორდინატები, რაც საჭიროა, დროის სამსახურისათვის, გეოდეზიური სამუშაოებისათვის და ნათსნობისათვის, რედა.

მეორე საკითხს არკვევს შემდეგი დისციპლინები: *ე) საეარსკვლავო ასტრონომია, რომელიც სწავლობს ვარსკვლავთა სამყაროს აგებულებას, მისი ნაწილების ფორმას, განზომილებას და მოძრაობას. ფ) ასტროფიზიკა სწავლობს ციურ სხეულთა ფიზიკურ ბუნებას და ქიმიურ შემადგენლობას. ასტროფიზიკა იყოფა ორად: თეორიულ და პრაქტიკულ ასტროფიზიკად.*

ამათ გარდა არის კიდევ *გ) კოსმოგონია, რომელიც სწავლობს ციურ სხეულთა წარმოშობისა და განვითარების საკითხებს, რისთვისაც ის ეყრდნობა ზემოთ ჩამოთვლილ ასტრონომიულ მეცნიერებათა მიღწევებს. პრაქტიკულ ასტრონომიას მიეკუთვნება აგრეთვე საზღვაოსნო და საავიაციო ასტრონომია.*

ზოგადი ასტრონომია არ წარმოადგენს დამოუკიდებელ მეცნიერებას, არამედ შეიცავს ზემოთ ჩამოთვლილ დისციპლინების ზოგად შედეგებს და აგრეთვე ზოგად მეთოდებს, რომელთა საშუალებით იქნა მიღწეული ეს შედეგები.

ს. ც) ასტრონომიის როლი მარქსისტულ-ლენინური მსოფლმხედველობისათვის

ასტრონომიის როლი უდიდესია დიალექტიკურ-მატერიალისტური მსოფლმხედველობისათვის. მარქსისტული დიალექტიკური მეთოდის ერთ-ერთი ნიშანი იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ბუნებას იხილავს როგორც ერთიანს, მთლიანს, სადაც მოვლენები ორგანიულად დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან, დამოკიდებული არიან ერთმანეთისაგან და განაპირობებენ ერთმანეთს¹. გამოვთიშოთ დედამიწა ამ დიადი ერთიანობიდან, ე. ი. დავეკაფილდეთ მარტო დედამიწის შესწავლით, ჩვენ არ შეგვიძლია თუ არ გვინდა ფიდეიზმის გზას დავადგეთ. „სამყაროს ნამდვილი ერთიანობა მის მატერიალობაში მდგომარეობს“² და ასტრონომია სწავლობს რა სამყაროს, ამით სრულყოფილს ხდის ჩვენს მატერიალისტურ შეხედულებას. ჩვენ აქ თვალნათლივ ეხედავთ რომ სამყარო თავის უსასრულო სივრცეში მატერიის თვითგანვითარების პროცესს წარმოადგენს და იქ ღმერთისა და სხვა იდეალური ძალებისთვის ადგილი აღარ რჩება. ასტრონომიაში ირკვევა რომ დედამიწა წინათ გავარეარებულ ცეცხლოვან მდგომარეობაში იყო; შემდეგ შეიქმნა მასზე შესაფერი პირობები და წარმოიშვა სიცოცხლე. ეს ამტკიცებს რომ მატერია პირველადია, რომ დედამიწა არსებობდა მანამდე, სანამ მასზე ცნობიერი და საერთოდ ცოცხალი არსება წარმოიშობოდა.

ასტრონომიის განვითარება (ისე როგორც სხვა მეცნიერების განვითარება) ადასტურებს დიალექტიკური მატერიალიზმის დებულებას რომ

¹ საკავშირო კომუნისტური პარტიის (ბოლშევიკების) ისტორია. მოკლე კურსი. 1952 წ., გვ. 128.

² ფ. ენგელსი, ანტიდიურინგი. 1952 წ., გვ. 53.

„სამყარო და მისი კანონზომიერებანი სავსებით შეცნობადია“¹. ამით იგი ლახვარს სცემს ყოველგვარ აგნოსტიციზმს, რომელიც უარყოფს ბუნების შემეცნების შესაძლებლობას. ყველა ციური მოვლენა შეიძლება თანმიმდევრობით იქნას ახსნილი მატერიის ჩვეულებრივი კანონებიდან, რომლებიც დედამიწაზე არის მიღებული და პირიქით, იგივე კანონები რაც ციურ სხეულებს შორის მოქმედებს მიწიური მოვლენებისათვისაც სამართლიანია. მოვლენათა ერთი ჯგუფიდან მიღებული კანონები გამოიყენება მოვლენათა უფრო ფართო ჯგუფზე. თუმცა ეს კანონები აბსოლუტურად ქეშმარიტი არ აღმოჩნდება, მაგრამ თანდათანობით გასწორდება და სრულყოფილი ხდება. ამ გზით კაცობრიობა ნელა, მაგრამ მტკიცედ მიდის წინ ბუნების შესწავლისაკენ. როდესაც ჩვენ ვხედავთ, რომ ჩვეულებრივ კანონებს ადგილი აქვს სამყაროს უსასრულო სივრცეში, დროისა და განზომილების მიუხედავად,—ჩვენი მეცნიერული ცოდნა უფრო დამაჯერებელი ხდება და ჩვენს ცნობიერებაში ახალი ჰორიზონტები იშლება მარქსისტულ-ლენინური მსოფლმხედველობის განსამტკიცებლად.

დ) ასტრონომია და სხვა მეცნიერებანი. ასტრონომიის მეთოდი

ასტრონომიას ესაზღვრება მთელი რიგი მეცნიერებანი, ისე რომ მათ შორის ზოგჯერ ძნელია საზღვრის გავლება. მის ყველა დარგში ძლიერ არის გამოყენებული მათემატიკა და პირიქით, ასტრონომია მასალას აწვდიდა მათემატიკას, სხვადასხვა პრობლემების დაყენებით და იწვევდა ჰის განვითარებას. ასტრონომია უხვად იყენებს თანამედროვე ფიზიკის პილწეებს და პირიქით ასტრონომიულ დაკვირვებებს ზოგჯერ გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ზოგიერთი ფიზიკური საკითხის დასამუშავებლად. გეოგრაფიის განვითარება დაკავშირებული იყო ასტრონომიის განვითარებასთან; მათ აქვთ საერთო საკითხები, მაგალითად დედამიწის ვორმა და სიდიდე. ასევე ახლოა ასტრონომიასთან გეოლოგია, გეოდეზია, კარტოგრაფია და სხვ.

ასტრონომია არის დაკვირვებითი მეცნიერება. მას არ შეუშლია მოაწყოს ცდები, როგორც ფიზიკას და ქიმიას, არამედ აკვირდება იმას რაც არის სინამდვილეში. დაკვირვებათა საფუძველზე გამოიყვანება შეათფერი დასკვნები. ზოგიერთი საკითხი მოითხოვს ძლიერ ხანგრძლივ დაკვირვებას—ათეულ და ასეულ წლებსაც კი, და ისინი სრულდება სხვადასხვა ეპოქის ასტრონომთა მიერ. ამრიგად, პრაქტიკიდან მივდივართ თეორიისაკენ. მაგრამ დამოკიდებულება არის შებრუნებითიც; რომ ავირჩიოთ დაკვირვების ობიექტი საჭიროა წინასწარი თეორიული მოსაზრება. ხშირად რაიმე საკითხის გადაწყვეტისათვის საერთაშორისო

¹ საკავშირო კომუნისტური პარტიის (ბოლშევიკების) ისტორია. მოკლე კურსი 1952 წ., გვ. 137.

პროგრამაც სდგება და მას ინაწილებს ობსერვატორიები, რომლებიც გაფანტულია დედამიწის სხვადასხვა კუთხეში. თეორიისა და პრაქტიკის ასეთი დამოკიდებულება ერთადერთი სწორი მეთოდია და ის ყველაზე ფართოდაა გამოყენებული ასტრონომიაში. ასტრონომიის ეს თავისებურება კარგადაა გამოთქმული რუსი ასტრონომის ცერასკის სიტყვებით: „ასტრონომია ცოცხლობს წარსულით და მუშაობს მომავალისთვის“.

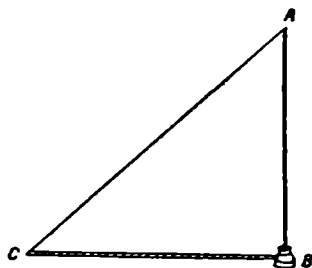
ასტრონომიული დაკვირვება არ წარმოადგენს ციურ სხეულთა სახალისო დათვლიერებას ტელესკოპის საშუალებით. უფრო ხშირად მოითხოვება მნათობის მიმართულების კუთხეების განსაზღვრა. უშუალოდ თვალთ დაკვირვების გარდა, ბოლო დროს, გამოყენებულია ფოტოგრაფირება, ფოტოელემენტი, ელექტრო ოპტიკური გარდამქმნელი, ტერმოელემენტი და სხვა. დაკვირვების დამუშავება მოითხოვს გაცილებით მეტ დროს. დამუშავებისათვის გამოყენებულია მათემატიკური და ფიზიკური მეთოდები.

§ 2. მნათობთა ზოგადი დათვალიერება

ა) მზის ხილული მოძრაობა

დილით ცაზე მზე ამოდის. იგი სხვადასხვა დღეს სხვადასხვა სიდიდის რკალებს აღწერს. ძველად, მზის სიმაღლეს ზომავდნენ გნომონის საშუალებით, რომელიც წარმოადგენს პორიზონტულ ნიადაგზე ვერტიკალურად დასობილ ჯოხს. პატარა გნომონი შეიძლება გავაკეთოთ ფანქარისა და ძაფის კოკისაგან. გავკრათ კოკი შუაზე განივად და გადანაკერში ჩავასოთ ფანქარი. ის უნდა დაიდგას პორიზონტულ ფიცარზე მზეში. როცა გნომონის ჯოხს მზე ანათებს, ის გაიჩენს ჩრდილს. ჯოხის AB სიგრძე წინასწარ იციან, ჩრდილის BC სიგრძეს (ნახ. 1) გაზომავენ და მზის სიმაღლეს ანუ $\angle ACB$ კუთხეს გამოითვლიან ფორმულით:

$$\operatorname{tg} \angle ACB = \frac{AB}{BC}$$

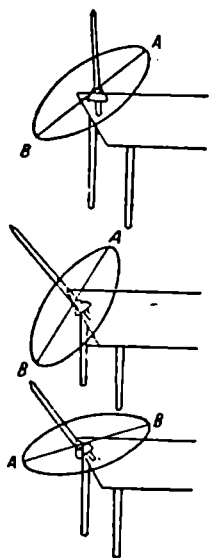


ნახ. 1.
პატარა გნომონი.

თუ ასეთ გაზომვებს ჩავატარებთ შუადღეზე, როცა ჩრდილს უმოკლესი სიგრძე აქვს, ვნახავთ, რომ მზის სიმაღლე იცვლება; ზაფხულში 22 ივნისის ის თითქმის 47° -ით მეტია, ვიდრე ზამთარში 22 დეკემბერს. ასეთი საშუალო დაკვირვებით და აგრეთვე ღამით ვარსკვლავებზე დაკვირვებით უძველეს დროში (ჯერ კიდევ XX ს.

ჩვენს წელთაღრიცხვამდე), გამოარკვეის რომ მზე იმყოფება მუდამ ერთ სიბრტყეში. ამ სიბრტყეს ეკლიპტიკის სიბრტყე ეწოდება.

ერთი შეხედვით გაუგებარია—როგორ არის რომ მზე სხვადასხვა სიმაღლეზე მოძრაობს და მაინც ერთ სიბრტყეში იმყოფება. ამის გასარკვევად მივმართოთ ისევ პატარა გნომონს, რომელშიც ახლა ფანქარი ფუძესქვევითაც გავატაროთ და წვერი წაუთალოთ. ფანქარზე ზევიდან ჩამოვაგოთ მუყაოს წრე ისე რომ მისი სიბრტყე ეხებოდეს კოკის ფუძის დაქანებულ ზედაპირს. ფანქრის ქვევითა წვერი დავაყრდნოთ მაგიდაზე და თვით ფანქარი გადავხაროთ ისე რომ პორიზონტულ სიბრტყესთან (ანუ მაგიდის სიბრტყესთან) ადგენდეს 42° -იან კუთხეს. თუ ახლა ფანქარს ვაბრუნებთ, ვნახავთ რომ მუყაოს სიბრტყე პორიზონტის სიბრტყესთან სხვადასხვა კუთხეს ადგენს (ნახ. 2).



მზე იმყოფება რა მუდამ ჩვენი მუყაოს მსგავს სიბრტყეში (ეკლიპტიკის სიბრტყეში), შემოვიღის მას ერთი წლის განმავლობაში; ამავე დროს აღნიშნული სიბრტყე დღეღამეში ერთხელ ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დისავლეთით. როცა მზე უმაღლესს *A* წერტილშია, — მაშინ ის მაღალზე მოძრაობს, ხოლო როცა *B* წერტილშია — დაბალზე.

ბ) ვარსკვლავები

ნახ. 2.
მზის ხილული მოძრაობის
ახსნა.

მზის ჩასვლის შემდეგ ცაზე თანდათან ჩნდება ვარსკვლავები. ცხადია, ისინი დღისითაც იყვნენ ცაზე, მაგრამ არ ჩანდნენ მზის სინათლეში. 1—2 საათის დაკვირვებით შეიძლება შევამჩნიოთ, რომ ვარსკვლავები ცის თაღზე გადაინაცვლებენ; მაგრამ გადანაცვლება ისე წარმოებს, რომ მანძილები მათ შორის უცვლელი რჩება. ამიტომ იბადება შთაბეჭდილება, რომ ისინი ჯგუფ-ჯგუფად მოძრაობენ. დაკვირვების ჩასაწერად ხელსაყრელი აღმოჩნდა, რომ ეს ჯგუფები რაიმე ერთი სახელით მოხსენებულიყო (რატომ დაარქვეს ესა თუ ის სახელი ჩვენთვის ახლა გაუგებარია). ასეთ სახელიან ვარსკვლავთა ჯგუფს, ცის გარკვეულ არეზე ეწოდება თანავარსკვლავედი.

სიკაშკაშის მიხედვით ხილული ვარსკვლავები დაყოფილია ექვს კლასად. უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებს ეწოდება პირველი სიდიდის ვარსკვლავები, ყველაზე სუსტებს, რომელსაც ამჩნევს იდამიანის თვალი, მეექვსე სიდიდის. მათ შორის თანაბარ შუალედით არის მეორე, მესამე, მეოთხე და მეხუთე სიდიდის ვარსკვლავები. უმეტეს ვარსკვლავს აქვს წილადი

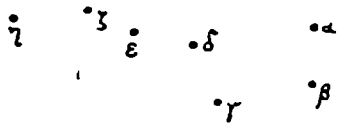
სიდიდე. თითოეული თანავარსკვლავედის უფრო კაშკაშა ვარსკვლავები აღინიშნება ბერძნული ანბნებით, ანბანის რიგზე (ბერძნული ანბანის პირველი შვიდი ასოა: α —ალფა, β —ბეტა, γ —გამა, δ —დელტა, ϵ —ეპსილონ, ζ —ძეტა, η —ეტა). ზოგს აქვს აგრეთვე საკუთარი სახელი.

მთელი ცის სფერო ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით დღე-ღამეში ერთხელ (სინამდვილეში ბრუნავს დედამიწა საწინააღმდეგო მიმართულებით). ბრუნვის ლერძი წარმოადგენს დედამიწის ლერძის გაგრძელებას. ლერძის გადაკვეთას ცის სფეროსთან ეწოდება სამყაროს პოლუსები. პოლუსებიდან თანაბრად დაშორებულ დიდ წრეხაზს (იხ. § 3), ეწოდება ცის ეკვატორი; იგი წარმოადგენს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთას ცის სფეროზე. პოლუსები უძრავია. ჩვენში ჩანს ჩრდილოეთის პოლუსი; ხოლო სამხრეთის პოლუსი პორიზონტს ქვევით იმყოფება. ეკლიპტიკის წრე თითქოს ჩაქედილია ცის სფეროში და მასთან ერთად მონაწილეობს დღელმეურ ბრუნვაში. ცის სფეროს ხილული ბრუნვის გამო ვარსკვლავები დღელამის განმავლობაში აღწერენ წრეხაზებს. რაც უფრო ახლოსაა ვარსკვლავი პოლუსთან იმდენად პატარა წრეხაზს აღწერს და რაც შორსაა იმდენად დიდს. ყველაზე დიდ წრეხაზს კი აღწერს ცის ეკვატორზე მყოფი ვარსკვლავები, — თვით ცის ეკვატორს.

ც) პოლუსის მიდამო

პოლუსის მიდამოს ვუწოდებთ იმ არეს, რომელიც ჩრდილოეთის პოლუსიდან რკალური რადიუსით 40° -ის ფარგლებში იმყოფება. ამ არეში მოთავსებული ვარსკვლავები და თანავარსკვლავედები მუდამ პორიზონტს ზევით არის ჩვენს განედზე და მათი დანახვა ყოველ ღამით შეიძლება თუ ცა მოწმენდილია. ცის ამ არეში იმყოფება: დიდი დათვის, პატარა დათვის, კასიოპეას, გველეშაპის ცეფეისა და ჯირაფის თანავარსკვლავედები.

დიდი დათვის თანავარსკვლავედის დამახასიათებელი ფიგურა შედგება შვიდი ვარსკვლავისგან. ოთხი მათგანი შეადგენს სწორკუთხედისგან ოდნავ განსხვავებულ ტრაპეციას; სამი კი ჰქმნის ტეხილ ხაზს. მთელი ფიგურა მოგვაგონებს დიდ კოვზს მოღუნული ტარით. ეს ვარსკვლავები თითქმის ყველა მეორე სიდიდისაა; ისინი აღინიშნება ბერძნული ანბანის პირველი შვიდი ასოთი თანმიმდევრობით კოვზის წვეროდან სახელურისაკენ (ნახ. 3).



ნახ. 3.
დიდი დათვი.

α -დან β -მდე არის 5 გრადუსი. ამ მანძილის გაგრძელება ხუთჯერ β დან α -სკენ მიგვიყვანს პოლარულ ვარსკვლავთან, რომელიც აგრეთვე

მეორე სიდიდისაა. დიდი დათვი ყოველთვის ჩრდილოეთის მხარეს უნდა ვეძებოთ. შემოდგომის საღამო ხანს იგი არის ჰორიზონტთან ახლოს კუდით დასაველეთისაკენ. ზამთრის საღამოს ვერტიკალურ მდებარეობაში კუდით ქვევით. გაზაფხულის საღამოს პოლუსს ზევით ჰორიზონტულ მდებარეობაში კუდით აღმოსაველეთისაკენ, ხოლო ზაფხულის საღამოს ვერტიკალურ მდებარეობაში კუდით ზევით.

პატარა დათვის თანავარსკვლავედი იწყება

ა პოლარული ვარსკვლავიდან, რომელიც წარმოადგენს მის ა-ს. მისი დამახასიათებელი ფიგურა ჰგავს დიდი დათვისას, მხოლოდ უფრო პატარაა და სახელური (ან კუდი) გადახრილი აქვს მეორე მხარეს (ნახ. 4). პოლარული ანუ α ვარსკვლავი და ორი ბოლო ვარსკვლავი მეორე სიდიდისაა, დანარჩენი კი უფრო სუსტია სამიდან-ოთხ სიდიდემდე.

რ
ბ

ნახ. 4.
პატარა დათვი

დიდი დათვის ბ-დან თუ გავატარებთ პოლუსზე ხაზს და იმდენივეთი გავაგრძელებთ, მივალთ კასიოპეას ვარსკვლავებთან. მისი ხუთი ვარსკვლავი მოგვაგონებს გაშლილ და დიდი დათვისკენ მობრუნებულ IV-ასოს. ისინი მეორე სიდიდისაა (ნახ. 5). გველეშაპის ანუ დრაკონის თანავარსკვლავედი იწყება დიდ დათვს და პატარა დათვს შორის. მისი α იმყოფება დიდი დათვის εღ-სა და პატარა დათვის β-ს შუაგზაზე. აქედან იწყება მესამე და მეოთხე სიდიდის ვარსკვლავებისგან შედგენილი კლაკნილი ხაზი, რომელიც ეხვევა პატარა დათვის თანავარსკვლავებს. შემდეგ ეს კლაკნილი უხვევს პოლუსის საწინააღმდეგო მხარეს და თავდება ოთხკუთხედი, რომელსაც დრაკონის (ან გველეშაპის) ოთხკუთხედი ეწოდება.

ა
ბ
გ
დ
ე
ვ
ზ
თ

ნახ. 5.
კასიოპეა.

პატარა დათვის, გველეშაპის და კასიოპეას თანავარსკვლავებს შორის არის ცუფეის თანავარსკვლავი; მასში არის რამდენიმე მესამე სიდიდის ვარსკვლავი. ჟირაფის თანავარსკვლავი იმყოფება გველეშაპის მეორე მხარეს პოლუსს იქით; იგი სუსტი ვარსკვლავებისაგან შედგება.

დ) შემოდგომის თანავარსკვლავები

შემოდგომის თანავარსკვლავებს პირობით ვუწოდებთ ისეთებს, რომლებიც შემოდგომის საღამო ხანს ცის თალის აღმოსაველეთ მხარეს იმყოფება. ამ ჯგუფში შედის: მერანი ანუ პეგასი, ანდრომედა, პერსეი, ვერძი, თევზები და სხვა.

მერანის მისაგნებად პოლარული ვარსკვლავიდან უნდა გავიყვანოთ ხაზი კასიოპეამდე და გავაგრძელოთ იმდენივე მანძილით. ის მიგვიყვანს

მეორე სიდიდის ვარსკვლავებისაგან შედგენილ ოთხკუთხედთან (ის დიდი დათვის ოთხკუთხედზე უფრო დიდია), რომელსაც მერანის კვადრატი ეწოდება. ამათგან პირველად შეხვედრილი ვარსკვლავი ეკუთვნის ანდრომედას თანავარსკვლავებს.

ანდრომედას მთავარი ვარსკვლავები დალაგებულია მერანის კვადრატის დიაგონალზე—კასიოპეასკენ. ამათგან ერთი α , კვადრატის წვეროა, ხოლო ორი ისეთივე სიკაშკაშის ვარსკვლავი β და γ თანაბრად დაშორებული. α -სა და β -ს შორის არის δ , რომელიც უფრო სუსტია.

პერსეის თანავარსკვლავების ვარსკვლავები დალაგებულია რკალზე, რომელიც გამოდის β , γ , δ კასიოპეადან.

ამ ვარსკვლავების გაგრძელებაზე არის „კრებული“ ანუ „ხომლი“ (პლედები), წვრილ ვარსკვლავთა შეჯგუფება. პერსეის β რკალზე არ არის, არამედ უფრო ანდრომედასკენ იმყოფება; იგი ცვალებადი ვარსკვლავია. პერსეის α მეორე სიდიდეზე უფრო კაშკაშაა (ნახ. 6).

ვერძის თანავარსკვლავები იმყოფება ანდრომედას ქვევით (აღმოსავლეთით), მას პატარა უწესო სამკუთხედის ფორმა აქვს, რომელშიც ერთი α -ვერძი, —მეორე სიდიდისაა. ვერძის ზევით იმყოფება სამკუთხედის თანავარსკვლავები. შემოდგომის თანავარსკვლავებში შედის კიდევ მეჩუქული, ვეშაპი და სხვა.

ე). ზამთრის თანავარსკვლავებები

ზამთრის თანავარსკვლავებებს პირობით ეწოდებთ ისეთებს, რომლებიც ზამთრის საღამო ხანს ცის თალის აღმოსავლეთ მხარეს იმყოფება.

ამ ჯგუფში შედის: მეეტლე (მეურმე), კურო, ორიონი, დიდი ძაღლი, პატარა ძაღლი, მარჩბივი (ანუ ტყუპი) და სხვა.

მეეტლესთან მიგვიყვანს დიდი დათვის δ -დან გატარებული ხაზი ხუთჯერ რომ გავაგრძელოთ. მას აქვს ხუთკუთხედის ფორმა. უფრო კაშკაშა არის მეეტლეს α და ეწოდება კაპელა (ნახ. 7). ამის მოპირდაპირე კაშკაშა ვარსკვლავი კუროს ეკუთვნის.

ორიონს აქვს „იქსის“ (X-ის) ფორმა.

მასთან მიგვიყვანს კაპელაზე (α მეეტლეზე) და მის მოპირდაპირე კაშკაშა ვარსკვლავზე გატარებული ხაზი. შუაში სამი ვარსკვლავი (ერთ ხაზზე) ადგენს ორიონის მსარტყელს. ზევით კაშკაშა ვარსკვლავია α ორიონ-

ნახ. 7.

მეეტლე.

ნახ. 6.

პერსეი და კრებული.

ნი ანუ ბეტელჰეიმე, ქვევით არის β ორიონი ანუ რიგელი. ორიონი ყველაზე თვალსაჩინო თანავარსკვლავედია (ნახ. 8).



ნახ. 8.

კუროს თანავარსკვლავედი იმყოფება ორიონისა და მეთელეს თანავარსკვლავედებს შორის. მის α -სთან შექმნილია V -ს მსგავსი ფიგურა. კუროს თანავარსკვლავედში შედის აგრეთვე კრებული (პლეადები).

დიდი ძაღლის α იმყოფება ორიონის სარტყელის გაგრძელებაზე სამხრეთით. იგი ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავია მთელ ცაზე და ეწოდება სირიუსი.

მარჩბივი (ტყუპი) იმყოფება მეთელეს $\alpha\beta$ ხაზის მახლობლად. მისი ორი ვარსკვლავი ერთნაირი სიკაშკაშისაა.

პატარა ძაღლი იმყოფება მარჩბივის სამხრეთ-აღმოსავლეთით. მისი ორი კაშკაშა ვარსკვლავიდან ერთი პირველი სიდიდისაა.

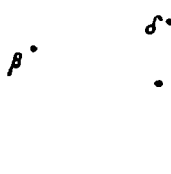
მარჩბივთან არის კირჩხიბის (კიბოს) თანავარსკვლავედი; იგი ვარსკვლავებით ღარიბია.

ორიონის სამხრეთით არის კურდღლის თანავარსკვლავედი.

f) გაზაფხულის თანავარსკვლავედები

გაზაფხულის თანავარსკვლავედებს ეკუთვნის: ლომის, მენახირის, ჩრდილოეთის გვირგვინის, ქალწულის, სასწორისა და ღრიანკალის თანავარსკვლავედები.

ლომის თანავარსკვლავედთან მიგვიყვანს დიდი დათვის α -ს გაგრძე-



ნახ. 9. ლომი.



ნახ. 10. ღრიანკალი.

ლება ხუთჯერ პოლუსის საწინააღმდეგო მხარეს. იგი სკრის ლომის ტრაპეციას, რომელიც შედგება მისი α , γ , δ , β ვარსკვლავებისაგან (ნახ. 9). α პირველი სიდიდისაა და ეწოდება რეგული.

მენახირე იმყოფება დიდი დათვის კულისაკენ. ამ კულის რკალურად გაგრძელება ხვდება პირველი სიდიდის ვარსკვლავს არკტურს ანუ მენახირის α -ს. სხვა ვარსკვლავები დიდი დათვისკენაა.

ჩრდილოეთის გვირგვინს აქვს ნახევარი წრის ფორმა და იმყოფება მენახირესთან, ა-ს ზევით. მისი შუა ვარსკვლავი უფრო კაშკაშაა.

ქალწულის თანავარსკვლავედი იმყოფება მენახირის ვარსკვლავების გაგრძელებისა და ლომის ვარსკვლავების გაგრძელების მახლობლად. აქ თვალსაჩინოა ქალწულის α ანუ სპიკა.

სასწორი არის ქალწულის აღმოსავლეთით და ხასიათდება ორი მეორე სიდიდის ვარსკვლავისაგან.

ღრიანკალის თანავარსკვლავედი არის სასწორზე უფრო აღმოსავლეთით (ნახ. 10). ის ჰორიზონტთან ახლოს მოძრაობს და კარგად ჩანს, როცა ცის სამხრეთ ნაწილს მიაღწევს. მისი ვარსკვლავები განლაგებულია ორ რკალზე; მათში უფრო ქვევითაზე არის პირველი სიდიდის ვარსკვლავი ანტარესი ანუ ღრიანკალის α.

გ) ზაფხულის თანავარსკვლავედები

ზაფხულის თანავარსკვლავედებს ეკუთვნის: ქნარის, გედის, არწივის, ჰერკულესის, გველმჭერის, შვილდოსანისა და სხვა თანავარსკვლავედები.

ქნარის α, რომელსაც ვეგა ეწოდება, პირველ სიდიდეზე უფრო კაშკაშაა. ის იმყოფება გველშაპის ოთხკუთხედის მახლობლად. ქნარის დანარჩენი ვარსკვლავებიდან ოთხი ჰქმნის მოგრძო ოთხკუთხედს.

გედის თანავარსკვლავედი იმყოფება ქნარიდან უფრო აღმოსავლეთით. მას ჯვარის ფორმა აქვს და იმყოფება რძის გზაში (ნახ. 11). მის α-ს ჰქვია დენები.

არწივის თანავარსკვლავედი იმყოფება გველის ვარსკვლავების გაგრძელებაზე, რძის გზაში, უფრო სამხრეთ-აღმოსავლეთით. მისი α-ს ანუ ალტაირის ორივე მხარეს თანაბარ მანძილზე იმყოფება ორი უფრო სუსტი ვარსკვლავი.

ჰერკულესის თანავარსკვლავედი მოთავსებულია ქნარისა და მენახირის თანავარსკვლავედებს შორის და ვრცელდება სამხრეთისაკენ.

ნახ. 11. გედი.

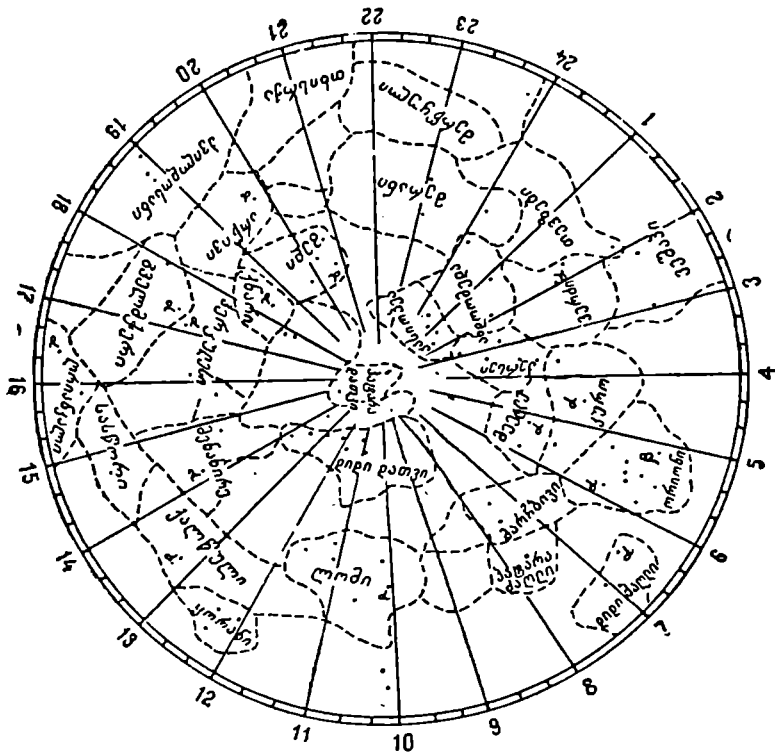
გველმჭერი იმყოფება ჰერკულესსა და ღრიანკალს შორის. შვილდოსანის თანავარსკვლავედი იმყოფება რძის გზაში, არწივის თანავარსკვლავედიდან სამხრეთისაკენ; იგი კაშკაშა ვარსკვლავებისაგან შედგება¹.

¹ უფრო დაწვრილებით თანავარსკვლავედების შესახებ იხ. მ. იმნაძის „თანავარსკვლავედები“, 1952 წ. აგრეთვე ნახეთ ჩრდილო ნახევარსფეროს ვარსკვლავური რუკა წიგნის ბოლოში.

h) ცის სურათები სხვადასხვა დროს

ჩვენ გავეცანით თუ რომელი თანავარსკვლავედები ჩანს საღამო ხანს წლის შესაფერ სეზონზე, ცის თალის აღმოსაყლეთ მხარეს. ღამით ეს ვარსკვლავეები თანღათან ზემოთ ადიან, შუალამეზე იქნებიან სამხრეთით ან ზემოთ უმალღეს შესაძღლებელ მღებარეობაში, ხოლო გათენებისას იქნებიან დასაყლეთით.

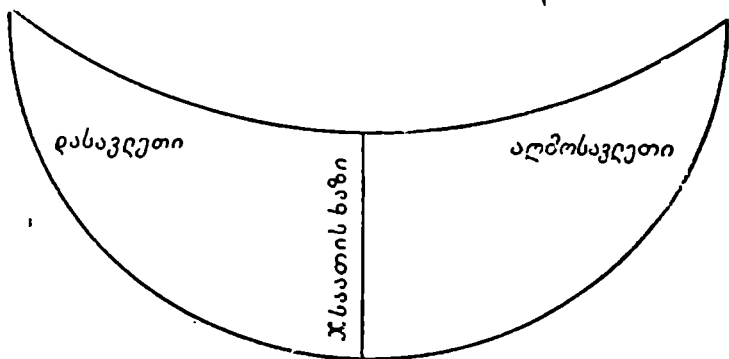
იმის გასაგებად, თუ მოცემულ მომენტში რომელი თანავარსკვლავედია ცის თალზე და მას დაახლოებით რა მღებარეობა აქვს, უნდა გამოვიყენოთ აქ მოყვანილი ჩრდილო ნახევარსფეროს სქემატური რუკა.



ნახ. 12. სქემატური რუკა.

მასზე აღნიშნულია ისეთი თანავარსკვლავედები, რომლებიც ჩვენს განედზე ამოდიან ან ჩადიან, ან მუღამ ჩაუვალაია. მაგრამ აქ ყველა თანავარსკვლავედი არ არის აღნიშნული და ვარსკვლავეთა რიცხვიც მცირეა;— ამიტომ ვუწოდებთ მას სქემატურს. რუკაზე აღნიშნულ სწორ ხაზებს, რომლებიც პოლუსში იკვეთება, ვუწოდებთ სასაათო ხაზებს.

რუკის ცენტრალური ნაწილი ანუ პოლუსის მიდამო ყოველთვის ჩანს, მაგრამ მოცემულ მომენტში დაფარულია რუკის რომელიმე კიდე. დაფარული ნაწილის სიდიდე და ფორმა მოცემულია 13 ნახაზზე აღნიშნული სქემით. პირობით ამ სქემას ვუწოდოთ „ფარი“. რუკაზე ფარის დასადგებად უნდა ჩავატაროთ ასეთი ანგარიში: 21 მარტიდან რამდენი



ნახ. 13. „ფარი“.

თვეც არის გასული, იმდენი 2 საათი უნდა ავიღოთ, ხოლო ნახევარ თვეზე ერთი საათი. საღამოს საათებისათვის ამას უნდა გამოვაკლოთ იმდენი საათი, რამდენიც არის დარჩენილი შუალამემდე (ე.ი. ღამის პირველ საათამდე), ხოლო ნაშუალამევისათვის უნდა მიუმატოთ იმდენი საათი, რამდენიც გავიდა შუალამიდან. ამას ვუწოდოთ X საათი; თუ ის უარყოფითი გამოდის, უნდა დაუმატოთ 24 საათი როგორც პერიოდი, ხოლო თუ მეტია 24-ზე, უნდა გამოვაკლოთ 24 საათი. რუკაზე X-ის ტოლი სასაათო ხაზი მოცემულ მომენტში ჩრდილოეთით არის.

ამის შემდეგ ფარი უნდა დავადოთ სქემატურ რუკაზე, ისე რომ მასზე აღნიშნული X საათის ხაზი დაემთხვას X-ის სასაათო ხაზს, ხოლო გარე წრეხაზი რუკის წრეხაზს. X საათის ხაზის პირდაპირ მდებარე ვარსკვლავები, რომლებიც ჩრდილოეთის პოლუსიდან სამხრეთით არის— იმყოფება უმაღლესს შესაძლო მდებარეობაში; ფარის დასაყლეთის წარწერისაკენ თანავარსკვლავედები ჩადიან, ხოლო აღმოსავლეთით მდებარე თანავარსკვლავედები ახალ ამოსულაია.

სხვა დღეებისთვის დაახლოებითი ანგარიში უნდა მოვახდინოთ, რისთვისაც ყოველ დღეზე უნდა ავიღოთ 4 წუთი. სასაათო ხაზებს შორის რუკის გარე წრეზე სამი დანაყოფია; თითოეული უდრის 20 წუთს და ხუთ დღეს შეესაბამება. ავიღოთ მაგალითი: ვთქვათ, გვინდა გავიგოთ ვარსკვლავთა მდებარეობა ახალი წლის დაწყების მომენტში (ე. ი 31 დეკემბრის შუალამეზე). 21 მარტიდან გავიდა 9 თვე და 10 დღე, ამიტომ $X = 18$ საათს და 40 წუთს. მაშ ფარი უნდა დავადოთ ისე, რომ X საათის ხაზი გადიოდეს 18-სა და 19-ს შორის, 18- დან ორ დანაყოფზე.

წიგნის ბოლოში დანართის სახით მოთავსებულია სქემატური რუკა და ფარი. რუკა უნდა დაიკრას მუყაოზე ან წიგნის ყდაზე და ფარიც უნდა გაკეთდეს მუყაოსაგან სქემის მიხედვით.

2) მთვარე და ცთომილები (პლანეტები)

მთვარე ჩვენ სხვადასხვა ფორმით გვეჩვენება. პირველად ის დასავლეთის მხარეს გამოჩნდება, საღამო ხანს, ნამგალის სახით. ამას ვუწოდებთ ახალ მთვარეს. შემდეგ ის თანდათან იზრდება და თხუთმეტ დღეში სრულ მთვარედ გადაიქცევა. ეს არის ბადრობა ანუ სავსე მთვარობა. შემდეგ თანდათან იწყებს დაცხრომას და ბოლოს სავსეობით უჩინარდება.

ახალი და ხვევ მთვარის ცხრილი

წელი	იანვარი		თებერვალი		მარტი		აპრილი		მაისი		ივნისი		ივლისი		აგვისტო		სექტემბერი		ოქტომბერი		ნოემბერი		დეკემბერი	
	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე	ახალი	სავსე
1954	5	20	3	18	5	19	3	18	2	17	1	16	1	15	28	13	12	26	11	25	10	24	9	23
1955	23	9	22	7	23	8	21	7	21	6	19	5	19	4	17	3	16	1	15	30	14	29	13	29
1956	12	27	11	26	12	27	10	25	10	25	8	23	8	23	6	21	5	20	4	19	3	18	3	18
1957	2	16	15	2	16	14	14	14	14	12	12	12	12	10	10	9	9	8	8	7	7	21	7	7
1958	31	16	15	2	16	14	14	14	14	12	12	12	12	10	10	9	9	8	8	7	7	21	7	7
1958	20	6	18	4	20	5	18	4	18	3	2	16	16	14	29	12	28	12	27	11	26	10	25	25
1959	9	24	8	22	9	24	7	22	7	22	5	20	5	20	3	18	2	17	2	16	15	30	14	14
1960	28	13	27	12	28	13	26	11	26	11	9	24	9	22	7	20	6	20	5	19	4	18	4	4

მზეს, მთვარეს და ვარსკვლავებს გარდა ცაზე უბრალო თვალთ ჩანს ხუთი ცთომილი, ანუ პლანეტა. ესენია: მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი ან ძველი ქართულით: ოტარიდი, ასპიროზი, მარიხი, მუშთარი და ზუალი. ცთომილები უძრავად კი არ არის ცის სფეროზე, როგორც ვარსკვლავები, არამედ გადაადგილდება უმთავრესად დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, მაგრამ ზოგჯერ უკუსვლითი მოძრაობაც ახასიათებთ. მზე, მთვარე და ეს ხუთი ცთომილი ძველი ხალხების მიერ გაღმერთებული იყო. კვირის დღეებიც ამ შვიდი მნათობის სახელს.

ატარებდა, რაც ახლაც არის შერჩენილი ზოგ ენაში. მაგალითად, გერმანულში, ფრანგულში, ინგლისურში, აგრეთვე მეგრულშიც. გერმანულად Sonntag არის მზის დღე—კვირა, Montag—მთვარის დღე—ორშაბათი. მეგრულად, ქაშხა არის მზის დღე—კვირა, თუთაშხა—მთვარის დღე, ორშაბათი.

მარსი მიჩნეული იყო ომის ღმერთად თავისი წითელი ფერის გამო. სატურნი—ავადმყოფობისა და დარდიანობის ღმერთად; ვენერა—სილამაზის ღმერთად და სხვა.

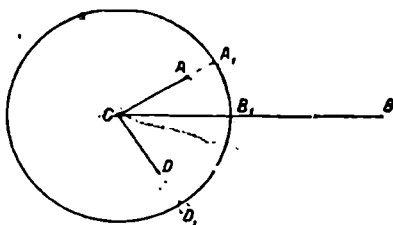
§ 8. სფეროს ზოგიერთი თვისება

ა) სფეროს კვეთა წრფით და სიბრტყით. სფერული სამკუთხედო

ასტრონომიაში სფეროს დიდი გამოყენება აქვს, ვინაიდან როგორც დედამიწა, ისე ცის ხილული ხედიც სფეროსებურია. სფერო ყველაზე მეტად სიმეტრიული სხეულია.

სფეროს თუ გავკვეთავთ სწორი ხაზით, სფეროს ზედაპირზე მივიღებთ ორ წერტილს, რომელიც ამ სწორის მონაკვეთის თავსა და ბოლოებს წარმოადგენს. თუ ეს სწორი გადის ცენტრში, მაშინ წერტილები დიამეტრულად მოპირდაპირეა. ამიტომ ვამბობთ, სწორი ხაზის გვეგმილი (ანუ პროექცია) სფეროზე არის წერტილი. შემდეგში ვიგულისხმებთ, რომ სწორი ხაზი იწყება სფეროს ცენტრიდან.

ვარსკვლავები ჩვენ გვეჩვენება ერთ სფეროზე მდებარეთ. სინამდვილეში მყარი ცის სფერო არ არსებობს და ვარსკვლავებიც სხვადასხვა მანძილზე იმყოფება, მაგრამ ჩვენი თვალი მათ აგვეგმილებს რაღაც საშუალო სფეროზე, ხედვის ხაზის გასწვრივ (ნახ. 14).



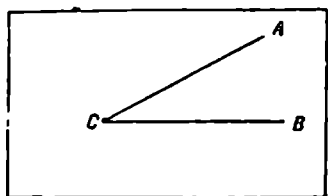
ნახ. 14.

A, B, D დაგვეგმილებს. სფეროზე შესაბამისად A_1, B_1, D_1 წერტილებში.

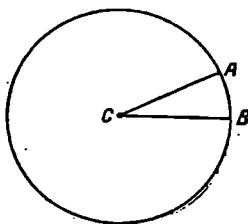
თუ სფეროს გავკვეთავთ სიბრტყით, სფეროს ზედაპირზე მივიღებთ წრეხაზს. რაც უფრო ახლო გადის სიბრტყე ცენტრთან, იმდენად წრეხაზი უფრო დიდია. თვით ცენტრში გატარებული სიბრტყე გვაძლევს სფეროზე უდიდეს წრეხაზს და მას დიდი წრეხაზი ეწოდება.

ჩვეულებრივი ბრტყელი კუთხე შედგება ორი სწორი ხაზისაგან, რომელიც ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (ნახ. 15a). სფეროზე რომ ბრტყელი კუთხის გვეგმილი მივიღოთ, სფეროს ცენტრიდან უნდა გავატაროთ მისი გვერდების პარალელური ხაზები. ისინი სფეროზე მოგვეცემს ორ წერტილს. თუ წარმოვიდგენთ, რომ ამ ხაზებზე გატარებულია სიბრტყე, იგი კუთხის სიბრტყის პარალელური იქნება და სფეროზე მოგვეცემს

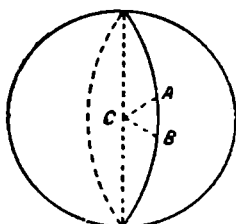
დიდი წრის რკალს. 15b ნახაზზე კუთხის სიბრტყე თვით ნახაზის სიბრტყეშია. სფერო რომ მოვაბრუნოთ ჩვენსკენ, იმავე კუთხეს ექნება 15c ნახაზის სახე. აქ ნახევარი წრეხაზი ჩვენსკენ არის მობრუნებული, ხოლო ნახევარი ქალაღდის სიბრტყის უკან იგულისხმება და პუნქტირითაა აღნიშნული. C კუთხე როგორც ცენტრალური კუთხე იზომება შესაბამის რკალით, რაც არის AB. ამიტომ ვამბობთ, ბრტყელი კუთხის გეგმილი სფეროზე არის დიდი წრის რკალი.



ნახ. 15ა.

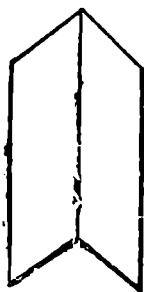


ნახ. 15ბ.

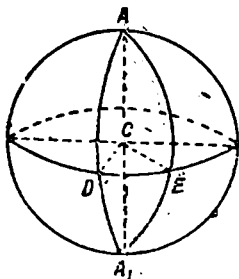


ნახ. 15ც.

ორწახნაგა კუთხე შედგება ორი სიბრტყისაგან. თითოეული სიბრტყის პარალელურს თუ გავატარებთ სფეროს ცენტრზე, ისინი მოგვცემს ორ დიდ წრეს, რომლებიც გადიკვეთებიან ერთ დიამეტრზე. სფეროს შიგნით (ნახ. 16b) შექმნილია ისეთივე ორწახნაგა კუთხე, როგორიც



ნახ. 16ა.



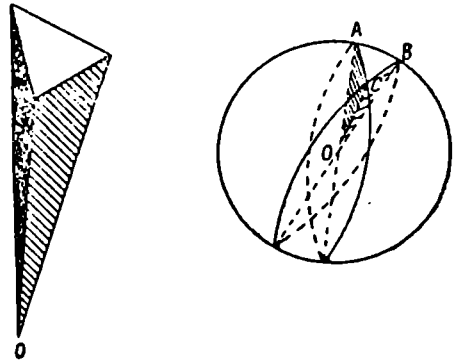
ნახ. 16ბ.

გვაქვს აღებული 16a ნახაზზე. სფეროზე ის ამოკვეთილია ორი დიდი წრის რკალით, რომლებიც ერთმანეთს კვეთენ A და A₁ წერტილებში (როგორც საზამთროს ამონაჭერი). სფეროს ზედაპირზე ეს ორწახნაგა კუთხე ხასიათდება A და A₁ წერტილებთან შედგენილი „მრუდე“ კუთხით, რომელსაც სფერული კუთხე ეწოდება.

იგი შედგენილია დიდი წრის რკალებით. მაშ ორწახნაგა კუთხე სფეროზე გვაძლევს სფერულ კუთხეს. C წერტილში რომ AA₁ სწორის მართობი სიბრტყე გავატაროთ, მივიღებთ DCE ბრტყელ კუთხეს, რომელიც DE რკალით იზომება. A წერტილში თუ გავატარებთ მხებებს AD და AE რკალებზე, მიღებული კუთხე იქნება DCE-ს ტოლი, რადგან ეს მხებები პარალელურია CD და CE ხაზების. ამავე დროს მიღებული კუთხე A კუთხის ტოლია. ამიტომ A სფერული კუთხე იზომება დიდი წრის DE რკალით, ე. ი. გვაქვს დებულება: სფერული კუთხე იზომება

დიდი წრის რკალით, რომელიც მოქცეულია მის გვერდებს შორის და მისგან 90° -თაა დაშორებული.

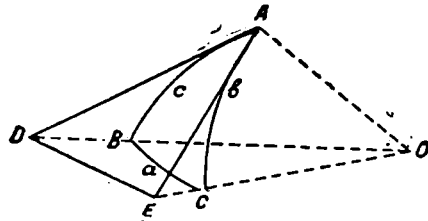
აეილოთ სხეულოვანი სამწახნაგა კუთხე. სფეროს O ცენტრიდან გავატაროთ სამივე წახნაგის პარალელური სიბრტყეები. სფეროზე ისინი მოგვცემს დიდ წრეხაზებს, რომელთა გადაკვეთა ვეაძლევს სფეროზე მდებარე სამკუთხედებს ანუ სფერულ სამკუთხედებს. სულ ამ დიდი წრის რკალებისაგან შედგენილი იქნება რვა სფერული სამკუთხედი, მაგრამ აღებულ სხეულოვან კუთხეს შეესაბამება ერთი— ABC (ნახ. 17). კუთხეები აღინიშნება დიდი ასოებით, ხოლო მათი მოპირდაპირე გვერდები შესაბამისი პატარა ასოებით. სიბრტყეზე სფერული სამკუთხედი კარგად არ იხაზება.



ნახ. 17.

სფერულ სამკუთხედში კუთხეთა ჯამი მეტია 180° -ზე და ნაკლებია 540° -ზე.

სფერულ სამკუთხედში ერთი გვერდი უფრო ნაკლებია, ვიდრე დანარჩენი ორი გვერდის ჯამი. ამ დებულების გამოყენებით შეიძლება დავამტკიცოთ შემდეგი დებულება: სფეროზე ორ წერტილს შორის უმოკლესი მანძილი არის დიდი წრის რკალი. დედამიწაზე ორ წერტილს შორის უმოკლესი მანძილი არის დიდი წრის რკალი, რომელიც გადის ამ ორ წერტილზე.



ნახ. 18.

* b) სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულები¹

აეილოთ ABC სფერული სამკუთხედი და მისი წვეროები შეუერთოთ სფეროს ცენტრს, რომლის ზედაპირზე ეს სამკუთხედი იმყოფება. შესაფერი მოპირდაპირე გვერდები აღვნიშნოთ პატარა ასოებით. A წერტილიდან გავატაროთ მხები c და b გვერდებზე და გავაგრძელოთ OB და OC რადიუსები მათ გადაკვეთამდე (c გვერდზე A წერტილში გატარებული მხები გადაკვეთს OB რადიუსს, ვინაიდან ისინი ერთ AOB

¹ გაოგრაფებს ფორმულების გამოყვანა არ მოეთხოვება, საჭირო იქნება მხოლოდ (1) ფორმულის დამახსოვრება.

სიბრტყეში იმყოფება და პარალელური არ არიან; ასევე b გვერდის მხები და OC რადიუსი). მივიღებთ რამდენიმე სწორხაზოვან სამკუთხედს. A წერტილთან გვაქვს ორი მართკუთხა სამკუთხედი OAE და OAD , რადგან მხები მართობია რადიუსის. ამ სამკუთხედებიდან შეიძლება დაიწეროს:

$$\frac{OA}{OD} = \cos(AOD) = \cos c, \text{ რადგან } \angle AOD = c; \quad \frac{AD}{AO} = \operatorname{tg}(AOD) = \operatorname{tgc}.$$

ასევე $\frac{OA}{OE} = \cos b, \quad \frac{AE}{AO} = \operatorname{tg} b$, სადაც $OA = R$ -რადიუსია.

DOE სამკუთხედიდან გვექნება: $DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2OD \cdot OE \cos DOE$

DAE სამკუთხედიდან გვექნება: $DE^2 = DA^2 + AE^2 - 2AD \cdot AE \cos DAE$

გამოვაკლოთ ზედა ტოლობას ქვედა, მივიღებთ:

$$O = (OD^2 - AD^2) + (OE^2 - AE^2) + 2AD \cdot AE \cos DAE - 2OD \cdot OE \cos DOE$$

აქ $OD^2 - AD^2 = OA^2 = R^2$, $OE^2 - AE^2 = OA^2 = R^2$, კუთხე $DOE = a$, ხოლო კუთხე $DAE = A$; ჩავსვათ შესაფერი სიდიდეები, მივიღებთ:

$$R^2 + R^2 + 2R \operatorname{tg} c R \operatorname{tg} b \cos A - 2 \frac{R}{\cos c} \cdot \frac{R}{\cos b} \cos a = 0$$

გაეყოთ ეს $2R^2$ -ზე და გავამრავლოთ $\cos b \cos c$ -ზე, მივიღებთ კოსინუსების ფორმულას:

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

ეს არის სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ფორმულა, რაც ასე გამოითქმება: ერთი გვერდის კოსინუსი უდრის დანარჩენი გვერდების კოსინუსების ნამრავლს, პლუს იმავე გვერდების სინუსების ნამრავლი, გამრავლებული პირველი გვერდის მოპირდაპირე კუთხის კოსინუსზე.

აქედან გამოდის სხვა ფორმულები ალგებრული გარდაქმნით. განვსაზღვროთ (1) დან $\cos A$

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}, \text{ ავიყვანოთ კვადრატში და ორივე მხარე } \dots$$

გამოვაკლოთ ერთს.

$$1 - \cos^2 A = \frac{\sin^2 b \sin^2 c - \cos^2 a - \cos^2 b \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

მაგრამ $\sin^2 b \sin^2 c = (1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) = 1 - \cos^2 b - \cos^2 c + \cos^2 b \cos^2 c$; ჩავსვათ ეს მრიცხველში და გაეყოთ ორივე მხარე $\sin^2 a$ -ზე, მივიღებთ:

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c}$$

(1) ფორმულა, ცხადია, შეიძლება დაიწეროს b და c გვერდებისთვისაც¹.

¹ ასეთ შემთხვევაში გამოიყენება ე. წ. წრიული გადასმა a -ს მაგიერ b , b -ს მაგიერ c , c -ს მაგიერ a .

თუ ამ ფორმულებს მოვექცევით ისე, როგორც (1) ფორმულას,—მარჯვენა მხარეში მივიღებთ ისეთნაირ გამოსახულებას, როგორც $\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a}$ - სთვის მივიღეთ, ვინაიდან ეს მარჯვენა მხარე სავსებით სიმეტრიულია a, b, c გვერდებისათვის. ამიტომ მარცხენა მხარეებიც თანასწორი უნდა იყოს, ე. ი.

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$$

აქედან კვადრატული ფესვის ამოღებით მივიღებთ სინუსების ფორმულას:

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} \quad \text{სინუსების ფორმულა} \quad (2)$$

დავწეროთ (1) ფორმულა b გვერდისათვის

$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B,$$

ჩავსვათ აქ $\cos a$ -ს მნიშვნელობა (1) ფორმულიდან, მივიღებთ:

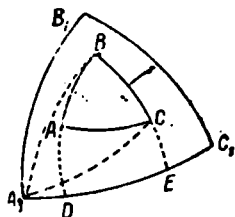
$$\cos b = \cos c (\cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A) + \sin c \sin a \cos B$$

აქედან

$$\sin c \sin a \cos B = \cos b (1 - \cos^2 c) - \cos c \sin b \sin c \cos A; \text{ აქ } 1 - \cos^2 c = \sin^2 c \text{ -ს. } \sin c \text{-ზე შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ მესამე ფორმულას}$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \quad \text{სამეორე ფორმულა} \quad (3)$$

კიდევ ორი ფორმულის გამოყენებისათვის საჭიროა ურთიერთ პოლარი სამკუთხედის ცნება. ავიღოთ სამკუთხედი ABC (ნახ. 19). გავატაროთ დიდი წრის რკალი ისე, რომ A წვეროდან დაშორებული იყოს 90° -ზე. ასევე B და C წვეროდან. მივიღებთ ახალ $A_1 B_1 C_1$ სამკუთხედს, რომლის გვერდები 90° -თაა დაშორებული პირველი სამკუთხედის კუთხეებისაგან. დავამტკიცოთ, რომ შებრუნებითაც, პირველი სამკუთხედის გვერდები 90° -თაა დაშორებული მეორე სამკუთხედის კუთხეებისაგან. B წვერტილი A_1 -დან დაშორებულია 90° -ზე, რადგან B -დან $A_1 C_1$ რკალი 90° -ზეა დაშორებული. ასევე C წვერტილი A_1 -დან დაშორებულია 90° -ზე, რადგან C -დან $A_1 B_1$ გატარებულია 90° -ზე. თუ წარმოვიდგენთ სიბრტყეს, რომელიც გადის სფეროს ცენტრში და B და C წვერტილებზე, ის სფეროზე მოგვეცემს BC დიდი წრის რკალს. BC რკალის ორი წვერტილი დაშორებულია A_1 -დან 90° -ით; —ამ შემთხვევაში BC -ს ყველა წვერტილიც დაშო-



ნახ. 19.

რებული იქნება A_1 -დან 90° -ით სამი პერპენდიკულარის თეორემით (ცენტრს თუ ავლნიშნავთ O -თი, $OA_1 \perp OB$ -ს და OC -ს). ასევე დამტკიცდება, რომ B_1 და C_1 წერტილებიდან დაშორებულია AC და AB 90° -ით. ასეთ სამკუთხედებს ეწოდება ურთიერთ პოლარი სამკუთხედები.

გავაგრძელოთ BA და BC დიდი წრის რკალები A_1C_1 გვერდის გადაკვეთამდე D და E წერტილებში.

A_1C_1 არის b_1 გვერდი; $b_1 = A_1D + DE + EC_1$; DE ზომავს B კუთხეს, რადგან მოქცეულია მის გვერდებს შორის და დაშორებულია B -დან 90° -ით. A_1E უდრის 90° -ს, რადგან BC გვერდი დაშორებულია A_1 -დან 90° -ზე; ასევე $C_1D = 90^\circ$, რადგან BA გვერდი დაშორებულია C_1 -დან 90° -ზე. ამიტომ

$$b_1 = A_1D + DE + EC_1 = (90^\circ - B) + B + (90^\circ - B)$$

საბოლოოთ $b_1 = 180^\circ - B$. ასევე სხვა გვერდებისათვის $a_1 = 180^\circ - A$ და $c_1 = 180^\circ - C$. რადგან სამკუთხედები ურთიერთ პოლარია, ნიშნაკი „1“ შეგვიძლია პირველ სამკუთხედს დაუწეროთ და მივიღებთ: $A_1 = 180^\circ - a$, $B_1 = 180^\circ - b$, $C_1 = 180^\circ - c$. ე. ი მივიღეთ დებულება: ურთიერთ პოლარ სამკუთხედებში ერთი სამკუთხედის გვერდი და მეორე სამკუთხედის შესაბამი კუთხე ერთმანეთს ავსებენ 180° -მდე.

გამოვიყენოთ ეს დებულება (1) ფორმულაზე, გვექნება:

$$\cos(180^\circ - A_1) = \cos(180^\circ - B_1) \cos(180^\circ - C_1) + \sin(180^\circ - B_1) \sin(180^\circ - C_1) \cos(180^\circ - a_1)$$

დაყვანის ფორმულების გამოყენებით და ნიშნაკების ჩამოცილების შემდეგ მივიღებთ:

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a \quad \text{კოლ-აი} \quad (4)$$

ასევე (3) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\sin A \cos b = \cos B \sin C + \sin B \cos C \cos a \quad \text{სი} \quad (5)$$

ფორმულები მარტივდება, თუ ერთ-ერთი კუთხე და გვერდი 90° -ს უდრის¹. აღნიშნავთ მხოლოდ ერთ ფორმულას. (5) ფორმულა შეიძლება ასეც დაიწეროს: $\sin B \cos a = \cos A \sin C + \sin A \cos C \cos b$ (5¹)

(2) ფორმულიდან დავწერთ: $\sin a \sin B = \sin A \sin b$ (2¹)

თუ $C = 90^\circ$ -ს, მაშინ (2¹) გაყოფილი (5¹)-ზე გვაძლევს:

$$\operatorname{tg} a = \sin b \operatorname{tg} A \quad (6)$$

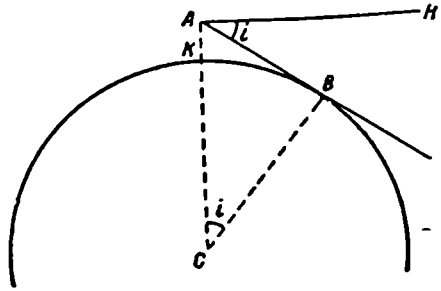
¹ უფრო დაწვრილებით ამ ფორმულების შესახებ იხ. ა. ბენაშვილის „სფერული ტრიგონომეტრია“, 1983 წ.

§ 4. ზედაპირული კოორდინატები. კუთხეების
სამგვარი ზომა

ჩა) ხილული ჰორიზონტის სიშორე და დედამიწის რადიუსი

ადამიანს შეუძლია დაინახოს ის საგნები, რომლებიც მისი თვალიდან დედამიწის ზედაპირზე გატარებული შემხების ზევით ან მანამდე იმყოფება (ნახ. 20). ნავსადგურში მყოფი დამკვირვებელი ხედავს ჯერ გემის ანძას, შემდეგ შუატანს და ბოლოს მთელ გემს. ეს არის ერთ-ერთი მოვლენა, რომელიც ამტკიცებს დედამიწის სფეროსებურობას.

თუ ჩვენი თვალი იმყოფება A წერტილში, დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე (ე. ი. $AK = h$), მაშინ მანძილს შეხების წერტილამდე, ე. ი. AB -ს ეწოდება ხილული ჰორიზონტის სიშორე; აღვნიშნოთ იგი r -ით. A წერტილის გარშემო აღწერილ წრეს ამ $r = AB$ რადიუსით ეწოდება ხილული ჰორიზონტის წრე. დედამიწის რადიუსი აღვნიშნოთ R -ით. მაშინ ABC მართკუთხა სამკუთხედიდან პითაგორის თეორემის ძალით დაიწვეწვრება:



ნახ. 20.

$$AC^2 = AB^2 + BC^2 \text{ ანუ } (R+h)^2 = R^2 + r^2$$

h^2 უმნიშვნელოა დედამიწის რადიუსთან შედარებით და შეგვიძლია უყუვაგდოთ. ამიტომ ფრჩხილების გახსნისა და გამარტივების შემდეგ დავერჩება:

$$2Rh = r^2 \quad (1)$$

(1) განტოლებიდან განისაზღვრება ხილული ჰორიზონტის სიშორე r , როცა დედამიწის რადიუსი R ცნობილია;

$$r = \sqrt{2Rh} \quad (1')$$

ამ სიშორეზე შეიძლება საგნების დანახვა h სიმაღლიდან, თუ ვართ ზღვაზე ან ტრიალ მინდორზე, ხოლო თუ ბორცვები ან მთებია, ზოგიერთი მიმართულებით ხილული ჰორიზონტის სიშორე ნაკლები იქნება და ხილული ჰორიზონტიც არ იქნება წრე.

თეორიულად (1)-დან შეიძლება დედამიწის რადიუსის განსაზღვრა, თუ დაკვირვებით გავზომავთ ხილული ჰორიზონტის r სიშორეს. მაგრამ დაკვირვებით r ზუსტად არ განისაზღვრება, რადგან ატმოსფეროს გამკვირვალობა იდეალური არასოდეს არ არის.

ვერტიკალური მიმართულების მართობულ სიბრტყეს ეწოდება ჰორიზონტული სიბრტყე. 18 ნახაზზე A წერტილში ჰორიზონტული სიბრტყის

მიმართულებაა AH . კუთხე $-HAB$ -ს ეწოდება პორიზონტის დაწვეის კუთხე. ეს კუთხე ტოლია ACB კუთხის, ვინაიდან მათი გვერდები ურთიერთ მართობულია. აღენიშნოთ ის i -თი, ე. ი. $i = \angle HAB = \angle ACB$. ACB სამკუთხედიდან $\operatorname{tg} i = \frac{AB}{BC}$ ანუ

$$\operatorname{tg} i = \frac{r}{R} \quad (2)$$

ჩვენს დროში ბევრი ასრულებს „მაგელანის მოგზაურობას“, ე. ი. დედამიწის გარშემო მოგზაურობას და ვიცით თუ რას უდრის მისი გარშემოწერილობა. სიგრძის ერთეული მეტრი შემოიღეს საფრანგეთის დიდი რევოლუციის დროს და იგი ისე შეარჩიეს, რომ პოლუსიდან ეკვატორამდე 10000 კილომეტრი ყოფილიყო; მთელი გარშემოწერილობა კი 40000 კილომეტრი. წრის სიგრძე, როგორც ვიცით, უდრის $2\pi R$ -ს, სადაც $\pi = 3,1415926536$, ე. ი. გვაქვს $2\pi R = 40000$ კილომეტრი. აქედან $R = \frac{40000}{2\pi} \approx 6370$ კილომეტრს.

იალბუხის სიმაღლე არის დაახლოებით 5,5 კილომეტრი. (1') ფორმულით გამოითვლება მისი ხილული პორიზონტის სიშორე

$$r = \sqrt{2 \cdot 6370 \cdot 5,5} = 264 \text{ კმ-ს.}$$

პორიზონტის დაწვეის კუთხე გამოითვლება (2) ტოლობით

$$\operatorname{tg} i = \frac{264}{6370}, \text{ აქედან } i = 2^{\circ}24'$$

ბ) გეოგრაფიული კოორდინატები

კოორდინატები არის ისეთი რიცხვები, რომლებიც განსაზღვრავენ რაიმე წერტილის მდებარეობას. დედამიწის ზედაპირზე რაიმე წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა ორი რიცხვი (ანუ სიდიდე) და მათ გეოგრაფიული კოორდინატები ეწოდება. ისინი განიმარტება მერიდიანების და პარალელების დახმარებით.

პოლუსებზე გატარებულ დიდ წრეხაზებს ეწოდება მერიდიანები. 21 ნახაზზე მერიდიანია PMM_1P_1 , აგრეთვე PGG_1B_1 ; სფეროს მეორე მხრიდან ისინი პუნქტირით უნდა აღინიშნოს. PQP_1E -ც მერიდიანია, რომლის ორივე ნახევარი ჩანს. P და P_1 არის პოლუსები, ხოლო PP_1 — ღერძი. ღერძის მართობულად გატარებული სიბრტყეები დედამიწის ზედაპირზე გვადლევენ წრეხაზებს და მათ პარალელები ეწოდება. უდიდესი პარალელი თანაბრად დაშორებული პოლუსებიდან და მას (დედამიწის) ეკვატორი ეწოდება. 21 ნახაზზე ის გამოსახულია EG, M_1Q -თი.

ძირითად მერიდიანად მიღებულია გრინვიჩის მერიდიანი. ნახაზ 21-ზე ის აღნიშნულია PGG_1P_1 -ით. დედამიწის ყოველ წერტილს თავისი მერიდიანი და პარალელი აქვს.

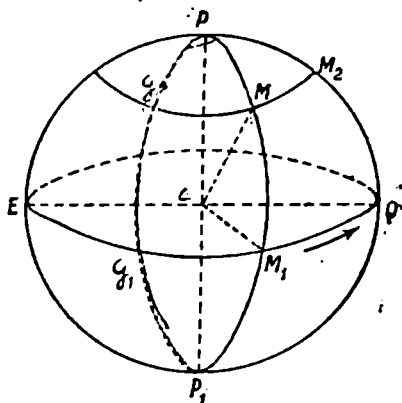
გეოგრაფიულ კოორდინატებს წარმოადგენს გრძედი და განედი. გრძედი ეწოდება პოლუსთან შექმნილ სფერულ კუთხეს გრინვიჩის მე-

რიდიანსა და ადგილობრივ მერიდიანს შორის. M წერტილის გრძედია კუთხე GPM . ეს კუთხე იზომება ეკვატორის რკალით, რომელიც მოქცეულია მის გვერდებს შორის (იხ. § 3a), ე. ი. იზომება G_1M_1 რკალით. ამიტომ შეიძლება ვთქვათ აგრეთვე, რომ გრძედი არის ეკვატორის რკალი, რომელიც მოქცეულია გრინვიჩის მერიდიანსა და ადგილობრივ მერიდიანს შორის. გრძედი აღინიშნება λ (ლამბდა) ასოთი ან l (ელ) ასოთი. იგი აითვლება გრინვიჩიდან აღმოსავლეთით 0° -დან 360° -მდე. ზოგჯერ აითვლება აგრეთვე გრინვიჩის აღმოსავლეთით 180° -მდე და დასავლეთით 180° -მდე. M წერტილის გრძედი იქნება

$\lambda = \angle GPM = \sphericalangle G_1M_1$. გრინვიჩიდან დასავლეთით გრძედი უარყოფითია.

განედი არის ის კუთხე, რომელსაც ადგენს ადგილობრივი რადიუსი ეკვატორის სიბრტყესთან. M წერტილისათვის ეს იქნება MCM_1 კუთხე¹. M_2 წერტილისათვის განედი იქნება M_2CQ კუთხე (ისინი ტოლი უნდა იყოს, მაგრამ ნახაზზე არ ჩანს კარგად, ვინაიდან სფერო არ იხაზება კარგად სიბრტყეზე). ისინი არიან ცენტრალური კუთხეები და იზომება შესაბამის რკალებით. ამიტომ M წერტილის განედი იქნება აგრეთვე $\sphericalangle MM_1$ და $\sphericalangle M_2$ -ის $\sphericalangle M_2Q$. მაშ მეროენაირად, განედი არის მერიდიანის რკალი მოცემული წერტილიდან ეკვატორამდე. ან კიდევ, განედი არის რკალური მანძილი მოცემულ წერტილზე გამავალ პარალელსა და ეკვატორს შორის. განედი აღინიშნება φ (ფი) ასოთი. M წერტილის განედი იქნება $\varphi = \angle MCM_1 = \sphericalangle MB_1$, ხოლო M_2 წერტილის $\varphi = \angle M_2CQ = \sphericalangle M_2Q$. განედი აითვლება 0° -დან 90° -მდე. ეკვატორის ჩრდილოეთით არის დადებითი და სამხრეთით უარყოფითი. ჩრდილოეთი პოლუსის განედია 90° , ხოლო სამხრეთის— 90° . ზოგიერთი ქალაქის განედი და გრძედი მოცემულია III და IV ცხრილში წიგნის ბოლოში.

ნახ. 21.



* c) მანძილი ორ ქალაქს შორის²

დედამიწის ორ წერტილს შორის უმოკლესი მანძილია დიდი წრის რკალი, ე. ი. ისეთი რკალი, რომლის სიბრტყეც გადის დედამიწის ცენტრში. დედამიწის გარშემოწერილობა (დიდი წრე) უდრის 40000 კილომეტრს, წრეში კი არის 360° . რას უდრის ერთ გრადუსიანი რკალის სიგრძე?

¹ ნახაზზე ცენტრი აკლია C და რკალი PGG_1P_1 უწყვეტი უნდა იყოს.

² გეოგრაფებისათვის საჭირო იქნება მხოლოდ მიახლოებითი გამოთვლა გლობუსის საშუალებით.

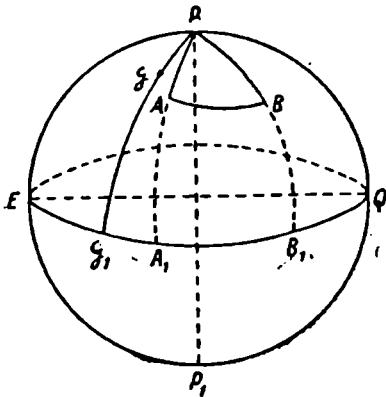
ამის გასაგებად უნდა შევადგინოთ პროპორცია: $360^\circ : 40000 = 1^\circ : X$; აქედან $X = \frac{40000}{360} = 111,1$, ე. ი. ერთ გრადუსიანი რკალის სიგრძე უდრის 111,1 კმ-ს.

გლობუსზე აღნიშნული წრეებიდან დიდი წრეებია მერიდიანები და ეკვატორი. ამათგან ეკვატორი დაყოფილია გრადუსებად. თუ ორი ქალაქი მდებარეობს ეკვატორზე. მაშინ მათ შორის მანძილის გასაგებად უნდა გავიგოთ რამდენი გრადუსია მათ შორის რკალი და მიღებული რიცხვი გავამრავლოთ 111,1 კმ-ზე. თუ ორი ქალაქი არ მდებარეობს ეკვატორზე, უნდა გავზომოთ მათ შორის მანძილი ფარგალით ან ძაფით და გადავზომოთ ის ეკვატორზე. ამით გავიგებთ თუ რამდენი გრადუსია დიდი წრის რკალი ამ ქალაქებს შორის. შემდეგ მიღებული გრადუსების რიცხვი უნდა გადავამრავლოთ 111,1 კმ-ზე. მაგალითად, თბილისსა და მოსკოვს შორის არის დაახლოებით 15° და მათ შორის მანძილი იქნება $15 \times 111,1 = 1670$ კმ დაახლოებით.

უფრო ზუსტად, ორ წერტილს შორის უმოკლესი მანძილის გამოთვლა ხდება კოსინუსების ფორმულის საშუალებით, რომელსაც ასეთი სახე აქვს:

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

ვთქვათ, ორი ქალაქი, რომელთა შორის მანძილის გაგება გვინდა 22 ნახაზზე, არის A და B . A წერტილის კოორდინატები იყო φ_1 და λ_1 , ხოლო B -ს φ_2 და λ_2 ; ისინი ცნობილად იგულისხმება. განმარტების თანახმად, $\varphi_1 = AA_1$, $\lambda_1 = GA_1$, $\varphi_2 = BB_1$, $\lambda_2 = GB_1$. ჩვენ უნდა გავიგოთ AB რკალის სიგრძე გრადუსებში აღვნიშნოთ



ნახ. 22.

ის x -ით. განვიხილოთ სფერული სამკუთხედი APB . გვერდი $AB = x$ და (1) ფორმულაში ის უნდა ჩავსვათ a -ს მაგიერ. $AP = PA_1 - AA_1 = 90^\circ - \varphi_1$, $PB = PB_1 - BB_1 = 90^\circ - \varphi_2$. კუთხე A_1PB იზომება A_1B_1 რკალით; ამიტომ $\angle APB = \lambda_2 - \lambda_1$. ჩავსვათ ეს სიდიდეები (1) ფორმულაში, მივიღებთ: $\cos x = \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$ ანუ $\cos x = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$

მარჯვენა მხარეში ყველაფერი ცნობილია და ლოგარითმული ანგარიშით გამოითვლება x -ი გრადუსებში. შემდეგ x უნდა გავამრავლოთ 111,1 და მივიღებთ მანძილს ამ ქალაქებს შორის კილომეტრებში.

† d) რკალებისა და კუთხეების სამგვარი ზომა

ჩვეულებრივად იხმარება რკალებისა და კუთხეების ორნაირი ზომა: გრადუსული და რადიანული. გრადუსულ ზომაში მთელი წრე დაყოფილია 360 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება ერთი გრადუსი; ის აღინიშნება პატარა ნულით რიცხვს ზევით და მარჯვნივ. გრადუსი დაყოფილია 60 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება რკალის წუთი (მინუტი); ის აღინიშნება ერთი ხაზით ზევით. წუთი დაყოფილია 60 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება რკალის წამი (სეკუნდი); ის აღინიშნება ორი ხაზით ზევით. მაგალითად, თორმეტი გრადუსი, ოცი წუთი და ოცდაათი წამი დაიწერება ასე: $12^{\circ}20'30''$.

რადიანულ ზომაში ერთეულად მიღებულია რადიანი. რადიანი უდრის იმ ცენტრალურ კუთხეს, რომლის შესაბამისი რკალი გასწორხაზებული რადიუსის ტოლია. იმის გასაგებად, თუ რაიმე მოცემული რკალი რამდენ რადიანს შეიცავს, მისი სიგრძე უნდა ვაყოთ რადიუსის სიგრძეზე. წრის სიგრძე უდრის $2\pi R$ -ს; ამიტომ წრე შეიცავს $\frac{2\pi R}{R} = 2\pi$ რადიანს.

დამოკიდებულება გრადუსულ და რადიანულ ზომას შორის ასეთია: $360^{\circ} : 2\pi = (\text{კუთხე გრადუსულ ზომაში}) : (\text{კუთხე რადიანულ ზომაში})$. (3)

ამ პროპორციით შეიძლება ერთი ზომიდან გადავიდეთ მეორე ზომაში. მაგალითად, თუ კუთხის გრადუსული ზომა არის 120° , მისი რადიანული ზომა გამოითვლება პროპორციით:

$$360^{\circ} : 2\pi = 120^{\circ} : X; \text{ აქედან } X = \frac{2\pi \cdot 120}{360} = \frac{2\pi}{3}. \text{ ასევე, თუ კუთხის}$$

რადიანული ზომა არის $\frac{5}{6}\pi$, მისი გრადუსული ზომა გამოითვლება პროპორციით:

$$360^{\circ} : 2\pi = X : \frac{5}{6}\pi, \text{ აქედან } X = \frac{360 \cdot \frac{5}{6}\pi}{2\pi} = 150^{\circ}$$

ასტრონომიაში ხშირად გვხვდება ერთი წამის გამოსახულება რადიანულ ზომაში, რაც გამოითვლება პროპორციით $360^{\circ} : 2\pi = 1'' : X$; აქედან $X = \frac{1'' \cdot 2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60''}$ (რადგან 360° უნდა ვაქციოთ წამებად). საბოლოოდ $1'' = \frac{1}{206265}$ რადიანს. ცხადია, შებრუნებითაც 1 რადიანი =

$206265''$. გრადუსებში 1 რადიანი = $57^{\circ}, 2958$.

ასტრონომიაში ხშირად გვხვდება რკალებისა და კუთხეების მესამე-ნაირი ზომა, რომელსაც საათიერი ზომა ეწოდება. ამ შემთხვევაში მთე-

ლი წრე დაყოფილია 24 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება საათი. ის აღინიშნება პატარა h -ით, რიცხვის ზევით და მარჯვნივ. საათი დაყოფილია 60 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება საათიერი წუთი (მინუტი); ის აღინიშნება პატარა m -ით. წუთი დაყოფილია 60 ნაწილად და თითოეულს ეწოდება წამი (სეკუნდი); ის აღინიშნება პატარა s -ით. ცამეტი საათი, ორმოცი წუთი და ოცდასამი წამი აღინიშნება ასე: $13^h 40^m 23^s$.

საათიერი ზომის გრადუსულ ზომაში გადასაყვანად და პირიქით, უნდა გვახსოვდეს დამოკიდებულება: ერთი საათი უდრის $\frac{360^\circ}{24}$, ე. ი.

$1^h = 15^\circ$. საათში 60 წუთია, ამიტომ $60^m = 15^\circ$; აქედან

$$1^m = \frac{15 \cdot 60'}{60} = 15'. \text{ ასევე } 1^s = \frac{15 \cdot 60''}{60} = 15''$$

მაშ $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$. ორი ბოლო ტოლობა რომ 4-ზე გავამრავლოთ, მივიღებთ $4^m = 1^\circ$ და $4^s = 1'$.

გრადუსული ზომის საათურ ზომაში გადასაყვანად შესაბამისი ერთეულები უნდა გავყოთ 15-ზე. გრადუსების 15-ზე გაყოფით მივიღებთ საათებს; ნაშთს ვაქცევთ წუთებად, მიუმატებთ მოცემულ წუთებს და გავყოფთ 15-ზე, მივიღებთ საათიერ წუთებს. ასევე მოვექცევით წამებს. მაგალითად, $143^\circ 22' 17''$ იქნება:

$$143^\circ : 15^\circ = 9^h + 8', 8' = 480'', 480'' + 22' = 502'. 502' : 15' = 33^m + 7'; 7' = 420'', 420'' + 17'' = 437'', 437'' : 15'' = 29^s, 13; \text{ მაშ } 143^\circ 22' 17'' = 9^h 33^m 29^s, 13.$$

საათიერი ზომის გრადუსულ ზომაში გადასაყვანად შესაბამისი სიდიდეები უნდა გავამრავლოთ 15-ზე. მაგალითად, $7^h 20^m$ იქნება:

$$7 \cdot 15^\circ = 105^\circ, 20 \cdot 15' = 300' = 5^\circ \text{ მაშ } 7^h 20^m = 110^\circ.$$

გრძედებს ასტრონომიაში ხშირად ზომავენ საათიერ ზომაში.

I თავის სავარჯიშო I

1. რომელი თანავარსკვლავედები ჩანს და რა მდებარეობაშია ისინი 15 სექტემბერს შუალამზე? საღამოს 10 საათზე? დილის 4 საათზე?

ამოხსნა. 21 მარტიდან 21 აგვისტომდე გავიდა 5 თვე, 21 აგვისტოდან 15 სექტემბრამდე გავიდა 25 დღე-ღამე, ამიტომ 15 სექტემბრის შუალამისთვის $X = 5 \cdot 2^h + 25 \cdot 4^m = 11^h 40^m$.

1) შუალამის ცის სურათის გასარკვევად ფარის X საათის ხაზი უნდა დავადოთ რუკაზე 12 და 11 სასაათო ხაზებს შორის 11-დან 2 დანაყოფ-ზე.—უმალეს მდებარეობაშია: კასიოპეა, ანდრომედა, მერანი. თევზები, მერწყული. აღმოსავლეთით არის: ორიონი, მარჩბივი (ამოდის), კურო,

¹ 1—8 სავარჯიშოსთვის გაკეთებული უნდა იქნას სქემატური რუკა და ფარი, როგორც არის აღწერილი § 2-ის h საკითხში.

მენახირე, დასავლეთითაა: ჰერკულესი, გველმქერი (ჩადის), ქნარი, არწივი, შვილდოსანი.

2) სალამოს ათი საათისათვის შუალამის X საათს უნდა გამოვაკლოთ სამი საათი, იქნება $8^h 40^m$. X საათის ხაზი უნდა დავემთხვიოთ 8 და 9 სასაათო ხაზებს შორის, 8-დან 2 დანაყოფზე. უმაღლეს მდებარეობაშია: გედი, არწივი, თხის-რქა, აღმოსავლეთით: ვერძი, ვეშაპი და სხვ. დასავლეთით: სასწორი, მენახირე და სხვ.

3) დილის 4 საათისთვის შუალამის X საათს უნდა მივუმატოთ 3 საათი, იქნება $14^h 40^m$. X საათის ხაზი უნდა დავემთხვიოთ 14 და 15 სასაათო ხაზებს შორის 14-დან 2 დანაყოფზე. უმაღლეს მდებარეობაშია პერსეი, კურო, ვერძი, აღმოსავლეთით: პატარა ძაღლი, დიდი ძაღლი და სხვ. დასავლეთით: გედი, თხის-რქა და სხვ.

✓ 2. რომელი თანავარსკვლავედები ჩანს და რა მდებარეობაშია ისინი 20 დეკემბერს შუალამზე? სალამოს 9 საათზე? დილის 5 საათზე?

პასუხი: 1) 20 დეკემბერს შუალამზე $X=18^h$. უმაღლეს მდებარეობაშია: ორიონი, დიდი ძაღლი, მარჩბივი, მეეტლე, აღმოსავლეთით არის ლომი და სხვ. დასავლეთით არის თევზები და სხვ. 2) სალამოს 9 საათზე $X=14^h$, უმაღლეს მდებარეობაშია: ანდრომედა, ვერძი, ვეშაპი, აღმოსავლეთით: პატარა ძაღლი, დიდი ძაღლი, დასავლეთით: თხის-რქა, გედი, ქნარი. 3) დილის 5 საათზე $X=22^h$, უმაღლეს მდებარეობაშია: დიდი დათვი, ლომი, აღმოსავლეთით: სასწორი, ჰერკულესი, დასავლეთით: ორიონი, კურო და სხვ.

✓ 3. რომელი თანავარსკვლავედები ჩანს და რა მდებარეობაშია ისინი 6 თებერვალს შუალამზე? სალამოს 10 საათზე? დილის 6 საათზე?

პასუხი: 1) შუალამზე $X=21^h$. უმაღლეს მდებარეობაშია დიდი დათვი.

2) სალამოს 10 საათზე $X=18^h$, უმაღლეს მდებარეობაშია მეეტლე, ორიონი და სხვ.

3) დილის 6 საათზე $X=2^h$, უმაღლეს მდებარეობაშია მენახირე, ქნარი და სხვ.

4. რომელი თანავარსკვლავედები ჩანს და რა მდებარეობაშია ისინი 12 ივლისს შუალამზე? სალამოს 11 საათზე? დილის 3 საათზე?

პასუხი: 1) შუალამზე $X=7^h 20^m$, უმაღლეს მდებარეობაშია გედი, არწივი და სხვ. 2) სალამოს 11 საათზე $X=5^h 20^m$, უმაღლეს მდებარეობაშია ჰერკულესი, გველმქერი და სხვ. 3) დილის 3 საათზე $X=9^h 20^m$, უმაღლეს მდებარეობაშია თხის-რქა და სხვ.

5. გამოჩნდება თუ არა სირიუსი (დიდი ძაღლის α) 21 ოქტომბერს სალამოს 9 საათზე? დილის 2 საათზე?

პასუხი: 1) სალამოს 9 საათზე $X=11^h$, არ გამოჩნდება, 2) გამოჩნდება.

6. გამოჩნდება თუ არა სატურნი 1954 წლის მაისში, თუ ვიცით რომ იგი ამ დროს ქალწულის თანავარსკვლავედში იქნება?

პასუხი: 21 მაისს შუალამეზე $X=4^h$, ქალწული და მაშ სატურნიც შუალამეზე გამოჩნდება დასავლეთით, სალამოს 10 საათზე უმაღლეს მდებარეობაშია, დილის 5 საათზე ჩადის.

7. 1956 წლის იანვარში ვენერა იქნება თხის რქის თანავარსკვლავედში, მარსი სასწორის თანავარსკვლავედში და იუპიტერი ლომის თანავარსკვლავედში. გამოჩნდება თუ არა ეს ცთომილები აღნიშნული წლის 15 იანვარს სალამოს 9 საათზე და თუ გამოჩნდება რა მიმართულებით?

პასუხი: 15 იანვარს სალამოს 9 საათზე $X=15^h40^m$, ვენერა ახალჩასულია, მარსი არ ჩანს, იუპიტერი ამოდის.

8. რა თვეა ყველაზე ხელსაყრელი კრებულზე დაკვირვებისთვის, რომელიც კუროს თანავარსკვლავედში იმყოფება?

ამოხსნა. საერთოდ დაკვირვებისათვის ყველაზე ხელსაყრელია ის დღე, როცა შუალამეზე აღებული მნათობი თავის უმაღლეს შესაძლებელ მდებარეობას აღწევს. მაშინ მნათობი სალამოს ამოდის და დილით ჩადის და მთელი დამე ჩანს. ჩვენს შემთხვევაში სქემატურ რუკაზე უნდა დავადოთ ფარი ისე, რომ კუროს თანავარსკვლავედი იყოს თავის უმაღლეს შესაძლებელ მდებარეობაში. ამ დროს X საათის ხაზი დამთხვეულია 16 სასაათო ხაზს, რაც გვიჩვენებს რომ 21 მარტიდან გავიდა რვა თვე. ამრიგად კრებულზე დაკვირვებისთვის ყველაზე ხელსაყრელია ნოემბერი.

9. მოსწავლემ მოახდინა დაკვირვება 1953 წლის 15 იანვარს და 30 იანვარს; როდის დაინახავდა ის უფრო მეტ ვარსკვლავს თუ ცა ერთნაირად კარგად იყო მოწმენდილი?

პასუხი: უფრო მეტ ვარსკვლავს დაინახავდა 15 იანვარს, რადგან 30 იანვარს სავსე მთვარე იყო (იხ. ცხრილი § 2-ის z საკითხში).

10. 10 აგვისტოს მახლობელ დღეებში შუალამის შემდეგ ადგილი აქვს ვარდნილი ვარსკვლავების ანუ მეტეორების მოვლენას; როდის აჯობებს მათზე დაკვირვება 1956 წელს თუ 1957 წელს, თუ ვიგულისხმებთ რომ ცა ერთნაირად მოწმენდილი იქნება?

პასუხი: აჯობებს 1956 წ. რადგან 1957 წ. 10 აგვისტოს სავსე მთვარეა და ნაკლები გამოჩნდება (იხ. ცხრილი § 2 z საკითხში).

11. გავიგოთ საშუალო სიმაღლის ადამიანის ხილული პორიზონტის სიშორე, თუ მისი თვალის სიმაღლე ფეხებიდან 1,6 მეტრს უდრის.

ამოხსნა. გამოვიყენოთ § 4-ის (1¹) ფორმულა $r = \sqrt{2Rh}$ აქ $h = 1,6$, მეტრს, დედამიწის რადიუსი $R = 6370$ კილომეტრს $= 6370000$ მეტრს. მივიღებთ $r = 4514$ მეტრს.

12. საშუალო სიმაღლის მქონე წითელარმიელი ავიდა 30 მეტრის სიმაღლის ხეზე; რამდენად გაიზრდებოდა მისი ხილული პორიზონტის სიშორე?

პასუხი: ახალი პორიზონტის სიშორე (30 მეტრის სიმაღლიდან) $r_1 = 19500$ მეტრს. საწყისი პორ. სიშორე წინა ამოცანის თანახმად $r = 4500$ მ. $r_1 - r = 15$ კილომეტრი.

13. ვიპოვოთ თვითმფრინავის ხილული პორიზონტის სიშორე შემდეგ სიმაღლეებზე: 1) 25 მ., 2) 50 მ., 3) 100 მ., 4) 500 მ., 5) 1000 მ., 6) 3000 მ., 7) 10000 მ.

პასუხი. 1) 17822 მ. 2) 28320 მ. 3) 35,7 კმ., 4) 79.8 კმ. 5) 112,7 კმ., 6) 195,4 კმ., 7) 357 კმ.

14. გამოვთვალოთ პორიზონტის დაწვევის კუთხე, 10 კილომეტრის სიმაღლეზე მყოფი თვითმფრინავისათვის.

ამოხსნა. § 2-ის (2) ფორმულაში $\lg i = \frac{r}{R}$, ჩავსვათ ხილული პორიზონტის სიშორე $r = 357$ კმ. (13 ამოცანის 7 კითხვა) და $R = 6370$ კმ. ცხრილებით ვიპოვიოთ $i = 3^{\circ}12'$.

← 15. გამოვთვალოთ საშუალო სიმაღლის ადამიანის ხილული პორიზონტის დაწვევის კუთხე.

ამოხსნა. 11 ამოცანის მიხედვით $r = 4,5$ კმ. ჩავსვათ ფორმულაში $\lg i = \frac{r}{R}$, $\lg i = \frac{4,5}{6370}$. მცირე კუთხის ტანგენსი თვით კუთხის ტოლია რადიანულ ზომაში. $i = \frac{4,5}{6370}$; გრადუსულ ზომაში იქნება

$$i = \frac{4,5 \cdot 206265''}{6370} = 130''; \text{ ე. ი. } i = 2'10''$$

✓ 16. იპოვეთ დაახლოებითი მანძილი: 1) თბილისსა და მოსკოვს შორის, 2) თბილისსა და პარიზს შორის, 3) მოსკოვსა და ვლადივოსტოკს შორის.

ამოხსნა. გავზომოთ გლობუსზე ფარგალით ან ძაფით მანძილი აღნიშნულ ადგილებს შორის და გადავზომოთ ეკვატორზე, გავიგებთ რამდენ გრადუსს შეიცავს ის, შემდეგ გრადუსების რიცხვს გავამრავლებთ 111,1 კილომეტრზე. 1) თბილისსა და მოსკოვს შორის 15° -ა დაახლოებით და მანძილი უდრის 1666 კმ. 2) თბილისსა და პარიზს შორის 28° -ა, 3100 კმ., 3) მოსკოვსა და ვლადივოსტოკს შორის 58° -ა, 6450 კმ.

* 17. იპოვეთ მანძილი თბილისსა და მოსკოვს შორის. თბილისის კოორდინატებია $\varphi_1 = 41^{\circ}43'$, $\lambda_1 = 44^{\circ}49'$; მოსკოვის კოორდინატებია $\varphi_2 = 55^{\circ}45'$, $\lambda_2 = 37^{\circ}35'$.

ამოხსნა. უნდა გამოვიყენოთ ფორმულა

$$\cos x = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$\lg \sin \varphi_1 = \bar{1},8231$$

$$\lg \cos \varphi_1 = \bar{1},8730$$

$$\lg \sin \varphi_2 = \bar{1},9173$$

$$\lg \cos \varphi_2 = \bar{1},7503$$

$$\hline \bar{1},7404$$

$$\lg \cos (\lambda_2 - \lambda_1) = \bar{1},9966$$

$$\hline \bar{1},6199$$

ანტილოგარითმებით ვიპოვიტ: I წვერი = 0,5500,

II წვერი = 0,4168

ამიტომ $\cos x = 0,9668$ $x = 14^\circ 48' = 14^\circ,8$

მანძილი იქნება $14,8 \cdot 111,1 = 1644$ კმ.

* 18. იპოვეთ მანძილი მოსკოვსა და ვაშინგტონს შორის. მოსკოვის კოორდინატებია $\varphi_1 = 55^\circ 45'$ $\lambda_1 = 37^\circ 35'$, ვაშინგტონის კოორდინატებია $\varphi_2 = 38^\circ 55'$, $\lambda_2 = -74^\circ 4''$ (დასავლეთის გრძედი).

პასუხი: 7621 კმ. (იხ. 17 ამოცანა).

19. რას უდრის საათიერ ზომაში: 1) თბილისის გრძედი?, 2) მოსკოვის გრძედი?, 3) ვაშინგტონის გრძედი? (იხ. 17. და 18 ამოცანა).

პასუხი: 1) $2^h 59^m, 3$ 2) $2^h 30^m, 3$ 3) $-5^h 8^m, 3$.

20. გამოსახეთ გრადუსულ ზომაში: 1) $17^h 43^m 13^s$ 2) $5^h 23^m 16^s, 8$ 3) $22^h 52^m 5^s, 7$.

პასუხი: 1) $265^\circ 48' 15''$ 2) $80^\circ 49' 12''$ 3) $343^\circ 1' 25'', 5$.

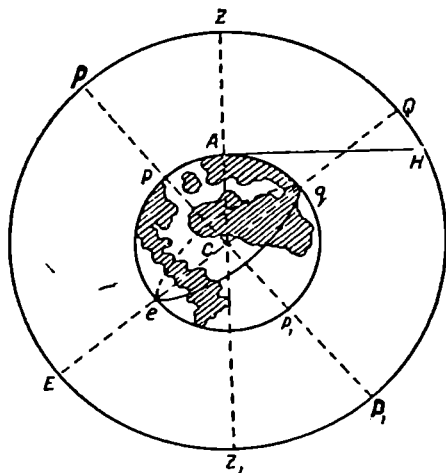
სფერული ასტრონომიის საფუძვლები

§ 5. ასტრონომიული კოორდინატები

† a) ცა და დედამიწა

ცა და დედამიწა ჩვენ უნდა წარმოვიდგინოთ ორი კონცენტრული სფეროს სახით. ქალაღზე ისინი წრეების სახით იხაზება. ქვევით მიმართულებას ჩვენ ვუწოდებთ სიძიმის ძალის მიმართულებას, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებას ვუწოდებთ ზევითს. ზევით და ქვევით მიმართულება ემთხვევა შვეული ხაზის მიმართულებას და აგრეთვე

იმ რადიუსის მიმართულებას, რომელიც გადის დამკვირბლის დგომის წერტილში (სინამდვილეში შვეულისა და რადიუსის მიმართულება ძლიერ მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისგან). შვეული ხაზის გადაკვეთას ზევით ცის სფეროზე ეწოდება ზენიტი და აღინიშნება Z ასოთი, ხოლო იმავე მიმართულების ქვევით გადაკვეთას ცის სფეროზე ეწოდება ნადირი და აღინიშნება Z_1 -ით. დედამიწის სფეროს და ცის სფეროს



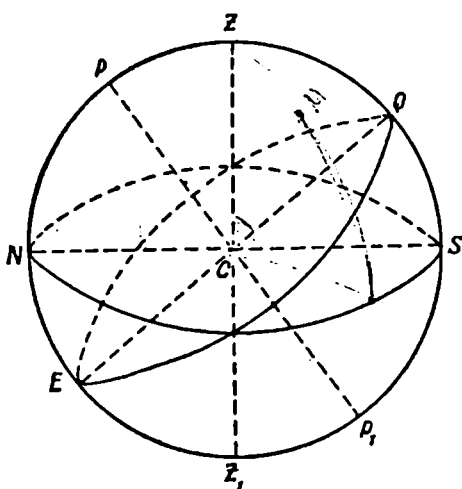
ნახ. 23. ცა და დედამიწა.

ჩვეულებრივად ისე დავხაზავთ, რომ ჩვენი დგომის წერტილი იყოს ზევით. თუ ჩვენ დედამიწის პოლუსზე არ ვიქნებით, მაშინ დედამიწის ღერძს დახრილი მდებარეობა ექნება, როგორც ეს 23 ნახაზზეა. ღერძის მიმართულების გადაკვეთას ცის სფეროზე სამყაროს პოლუსები ეწოდება, ხოლო მათ შემაერთებელ ხაზს—სამყაროს ღერძი. სამყაროს პოლუსები აღნიშნულია P და P_1 დიდი ასოებით, ხოლო დედამიწის პოლუსები

იმავე პატარა ასოებით. დედამიწის ეკვატორი აღნიშნულია ოვალური EQ ხაზით; მისი ერთი ნახევარი ჩვენსკენაა მოქცეული და კარგად ჩანს,—მეორე ნახევარი ქალაქდის სიბრტყის იქით იგულისხმება და პუნქტირითაა აღნიშნული. დედამიწის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთა ცის სფეროზე გვაძლევს ცის ეკვატორს (23 ნახაზზე არაა დახაზული, აღნიშნულია მხოლოდ ორი წერტილი F და Q).

შვეული ხაზის მართობი სიბრტყე როგორც ეციით არის პორიზონტის სიბრტყე;—მისი გადაკვეთა ცის სფეროზე გვაძლევს პორიზონტის წრეს. A წერტილში პორიზონტული სიბრტყის მიმართულებაა AH , რომელიც მართობია AZ -ის.

რაკი ცა და დედამიწა ერთ ნახაზზე მოვათავსეთ, სასურველია დავიცვათ მასშტაბიც. დედამიწის რადიუსი უდრის 6370 კილომეტრს. ცის



ნახ. 24.
ცა და დედამიწა.

სფეროს კი არა აქვს გარკვეული რადიუსი, ჩვენ გვეჩვენება მხოლოდ, რომ ყველა ვარსკვლავი დაგეგმილებულია ერთ სფეროზე. მივიღოთ ცის სფეროს რადიუსად მანძილი უახლოესს ვარსკვლავამდე. გამოკვეთულია, რომ უახლოესი ვარსკვლავი დაშორებულია ჩვენგან $4\frac{1}{3}$ სინათლის წელით. სინათლის წელი ის მანძილია, რომელსაც გადის სინათლე ერთ წელიწადში. $4\frac{1}{3}$ წელი სეკუნდებად უნდა ვაქციოთ და გავამრავლოთ სინათლის სიჩქარეზე, რაც უდრის 300 000 კილომეტრს სე-

კუნდში. ეს მანძილი იმდენად დიდი გამოდის, რომ დედამიწის რადიუსისთვის თუ ავიღებთ 2 სანტიმეტრს, მაშინ ცის სფეროს რადიუსისთვის (უახლოესს ვარსკვლავამდე) უნდა ავიღოთ 130 000 კილომეტრი. ცხადია ასეთ წრეს ჩვენ ვერ დავხაზავთ. შებრუნებით, თუ ცის სფეროს რადიუსისთვის ავიღებთ რამდენიმე სანტიმეტრს, მაშინ დედამიწის წარმოსადგენად უნდა დავსვათ ძლიერ სუფთა წერტილი ცენტრში. ამიტომ ახლა 23 ნახაზის მაგიერ ცა და დედამიწისთვის გვექნება 24 ნახაზი, სადაც მთელი დედამიწა შეკუმშულია ერთ წერტილში— C ცენტრში. $EWQO$ აქ გამოსახავს ცის ეკვატორს, $NWSO$ პორიზონტის წრეს¹. N არის პორიზონტის ჩრდილოეთის წერტილი, S —სამხრეთის წერტილი.

¹ W და O 24 ნახაზზე არ არის. იხ. ნახ. 32, 52, 56 და სხ.

W —დასავლეთის წერტილი ნახაზიდან ჩვენსკენ არის და O აღმოსავლეთის წერტილი ნახაზის სიბრტყის უკანაა (აღნიშვნა წარმოსდგება პირველი ასოებიდან: *Nord, Süd, West, Ost*). ჰორიზონტი და ეკვატორი იკვეთება O და W , ე. ი. აღმოსავლეთის და დასავლეთის წერტილებში და მათი შემაერთებული ხაზი უნდა გადიოდეს C —ცენტრში.

გამოვარკვეოთ რას უდრის ცენტრში შექმნილი კუთხეები. CZ არის რადიუსის მიმართულება, CQ კი ეკვატორის მიმართულება. რადიუსსა და ეკვატორს შორის კუთხე არის განედი და ამიტომ $\angle ZCQ = \varphi$ -ს (განედს). ZC მართობია NC -ს და QC მართობია PC -ს (რადგან შევეული მართობია ჰორიზონტის და ღერძი მართობია ეკვატორის). ამიტომ $\angle PCN = \angle ZCQ$ -ს, როგორც ურთიერთ მართობი გვერდებისგან შედგენილი. მაშ $\angle PCN = \varphi$ -ს. მაგრამ $\angle PCN$ არის პოლუსის სიმაღლე (იხ. § 5*b*). აქედან გვაქვს დებულება: პოლუსის სიმაღლე განედის ტოლია.

განედის ტოლია აგრეთვე $\angle ECZ_1$ და $\angle P_1CS$, წინა ორ კუთხესთან ვერტიკალურობის გამო. დანარჩენი ოთხი კუთხე არის $90^\circ - \varphi$; მაგალითად, $\angle QCS = \angle ZCS - \angle ZCQ$, ე. ი. $\angle QCS = 90^\circ - \varphi$; ასევე $\angle ZCP$; $\angle NCE$ და $\angle Z_1CP_1$. კუთხეების მაგიერ შეიძლება ავიღოთ რკალებიც:

$$\begin{aligned} \cup ZQ &= \cup PN = \cup EZ_1 = \cup P_1S = \varphi; \\ \cup SQ &= \cup ZP = \cup NS = \cup Z_1P_1 = 90^\circ - \varphi. \end{aligned}$$

რ) ჰორიზონტული კოორდინატები

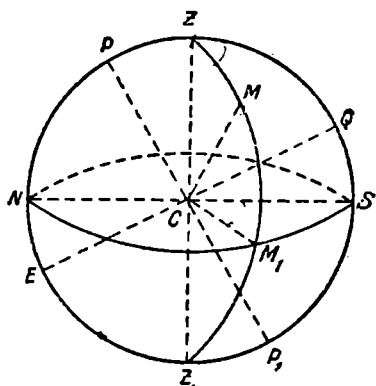
როგორც დედამიწის ზედაპირზე წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება ორი რიცხვით: გრძედით და განედით, ისე ციურ სფეროზეც მნათობთა მდებარეობა განისაზღვრება ორი რიცხვით და მათ ასტრონომიულ კოორდინატებს უწოდებენ. ასტრონომიული კოორდინატების პირველ სისტემას წარმოადგენს ჰორიზონტული კოორდინატები. ჰორიზონტულ კოორდინატებში შედის სიმაღლე და აზიმუტი; სიმაღლის მაგიერ ზოგჯერ იხმარება ზენიტური მანძილი.

ზენიტსა და ნადირზე გატარებულ წრეხაზებს ეწოდება ვერტიკალური წრეხაზები. იმ ვერტიკალურ წრეხაზს, რომელიც გადის პოლუსზე (და ცხადია ზენიტზეც), ეწოდება ციური მერიდიანი; იგი წარმოადგენს დამკვირვებლის გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყის გადაკვეთას ცის სფეროსთან. მერიდიანის სიბრტყე ჰორიზონტის სიბრტყეს კვეთს NS ხაზზე, რომელიც უმოკლესი ჩრდილის მიმართულებას ემთხვევა. მერიდიანი 25 ნახაზზე გამოსახულია $NPZQSP_1Z_1E$ წრეხაზით. ის ვერტიკალური წრეხაზი, რომელიც გადის აღმოსავლეთის და დასავლეთის წერტილებზე, იწოდება პირველ ვერტიკალად.

25 ნახაზზე დახაზულია M წერტილზე გატარებული ვერტიკალური წრეხაზი. მისი გადაკვეთა ჰორიზონტის წრესთან აღნიშნულია M_1 -ით.

სიმაღლე ეწოდება ვერტიკალური წრის რკალს მნათობიდან ჰორიზონტამდე და აღინიშნება h ასოთი. M წერტილის სიმაღლე იქნება MM_1 .

ე. ი. $h = \cup MM_1$. მეორენაირად: სიმაღლე ეწოდება იმ კუთხეს, რომელსაც მნათობისაკენ მიმართულება ადგენს ჰორიზონტის სიბრტყესთან, ე. ი. $h = \angle MCM_1$, ($\angle MCM_1 = \cup MM_1$), თუ მნათობი ჰორიზონტზე იმყოფება, მისი სიმაღლე უდრის ნულს (ამოსვლის ან ჩასვლის დროს). ზენიტის სიმაღლე 90 გრადუსია. ჰორიზონტს ქვევით სიმაღლე უარყოფითია.



ნახ. 25.

აზიმუტი არის ის სფერული კუთხე, რომელიც შექმნილია ზენიტთან, მერიდიანსა და მნათობზე გატარებულ ვერტიკალურ წრეხაზს შორის. ის აითვლება მერიდიანის სამხრეთი S წერტილიდან დასავლეთისაკენ 0°-დან 360°-მდე და აღინიშნება A ასოთი. M წერტილის აზიმუტი იქნება SZM სფერული კუთხე. ეს სფერული კუთხე იზომება ჰორიზონტის შესაბამის SM₁ რკალით. ამიტომ მეორენაირად: აზიმუტი არის ჰორიზონტის რკალი მერიდიანის სამხრეთის S წერტილიდან მნათობის ვერტიკალურ წრემდე, ე. ი. $A = \angle SZM$ ანუ $A = \cup SM_1$. სამხრეთის S წერტილის აზიმუტი უდრის ნულს. დასავლეთის W წერტილის აზიმუტი უდრის 90°-ს. ჩრდილოეთის N წერტილის $A = 180^\circ$ და აღმოსავლეთის O წერტილის $A = 270^\circ$. მერიდიანის სამხრეთი ნახევრიდან აღმოსავლეთით აზიმუტი უარყოფითია; მაგალითად, აღმოსავლეთის O წერტილის აზიმუტი იქნება აგრეთვე $A = -90^\circ$.

სიმაღლის მაგიერ ასტრონომიაში ხშირად იხმარება ზენიტური მანძილი. ზენიტური მანძილი არის (რკალური) მანძილი მნათობიდან ზენიტამდე; იგი ყოველთვის დადებითად იგულისხმება. M წერტილის ზენიტური მანძილი იქნება ZM. ზენიტიდან ჰორიზონტამდე 90°-ა. ამიტომ $ZM + MM_1 = 90^\circ$, ანუ $Z + h = 90^\circ$. აქედან თუ ერთ-ერთი ცნობილია, განისაზღვრება მეორე: $Z = 90^\circ - h$, $h = 90^\circ - Z$.

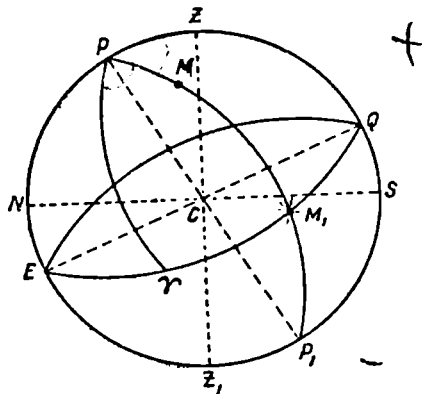
ჩ c) ეკვატორული კოორდინატები

ეკვატორულ კოორდინატებში ძირითად წრეხაზად მიღებულია ცის ეკვატორი. პოლუსებზე გატარებულ დიდ წრეხაზებს ეწოდება დახრილობათა წრეხაზები (ან სასაათო ხაზები). M წერტილზე გატარებული დახრილობის წრეხაზი იქნება FMM₁. ის უნდა გადავარდეთ P₁-მდე. (ნახ. 26). სფეროს მეორე მხარეს დახრილობის წრეხაზი პუნქტირით დაიხაზება. ეკვატორული კოორდინატები იყოფა ორ სისტემადა. პირ-

ველში შედის დახრილობა და საათიერი კუთხე. დახრილობა აღინიშნება δ (დელტა) ასოთი, საათიერი კუთხე კი t ასოთი.

დახრილობა არის დახრილობის წრის რკალი მნათობიდან ეკვატორამდე; ან უფრო მოკლედ: დახრილობა არის მანძილი მნათობიდან ეკვატორამდე (მანძილში იგულისხმება რკალური მანძილი). M წერტილის დახრილობა იქნება MM_1 , ე. ი. $\delta = MM_1$. დახრილობა აითვლება 0° -დან $\pm 90^\circ$ -მდე; ეკვატორიდან ჩრდილოეთით დადებითია, ხოლო სამხრეთით უარყოფითი. სამყაროს ჩრდილო პოლუსის დახრილობაა პლუს 90° , ხოლო სამხრეთის მინუს 90° .

საათიერი კუთხე ეწოდება პოლუსთან შექმნილ სფერულ კუთხეს, მერიდიანსა და მნათობზე გატარებულ დახრილობის წრეხაზს შორის. M წერტილის საათიერი კუთხე იქნება QPM . ეს სფერული კუთხე იზომება მისი შესაბამისი ეკვატორის QM_1 რკალით. ამიტომ მეორენაირად: საათიერი



ნახ. 26.

კუთხე არის ეკვატორის რკალი, ეკვატორის სამხრეთის Q წერტილიდან მნათობის დახრილობის წრის გადაკვეთამდე. ე. ი. $t = \angle QPM$ ან $t = \sphericalangle QM_1$. საათიერი კუთხე აითვლება ეკვატორის სამხრეთის Q წერტილიდან დასავლეთით 0° -დან 360° -მდე; ან უფრო ხშირად საათებში 0^h -დან 24^h -მდე. მერიდიანის Q წერტილიდან აღმოსავლეთით საათიერი კუთხე უარყოფითია. Q წერტილის საათიერი კუთხე უდრის 0° -ს ან 0^h -ს. E წერტილის $t = 180^\circ$ ან 12^h . დასავლეთის და აღმოსავლეთის წერტილების საათიერი კუთხეა შესაბამისად 90° ან 6^h და 270° ან 18^h . აღმოსავლეთის წერტილის საათიერი კუთხეა აგრეთვე -90° ან -6^h .

ეკვატორული კოორდინატების მეორე სისტემაში შედის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა. დახრილობა არის იგივე, რაც პირველ სისტემაში. პირდაპირი აღვლენა აითვლება გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილიდან. ის წარმოადგენს ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის ერთ-ერთ წერტილს, სადაც ეკლიპტიკა სამხრეთიდან ჩრდილო ნახევარსფეროში გადადის, და აღინიშნება ვერძის Υ ნიშნით¹. მას უწოდებენ აგრეთვე გაზაფხულის ბუნიობის წერტილს (მეორე გადაკვეთის წერტი-

¹ ვერძის ნიშნით Υ —ნიმუთმ აღნიშნავენ, რომ ეს წერტილი იყო ვერძის თანავარსკვლავედში 200ს-ზე მეტი წლის წინ, როცა მოახდინეს თანავარსკვლავედებდად ცის დაყოფა. ამჟამად ის არის თევზების თანავარსკვლავედში.

ლია შემოდგომის დღელამსწორობის წერტილი და აღინიშნება სასწორის \sphericalangle ნიშნით).

პირდაპირი აღელენა არის პოლუსთან შექმნილი სფერული კუთხე გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილისა და მნათობის დახრილობათა წრეხაზებს შორის, ე. ი. ეს არის $\Upsilon P M$ სფერული კუთხე (ნახ. 26). ეს კუთხე იზომება ΥM_1 ეკვატორის რკალით. ამიტომ მეორენაირად: პირდაპირი აღელენა არის ეკვატორის რკალი გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილიდან მნათობის დახრილობის წრეხაზის გადაკვეთამდე. პირდაპირი აღელენა აღინიშნება α ასოთი. მაშ $\alpha = \sphericalangle \Upsilon P M$ ან $\alpha = \sphericalangle \Upsilon M_1$. პირდაპირი აღელენა ათვლება დღელამსწორობის წერტილიდან აღმოსავლეთით 0° -დან 360° -მდე ან 0^h -დან 24^h -მდე. პირდაპირი აღელენა და დახრილობა არ იცვლება დღელამის განმავლობაში¹; ამიტომ ისინი მოხერხებულია ასტრონომიაში ციურ სხეულთა მდებარეობის დასახასიათებლად. საათიერი კუთხე იცვლება განუწყვეტლივ და იმდენად, რამდენადც ბრუნავს ცის სფერო (უფრო სწორედ—დედამიწა). პორიზონტული კოორდინატები ორივე განუწყვეტლივ იცვლება და ხელსაყრელია რაიმე მომენტში პორიზონტის მიმართ მნათობის მდებარეობის დასახასიათებლად.

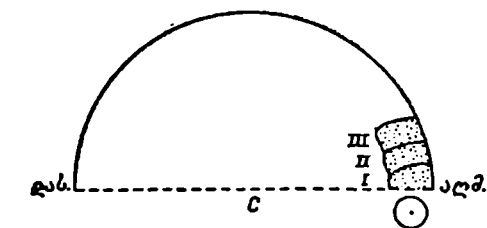
დღელამსწორობის წერტილის საათიერ კუთხეს ეწოდება ვარსკვლავიერი დრო (იხ. § 6 b) და აღინიშნება S ასოთი.

d) მზის წლიური (ხილული) მოძრაობის დამტკიცება.

ზოდიაკო. ექლიბტიკური კოორდინატები

მზის ხილულ მოძრაობას წლის განმავლობაში ამტკიცებს ორგვარი მოვლენა: 1) ვარსკვლავიერი ცის სურათების ცვლილება და 2) მზის საშუალოდ სიმაღლის ცვლილება.

მზის ჩასვლის შემდეგ რომ დავაკვირდეთ ვარსკვლავებს ცის დასავლეთ ნაწილზე, შევამჩნევთ, რომ ისინი თანდათან ადრე და ადრე ჩადიან.



ნახ. 27.

ჩასვლის შემდეგ I ჯგუფი აღარ გამოჩნდება და პორიზონტთან ახლოს იქნება ვარსკვლავთა II ჯგუფი. კიდევ 15 დღის შემდეგ ენახავთ, რომ

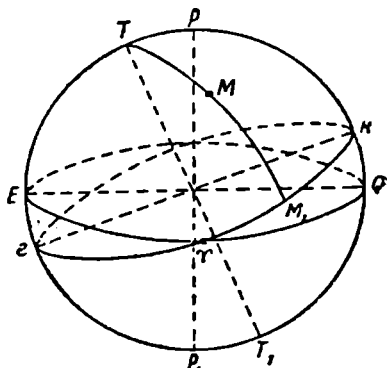
¹ მზისა და ცთომილების—მცირედ იცვლება, ხოლო ვარსკვლავების სრულიად უმნიშვნელოდ.

აღარ გამოჩნდება ვარსკვლავთა II ჯგუფიც. ვინაიდან ვარსკვლავები უძრავად გვეჩვენება ცის სფეროზე, ხოლო ცა ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით,—ეს მოვლენა გვიჩვენებს, რომ მზე მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის და მიდის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, ე. ი. ცის სფეროს ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

მეორე მოვლენაა მზის საშუალო სიმაღლის განუწყვეტელი ცვლილება. შუაღელზე ყველაზე მაღალ სიმაღლეს მზე აღწევს ზაფხულში, ხოლო ყველაზე დაბალს ზამთარში; 22 ივნისს მზე თითქმის 47°-ით მაღალზეა, ვიდრე 22 დეკემბერს. ეს ამტკიცებს მზის ხილულ მოძრაობას ვარსკვლავებს შორის, რადგან უძრავი რომ ყოფილიყო, მაშინ ისიც, როგორც ვარსკვლავები, მერიდიანზე ერთსა და იმავე სიმაღლეზე გაივლიდა.

როგორც უკვე ნათქვამი იყო, მზის ხილული მოძრაობა წლის

განმავლობაში წარმოებს ერთ სიბრტყეში, რომელსაც ეკლიპტიკის სიბრტყე ეწოდება. მისი გადაკვეთა ცის სფეროსთან გვაძლევს ეკლიპტიკის წრეხაზს. ეკვატორის წრეხაზი და ეკლიპტიკის წრეხაზი ერთმანეთს კვეთს გაზაფხულისა და შემოდგომის დღელამსწორობის წერტილებში, ანუ ბუნიობის წერტილებში, რომლებიც აღინიშნება Υ და ϖ ნიშნებით. ეკლიპტიკა გადის 12 თანავარსკვლავედში; ისინი ერთს გარდა ყველა ცხოველთა სახელს ატარებს და ეწოდება. ცხოველთა სარტყელი ანუ ზოდიაკო. მზე რიგრიგად გაივლის ამ თანავარსკვლავედებს¹:



ნახ. 28.
ეკლიპტიკური კოორდინატები.

გაზაფხული	ზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი
მარტი—თევზები	ივნისი—მარჩბივი (ტყუპი)	სექტემბერი— ქალწულა	დეკემბერი— შვილდოსანი
აპრილი—ვერძი	ივლისი—კირჩხიბი (კიბო)	ოქტომბერი— სასწორო	იანვარი— თხისრქა
მაისი—კურო	აგვისტო—ლომი	ნოემბერი— ღრიანკალი	თებერვალი— მერწყული.

ასტრონომიული კოორდინატების მესამე სისტემას წარმოადგენს ეკლიპტიკური კოორდინატები. მათ ეწოდება განედი და გრძელი და აღი-

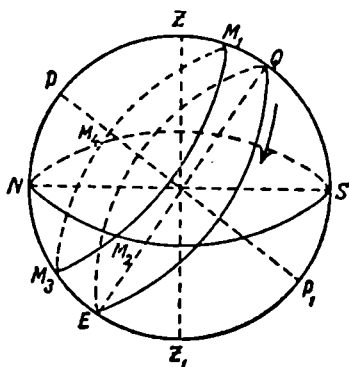
¹ დამახსოვრებისათვის ზოდიაკოს თანავარსკვლავედებს შემოკლებით ასე გამო-
თქვამენ: თევზი, ვერძი, კურო, ტყუპი, კიბო, ლომი, ქალი—ღრიანკალი, შვილდი, თხა და
წყალი. სადაც ტირებს ადგილზე უნდა ჩაემატოს ერთად ერთი არაცოცხალი ზოდიაკო,
ე. ი. სასწორო.

ნიშნება β -თი და λ -თი (ზოგჯერ უმატებენ სიტყვას „ასტრონომიული“, რომ არ აერაოთ გეოგრაფიულ კოორდინატებში). განედი არის უმოკლესი რკალური მანძილი მნათობიდან ეკლიპტიკამდე. გრძედი არის ეკლიპტიკის რკალი გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილიდან მნათობის განედის წრეხაზის გადაკვეთამდე. გრძედი აითვლება დღელამსწორობის წერტილიდან აღმოსავლეთით ანუ მარჯვნივ. ეს კოორდინატები საესებით ანალოგიურია დახრილობისა და პირდაპირი აღვლენის. ორივე იზომება გრადუსულ ზომაში. მათ უმთავრესად გამოყენება აქვთ თეორიულ ასტრონომიაში. 28 ნახაზზე პორიზონტი არ არის გამოსახული. ek არის ეკლიპტიკის წრე და T მისი პოლუსი; $MM_1 = \beta$, $\gamma M_1 = \lambda$.

§ 6. დღელამური მოვლენები

ა) ცის სფეროს ბრუნვა ხსვადახსვა განედზე

ცის სფერო ბრუნავს წარმოსახვითი ღერძის გარშემო აღმოსავლეთიდან დასავლეთით დღელამეში ერთხელ. ამის გამო ვარსკვლავები დღელამის განმელობაში აღწერენ წრეხაზებს. ვარსკვლავთა ხილული მოძრაობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ სად არის დამკვირვებელი. დღელამური წრეხაზები ყოველთვის ცის ეკვატორის პარალელურია. ცის ეკვატორის მდებარეობა კი დამოკიდებულია განედზე. განვიხილოთ ცის სფეროს ბრუნვა საშუალო განედზე, პოლუსზე და ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებელთათვის. ცის სფეროს დახაზვისთვის გამოვიყენებთ დებულებას: პოლუსის სიმაღლე განედის ტოლია.



ნახ. 29 ა.

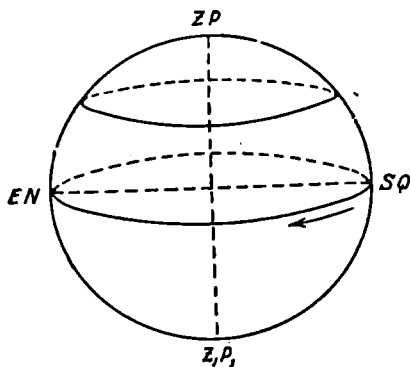
29 ა ნახაზზე გამოსახულია ცის სფერო საშუალო განედზე ($\varphi = 40^\circ$, 50° -ს შორის). PN არის პოლუსის სიმაღლე და ის განედის ტოლი უნდა იყოს. O არის აღმოსავლეთის წერტილი და IV დასავლეთის¹. ცის სფერო ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით,

როგორც ისარი გვიჩვენებს და დღელამური წრეხაზებიც ასე აღიწერება. თუ ვარსკვლავი გამოვიდა პორიზონტის M წერტილში ცის სფეროს აღმოსავლეთ მხარეს, მისი მოძრაობა იქნება ეკვატორის პარალელური; M_1 წერტილში გაივლის მერიდიანზე, M_2 წერტილში ჩავა პორიზონტს ქვევით, M_3 წერტილში მიაღწევს მერიდიანის მეორე ნახევარზე და შემდეგ ისევ ზევით მიდის ცის აღმოსავლეთ მხარეს. ვარსკვლავთა უმრავლესობა საშუალო განედზე ამოდიან და ჩადიან. ჩრდილოეთი პოლუსის ახლო მყოფი ვარსკვლავები საშუალო განედზე არ ჩადიან და მათ ჩაუ-

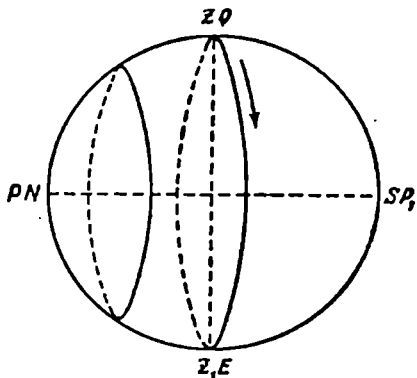
¹ იხ. ნახ. 32, 52, 56.

ვალი ვარსკვლავები ეწოდება. სამხრეთ პოლუსთან ახლო მყოფი ვარსკვლავები საშუალო განედზე არ ამოდიან და მათ ამოუვალი ვარსკვლავები ეწოდება.

თუ დამკვირვებელი დგას დედამიწის ჩრდილო პოლუსზე, მაშინ მისთვის სამყაროს ჩრდილო პოლუსი იქნება ზენიტში (რადგან პოლუსის განედი 90° -ა); ეკვატორის წრე კი დამთხვეული იქნება ჰორიზონტზე (ნახ. 29 ბ). სამყაროს ღერძს ექნება შვეული მიმართულება. ცის სფეროს



ნახ. 29 ბ.



ნახ. 29 ც.

ბრუნვის გამო ვარსკვლავის სიმაღლე არ შეიცვლება და ისინი აღწერენ ჰორიზონტის პარალელურ წრეებს. ამ შემთხვევაში არც ერთი მნათობი არ ამოვა და არ ჩავა; ნახევარი მუდამ ჰორიზონტს ზევით არის და ნახევარი ქვევით.

თუ დამკვირვებელი დგას დედამიწის ეკვატორის რომელიმე წერტილში, მისი განედი $\varphi=0$ და სამყაროს პოლუსის სიმაღლეც ნული უნდა იყოს. ეს იმას ნიშნავს, რომ სამყაროს პოლუსები იმყოფება ჰორიზონტზე და სამყაროს ღერძს ჰორიზონტული მდებარეობა აქვს. ეკვატორს კი ექნება ვერტიკალური მდებარეობა და გაივლის ზენიტსა და ნადირზე (ნახ. 29 ც). ვარსკვლავები აღწერენ ეკვატორის პარალელურ წრეებს, ე. ი. იმობრავებენ ვერტიკალურად, რის გამოც ნახევარჯერ ჰორიზონტს ზევით იქნებიან და ნახევარჯერ ჰორიზონტს ქვევით¹.

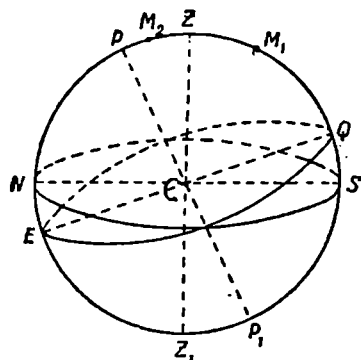
ჩ ბ) კულმინაცია. ვარსკვლავიერი დრო

ცის აღმოსავლეთ მხარეს მნათობი თანდათან ზევით იწევს, ხოლო დასავლეთით ქვევით ეშვება. მერიდიანის იმ ნახევარზე, რომელიც პოლუსებს შორის არის მოქცეული და ზენიტს შეიცავს (ე. ი. $PZQSP_1$ -ზე),

¹ ცის სფეროს სხვადასხვა ნაწილის ხილვადობა განედზე დამოკიდებულებით, ჩრდილოეთელ ასტრონომებს აიძულებს საინტერესო ციური ობიექტების შესწავლისათვის წავიდნენ დასამხრად დედამიწის სამხრეთ ნახევარ სფეროში ან ეკვატორზე. რედ.

მნათობი აღწევს უმაღლეს მდებარეობას; ამ მოვლენას ეწოდება ზედა კულმინაცია. მერიდიანის იმ ნახევარზე, რომელიც პოლუსებს შორის არის მოქცეული და ნადირს შეიცავს (ე. ი. $PNEZ_1P_1$ -ზე), მნათობი აღწევს უდაბლეს მდებარეობას; ამ მოვლენას ეწოდება ქვედა კულმინაცია (ნახ. 30).

ვთქვათ, ზედა კულმინაცია მოხდა ზენიტიდან სამხრეთისაკენ M_1 წერტილში. მაშინ ზენიტური მანძილი უდრის ZM_1 -ს. მეორე მხრივ $ZM_1 = ZQ - M_1Q$. მაგრამ ZQ უდრის



ნახ. 30.

განედს (როგორც რადიუსსა და ეკვატორს შორის კუთხე ZCQ). M_1Q არის მანძილი მნათობიდან ეკვატორამდე, რაც უდრის დახრილობას, ე. ი. $ZM_1 = \varphi$, $M_1Q = \delta$. ჩავსვათ ესენი ზევეთა ტოლობაში, მივიღებთ $Z = \varphi - \delta$ (ზენიტიდან სამხრეთით).

თუ ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტიდან ჩრდილოეთით, ე. ი. PZ ნაწილზე, რაიმე M_2 წერტილში, მაშინ ზენიტური მანძილი უდრის ZM_2 -ს. მაგრამ $ZM_2 = M_2Q - ZQ$ აქ

$ZM_2 = Z$, $M_2Q = \delta$ და $ZQ = \varphi$, თუ ჩავსვათ ზევეთა ტოლობაში, მივიღებთ $Z = \delta - \varphi$ (ზენიტიდან ჩრდილოეთით).

გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის ორ თანმიმდევარ ზედა კულმინაციათა შორის გასულ დროს ვარსკვლავიერი დღელამე ეწოდება (შეიძლება ვთქვათ—ქვედა კულმინაციათა შორის). ვარსკვლავიერ დღელამეს ყოფენ 24 ნაწილად და ეწოდება ვარსკვლავიერი საათი. ვარსკვლავიერ საათს ყოფენ 60 ნაწილად და ეწოდება ვარსკვლავიერი წუთი (მინუტი). ვარსკვლავიერ წუთს ყოფენ 60 ნაწილად და ეწოდება ვარსკვლავიერი წამი (სეკუნდი).

თუ ვარსკვლავი არის M (ნახ. 26) წერტილში, მისი საათიერი კუთხე იქნება QPM , ხოლო პირდაპირი აღლენა იქნება $\angle PPM$ (ის აღინიშნება α -თი). დღელამსწორობის წერტილის საათიერი კუთხე იქნება $QP\Upsilon$; ეს კუთხე წარმოდგენას გვაძლევს იმაზე, თუ რამდენად მოტრიალდა ცის სფერო დღელამსწორობის წერტილის ზედა კულმინაციის მომენტიდან. თანაბარი ცვლილების გამო ეს კუთხე ხელსაყრელია დროის საზომად. ამიტომ მიღებულია შემდეგი განმარტება: გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის საათიერი კუთხე არის ვარსკვლავიერი დრო. ის აღინიშნება S -ით. 26 ნახაზიდან ჩანს (§ 5 c), რომ $\angle QP\Upsilon = \angle QPM + \angle MP\Upsilon$ ანუ

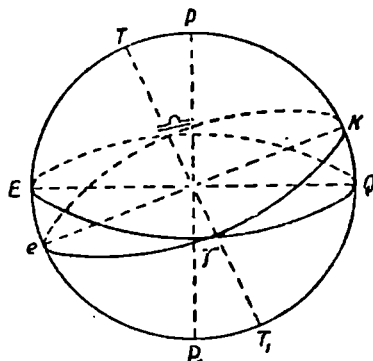
$$S = \alpha + t.$$

ზედა კულმინაციის დროს, როცა ვარსკვლავი მერიდიანზეა, $t=0$ და გვექნება: $S=\alpha$, ე. ი. ვარსკვლავიერი დრო რაიმე მომენტში უდრის იმ მნათობის პირდაპირ აღვლენას, რომელიც ამ დროს ზედა კულმინაციაშია.

ქვედა კულმინაციის დროს, როცა მნათობი არის მერიდიანის მეორე ნახევარზე $t=12^h$ და გვექნება $S=\alpha+12^h$.

— *ა) მზის ხილული დღელამური მოძრაობა წლის განმავლობაში სხვადასხვა განედზე*

წლის განმავლობაში მზე აღწერს ეკლიპტიკას. ამის გამო მისი პირდაპირი აღვლენა მუდამ იცვლება; დღელამეში ცვლილება უდრის დაახლოებით 1° -ს ან $4''$ -ს. იცვლება აგრეთვე დახრილობაც. 31 ნახაზზე გამოსახულია ცის სფერო, სადაც აღნიშნულია ეკვატორისა და ეკლიპტიკის წრე. პორიზონტის წრეს ჩვენ აქ არ ვხაზავთ, ვინაიდან ეკლიპტიკის მდებარეობა პორიზონტისადმი განუწყვეტლივ იცვლება. $\angle QCK = \varepsilon$ არის კუთხე ეკლიპტიკასა და ეკვატორს შორის. ღერძებს შორის კუთხეც ამასვე უდრის, ე. ი. $\angle TCP = \varepsilon$ (ეკლიპტიკის ღერძი არის მისი მართობი TT_1). γ არის გაზაფხულის, ხოლო α შემოდგომის დღელამსწორობის წერტილები. გაზაფხულის დღელამსწორობის γ წერტილში ეკლიპტიკა სამხრეთიდან ჩრდილო ნახევარსფეროში ამოდის.



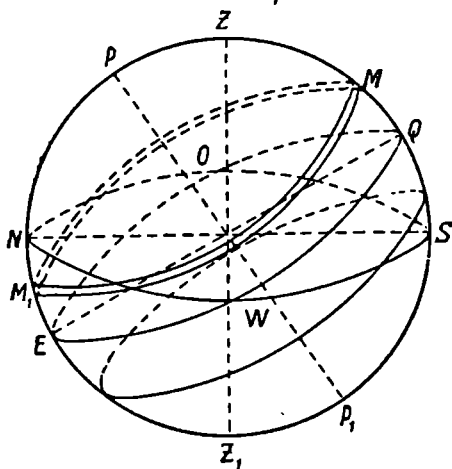
ნახ. 31.

დღელამსწორობის დღეებში—21 მარტს და 23 სექტემბერს მზე იმყოფება ეკლიპტიკისა და ეკვატორის გადაკვეთაზე (γ და α წერტილებში) და დახრილობა უდრის ნულს. 22 ივნისს მზე მიაღწევს ეკლიპტიკის უმაღლესს k წერტილს და დახრილობა უდრის $KQ = \varepsilon = 23\frac{1}{2}^\circ$ (უფრო ზუსტად $\varepsilon = 23^\circ 27'$). 22 დეკემბერს მზე არის ეკლიპტიკის უდაბლესს e წერტილში და მისი დახრილობა უდრის $-\varepsilon$ -ს.

დახრილობაზე დამოკიდებულია მნათობის ცის თაღზე ხილული მოძრაობა. განვიხილოთ როგორ წარმოგვიდგება მზის ხილული მოძრაობა წლის განმავლობაში საშუალო განედზე. 22 ივნისს მზის დახრილობა უდრის $23\frac{1}{2}^\circ$ -ს. მისი ზედა კულმინაცია ამ დღეს მოხდება Q წერტილს ზევით $23\frac{1}{2}^\circ$ -ზე M წერტილში. დღელამური რკალი, გაივლის რა M წერტილში, იქნება ეკვატორის პარალელური. ამ დღეს მზე ჩადის B წერტილში, ქვედა კულმინაციას ახდენს M_1 წერტილში და ამოდის A წერტილში¹ (ნახ. 32). დღიური რკალი AMB გაცილებით მეტია ღამის რკალზე BM_1A -ზე. შემდეგ დღეებში მზის დახრილობა კლებულობს და

¹ B და A ნახ. 32-ზე არ არის. რხ. ნახ. 55-ზე b და a . ნახ.31-ზე ცენტრში აკლია C .

დღელამური რკალი თანდათან უახლოვდება ეკვატორს. 23 სექტემბერს მზის დახრილობა ნულია და მისი დღელამური რკალი ცის ეკვატორს ემთხვევა. ამ დღეს დღე და ღამე თანასწორია და დღის რკალი OQW

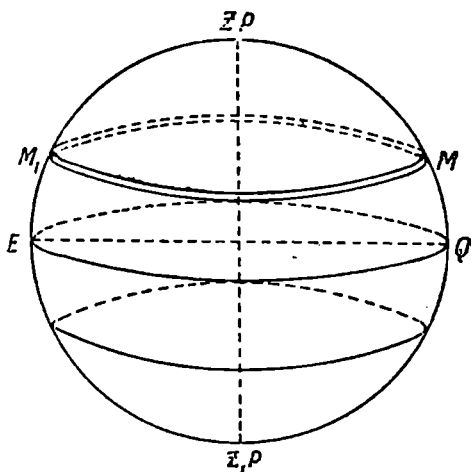


ნახ. 32.

ღამის რკალის WEO -ს ტოლია. შემდეგ მზის დახრილობა უარყოფითი ხდება და დღელამური რკალი ეკვატორს ქვევით იმყოფება. 22 დეკემბერს მზის დახრილობა $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ა და ამ დღეს მზე ყველაზე უფრო დაბალზე მოძრაობს. ახლა ღამის რკალია გაცილებით მეტი დღის რკალზე. შემდეგ დახრილობა მატულობს და მზის დღელამური რკალი უახლოვდება ცის ეკვატორს, რომელსაც მი-აღწევს 21 მარტს, როცა მზის დახრილობა 0° გახდება. ახლაც, როგორც 23 სექტემბერს, დღე და ღამე თანასწორია და

დღის რკალი ღამის რკალის ტოლია. შემდეგ დღის რკალი ზევით მიდის 22 ივნისამდე და ა. შ. ამრიგად მზის ხილული დღელამური მოძრაობა წლის განმავლობაში სპირალისებურია.

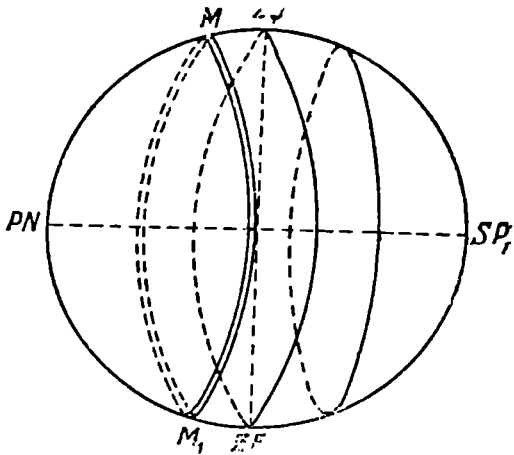
პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისთვის ეკვატორი, როგორც ვიციტით, პორიზონტზეა დამთხვეული და მნათობი მუდამ ერთსა და იმავე სიმაღლეზეა. 22 ივნისს მზე აღწერს MM_1 რკალს (ნახ. 33) პორიზონტიდან $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე. შემდეგ თანდათან ქვევით ეშვება და 23 სექტემბერს მოძრაობს პორიზონტზე. ამის შემდეგ მზე ჩადის პორიზონტს ქვევით და იწყება პოლარული ღამე, რომელიც 6 თვეს გრძელდება. 22 დეკემბერს მზის დღელამური რკალი ყველაზე ქვევითაა, —



ნახ. 33.

$23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე პორიზონტიდან. შემდეგ ზევით მოძრაობს და 21 მარტს პორიზონტის წრეს აღწერს. ამ მომენტიდან 6 თვე იქნება დღე.

ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისთვის პოლუსები არის ჰორიზონტში; ცის ეკვატორს ვერტიკალური მდებარეობა აქვს და გადის ზენიტსა და ნადირზე (ნახ. 34). 22 ივნისს მზე დაშორებულია ეკვატორიდან $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე ჩრდილოეთით და მოძრაობს MM_1 რკალზე, რომელიც აგრეთვე ვერტიკალურია. ამ დღეს და საერთოდ ზაფხულში ჩრდილი აქ მიმართულია სამხრეთისაკენ. 23 სექტემბერს და 21 მარტს მზე ცის ეკვატორზეა, ე. ი. პირველ ვერტიკალზე მოძრაობს. 22 დეკემბერს კი მოძრაობს ეკვატორის სამხრეთით $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე და ჩრდილი მიმართულია ჩრდილოეთისაკენ. მზის დღედამური რკალები წლის განმავლობაში, როგორც პირველ შემთხვევაში, პოლუსზეც და ეკვატორზეც სპირალისებურია.

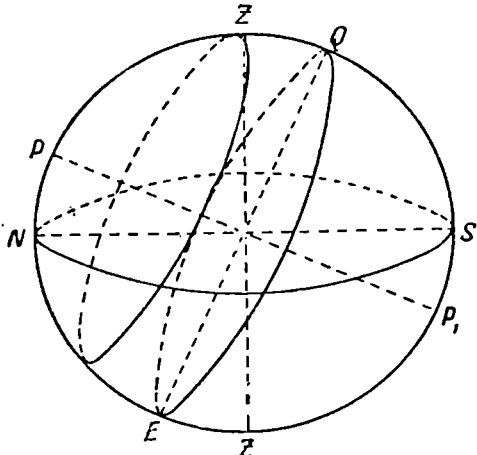


ნახ. 34.

სხვა განედებზეც მზის ხილული მოძრაობა ანალოგიურად განიხილება, მხოლოდ ნახაზი 32 უნდა მოვიბრუნოთ ისე, რომ პოლუსის სიმალე განედის ტოლი იყოს. მათ შორის აღსანიშნავია ტროპიკები და პოლიარული წრე.

ჩრდილოეთის ტროპიკის პარალელია, რომლის წერტილთა განედი უდრის $23\frac{1}{2}^{\circ}$; სამხრეთის ტროპიკის განედი კი უდრის $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს. ეკვატორსა და პორიზონტს შორის კუთხე აქ უდრის $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს. 22 ივნისს მზე $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით ზევით არის ეკვატორის უმაღლესი წერტილიდან და მისი დღედა-

მური რკალი ზენიტში გაივლის (ნახ. 35). ცხადია, ასეთივე შემთხვევაა სამხრეთ ტროპიკზე 22 დეკემბერს. მაშ ტროპიკებზე მზე ერთხელ გადის

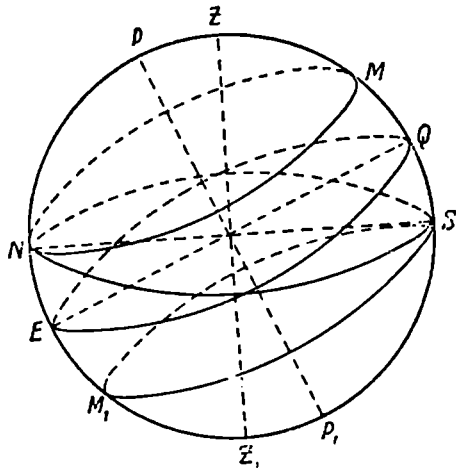


ნახ. 35.

4. ზოგადი ასტრონომია

ზენიტში. ტროპიკებს შორის მდებარე წერტილებში კი გაივლის ორჯერ: ერთხელ, როცა დახრილობა იზრდება და გაუტოლდება ადგილის განედს, მეორეჯერ, როცა მცირდება და ისევ გაუტოლდება ადგილის განედს. ეს ჩანს კულმინაციის ფორმულიდანაც $Z = \varphi - \delta$; მზე თუ ზენიტში გადის, $Z = 0$ და $\varphi = \delta$ -ს.

პოლარული წრეების ის პარალელებია, რომელთა განედი $\varphi = \pm 66\frac{1}{2}^\circ$ -ს. ეკვატორსა და პორიზონტს შორის კუთხე აქ უდრის $23\frac{1}{2}^\circ$ -ს (ნახ. 36).



ნახ. 36.

22 დეკემბერს ჩრდილო პოლარულ წრეზე მზის ზედა კულმინაცია ხდება Q წერტილის ქვევით $23\frac{1}{2}^\circ$ -ზე, ე. ი. პორიზონტის S წერტილში. დანარჩენ დროს ის პორიზონტს ქვევით არის. ამრიგად, 22 დეკემბერს აქ დღის სიდიდე ნულს უდრის ანუ ერთი დღე-ღამე მთლიანი ღამეა. 22 ივნისს კი მზე „შუალამზე“ ეხება ჩრდილოეთის N წერტილს, ე. ი. მზე ამ დღეს არ ჩადის და მთელი დღე-ღამე დღეა. სხვა დღეებში კი ამ განედზე მზე ყოველ დღე ჩადის და ამო-

დის. ასევეა სამხრეთ პოლარულ წრეზეც ზამთარ-ზაფხულის შეცვლით. უფრო დიდ განედებზე მზე შეიძლება არ ჩავიდეს ან არ ამოვიდეს რამდენიმე დღეს.

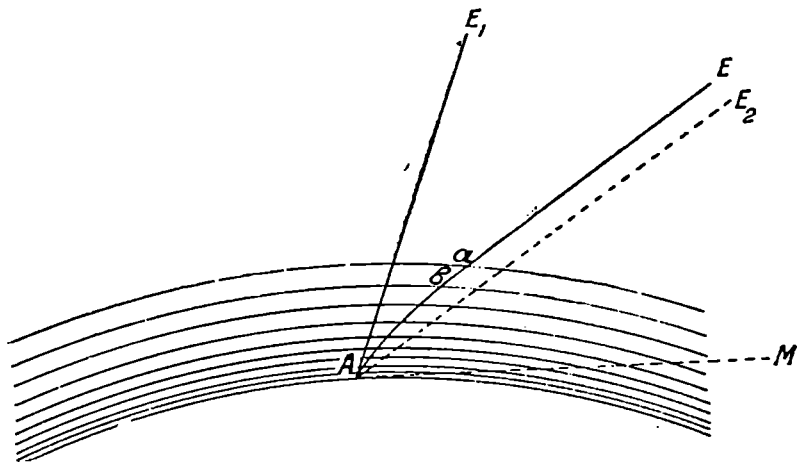
✚ d) რეფრაქცია და ბინდი

მნათობის ხილულ მდებარეობაზე გავლენა აქვს დედამიწის ატმოსფეროს. ჰაერის ფენებში გავლის დროს სხივი გადატყდება და მნათობი სხვა მიმართულებით გვეჩვენება. ამ მოვლენას ეწოდება რეფრაქცია. E მნათობიდან წამოსული სხივი ჰაერის a ფენაში გადატყდება (ნახ. 37) და მიიხრება რადიუსის მიმართულებით (ანუ ზედაპირის მართობისაკენ). b ფენაში სხივი კიდევ უფრო გადატყდება, ვინაიდან მისი სიმკვრივე უფრო მეტია და ა. შ. A წერტილში მყოფი დამკვირვებელი მნათობს დაინახავს სხივის უკანასკნელი გზის მხების მიმართულებით AE_1 -სკენ. რომ არ გადახრილიყო—მნათობი გამოჩნდებოდა AE_2 მიმართულებით, სადაც $AE_2 \parallel aE$ -ს. კუთხე E_2AE_1 -ს ეწოდება რეფრაქცია. რაც უფრო ახლოა პორიზონტთან M მნათობი, იმდენად უფრო მეტად გადატყდება სხივი, რადგან იგი ამ შემთხვევაში ატმოსფეროს სქელ ფენას გაივლის

და რეფრაქციის სიდიდეც უფრო დიდია. ზენიტში კი—რეფრაქციის სიდიდე ნულია, როგორც მოსალოდნელია ეს სიმეტრიის გამო.

რეფრაქცია ზევით სწევს მნათობს და მაშ ამცირებს ზენიტურ მანძილს; აზიმუტზე კი მას გავლენა არა აქვს. რეფრაქციისათვის არსებობს მხოლოდ დაახლოებითი თეორიები და ცხრილები. არა დიდი ზენიტური მანძილებისათვის რეფრაქციის სიდიდე გამოისახება ფორმულით:

$$R = 58'', 2 \lg Z_1,$$



ნახ. 37.

სადაც Z_1 არის ხილული (ანუ დაკვირვებით მიღებული) ზენიტური მანძილი. ნამდვილი ანუ გეოცენტრული ზენიტური მანძილის მისაღებად ეს სიდიდე უნდა მიუმატოთ ხილულ ზენიტურ მანძილს, ე. ი. $Z = Z_1 + R$.

ჰორიზონტთან მყოფი მნათობისთვის ეს ფორმულა არაა გამოსაყენებელი, ვინაიდან გვაძლევს უსასრულობას ($Z_1 = 90^\circ$); მაგრამ ასეთ შემთხვევაში რეფრაქციისთვის შედგენილია ემპირიული ცხრილები. თვით ჰორიზონტში რეფრაქციის სიდიდე უდრის $34''$ -ს. ამის გამო მზე და მთვარე, რომელთა ხილული დიამეტრი დაახლოებით $32''$ -ა, ჯერ კიდევ ჰორიზონტს ქვევით იმყოფება და ჩვენ უკვე ამოსულად გვეჩვენება. ასევე ხდება ჩასვლის დროსაც. ცხადია, ვარსკვლავებიც ამავე კანონს ემორჩილება.

რეფრაქციის მსგავსი მოვლენაა ბინდი. როცა მზე ჰორიზონტს ქვევითაა, მისი სხივები გადატყდება ატმოსფეროს ზედა ფენებში. ნაწილი ამ გადატყებილი სხივების იფანტება ჰაერში და იწვევს განათებას. საგრძნობ განათებას აქვს ადგილი, სანამ მზე $61\frac{1}{3}^\circ$ -ზე ჩავიდოდეს ჰორიზონტს ქვევით (აგრეთვე ამოსვლის წინ თუ $61\frac{1}{2}^\circ$ -ზე ნაკლებ მანძილზეა მოახლოებული ჰორიზონტთან); ამას ეწოდება სამოქალაქო

ბინდი. სუსტი ნათება გრძელდება მანამდე, სანამ მზე ჰორიზონტიდან 17°-ზე უფრო ქვევით არ ჩავა; ამას ეწოდება ასტრონომიული ბინდი.

ატმოსფერო არის აგრეთვე მიზეზი ე. წ. ვარსკვლავთა ციმციმის. ატმოსფეროში ყოველთვის არის ჰაერის ნაქადი. ვარსკვლავიდან წამოსული სხივი ხვდება ჰაერის სხვადასხვა დინებას, რომელთაც სხვადასხვა სიმკვრივე აქვთ. ამის გამო სხივის გადახრა ყოველ წამს იცვლება და გვეჩვენება, რომ ვარსკვლავები ციმციმებენ. ცთომილები კი არ ციმციმებენ, ვინაიდან მათ დისკო აქვთ და სინათლე მოდის არა ერთი სხივის სახით, არამედ „სვეტად“, რასაც ჰაერის დენა ვერ არყევს. მაგრამ ტელესკოპით დაკვირვების დროს, ან ფოტოგრაფირების დროს ცთომილის გამოსახულება ბუნდოვანი ხდება, როცა ატმოსფერო არა წყნარ მდგომარეობაში იმყოფება.

§ 7. მთვარის მოძრაობა. მზის და მთვარის დაბნელება

ა) სინოდური და სიდერული თვე

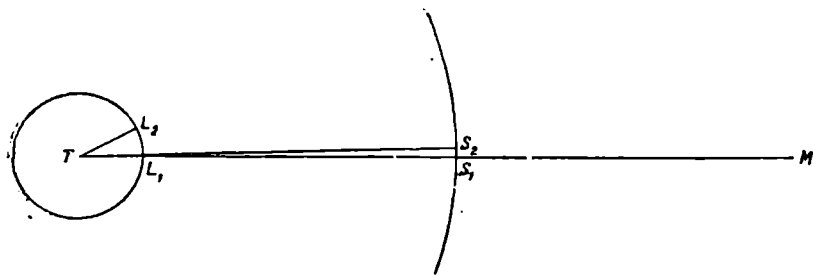
ჩვენ გვეჩვენება, რომ მზე მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ და მთელ წრეს (ეკლიპტიკას) შემოივლის ერთი წლის განმავლობაში. სინამდვილეში დედამიწა მოძრაობს მზის გარშემო წელიწადში ერთხელ. დედამიწასთან ერთად მზეს გარს უვლის აგრეთვე მთვარე, რომელიც ამავე დროს მოძრაობს დედამიწის გარშემო (უფრო ზუსტად დედამიწა და მთვარე მოძრაობს მათი საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო, ხოლო სიმძიმის ცენტრი მოძრაობს მზის გარშემო). მაგრამ ზოგიერთი საკითხის განხილვის დროს შეიძლება არ მივაქციოთ ყურადღება ნამდვილ მოძრაობას და დავკმაყოფილდეთ ხილული მოძრაობით.

ადვილი შესამჩნევია, რომ მთვარე მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის და ამავე დროს საკმაოდ სწრაფად. დღე-ღამეში ის გადაადგილდება ცის სფეროზე 13°-ით, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ; ცის სფერო კი ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით დღე-ღამეში ერთხელ (ე. ი. 360°-ით) და ამიტომ გვეჩვენება მთვარის ამოსვლა და ჩასვლა. მთელ წრეს მთვარე დედამიწის გარშემო შემოსწერს დაახლოებით $\frac{360^\circ}{13^\circ}$, უფრო

ზუსტად 27,321 დღე-ღამეში. ვთქვათ, 38 ნახაზზე T არის დედამიწა, L მთვარე, S მზე და M რაიმე „უძრავი“ ვარსკვლავი. რაიმე მომენტში, ვთქვათ, ისინი ერთ სწორ ხაზზეა დალაგებული. 27,321 დღე-ღამის შემდეგ მთვარე გაუპირდაპირდება იმავე ვარსკვლავს და ამ პერიოდს ეწოდება სიდერული ანუ ვარსკვლავიერი თვე. მზე კი იმავე ვარსკვლავს გაუპირდაპირდება ერთი წლის შემდეგ.

როცა მთვარე და მზე დედამიწიდან ერთ ხაზზე არის, როგორც 38 ნახაზზე L_1 და S_1 , ამას ეწოდება ახალი მთვარობის მომენტი, ხოლო

ის დრო, რომელიც გადის ერთი ახალი მთვარობიდან მეორე ახალ მთვარობამდე, იწოდება სინოდურ თვედ. სინოდური თვე უფრო მეტია, ვიდრე სიდერული თვე, ვინაიდან, როცა მთვარე ერთ წრეს შემოსწერს და გაუპირდაპირდება მზის პირველად დგომის S_1 წერტილის (ანუ უძრავ M ვარსკვლავს), მაშინ მზე ამ ადგილიდან იქნება დაახლოებით $27\frac{1}{3}^{\circ}$ -ზე (რადგან მზე მთელ წრეს შემოსწერს 365 დღე-ღამეში და ერთ დღე-ღამეში დაახლოებით 1° -ს გადის). ახალი მთვარობის დადგომისათვის მთვარემ უნდა გაიაროს ეს $27\frac{1}{3}^{\circ}$ და კიდევ ის კუთხური გზა, რომელსაც მზე



ნახ. 38.

გაივლის ამასობაში. ამას სჭირდება ორ დღე-ღამეზე მეტი და სინოდური თვე გამოდის დაახლოებით $29\frac{1}{2}$ დღე-ღამე; უფრო ზუსტად 29,53059 დღე-ღამე.

აღენიშნოთ სიდერული ანუ ვარსკვლავიერი თვის ხანგრძლიობა T ასოთი, სინოდური თვის— S ასოთი და წლის ხანგრძლიობა— E ასოთი.

მაშინ ერთ დღე-ღამეში ვარსკვლავის მიმართ მთვარე გაივლის $\frac{360^{\circ}}{T}$ კუთხურ მანძილს; ვთქვათ, ეს არის L_1TL_2 კუთხე. მზე ერთი დღე-ღამის განმავლობაში გაივლის $\frac{360^{\circ}}{E}$ კუთხურ მანძილს და, ვთქვათ, ეს არის S_1TS_2

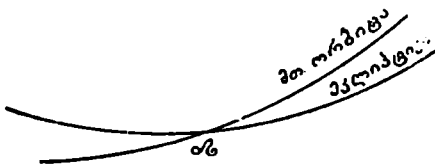
კუთხე. მაშინ, როგორც ნახაზიდან ჩანს, მზესა და მთვარეს შორის კუთხური მანძილი იქნება $S_2TL_2 = L_1TL_2 - S_1TS_2$. ეს იქნება მთვარის მიერ მზის მიმართ გავლილი კუთხური მანძილი ერთ დღე-ღამეში და უდრის $\frac{360^{\circ}}{S}$ -ს. ამიტომ გვექნება $\frac{360^{\circ}}{S} = \frac{360^{\circ}}{T} - \frac{360^{\circ}}{E}$ - ანუ შეკვეცის შემდეგ

$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$. ამას ეწოდება სინოდური და სიდერული გარემოქცევის ფორმულა; მას დიდი გამოყენება აქვს ასტრონომიაში.

~ ბ) მთვარის ორბიტა. მთვარის ფაზები ~

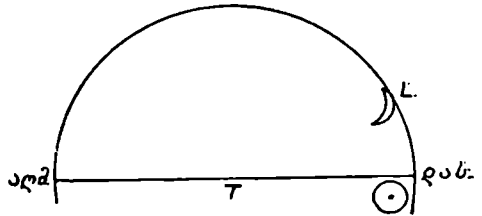
მთვარის მოძრაობა ეკლიპტიკის სიბრტყესთან ახლო წარმოებს, მაგრამ მას არ ემთხვევა. მისი გზის ანუ ორბიტის სიბრტყე ეკლიპტიკის

სიბრტყესთან ადგენს დაახლოებით 5°-ან კუთხეს. მთვარის ორბიტის სიბრტყე, ისე როგორც ეკლიპტიკის სიბრტყე, ცის სფეროზე გვაძლევს დიდ წრებაზს. ეს წრებაზები იკვეთება ორ წერტილში და მათ მთვარის ორბიტის კვანძები ეწოდება. ამათგან ერთი, სადაც მთვარის ორბიტა სამხრეთ ნახევარსფეროდან ამოდის, ჩრდილოეთში იწოდება აღმავალ კვანძად და აღინიშნება *ა* ნიშნით (ნახ. 39). მეორეს ეწოდება დაღმავალი კვანძი და აღინიშნება შებრუნებული ნიშნით *ა*. კვანძები, ცხადია, 180°-თა დაშორებული ერთმანეთისგან. ისინი მოძრაობენ მთვარის მოძრაობის შებრუნებული მიმართულებით, ე. ი. აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ, წელიწადში 19°,3-ით და მთელ წრეს 18 წელსა და 7 თვეში შემოივლიან.



ნახ. 39.

დავთ და ამას ეწოდება მთვარის ფაზები. როდესაც მთვარე მოქცეულია მზესა და დედამიწას შორის, მაშინ ის არ ჩანს; ეს არის ზუსტად ახალი მთვარობის მომენტი. მზეც და მთვარეც ორივე აღმოსავლეთით მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის, მაგრამ მთვარე გაცილებით უფრო სწრაფად ($13^{\circ}-1^{\circ}=12^{\circ}$). ამიტომ მთვარე ორ დღეში საკმაოდ დაშორდება მზეს აღმოსავლეთით და მზის ჩასვლის შემდეგ გამოჩნდება ცის დასავლეთ მხარეს ვიწრო ნაშთის სახით. ეს არის ახალი მთვარე ჩვეულებრივი გაგებით (ნახ. 40). ეს აიხსნება იმით, რომ მთვარეს საკუთარი სინათლე არა აქვს და ამ დროს ჩვენსკენ მოქცეულია მზის მიერ განათებული ნახევარის მცირე ნაწილი. შემდეგ დღეებში მთვარე უფრო მეტადაა დაშორებული მზიდან (კუთხურად) და ჩვენ უფრო მეტ განათებულ ნაწილს ვხედავთ. როცა 90°-თაა დაშორებული, ვხედავთ ნახევარ მთვარეს და ეწოდება პირველი მეოთხედი. როცა დაშორებულია 180°-ით, ე. ი. დედამიწა იმყოფება მზესა და მთვარეს შორის, მაშინ ჩვენსკენ მოქცეულია მთელი განათებული ნახევარი. ამას ეწოდება სავსე ანუ ბაღრი მთვარე.



ნახ. 40.

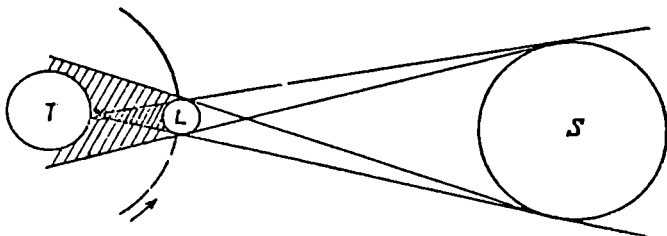
ამის შემდეგ ჩვენსკენ თანდათან ნაკლები ნაწილია მოქცეული მთვარის განათებული ნახევრიდან. სავსე მთვარობიდან ერთი კვირის შემდეგ გახდება ნახევარი მთვარე და ეწოდება უკანასკნელი მეოთხედი; ის ჩანს ნაშუალამეც. შემდეგ თანდათან ვიწროვდება მთვარის ნამგალი და ბოლოს სრულიად უჩინარდება.

ამის შემდეგ ჩვენსკენ თანდათან ნაკლები ნაწილია მოქცეული მთვარის განათებული ნახევრიდან. სავსე მთვარობიდან ერთი კვირის შემდეგ გახდება ნახევარი მთვარე და ეწოდება უკანასკნელი მეოთხედი; ის ჩანს ნაშუალამეც. შემდეგ თანდათან ვიწროვდება მთვარის ნამგალი და ბოლოს სრულიად უჩინარდება.

მთვარის „რქები“ ყოველთვის მიქცეულია მზის მიმართულების საწინააღმდეგო მხარეს. ახალი მთვარე გამოჩნდება დასავლეთით საღამო ხანს, ძველი კი—აღმოსავლეთით გათენების წინ. ახალია თუ ძველი მთვარე, ამის გამოსაცნობად არსებობს წესი: რქებზე უნდა გავატაროთ სწორი ხაზი (წარმოდგენით) და ვეცადოთ წავიკითხოთ ლათინური *p* ან *d*. თუ წაიკითხა *p*, ეს ნიშნავს ახალ მთვარეს, სიტყვიდან „premier“, ხოლო თუ წაიკითხა *d*—იქნება ძველი მთვარე, სიტყვიდან „dernier“.

† c) მზის და მთვარის დაბნელება ←

ახალი მთვარობის დროს თუ დედამიწა, მთვარე და მზე ზუსტად ერთ სწორ ხაზზეა—ადგილი ექნება მზის დაბნელებას. ეს იმაში მდგომარეობს, რომ მთვარიდან წამოსული ჩრდილის კონუსი მოხვდება დედამიწის ზედაპირის ნაწილზე და სინათლე აღარ იქნება; მთვარე გადაეფარება მზის დისკოზე. გავატაროთ გარე შემხებები მზისა და მთვარის დისკოებზე. მთვარის მეორე მხარეზე წარმოიქმნება სრული ჩრდილის



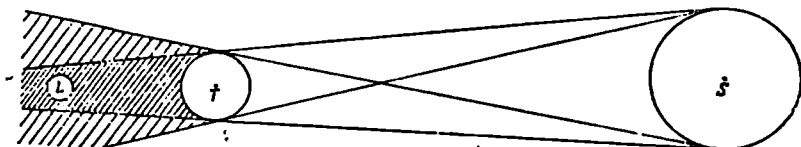
ნახ. 41.

კონუსი, რომლის წვეროც დედამიწის ზედაპირზე იძლევა სრულ ჩრდილს. ამ ადგილებისთვის მზე სრულიად დაფარულია. შემხებს თუ გავატარებთ ჯვარედინად,—მზის ზედა კიდიდან მთვარის ქვედაჩკიდებზე და შებრუნებით,—მთვარის მეორე მხარეს მივიღებთ ნახევარ ჩრდილის კონუსს, რაც ნახაზზე (ნახ. 41) უფრო მკრთალადაა დახაზული. ამ ადგილებში სინათლე ხვდება მზის ზედაპირის მხოლოდ ზოგიერთი ნაწილიდან და მით უფრო მეტია დაბნელება, რაც უფრო ახლოა წერტილი სრული ჩრდილის კონუსთან. დედამიწის ბრუნვის გამო ჩრდილი გარბის მის ზედაპირზე და წარმოიქმნება დაბნელებათა ზოლი. სრული ჩრდილის ზოლი ვიწროა, საშუალოდ 150 კილომეტრის სიგანის. ნახევარჩრდილი კი საიდანაც სხვადასხვა ფაზის მზის ნაწილობრივი დაბნელება გამოჩნდება, დიდ ზედაპირზე ვრცელდება. მზის დაბნელება ყოველი ახალი მთვარობის დროს და მაშ ყოველ თვე მოხდებოდა (მთვარის დაბნელება მოხდებოდა ყოველი სრული მთვარობის დროს), მთვარე რომ ეკლიპტიკის სიბრტყეში მოძრაობდეს. მაგრამ მთვარის ორბიტა დახრილია ეკლიპტიკისადმი დაახლოებით 5°-ით და მთვარე ეკლიპტიკის სიბრტყის ხან

ზევით (ჩრდილოეთით) იმყოფება და ხან ქვევით. ამის გამო ჩრდილი უფრო ხშირად აშორდება დედამიწას და დაბნელება აღარ მოხდება.

მზის დაბნელება იწყება მისი დისკოს დასავლეთი მხრიდან, რადგან მთვარე მოძრაობს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. საშუალოდ სრული დაბნელება გრძელდება ორ წუთს (მინუტს); მაქსიმუმი შეიძლება გაგრძელდეს 7 წუთამდე.

ზოგჯერ მთვარის სრული ჩრდილი არ მიაღწევს დედამიწამდე და მაშინ შეიძლება ადგილი ქონდეს მზის რგოლისებურ დაბნელებას; მთვა-



ნახ. 42.

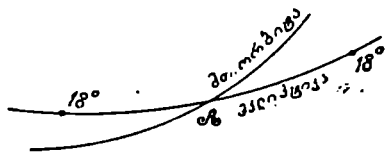
რის ბნელი დისკოს გარშემო დაუფარავი დარჩება მზის დისკოს ნაწილი რგოლის სახით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ მთვარე ზოგჯერ უფრო შორსაა დედამიწიდან და ზოგჯერ უფრო ახლოს ორბიტის ელიფსურობის გამო.

სრული მთვარობის დროს, თუ მთვარე, დედამიწა და მზე ზუსტად ერთ სწორ ხაზზე დალაგდა, ადგილი ექნება მთვარის დაბნელებას. ამ შემთხვევაში დედამიწის ჩრდილის კონუსში მოხვდება მთვარე და შეიძლება ის მთლად დაფაროს, ვინაიდან მთვარის მანძილზე ამ ჩრდილის დიამეტრი 2-ჯერ მეტია მთვარის დიამეტრზე. ამავე მიზეზის გამო მთვარის დაბნელება შეიძლება რამდენიმე საათს გაგრძელდეს (ნახ. 42).

d) დაბნელებათა რიცხვი. ხარისხი ν

დაბნელება საერთოდ მაშინ შეიძლება მოხდეს, თუ მზე, მთვარე და დედამიწა ერთ სწორ ხაზზე ან თითქმის სწორ ხაზზე დალაგებული. ამისათვის კი საჭიროა, რომ ახალი მთვარობის დროს ან სრული მთვარობის დროს მზე ახლო იყოს (გეგმილდებოდეს) მთვარის ორბიტის ერთ-ერთ კვანძთან. მზის დაბნელება შეიძლება მოხდეს, თუ მზე ახალი მთვარობის დროს მთვარის ორბიტის კვანძზე ν დაშორებულია არა უმეტეს 16° -ისა, ერთი ან მეორე მხრივ (ნახ. 43); ხოლო თუ დაშორება არ აღემატება 15° , დაბნელება (სრული ან ნაწილობრივი) აუცილებლად მოხდება. $18^{\circ} + 18^{\circ} = 36^{\circ}$ არის მზის დაბნელების ზონა და მზე მას გაივლის დაახლოებით 36 დღეში. ამ ხნის განმავლობაში კი ერთი ახალი მთვარობა უსათუოდ მოხდება, ვინაიდან სინოდური თვის ხანგრძლიობა უდრის 29,5 დღე-ღამეს. შეიძლება კი მოხდეს ორი ახალი მთვარობა. ამიტომ, როცა მზე გადის მთვარის ორბიტის ერთ კვანძზე, მზის დაბნელება ერთხელ მაინც მოხდება, ხოლო შეიძლება მოხდეს ორჯერ. მთვარის

დაბნელების ზონაა $11^{\circ}+11^{\circ}=22^{\circ}$, რასაც მზე გაივლის დაახლოებით 22 დღე-ღამეს. ამ ხნის განმავლობაში შეიძლება სავსე მთვარობა არ მოხდეს. ამიტომ, როცა მზე გადის მთვარის ორბიტის ერთ კვანძზე, მთვარის დაბნელება შეიძლება არ მოხდეს ან მოხდეს ერთჯერ. ასეთივე მდგომარეობაა მეორე კვანძზე გავლის დროს, რასაც მზე მიაღწევს დაახლოებით ნახევარი წლის შემდეგ. ამრიგად, სულ წელიწადში შეიძლება იყოს ოთხი მზის და ორი მთვარის დაბნელება, ხოლო აუცილებლად იქნება 2 მზის დაბნელება. მაგრამ კვანძები მოძრაობენ უკუსვლით, წელიწადში $19^{\circ},3$ -ით, რის გამოც მზემ შეიძლება გაიაროს ორივე კვანძი და მესამედ გაიაროს პირველად გავლილი კვანძის ნაწილზე. ამიტომ დაბნელებათა მაქსიმუმი წელიწადში შესაძლებელია 7, ამათგან 4 მზის და 3 მთვარის ან 5 მზის და 2 მთვარის.



ნახ. 43.

მზის სრული დაბნელება დაინახება დედამიწის ვიწრო ზოლზე და იშვიათი მოვლენაა; საშუალოდ 150 წელში ერთხელ ხდება რომელიმე მოცემული ადგილისთვის. მთვარის დაბნელება კი ერთნაირად ჩანს დედამიწის ყველა წერტილიდან, თუკი მთვარე ამოსულია პორიზონტზე და რომელიმე მოცემული ადგილისთვის უფრო ხშირ მოვლენას წარმოადგენს.

დაბნელებანი დიდ საგონებელში აგდებდა ძველ ხალხებს და ცდილობდნენ მათი მიზეზების ახსნას ან წინასწარმეტყველებას. პირველად დაბნელებათა კანონი აღმოაჩინა ქალდეელებმა დაახლოებით 20 საუკუნის წინ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. მათ გამოარკვეეს, რომ 223 სინოდური თვე უდრის 6585,32 დღე-ღამეს; 242 დრაკონული თვე ანუ მთვარის კვანძიდან იმავე კვანძზე გადასვლის დრო უდრის 6585,36 დღე-ღამეს და 19 დრაკონული წელი ანუ მზის მიერ მთვარის ერთსა და იმავე კვანძზე ორჯერ გადასვლის დრო უდრის 6585,76 დღე-ღამეს. ეს შეადგენს 18 წელსა და $11\frac{1}{3}$ ან $10\frac{1}{3}$ დღე-ღამეს, იმის მიხედვით, თუ რამდენია ნაკიანი წელი ამ ხნის განმავლობაში. ამ ხნის გასვლის შემდეგ მზე და მთვარე თითქმის ზუსტად იმეორებენ თავიანთ მდებარეობას რომელიმე კვანძთან. ამიტომ ამ პერიოდის შემდეგ განმეორდება დაბნელებანიც. ამ პერიოდს ეწოდება საროსი. ის წარმოადგენდა კარგ საშუალებას დაბნელებათა წინასწარმეტყველებისათვის.

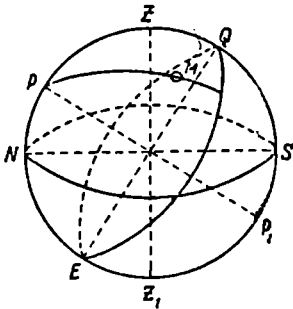
საროსის განმავლობაში სულ ხდება 70 დაბნელება; ამათგან 41 მზის და 29 მთვარის. ახლა დაბნელებათა დაწყების და დამთავრების მომენტებს ერთი წამის სიზუსტით ანგარიშობენ, მათზე დაკვირვებას დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე მეცნიერებისთვის. მზის დაბნელებაზე დაკვირვებით სწავლობენ მზის ატმოსფეროს ბუნებას; მთვარის დაბნელებაზე დაკვირვებით — დედამიწის ატმოსფეროს და სხვა მოვლენებს.

საროსის განმავლობაში სულ ხდება 70 დაბნელება; ამათგან 41 მზის და 29 მთვარის.

ახლა დაბნელებათა დაწყების და დამთავრების მომენტებს ერთი წამის სიზუსტით ანგარიშობენ, მათზე დაკვირვებას დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე მეცნიერებისთვის. მზის დაბნელებაზე დაკვირვებით სწავლობენ მზის ატმოსფეროს ბუნებას; მთვარის დაბნელებაზე დაკვირვებით — დედამიწის ატმოსფეროს და სხვა მოვლენებს.

ა) ქეშმარიტი და საშუალო მზიური დრო.
დროის განტოლება

ჩვენ უკვე ვიცით რა არის ვარსკვლავიერი დრო და ვარსკვლავიერი დღე-ღამე. მიღებული გვექონდა ფორმულა $\mathcal{S} = \alpha + t$. ვარსკვლავიერი დრო ძლიერ ხელსაყრელია მეცნიერული მიზნებისთვის, მაგრამ უხერხულია სამოქალაქო ცხოვრებაში. სამოქალაქო ცხოვრებისთვის გამოყენებულია მზიური დრო. ქეშმარიტი მზის ცენტრის ორ თანამიმდევარ ზედა კულმინაციათა შორის გასულ დროს ქეშმარიტი დღე-ღამე ეწოდება. ქეშმარიტი დღე-ღამე იწყება შუაღამეზე, როცა მზე პერიდიანზეა ზედა კულმინაციაში. შემდეგ მომენტებში მზის საათიერი კუთხე გვაძლევს წარმოდგენას, თუ დღე-ღამის რა ნაწილმა გაიარა. ამიტომ ამბობენ, ქეშმარიტი მზის ცენტრის საათიერი კუთხე არის ქეშმარიტი დრო. 44 ნახაზზე ქეშმარიტი დრო იქნება QPM —



ნახ. 44.

კუთხე. ქეშმარიტ დღე-ღამეს ყოფენ 24 ნაწილად და ეწოდება ქეშმარიტი დროის საათი. ქეშმარიტ საათს ყოფენ ჩვეულებრივად 60 წუთად და წუთს 60 წამად.

ქეშმარიტი მზიური დღე-ღამე არათანაბარია ორი მიზეზით: 1) მზის ხილული მოძრაობა ეკლიპტიკაზე არათანაბარია. მზე ზამთარში უფრო ჩქარა გადაინაცვლებს ვარსკვლავებს შორის, ვიდრე ზაფხულში; ამის გამო დღე-ღამე ზამთარში უფრო დიდია. მართლაც, ზაფხულის ნახევარ წრეხაზის გავლას მზე უნდება 186 დღე-ღამეს—21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე; ზამთრის ნახევარ წრეხაზისას კი მზე უნდება 179 დღე-ღამეს 23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე. ამიტომ ზამთარში მზე უფრო მეტად გადაინაცვლებს აღმოსავლეთით და უფრო იგვიანებს მერიდიანზე გადასვლას, ვიდრე ზაფხულში. 2) მზის ხილული გზა ანუ ეკლიპტიკა დახრილია ეკვატორისადმი. ეკლიპტიკაზე რომ მზე თანაბრად მოძრაობდეს, ეკვატორზე მისი გეგმილი მაინც არ იქნება თანაბარი სხვადასხვა დღეს და ამის გამო დღე-ღამე არათანაბარი განვითავდება.

არათანაბრობის გამო ქეშმარიტი დღე-ღამე უხერხულია სამოქალაქო ცხოვრებისთვის და შემოღებულია საშუალო დღე-ღამე. საშუალო ეკვატორული მზე ეწოდება ფიქტიურ წერტილს, რომელიც თანაბრად მოძრაობს ეკვატორზე და წლის განმავლობაში შემოივლის მას. საშუალო ეკვატორული მზის ორ თანამიმდევარ ზედა კულმინაციათა შორის გასულ

დროს ეწოდება საშუალო დღე-ღამე. საშუალო დღე-ღამეც დაყოფილია 24 ნაწილად და ეწოდება საშუალო საათი და ა. შ.

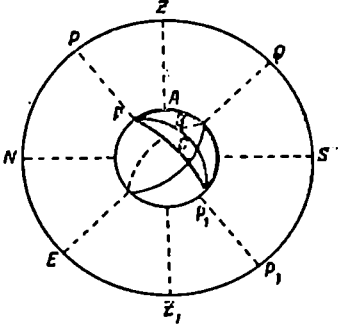
სამოქალაქო დღე-ღამე იწყება საშუალო მზის ქვედა კულმინაციიდან ანუ შუალამიდან.

ვარსკვლავიერი დროის ფორმულა $S = \alpha + t$ დავწეროთ საშუალო და ქეშმარიტი მზისათვის. საშუალო მზისთვის მივიღოთ ნიშნაკი—პატარა ნოლი, ქეშმარიტი მზისათვის—დიდი ნოლი ცენტრში წერტილით. საშუალო მზისთვის $S = \alpha_0 + t_0$; ქეშმარიტი მზისთვის $S = \alpha \odot + t \odot$. ამათი გამოკლებით და დალაგებით მივიღებთ: $t_0 - t \odot = \alpha \odot - \alpha_0$, ე. ი. საშუალო დროის და ქეშმარიტი დროის სხვაობა უდრის ქეშმარიტი მზის პირდაპირი აღვლენისა და საშუალო მზის პირდაპირი აღვლენის სხვაობას. ამას ეწოდება დროის განტოლება და აღინიშნება E ასოთი. მისი მნიშვნელობა მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში („журнал-ник“-ებში). დროის განტოლება ნულის ტოლია წელიწადში ოთხჯერ: 15 აპრილს, 14 ივნისს, 1 სექტემბერს და 24 დეკემბერს. მაქსიმუმია ორჯერ: 11 თებერვალს უდრის $+14''$ (ე. ი. საშუალო საათის წინაა) და 2 ნოემბერს უდრის $-16''$ (ე. ი. საშუალო საათი უკანა).

ბ) ვარსკვლავიერი და საშუალო დრო სხვადასხვა გრძედზე

სხვადასხვა ადგილას ვარსკვლავიერ დროთა შორის დამოკიდებულების გასაგებად ცა და დედამიწა უნდა წარმოვიდგინოთ ორი კონცენტრული სფეროს სახით. ნახაზზე პატარა სფერო—დედამიწა ბრუნავს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, მაგრამ მისი ბრუნვა ჩვენთვის შეუძრაველია. დიდი სფერო, რომელიც ცის სფეროს გამოსახავს, სინამდვილეში უძრავად უნდა ვიგულისხმოთ, მაგრამ დედამიწის ბრუნვის გამო ჩვენ გვეჩვენება, რომ იგი მოძრაობს შებრუნებული მიმართულებით, ე. ი. აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ.

დედამიწის რომელიმე A მერიდიანი ნახაზის სიბრტყეშია (ნახ. 45). თუ გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი Υ ეკვატორის სამხრეთის Q წერტილშია, მაშინ A მერიდიანის წერტილებსათვის იწყება ვარსკვლავიერი დღე-ღამე. B მერიდიანზე ის დაიწყება მას შემდეგ, როცა დედამიწა მოტრიალდება APB კუთხით და ნახაზის სიბრტყეში მოექცევა B მერიდიანი. ასევე C მერიდიანზე ის დაიწყება, როცა დედამიწა დამატებით მოტრიალდება BPC კუთხეზე. მაგრამ ეს კუთხეები წარმოადგენს გრძელთა სხვაობას A, B და B, C მერიდიანებს.



ნახ. 45.

შორის. აქედან გამოდის დებულება: ვარსკვლავიერ დროთა სხვაობა გრძელთა სხვაობის ტოლია, თუ გრძედებს გამოესახავთ საათიერ ზომაში. ამავე დროს ცხადია, რომ რაც უფრო აღმოსავლეთით არის წერტილი დედამიწაზე, იმდენად უფრო ადრე იწყება იქ ვარსკვლავიერი დღე-ღამე და მაშ მისი ვარსკვლავიერი დრო უფრო წინ არის, ვიდრე დასავლეთით მდებარე წერტილის ვარსკვლავიერი დრო.

საშუალო დროისათვისაც ანალოგიურად ვიმსჯელებთ. როცა საშუალო მზე ზედა კულმინაციაშია სადმე $ZQ'S$ რკალზე, A მერიდიანის წერტილებისთვის იწყება საშუალო დღე-ღამე. B მერიდიანისთვის ის მაშინ დაიწყება, როცა დედამიწა მოტრიალდება მზის მიმართ (მზე კი მოძრაობს აღმოსავლეთით) APB კუთხეზე და ა. შ. ამრიგად მივიღებთ იმავე დებულებას: საშუალო დროთა სხვაობა გრძელთა სხვაობის ტოლია, თუ გრძედები გამოსახულია საათიერ ზომაში. აქაც, აღმოსავლეთით მდებარე წერტილის საშუალო დრო მეტია, ვიდრე დასავლეთით მდებარე წერტილის. მაშ ვარსკვლავიერი და საშუალო დროისთვის საერთოა დებულება: დროთა სხვაობა გრძელთა სხვაობის ტოლია (თუ გრძედები გამოსახულია საათიერ ზომაში). მაგალითად, თბილისის გრძელი მეტია სოხუმის გრძედზე 15° -ით; ამდენივეთია მეტი თბილისის ვარსკვლავიერი (ან საშუალო) დრო სოხუმის ვარსკვლავიერ (ან საშუალო) დროზე.

ვ) დამოკიდებულება საშუალო და ვარსკვლავიერ დროს შორის

21 მარტს მზე არის გაზაფხულის დღელამსწორობის Υ წერტილში. ვარსკვლავებს შორის მზე მოძრაობს აღმოსავლეთით და მეორე დღეს იქნება Υ წერტილის აღმოსავლეთით. ამიტომ 21 მარტს მზე და დღელამსწორობის Υ წერტილი ერთად გაივლის მერიდიანზე, ხოლო მეორე დღეს ჯერ გაივლის Υ წერტილი, რადგან ის უფრო დასავლეთითაა და შემდეგ გაივლის მზე (ეს სფერო ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით). ასე გრძელდება შემდეგ დღეებშიც; მზე სულ უფრო მიდის აღმოსავლეთით და უფრო და უფრო გვიან გაივლის მერიდიანზე Υ წერტილთან შედარებით. ერთი წლის შემდეგ მზე შემოივლის მთელ ეკლიპტიკის წრეს და ისევ აღმოჩნდება გაზაფხულის დღელამსწორობის Υ წერტილში. ამისთვის საჭიროა 365,24220 დღე-ღამე: ამას ეწოდება ტროპიკული წელი. ვინაიდან მზემ ერთი წრე შემოსწერა ცის სფეროს დღელამური ბრუნვის საწინააღმდეგოდ, — ის მერიდიანზე გაივლიდა ერთით ნაკლებჯერ, ვიდრე დღელამსწორობის წერტილი. ამის გამო წელიწადში იქნება ერთი ვარსკვლავიერი დღე-ღამით უფრო მეტი, ვიდრე საშუალო დღე-ღამე, ე. ი. $365,2422$ საშუალო დღე-ღამე = $366,2422$ ვარსკვლავიერ დღე-ღამეს. აქედან 1 საშ. დღე-ღამე = $\frac{366,2422}{365,2422}$ ვარსკვ. დღე-ღამეს = 1 ვარს.

დღ. + $\frac{1}{365,2422}$ ვარსკვ. დღე-ღამეს. ეს წილადი უდრის დაახლოებით

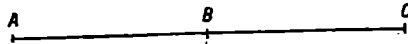
$3^m 56^s, 56$, ე. ი. 1 საშ. დღედ. = 1 ვარს. დღ. + $3^m 56^s, 56$ ე. დროის. ან დამოკიდებულებით გამოისახება საშუალო დროის ნებისმიერი სიდიდე ვარსკვლავიერი დროის ერთეულებში და შებრუნებით. 1 ვარსკვ. დღე-ღამე = 1 საშ. დღე-ღამეს — $3^m 55, 91$ საშ. დროის. ზოგიერთ ასტრონომიულ წიგნში მოცემულია ცხრილები საშუალო დროის მონაკვეთის ვარსკვლავიერში გადასაყვანად და პირიქით. დაახლოებით ერთ დღე-ღამეში ანუ 24^h -ში არის განსხვავება 4^m წუთი.

სამოქალაქო ცხოვრებაში დროის დასაწყისად ღებულობენ შუაღამეს ანუ საშუალო მზის ქვედა კულმინაციის მომენტს. ვარსკვლავიერი დღე-ღამე კი იწყება გაზაფხულის დღელამსწორობის Ⴀ წერტილის ზედა კულმინაციის მომენტიდან, რაც დღე-ღამის ყოველ მომენტში შეიძლება მოხდეს. დაახლოებით შუაღამის ვარსკვლავიერი დრო ასე იანგარიშება. 21 მარტს მზე და დღელამსწორობის წერტილი ერთად იმყოფება, ამიტომ მერიდიანზე ისინი ერთად გაივლიან. ამ დროს დაიწყება ვარსკვლავიერი დღე-ღამე, სამოქალაქო დღე-ღამე კი დაიწყება 12 საათის შემდეგ. ამიტომ 21 მარტს შუაღამეზე ვარსკვლავიერი დრო იქნება 12 საათი. შემდეგ ვარსკვლავიერი საათი წინ მიდის დღე-ღამეში დაახლოებით 4^m -ით. თვეში წინ წავა $4^m \times 30 = 120^m = 2^h$ — ორი საათით. ამიტომ 21 აპრილს ვარსკვლავიერი დრო წინ იქნება 14 საათით, 21 მაისს 16 საათით და ა. შ. რაიმე დღისთვის შუაღამის ვარსკვლავიერი დრო რომ გამოვიანგარიშოთ, 12 საათს უნდა მიუმატოთ იმდენი 2 საათი, რამდენი თვეც გავიდა 21 მარტიდან და კიდევ იმდენი 4 წუთი, რამდენი დღეც გავიდა დამატებით. მაგალითად, 25 ნოემბერს შუაღამის ვარსკვლავიერი დრო იქნება $12^h + 8 \cdot 2^h + 4 \cdot 4^m = 28^h 16^m$, ამას გამოაკლდება პერიოდი 24^h ანუ ერთი დღე-ღამე და დარჩება $4^h 16^m$ (ერთ დღე-ღამეზე მეტი თუ არის, უნდა გამოაკლდეს 24^h). შუაღამის ვარსკვლავიერ დროს აღვნიშნავთ S_0 -ით დაახლოებითი ფორმულა იქნება $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$, სადაც x არის 21 მარტიდან გასული თვეთა რიცხვი, ხოლო y დამატებით გასული დღეები.

d) საშუალო დროის შესაბამის ვარსკვლავიერი დროის პოვნა და პირიქით

წინა სათაურში ჩვენ გამოვარკვეეთ, თუ როგორ ვიპოვოთ შუაღამის ვარსკვლავიერი დრო. სამოქალაქო დრო იწყება შუაღამიდან. ვარსკვლავიერი დრო კი იწყება სხვადასხვა დროს. გრაფიკულად ეს შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ (ნახ. 46). დროის AC ღერძზე, ვთქვათ, A წერტილში იწყება ვარსკვლავიერი დრო; B წერტილში არის შუაღამე და C წერტილი რაიმე მომენტს გამოსახავს. მაშინ AB იქნება შუაღამის ვარსკვლავიერი დრო, ანუ S_0 . AC იქნება ვარსკვლავიერი დრო მოცემულ მომენტში, რაც აღინიშნება S -ით, ხოლო BC შუაღამიდან გასული ვარსკვლავიერი დრო. თუ მცირე განსხვავებას — ყოველ 6 საათში 1 წუთს

არ მივიღებთ მხედველობაში, მაშინ შუალამიდან გასული ვარსკვლავიერი დრო იქნება ჩვეულებრივი საშუალო დრო; აღენიშნოთ ის T_0 -ით. ნახაზიდან და მსჯელობიდან ჩანს, რომ $T_0 \approx S - S_0$, ე. ი. თუ მოცემულია ვარსკვლავიერი დრო, მას უნდა გამოვკლოთ შუალამის ვარსკვლავიერი დრო და მივიღებთ (დაახლოებით) შესაბამ საშუალო დროს.



ნახ. 46.

ფორმულიდან და ნახაზიდან ცხადია, რომ შებრუნებითაც $S \approx T_0 + S_0$, ე. ი. თუ მოცემულია საშუალო დრო, შესაბამი ვარსკვლავიერი დროის საპოვნელად, მას უნდა მიუმატოთ შუალამის ვარსკვლავიერი დრო.

უფრო ზუსტი ანგარიშისთვის მხედველობაში უნდა მივიღოთ ვარსკვლავიერი და საშუალო დროის ერთეულებს შორის მცირე განსხვავება. — ყოველ ექვს საათში ერთი წუთი, უფრო ზუსტად 24 საათში $3^{\circ}56'$ -ი. საერთოდ ზუსტი დროის ანგარიში წარმოებს ყოველწლიურების («железнодорожник»-ების) საშუალებით და სფერული და პარაქტიკული ასტრონომიის საგანს წარმოადგენს.

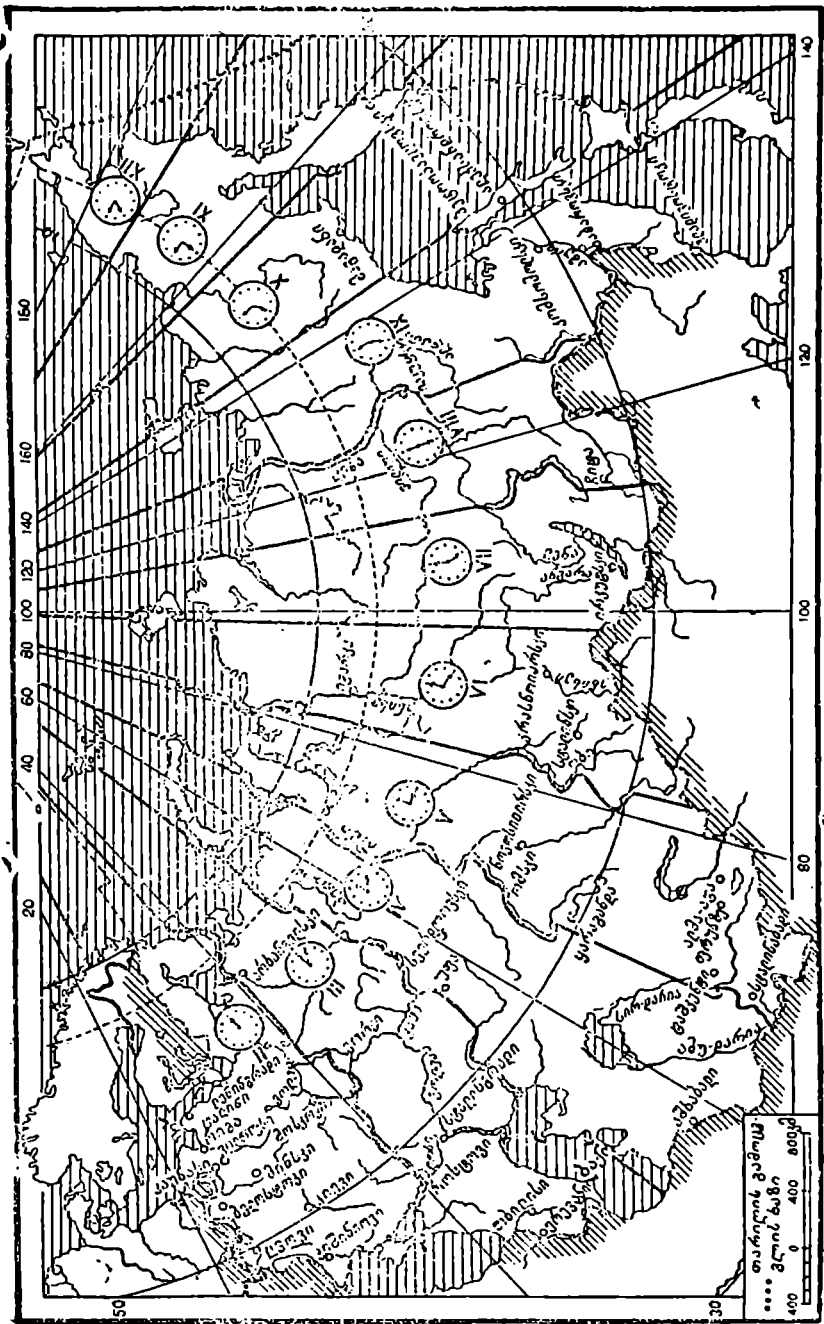
ჟ) სასარტყელო და დეკრეტული დრო

ყოველ ადგილს თავის ადგილობრივი საშუალო დრო აქვს (იხ. ამ პარაგრაფის b სათაური), და წინათ ყოველი ქალაქი თავისი დროით ცხოვრობდა. მიმოსვლის საშუალებათა განვითარების შემდეგ ეს უხერხული აღმოჩნდა და განიზრახეს ერთიანი საერთაშორისო დროის შემოღება. მაგრამ ესეც არ აღმოჩნდა ხელსაყრელი, ვინაიდან ზოგიერთი ქალაქისთვის თენდებოდა არა დაახლოებით 6^h -ზე, როგორც ვართ მიჩვეული, არამედ 12^h -ზე 2^h , და ა. შ., რაც ძნელი შესაჩვევი იყო. ამიტომ საერთაშორისო დროის იდეა განახორციელეს ნაწილობრივად, რისთვისაც დედამიწა დაყვეს ზონებად 24 მერიდიანი. თითოეული ზონა ანუ

$$\text{სარტყელი შეიცავს } \frac{360^\circ}{24} = 15^\circ\text{-ს. ასეთი ზოლის ერთი საზღვრიდან მეორე}$$

საზღვრამდე მზის კულმინაციას ერთი საათით აგვიანდება. თითოეულ ზონაში ანუ სარტყელში მიღებულია ერთი და იგივე დრო, რაც უდრის ზონის შუა მერიდიანის დროს. როდესაც ერთი სარტყელიდან მეორე სარტყელში გადავდივართ აღმოსავლეთით, საათის ისარი უნდა გადაეწიოთ ერთი საათით წინ. დასავლეთით თუ გადავდივართ, საათის ისარი უნდა დაეწიოთ ერთი საათით უკან. წუთები და წამები კი ყოველთვის უკვლელი რჩება.

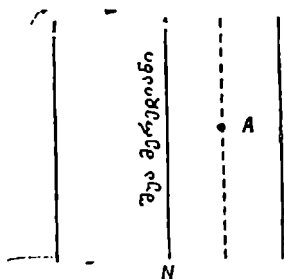
ნულოვან სარტყელში მოთავსებულია დასავლეთი ევროპა. ამ ზოლის შუა მერიდიანია გრინვიჩის მერიდიანი, რომლის დასავლეთით $7\frac{1}{2}^\circ$ -ზე და აღმოსავლეთით $7\frac{1}{2}^\circ$ -ზე გადის მისი საზღვრები. ეს არის ე. წ. ნულოვანი ანუ დასავლეთ ევროპის სარტყელი; მასში მოთავსებულია ინგ-



ნაჩ. 47. სრულ სასარტყელო ზონები.

ლისი, საფრანგეთი, ესპანეთი და სხვ. ამის შემდეგ 15°-ზე იმყოფება პირველი სარტყელი, რომელიც ცხოვრობს მისი შუა მერიდიანის დროით. ამ სარტყელში შედის გერმანია, სკანდინავია, იტალია, პოლონეთი და სხვა და ეწოდება შუა ევროპის სარტყელი. ამის შემდეგ 15°-ზე გადის მეორე სარტყელის საზღვარი. ეს ზოლი გადის სსრკ-ს დასავლეთ ნაწილზე და მასში მოთავსებულია ჩვენი კავშირის დიდი ქალაქები: მოსკოვი, ლენინგრადი, კიევი, ოდესა, მინსკი და სხვა. მესამე ზოლში იმყოფება საქართველო და საერთოდ კავკასია, სტალინგრადი და სხვა; მისი საშუალო მერიდიანი ახლოს გადის თბილისთან.

რამდენ სარტყელსაც გადავივლით აღმოსავლეთით, იმდენით წინ უნდა გადავწიოთ ჩვენი საათის ისარი; თუ 24-ე სარტყელს გადავივლით, ე. ი. დედამიწას გარს შემოუვლით აღმოსავლეთიდან, საათის ისარი უნდა



ნახ. 48. სასარტყელო და საშუალო დრო.

გადავწიოთ 24 საათით. ეს კი უხერხულია და ამისათვის შემოღებულია ე. წ. თარიღის გამოცვლის ხაზი, რომელიც გადის დაახლოებით მეთორმეტე სარტყლის საზღვარზე. ეს ხაზი არ მიჰყვება ზუსტად მერიდიანს, არამედ მიხვეულ-მოხვეულია, — გატარებულია წყნარ ოკეანეში და არსად არ ხვდება დასახლებულ ადგილებს. ამ ხაზის დასავლეთით (ე. ი. ჩვენსკენ), რაიმე დღეს თვის რიცხვი ანუ თარიღი ერთით მეტია, ვიდრე აღმოსავლეთით. თუ გეგმა გადასერა ეს ხაზი დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ, მაშინ მეორე

დღესაც იმავე რიცხვად ჩათვლის; მაგალითად, 5 იანვარს თუ გადასერა, მეორე დღესაც 5 იანვარად ჩათვლის. პირიქით, თუ გეგმა გადასკრა ეს ხაზი აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ, მაშინ სათვალავიდან გამოტოვებს ერთ დღეს; მაგალითად, 5 იანვრის შემდეგ ჩათვლის 7 იანვარს.

სასარტყელო დროსა და საშუალო დროს შორის დამოკიდებულების გამოსაყვანად უნდა გავისინოთ მათი განმარტება. საშუალო დღე-ღამე რაიმე წერტილში იწყება მაშინ, როცა ამ წერტილის მერიდიანის სიბრტყეში ანუ ცის მერიდიანზე გადის საშუალო მზე. 48 ნახაზზე *A* წერტილის მერიდიანი აღნიშნულია პუნქტირით. სასარტყელო დრო კი იწყება, როცა საშუალო მზე გადის ამ ზოლის საშუალო მერიდიანზე, ე. ი. სასარტყელო დრო არის ამ ზოლის შუა მერიდიანის საშუალო დრო. ჩვენ ვიცით, რომ დროთა სხვაობა გრძელთა სხვაობის ტოლია (თუ გრძელები გამოსახულია საათიერ ზომაში). ამიტომ, თუ აღვნიშნავთ საშუალო დროს T_0 -ით, სასარტყელო დროს T_s -ით, *A* წერტილის გრძელს λ -ით, ხოლო სარტყელის შუა მერიდიანის გრძელს, რაც უდრის სარტყელის ნომერს, — *N*-ით. გვექნება

$$T_0 - T_s = \lambda - N.$$

1930 წლის 16 ივნისს მთავრობის დეკრეტით საათის ისარი გადაწეულ იქნა ერთი საათით წინ, საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტორიაზე. ეს გამოწვეული იყო ელექტრო ენერჯის დაზოგვასთან დაკავშირებული საკითხებით. ჩვენი საათები ახლა გვიჩვენებენ ასეთ დროს და მას დეკრეტული დრო ეწოდება. ამრიგად დეკრეტული დრო უდრის სასარტყელო დროს პლუს ერთი საათი: $T_e = T_s + 1^h$.

სასარტყელო დრო თუ გვინდა გადავიყვანოთ ვარსკვლავიერ დროში, ჯერ ის უნდა გადავიყვანოთ საშუალო დროში ფორმულით $T_0 = T_s + \lambda - N$, შემდეგ კი ისე მოვიქცევით როგორც d საკითხშია გადმოცემული. ასევე ვარსკვლავიერი დროიდან ჯერ მივიღებთ საშუალო დროს და შემდეგ სასარტყელოს.

§ 9. კალენდარი

ჩ) კალენდარის სხვადასხვა სისტემები

დროის დიდი მონაკვეთების გასაზომად დღედაღამე არ იყო საკმარისი და თავიდანვე იხმარებოდა თვე და წელიწადი. თვე დაკავშირებულია მთვარის მოძრაობასთან, ხოლო წელიწადი მზის მოძრაობასთან. ისინი უთანაზომო სიდიდეებია, როგორც ერთმანეთთან ისე დღე-ღამესთან. ტროპიკული წელი ეწოდება იმ დროს, რომლის განმავლობაშიც მზე გაზაფხულის დღემამწორობის Υ წერტილიდან გამოსული ისევე დაუბრუნდება ამ წერტილს (ეს წერტილი მოძრაობს უკუსვლით—მზის შემხვედრი მიმართულებით, წელიწადში საშუალოდ $50''$ -ით). ტროპიკული წელი უდრის $365,24220$ დღე-ღამეს, ანუ $365^d 5^h 48^m 46^s$. სინოდური თვე ანუ ახალი მთვარობიდან ახალ მთვარობამდე გასული დრო უდრის $29,53059$ დღე-ღამეს, ან დაახლოებით $29,5$ დღე-ღამეს. 12 მთვარის თვე უდრის $12 \times 29,5 = 354$ (დანაკლისით) და იგი წელიწადზე დაახლოებით 11 დღე-ღამით ნაკლებია.

დროის დიდი მონაკვეთების აღრიცხვის სისტემას ეწოდება კალენდარი. ის შეიძლება დავეოთ სამ ჯგუფად: 1) მთვარის კალენდარი, 2) მზე—მთვარის კალენდარი და 3) მზის კალენდარი.

მთვარის კალენდარი იხმარებოდა ძველ საბერძნეთში, შემდეგ ის გავრცელდა და ახლაც კი იხმარება მაჰმადიანურ ქვეყნებში. ამ კალენდარში წელი შეიცავს 12 მთვარის თვეს, რაც შეადგენს 354 ან 355 დღე-ღამეს. ახალი წელი უკან იხევს დაახლოებით 11 დღე-ღამით და შეიძლება მოხდეს წლის ყოველ დღეზე. ამის გამო 34 მაჰმადიანური წელი შეიცავს 33 ჩვენებურ წელს.

მზე—მთვარის კალენდარში ჩვეულებრივი წელი შეიცავს აგრეთვე 12 მთვარის თვეს 354 ან 355 დღე-ღამით. მაგრამ მზის მოძრაობასთან შესაბამისად ყოველ მესამე წელიწადს ემატებოდა მეცამეტე მთვარის თვე. ამის გამო ზოგი წელი შეიცავდა 384-ს ან 385 დღეს. თვის პირველი რიცხვი ყოველთვის, როგორც წინა კალენდარში, ახალ მთვარო-

ბას ხედებოდა. ბოლო ხანებში ეს კალენდარი გავრცელებული იყო ებრაელებში. ამ კალენდარში დაცულია წლის საშუალო სიდიდე.

მზის კალენდარში მთვარის მოძრაობას არ ექცევა ყურადღება. უძველესი მზის კალენდარი იყო ეგვიპტელების, რომელიც შეიცავდა 365 დღე-ღამეს, თუმცა მათ იცოდნენ, რომ წლის სიდიდე დაახლოებით $365 \frac{1}{4}$ დღე-ღამეს უდრიდა. ზოგ წელს ქურუმები უმატებდნენ ერთ დღე-ღამეს და ამით იცავდნენ წლის საშუალო სიდიდეს.

თანამედროვე კალენდარი წარმოიშვა რომაელების კალენდარისგან, რომელიც პირველად მზე-მთვარის კალენდარის ტიპის იყო. ის 12 თვეს შეიცავდა, მაგრამ წლის საშუალო ხანგრძლიობის დასაცავად ყოველ მეორე წელს ემატებოდა არასრული თვე 22 ან 23 დღე-ღამით. ეს დამატება, როგორც ჩანს, არ წარმოებდა სისტემატურად, რის გამოც რომაელების წელთაღრიცხვა არეულა. ამის გამო ამბობდა ვოლტერი: „რომაელი სარდლები ყოველთვის იმარჯვებდნენ, მაგრამ მათ არასოდეს არ იცოდნენ თუ რა დღეს ხდებოდა ეს“. ამ არევიანებას წელთაღრიცხვაში ბოლო მოუღო იულიუს კეისარმა.

ს) იულიუსის და გრიგორიუსის კალენდარი

46 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე კეისარმა ეგვიპტიდან მოიწვია ასტრონომი სოზიგენი და შეიმუშავა კალენდრის რეფორმა. წლის ხანგრძლიობად მიღებულ იქნა $365 \frac{1}{4}$ დღე-ღამე. ამ კალენდარში სამი წელი თანამიმდევრობით შეიცავს 365 დღე-ღამეს, ხოლო მეოთხე 366 დღე-ღამეს და მას ეწოდება ნაკიანი წელი. ნაკიან წლებად მიღებულია ის წლები, რომლებიც უნაშთოდ იყოფა 4-ზე; მაგალითად, 1752, 1800, 1956 და სხვა. მაშინ წელი იწყებოდა მარტიდან და თვეებს რიგობითი სახელი ჰქონდა; მაგალითად, ოქტომბერი იყო მერვე თვე, ნოემბერი—მეცხრე, დეკემბერი—მეათე.

დღეები კი თვეებს შორის ასე იყო განაწილებული:

მარტი	აპრილი	მაისი	ივნისი	ივლისი	აგვისტო	სექტემბ.	ოქტომბ.	ნოემბერი	დეკემბ.	იანვარი	თებრვ.	
31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	29 ან 30	იულიუსის დროს
					31	30	31	30	31	31	28 ან 29	ავგუსტუსის შემდეგ

მეხუთე თვეს კეისარმა თავისი სახელი უწოდა „იულიუსი“, რადგან ის ამ თვეში იყო დაბადებული. თებერვალი შეიცავდა ჩვეულებრივად

29 დღე-ღამეს, ხოლო ნაკიან წელში ემატებოდა ერთი დღე,—ახალი წლის მეექვსე დღის წინ და ამ წელს 24 თებერვალი ორჯერ ითვლებოდა. ამას უწოდებდნენ bis sextilis, რაც ლათინურად ნიშნავს მეორე-ჯერ მეექვსე დღეს ახალი წლის წინ. რუსულად ეს გადაკეთდა високочислй, ხოლო ქართულად ჰქვია ნაკიანი ანუ დეფექტური წელი.

კეისარის შემდეგ მეორე იმპერატორმა ავგუსტუსმა თავისი სახელი უწოდა თავის დაბადების თვეს. მაგრამ არ მოსწონდა, რომ მის თვეს ნაკლები დღეები ჰქონდა, ვიდრე კეისარისას და ავგუსტო გადააკეთა 31 დღიანად. სამი 31 დღიანი თვე უხერხული იყო; სექტემბერი გახადეს 30 დღიანად და რიგ-რიგად შეიცვალა სხვა თვეებიც გარდა იანვარისა. თებერვალს კიდევ დააკლდა 1 დღე, რის გამოც ჩვეულებრივ წელში მას აქვს 28 დღე, ხოლო ნაკიან წელს 29 (იხ. ცხრილი ზევით).

ზუსტი არ არის არც იულიუსის კალენდარი. წლის სიდიდე მასში უფრო მეტია საშუალოზე $365,25 - 365,24220 = 0,0078$ დღე-ღამით, რაც შეადგენს $11^{\circ}14'$ -ს. ერთი თაობისათვის ეს განსხვავება შეუმჩნეველია, მაგრამ დიდი ხნის განმავლობაში შეცდომა თანდათან გროვდება. 400 წელში შეცდომა 3 დღე-ღამეზე მეტია. ქრისტიანული რელიგია მოითხოვდა, რომ აღდგომის დღესასწაული უნდა ყოფილიყო დღელამსწორობის შემდეგ პირველ სრულიმთვარობის კვირას. როცა ეს წესი დაადგინეს, დღელამსწორობის დღე ხდებოდა 21 მარტს. მაგრამ კალენდარის შეცდომის გამო თანდათანობით გადაიწია უკან და მეთექვსმეტე საუკუნეში დღელამსწორობის დღე 11 მარტს მოდიოდა. ეს საფრთხეს ჰქმნიდა, რომ აღდგომა შეცდომით ედღესასწაულათ; ამავ დროს შეცდომა იქნებოდა არა ერთი დღე, არამედ შესაძლოა ერთი თვეც. ამის გამო პაპმა გრიგოლ XIII-მ 1582 წელს მოახდინა ახალი რეფორმა. მან ბრძანება გამოსცა, რომ 4 ოქტომბრის შემდეგ ყოფილიყო არა 5, არამედ 15 ოქტომბერი. ამით გასწორდა ის შეცდომა—10 დღე, რომელიც დაგროვილი იყო. შემდეგისთვის რეფორმა ითვალისწინებდა 400 წელში სამი „ზედმეტი“ დღე-ღამის გამორიცხვას. ამ მიზნით ნაკიანად არ ითვლება უკანასკნელი წელი ისეთი საუკუნეების, რომელთა ასეულების რიცხვი არ იყოფა 4-ზე, მაგალითად, 1700, 1800, 1900, რასაც იულიუსის კალენდარი ნაკიანად სთვლიდა. სხვა წლებში და საუკუნეებში განსხვავება არ არის იულიუსისა და გრიგორიუსის კალენდრებს შორის. 1600 წელს შეცდომა იყო 10 დღე, 1700 წელს გახდა 11 დღე, 1800 წელს 12 დღე და 1900 წელს 13 დღე.

სავსებით ზუსტი არ არის არც გრიგორიუსის კალენდარი, მაგრამ შესწორება არ დასჭირდება სამი ათასი წლის განმავლობაში. გრიგორიუსის კალენდარი ანუ ახალი სტილი სხვა ქვეყნებშიც გავრცელდა, მაგრამ ზოგან დაგვიანებით. მის გავრცელებას ხელს უშლიდა ქრისტიანული რელიგიის სხვადასხვა მიმდინარეობა. ინგლისში ის შემოიღეს 1752 წელს. ჩვენში მართლმადიდებელი ეკლესია სასტიკი მოწინააღმდეგე იყო გრიგორიუსის კალენდარის და მხოლოდ დიდი ოქტომბრის რე-

ვოლუციის შემდეგ იქნა ის შემოღებული. ჩვენ ამ რეფორმით მხოლოდ შეუერთდით საერთაშორისო წელთაღრიცხვის წესს. მეცნიერული თვალსაზრისით სულ ერთია, როდის იქნებოდა დღელამსწორობა—21 მარტს თუ 8 მარტს, მაგრამ მნიშვნელობა აქვს, რომ შემდეგში არ გროვდებოდეს შეცდომები.

უნაკლო არ არის თანამედროვე კალენდარიც (ახალი სტილი). თვეები არა თანაბარია: 7 თვე არის 31 დღიანი, 4—30 დღიანი, ხოლო თებერვალი—28 დღიანი; კვარტალები ანუ მეოთხედებიც არათანაბარია. ამის გამო იყო ახალი კალენდარის რამდენიმე პროექტი, მაგრამ ჯერჯერობით ვერ მოხდა საერთაშორისო შეთანხმება. მარტო ერთ ქვეყანაში კი, მაგალითად, საბჭოთა კავშირში ახალი კალენდარის შემოღება არ არის მიზანშეწონილი.

* c) ერა. მეტონის ციკლი და ქორონიკონი ✓

ერა ეწოდება წელთაღრიცხვის დასაწყისს; ის სხვადასხვა ქვეყანაში სხვადასხვანაირი იყო. ხშირად ერა იწყებოდა ე. წ. „ქვეყნის გაჩენიდან“, რაც ვითომ მოხდა ამა თუ იმ წლის წინ. ქრისტიანული ეკლესიის აზრით ქვეყნის გაჩენა მოხდა 5508 წელს ჩვენს ერამდე. ებრაელების აზრით ეს მოხდა 4163 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე და სხვა. ზოგჯერ წელთაღრიცხვას იწყებდნენ ამა თუ იმ იმპერატორის გამეფებიდან. ჩვენი წელთაღრიცხვა არის დაწყებული „ქრისტეს დაბადებიდან“, რაც მოგონილი თარიღია, ვინაიდან „ქრისტე“ მითოლოგიური პიროვნებაა და სინამდვილეში არ არსებობდა. პირველად ეს ერა შემოიღო ერთმა ბერმა VI საუკუნეში, რომელმაც გამოაცხადა, რომ ქრისტე დაიბადა 532 წლის წინო. ამ რიცხვის მიღება ქრისტეს დაბადების თარიღად შემთხვევითი იყო, მაგრამ თვით რიცხვი 532—ასტრონომიული მოსაზრებით იყო შერჩეული.

დაბნელებათა პერიოდის ანუ საროსის გადმოცემისას აღნიშნული იყო, რომ 223 სინოდური თვე უდრის 18 წელსა და 11 დღე-ღამეს (დაახლოებით); 12 სინოდური თვე უდრის 354 დღე-ღამეს, ე. ი. ერთ წელს აკლია 11 დღე-ღამე. ამათი შეკრებით მივიღებთ, რომ 235 სინოდური თვე უდრის 19 ჩვეულებრივ ანუ ტროპიკულ წელს (საკმაოდ ზუსტად). ამ პერიოდს ეწოდება მეტონის ციკლი. ძველად ცდილობდნენ, რომ წელთაღრიცხვა ორივე მნათობის მოძრაობასთან ყოფილიყო შეთანხმებული. მეტონის ციკლის მიხედვით ეს შეთანხმება შესაძლებელია 19 წლიანი პერიოდით. ყოველი 19 წლის შემდეგ მეორდება მთვარის ფაზები; მაგალითად, თუ ახალი მთვარე მიმდინარე წლის 7 იანვარს იყო,—19 წლის შემდეგ 7 იანვარს კვლავ ახალი მთვარე იქნება. ნაკიანი წლების გამო განმეორების რიცხვი რომ არ შეიცვალოს—უფრო ზუსტი პერიოდი იქნება $4 \times 19 = 76$ წელი. თუ გვინდა განმეორდეს არა მარტო მთვარის ფაზები, არამედ აგრეთვე კვირის დღეებიც, მაშინ ეს რიცხვი უნდა

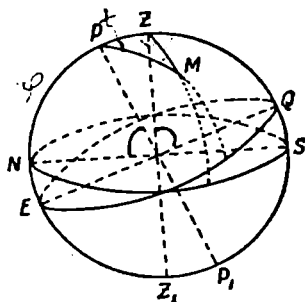
გავამრავლოთ 7-ზე, მივიღებთ $4 \times 19 \times 7 = 532$. ამ პერიოდით სარგებლობენ ისტორიული თარიღების დასადგენად. ქართულ მატრიანეში ამ პერიოდს ეწოდება ქორონიკონი. სხვადასხვა ქრონოლოგიური თარიღების შესათანხმებლად ისტორიაში ხშირად იხმარება ქორონიკონის ჯერადი რიცხვები. მაგალითად, იულიუსის¹ პერიოდად იწოდება რიცხვი 7980, რაც უდრის 15×532 -ს. ასტრონომიაში დღეების რიცხვი იანვარიდან ე. წ. იულიუსის ეპოქიდან, რომლის დასაწყისად მიღებულია 4713 წლის 1 იანვარი ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. გავლილი დღეების რიცხვი მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში (მოცემული წლის ნული იანვრისათვის, იულიუსის დღეები რომ ვიანვარიშოთ 4712 წელს მიუმატოთ მოცემული წელი და ჯამი გავამრავლოთ 365,25-ზე, მიღებულ დღეებს გამოვაკლებთ 13-ს, თუ ჩვეულებრივი წელია, და 14, თუ ნაკიანი წელია. მაგალითად, 1952 წლის ნული იანვრისათვის $(4712 + 1952) \times 365,25 - 14 = 2434012$. შემდეგ, რაიმე რიცხვისთვის მიუმატებთ იმდენ დღეს, რამდენიც გავიდა წლის დასაწყისიდან).

§ 10. ასტრონომიული სამკუთხედი

* ა) კოორდინატთა გარდაქმნის ფორმულები

სფერულ სამკუთხედს, რომელიც შემდგარია ზენიტის, პოლუსისა და მნათობისაგან, ეწოდება ასტრონომიული ანუ პარალაქტური სამკუთხედი. 49 ნახაზზე ეს არის ZPM . გამოვარკვიოთ მისი გვერდები და კუთხეები. აქ პოლუსთან მდებარე კუთხე არის საათიერი კუთხე $\angle ZPM = t$. ზენიტთან მდებარე კუთხე უდრის 180° -ს გამოკლებული აზიმუტი, ე. ი. $\angle PZM = 180^\circ - A$ (რადგან $\angle QZM = A$ -ს). გვერდი PZ უდრის $90^\circ - \varphi$, რადგან პოლუსის სამალღე $PN = \varphi$ — განედს. გვერდი $ZM = Z$ -ს. $PM = 90^\circ - \delta$, რადგან $MM_2 = \delta$ -ს.

გამოვიყენოთ ამ სამკუთხედზე სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი სამი ფორმულა, რომლებსაც აქ ასეთი რიგით დავწერეთ.



ნახ. 49.

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

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \quad (2)$$

$$\sin a \sin B = \sin A \sin b \quad (3)$$

ფორმულების გამოყენება რომ გავგვიადვილდეს, დავხაზოთ სამკუთხედი ცალკე და აღვნიშნოთ ფრჩხილებში კუთხეები A, B, C -თი ისე, როგორც ეს 49ა ნახაზზეა. მაშინ $ZM = Z$ იქნება a გვერდი და a . შ.

¹ ეს იულიუსი არის XVI საუკუნის მოღვაწე და არა კეისარი.

(1) ფორმულის გამოყენება მოგვცემს:

$$\cos Z = \cos(90^\circ - \delta) \cos(90^\circ - \varphi) + \sin(90^\circ - \delta) \sin(90^\circ - \varphi) \cos t.$$

ასევე გამოიყენება (2) და (3) ფორმულები. სამივე ტოლობა დაყვანის ფორმულებით გამარტივდება და გვექნება:

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (4)$$

$$\sin Z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t \quad (5)$$

$$\sin Z \sin A = \cos \delta \sin t \quad (6)$$

მარჯვენა მხარეში შედის განედი φ და ეკვატორული კოორდინატები δ და t . თუ ვიგულისხმებთ მათ ცნობილად, მაშინ (4), (5)

და (6) ფორმულებით ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება ჰორიზონტული კოორდინატები. ამიტომ ეს ფორმულები წარმოადგენს ეკვატორული კოორდინატების ჰორიზონტულ კოორდინატებში გარდაქმნის ფორმულებს.

თუ კუთხეებს „გადაეარქმევთ“ სახელებს, ისე როგორც ეს აღნიშნულია ფრჩხილებში 49 *b* ნახაზზე, მაშინ საესებით ანალოგიურად მივიღებთ ჰორიზონტული კოორდინატების ეკვატორულ კოორდინატებში გარდაქმნის ფორმულებს.

ნახ. 49 *a*. ნახ. 49 *b*.

ნახ. 49 *a*. ნახ. 49 *b*. ნახ. 49 *b* ნახაზზე, მაშინ საესებით ანალოგიურად მივიღებთ ჰორიზონტული კოორდინატების ეკვატორულ კოორდინატებში გარდაქმნის ფორმულებს.

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos Z - \cos \varphi \sin Z \cos A \quad (7)$$

$$\cos \delta \cos t = \cos \varphi \cos Z + \sin \varphi \sin Z \cos A \quad (8)$$

$$\cos \delta \sin t = \sin Z \sin A \quad (9)$$

ამ ფორმულებში (4), (5), (7), (8)-ს შეიძლება მიეცეს სალოგარითმო სახე ჩვეულებრივი წესით, მაგრამ შეიძლება მოცემული ფორმიტაც იყოს გამოყენებული, რისთვისაც ჯამის თითოეულ წევრებს ცალკე ვიანგარიშებით და შემდეგ მოვახდენთ შეკრებას.

* *b*) მნათობის ამოსვლა და ჩასვლა. კულმინაციის ფორმულა

ამოსვლისა და ჩასვლის დროს მნათობის ზენიტური მანძილი უდრის 90° -ს. ამ დროს $\cos Z = 0$ და $\sin Z = 1$. (4) ფორმულის გამოყენება გვაძლევს:

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

აქედან

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (10)$$

როცა $\delta > 0$, ლოგარიტმული ანგარიშისთვის (10) ფორმულას სჯობს ასეთი სახე მიეცეს:

$$\cos(180^\circ - \delta) = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (10')$$

(7) ფორმულაში $Z = 90^\circ$ -ის ჩასმა გვაძლევს $\sin \delta = -\cos \varphi \cos A$, აქედან

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \quad (11)$$

როცა $\delta > 0$, ეს ჯობს ასეთი ფორმით:

$$\cos(180^\circ - A) = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \quad (11')$$

(10)-ის საშუალებით გამოითვლება ამოსვლის და ჩასვლის საათიერი კუთხე. კოსინუსით განსაზღვრულ კუთხეს შეიძლება მივაწეროთ \pm ან — ნიშანი; პლუსი შეესაბამება ჩასვლას, ხოლო მინუსი ამოსვლას. ამოსვლის ვარსკვლავიერი დრო იქნება $S = \alpha - t$, ჩასვლის კი $S = \alpha + t$. საათიერი კუთხე გამოსახული უნდა იქნას საათიერ ზომაში.

(11)-ი ფორმულით გამოითვლება ამოსვლისა და ჩასვლის აზიმუტი. ამ შემთხვევაშიც პლუსით აღებული შეესაბამება ჩასვლის მომენტს, ხოლო მინუსი—ამოსვლისას. უარყოფითი საათიერი კუთხისა და აზიმუტის მაგიერ შეიძლება ავიღოთ დადებითი, რისთვისაც მას უნდა მიემართოს 360° -ი.

(4) ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ ზენიტური მანძილის ფორმულა ზედა კულმინაციის დროს. ამ დროს $t = 0$ და გვექნება $\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta$. რადგან $\cos 0^\circ = 1$. აქედან $\cos Z = \cos(\varphi - \delta)$, ე. ი. $Z = \pm(\varphi - \delta)$.

ქვედა კულმინაციის დროს $t = 180^\circ$, $\cos 180^\circ = -1$ და გვექნება $\cos Z = \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta$, ანუ $\cos Z = -\cos(\varphi + \delta) = \cos[180^\circ - (\varphi + \delta)]$. აქედან ქვედა კულმინაციის დროს $Z = 180^\circ - (\varphi + \delta)$. სიმაღლე ქვედა კულმინაციის დროს იქნება $h = 90^\circ - Z$, ე. ი. $h = \varphi + \delta - 90^\circ$.

ე) ამოცანა მნათობის დღელამურ მოძრაობაზე

მნათობის დღელამური მოძრაობის განხილვისას ბუნებრივად გამოირჩევა ოთხი მომენტი: ზედა კულმინაცია, ქვედა კულმინაცია, ამოსვლა და ჩასვლა. ზედა და ქვედა კულმინაციის დროს შეიძლება განსაზღვრულ იქნას სიმაღლე (ან ზენიტური მანძილი) და კულმინაციის მომენტი ვარსკვლავიერი ან საშუალო (ან კიდევ სასარტყელო და დეკრეტული) დროით. ამოსვლისა და ჩასვლისათვის საინტერესოა აზიმუტის განსაზღვრა და აგრეთვე იმ მომენტის განსაზღვრა, როცა ხდება ამოსვლა ან ჩასვლა. საინტერესოა აგრეთვე მნათობის დღელამური რკალის დახაზვა. მოცემული უნდა იყოს ადგილის განედი φ და მნათობის ეკვატორული კოორდინ-

ნატები α და δ . დროის ანგარიშისათვის საჭიროა აგრეთვე გრძელი λ , სარტყლის ნომერი და თარიღი.

აეილოთ რიცხობრივი მაგალითი და ამოცანა ასე ჩამოვყალიბოთ: მოცემულია ვარსკვლავ სირიუსის კოორდინატები $\alpha=6^{\text{h}}42^{\text{m}}$, $\delta=-16^{\circ}37'$. გამოთვალეთ თბილისისათვის ამ მნათობის:

1) ზედა და ქვედა კულმინაციის სიმაღლე.

2) ზედა და ქვედა კულმინაციის მომენტი 12 ოქტომბერს სასარტყელო დეკრეტული დროით.

* 3) ამოსვლის და ჩასვლის აზიმუტი.

* 4) ამოსვლის და ჩასვლის ვარსკვლავიერი დრო.

5) დახაზეთ ამ ვარსკვლავის დღელამური რკალი.

თბილისის განედი $\varphi=41^{\circ}43'$, გრძელი $\lambda=2^{\text{h}}59^{\text{m}}$, სარტყელის ნომერი $N=3$.

ა მ ო ხ ს ნ ა

1ა. ზედა კულმინაციისათვის ჯერ გამოითვლება ზენიტური მანძილი ფორმულით $Z = \varphi - \delta$, შემდეგ სიმაღლე $h = 90^{\circ} - Z$, $Z = 41^{\circ}43' - (-16^{\circ}37') = 58^{\circ}20'$; $h = 90^{\circ} - 58^{\circ}20' = 31^{\circ}40'$.

1ბ. ქვედა კულმინაციისათვის სიმაღლე $h = \varphi + \delta - 90^{\circ}$, $h = 41^{\circ}43' + (-16^{\circ}37') - 90^{\circ} = -64^{\circ}54'$.

2ა. ზედა კულმინაციის დროს $t=0$ და ვარსკვლავიერი დროის ფორმულა $S = \alpha + t$ გვაძლევს $S = \alpha$; ე. ი. $S = 6^{\text{h}}42^{\text{m}}$ საშუალო დრო $T_0 = S - S_0$. ამიტომ ჯერ უნდა გამოვითვლოთ შუალამის ვარსკვლავიერი დრო, $S_0 = 12^{\text{h}} + x \cdot 2^{\text{h}} + y \cdot 4^{\text{m}}$. აქ x არის 21 მარტიდან გასული თვე; თა რიცხვი 21 სექტემბრამდე, რაც უდრის 6-ს. y არის 21 სექტემბრიდან გასული დღეთა რიცხვი 12 ოქტომბრამდე, ე. ი. $y = 21$. ამიტომ $S_0 = 12^{\text{h}} + 6 \cdot 2^{\text{h}} + 21 \cdot 4^{\text{m}} = 25^{\text{h}}24^{\text{m}}$ ანუ $S_0 = 1^{\text{h}}24^{\text{m}}$ (თუ დრო მეტი გამოდის 24^{h} -ზე, უნდა გამოაკლდეს 24^{h} , როგორც პერიოდი).

$$\text{მაშ} \quad T_0 = 6^{\text{h}}42^{\text{m}} - 1^{\text{h}}24^{\text{m}} = 5^{\text{h}}18^{\text{m}}$$

სასარტყელო დრო $T_s = T_0 - (\lambda - N)$ (იხ. § 8 ე).

$$T_s = 5^{\text{h}}18^{\text{m}} - (2^{\text{h}}59^{\text{m}} - 3^{\text{h}}) = 5^{\text{h}}19^{\text{m}}; T_e = T_s + 1^{\text{h}}, T_e = 6^{\text{h}}19^{\text{m}}.$$

2ბ. ქვედა კულმინაციის დროს $t=12^{\text{h}}$ და $S = \alpha + 12^{\text{h}}$, ე. ი. $S = 18^{\text{h}}42^{\text{m}}$; $T_0 = S - S_0$, $T_0 = 18^{\text{h}}42^{\text{m}} - 1^{\text{h}}24^{\text{m}} = 17^{\text{h}}18^{\text{m}}$; $T_s = T_0 - (\lambda - N)$, $T_s = 17^{\text{h}}19^{\text{m}}$, $T_e = 18^{\text{h}}19^{\text{m}}$.

* 3. ამოსვლის და ჩასვლის აზიმუტი გამოითვლება ფორმულით

$$\cos A = - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

ჩვენს შემთხვევაში

$$\cos A = -\frac{\sin(-16^{\circ}17')}{\cos 41^{\circ}43'} = \frac{\sin 16^{\circ}17'}{\cos 41^{\circ}43'}$$

$\lg \sin 16^{\circ}37' = \bar{1},4563$, $\lg \cos 41^{\circ}43' = \bar{1},8730$ ამათი სხვაობით მივიღებთ $\lg \cos A = \bar{1},5833$, აქედან $A = 67^{\circ}29'$.

ჩასვლის აზიმუტი იქნება $= 67^{\circ}29'$; ამოსვლის აზიმუტი კი $A = -67^{\circ}29'$ ანუ $A = -67^{\circ}29' + 360^{\circ} = 292^{\circ}31'$.

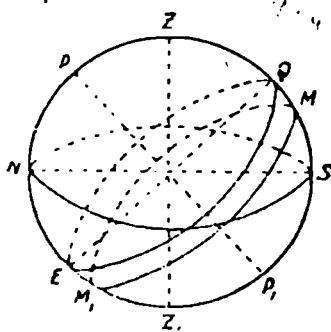
* 4. ამოსვლის და ჩასვლის საათიერი კუთხე გამოითვლება ფორმულით $\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$. ჩვენს შემთხვევაში

$$\cos t = -\operatorname{tg} 41^{\circ}43' \operatorname{tg} (-16^{\circ}37') = \operatorname{tg} 41^{\circ}43' \operatorname{tg} 16^{\circ}37'.$$

$\lg \operatorname{tg} 41^{\circ}43' = \bar{1}, 9502$, $\lg \operatorname{tg} 16^{\circ}37' = \bar{1}, 4749$ შეკრებით მივიღებთ:

$$\lg \cos t = \bar{1}, 4251. \text{ აქედან } t = 74^{\circ}34'.$$

მიღებული საათიერი კუთხე უნდა გადავიყვანოთ საათიერ ზომაში, რისთვისაც გრადუსული ზომის ერთეულები გაიყოფა 15-ზე. $74^{\circ}34' = 4^{\text{h}}58^{\text{m}}$ (სეკუნდებს უკუვაგდებთ). ჩასვლის საათიერი კუთხეა $t = 4^{\text{h}}58^{\text{m}}$, ამოსვლის $t = -4^{\text{h}}58^{\text{m}}$. ჩასვლის ვარსკვლავიერი დრო იქნება $S = 6^{\text{h}}42^{\text{m}} + 4^{\text{h}}58^{\text{m}} = 11^{\text{h}}40^{\text{m}}$; ამოსვლის კი იქნება $S = 6^{\text{h}}42^{\text{m}} - 4^{\text{h}}58^{\text{m}} = 1^{\text{h}}44^{\text{m}}$, რაც მიიღება ფორმულით: $S = \alpha + t$ (ვარსკვლავიერი დრო შეიძლება გადაყვანილ იქნას საშუალო და სასარტყელო დროში 2 α პუნქტის მიხედვით, მაგრამ ჩვენს პირობებში ეს არ მოითხოვება).



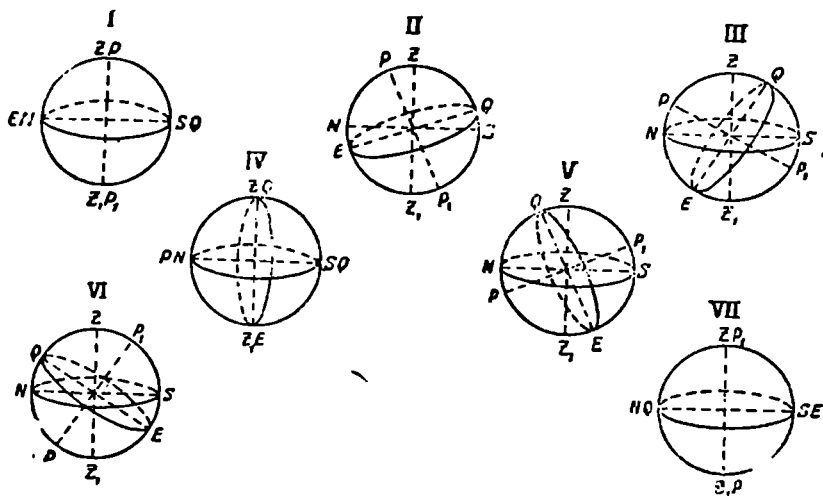
ნახ. 50.

5. დღელამური რკალის დასახაზავად ჯერ უნდა დაიხაზოს ცის სფერო მოცემული ქალაქისთვის, რისთვისაც უნდა გამოვიყენოთ დებულება: პოლუსის სიმაღლე განედის ტოლია. ჩვენს შემთხვევაში $\varphi = 41^{\circ}43'$ დღელამური რკალის დასახაზავად გადავზომოთ Q წერტილიდან დაბრილობა. რადგან ის უარყოფითია, გადაიზომება სამხრეთისაკენ. მიღებული M წერტილი შეესაბამება ზედა კულმინაციას. აქედან გავატაროთ ეკვატორის პარალელური რკალი (ნახ. 50). M_1 -ში მნათობი ახდენს ქვედა კულმინაციას, პორიზონტის გადაკვეთის წერტილებში მნათობი ამოდის (აღმოსავლეთით) და ჩადის.

II თავის სავარჯიშო

1. დახაზეთ ცის სფერო შემდეგი განედებისათვის: 1) $\varphi = 90^{\circ}$ (ჩრდ. პოლუსი), 2) $\varphi = 60^{\circ}$, 3) $\varphi = 30^{\circ}$, 4) $\varphi = 0^{\circ}$ (ეკვატორის წერტილებისათვის), 5) $\varphi = -30^{\circ}$, 6) $\varphi = -60^{\circ}$, 7) $\varphi = -90^{\circ}$ (სამხ. პოლუსი).

ამოხსნა. დაეხაზეთ წრეს, ვიგულისხმებთ, რომ იგი სფეროს გამო-
სახავს. გაიყვანთ შვეულ მიმართულებას და მის მართობულად დაეხა-
ზეთ პორიზონტის წრეს. ღერძის გასატარებლად გამოვიყენებთ დებუ-
ლებას: პოლუსის სიმაღლე განედის ტოლია. შემდეგ ღერძის მართობუ-
ლად გავატარებთ ეკვატორს. მივიღებთ (ნახ. 51):



ნახ. 51.

2. როგორ კუთხეს ჰქმნის ეკვატორი პორიზონტთან შემდეგ განე-
ლებზე: 55° , 42° , 25° , 35° ?

ამოხსნა. ჯერ გამოვარკვიოთ ზოგადად რას უდრის კუთხე ეკვა-
ტორსა და პორიზონტს შორის (ნახ. 52). ZCQ კუთხე განედის ტოლია,
ხოლო მისი მოსაზღვრე QCS კუთხე $90^\circ - \varphi$ (იხ. § 5). ეს არის სწორედ
ეკვატორსა და პორიზონტს შორის კუთხე. მეორე კუთხე ამ სიბრტყეებს
შორის, პორიზონტს ზევით, არის NCQ , რომელიც ავსებს პირველს
 180° -მდე. ამიტომ მოცემულ განედებზე პორიზონტსა და ეკვატორს შო-
რის კუთხე იქნება: 1) 35° , 2) 48° , 3) 65° , 4) 125° ან მახვილი კუ-
თხე 55° .

3. დაამტკიცეთ, რომ ეკვატორი იკვეთება პორიზონტთან ისეთ წერ-
ტილებში, რომლებიც 90° -თაა დაშორებული ჩრდილოეთის და სამხრეთის
წერტილებიდან, ე. ი. აღმოსავლეთის და დასავლეთის წერტილებში.

ამოხსნა. პორიზონტის და ეკვატორის სიბრტყეები ერთმანეთს
კვეთენ OW ხაზზე, რომელიც C ცენტრში გაივლის (ნახ. 52). $CZ \perp OW$,
იმიტომ რომ შვეული ხაზი მართობია პორიზონტული სიბრტყის და
 OW პორიზონტის სიბრტყეში იმყოფება. $CP \perp OW$, ვინაიდან ღერძი
მართობია ეკვატორის სიბრტყის და OW ეკვატორზეც მდებარეობს.

აქედან გამოდის, რომ OIV მართობია CZ -ის და CP -ს; ე. ი. მართობია მერიდიანის სიბრტყეში მდებარე ორი სწორის და მაშ მართობი იქნება თვით მერიდიანის სიბრტყის— $OIV \perp (ZQSP_1Z_1ENPZ)$ სიბრტყის. ამიტომ OW მართობი იქნება ყოველი სწორის, რომელიც ამ სიბრტყეში მდებარეობს და C წერტილში გაივლის. კერძოდ $OIV \perp NS$ -ის, რის გამოც $\angle NCO = \angle OCS = \angle NCW = \angle WCS = 90^\circ$, ანუ $\sphericalangle NO = \sphericalangle OS = \sphericalangle NW = \sphericalangle WS = 90^\circ$, რაც ამტკიცებს, რომ გადაკვეთის წერტილები თანაბრად დაშორებული N და S წერტილებიდან.

შედეგო. $WO \perp EQ$ -ს, რადგან EQ მერიდიანის სიბრტყეში მდებარეობს და C წერტილში გადის; ე. ი. E და Q წერტილებიც 90° -თაა დაშორებული O და W წერტილებიდან. საერთოდ O და W წერტილებიდან მერიდიანის წერტილებამდე 90° -ა.

4. რას უდრის ზენიტის საათიერი კუთხე და აზიმუტი?

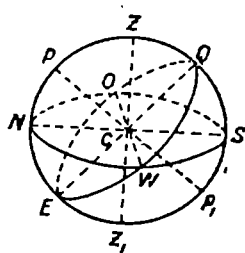
ამოხსნა. საათიერი კუთხე არის პოლუსთან შექმნილი სფერული კუთხე მერიდიანსა და მნათობის დახრილობის წრეხაზს შორის. M წერტილისათვის (ნახ. 53) ის უდრის $\angle QPM$ -ს. მაგრამ თუ წერტილი მერიდიანში იმყოფება $PZQSP_1$ ნახევარზე—ეს კუთხე ნულია. ამიტომ ზენიტისთვის საათიერი კუთხე ნულის ტოლია $t_s = 0$.

აზიმუტი არის ზენიტთან შექმნილი სფერული კუთხე მერიდიანსა და მნათობზე გატარებულ ვერტიკალურ წრეხაზს შორის. M წერტილისთვის (ნახ. 53) ის უდრის $\angle SZM$ -ს. ყველა ვერტიკალური წრე ზენიტზე გადის, მისთვის არ არის ერთი გარკვეული ვერტიკალი და ამიტომ ზენიტის აზიმუტი განუსაზღვრელია; $A_s = \sim$.

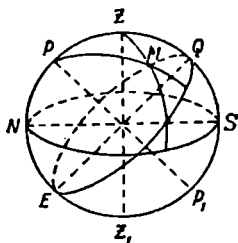
5. რას უდრის დასავლეთის წერტილის და აღმოსავლეთის წერტილის საათიერი კუთხე?

ამოხსნა. დასავლეთის წერტილის საათიერი კუთხე იქნება $\angle QPW$ (იხ. 4 ამოცანა). ეს კუთხე იზომება ეკვატორის რკალით. 3 ამოცანის თანახმად, $\sphericalangle QIV = 90^\circ$. ამიტომ $t_w = 90^\circ = 6^h$. აღმოსავლეთის წერტილის საათიერი კუთხე უარყოფითი მიმართულებით (აღმოსავლეთით) ტოლი იქნება $\sphericalangle QO$ -ს, რაც 90° -ს უდრის, ე. ი. $t_o = -90^\circ = -6^h$. დადებითი მიმართულებით აღმოსავლეთის წერტილის საათიერი კუთხე იქნება $t_o = \sphericalangle QWEO = 270^\circ = 18^h$.

6. რას უდრის სამხრეთის და ჩრდილოეთის წერტილის საათიერი კუთხე და აზიმუტი?



ნახ. 52.



ნახ. 53.

პასუხი. სამხრეთის S წერტილისათვის $A_s=0$, $i_s=0$, ჩრდილოეთის N წერტილისათვის $A_N=180^\circ$, $i_N=180^\circ=12^h$.

7. რა განსხვავებაა ჩრდილოეთის წერტილსა და ჩრდილოეთის პოლუსს შორის?

პასუხი. ჩრდილოეთის წერტილი იმყოფება პორიზონტზე, ჩრდილოეთის პოლუსი P მდებარეობს განედის ტოლ სიმაღლეზე ჩრდილოეთის N წერტილიდან.

8. პოლარული ვარსკვლავი დაშორებულია ჩრდილოეთის პოლუსიდან $1^\circ 3'$ -ით; რას უდრის მისი სიმაღლე ზედა და ქვედა კულმინაციის დროს φ განედის მქონე ადგილზე?

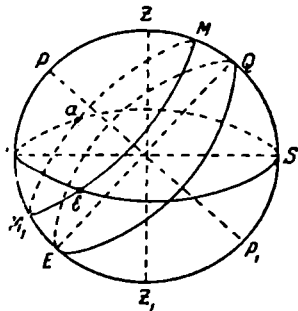
ამოხსნა. ზედა კულმინაციის დროს იგი იმყოფება პოლუსს³ზევით $1^\circ 3'$ -ზე; პოლუსის სიმაღლე კი განედის ტოლია. მაშ ზედა კულმინაციის დროს სიმაღლე იქნება $\varphi+1^\circ 3'$. ასევე ქვედა კულმინაციის დროს სიმაღლე იქნება $\varphi-1^\circ 3'$.

9. დახაზეთ იმ ვარსკვლავის დღელამური წრეხაზი, რომელიც თბილისში ზედა კულმინაციის დროს ზენიტში გაივლის; თბილისის განედი $\varphi=41^\circ 43'$.

ამოხსნა. დაეხაზოთ ცის სფერო თბილისისათვის; პოლუსის სიმაღლე უნდა იყოს განედის ტოლი, ე. ი. $41^\circ 43'$. დღელამური წრეხაზი პარალელურია ცის ეკვატორის. ამიტომ ამ ვარსკვლავის დღელამური წრე ისეთი იქნება, როგორც გამოსახულია 54 ნახაზზე. ზედაკულმინაცია არის Z წერტილში, ქვედა კულმინაცია პორიზონტს ქვევით M წერტილში, a წერტილში ამოდის და b წერტილში ჩაღის¹.

10. თუ ვარსკვლავი ჩრდილო აღმოსავლეთის წერტილში ამოვიდა, მაშინ პორიზონტის რომელ წერტილში ჩავა ის? რას უდრის ამოსვლისა და ჩასვლის წერტილთა აზიმუტები?

ამოხსნა. ამოსვლის a წერტილი NO რკალის შუა ადგილზეა (ნახ. 55), შემდეგ ვარსკვლავი იმობრავებს ეკვატორის პარალელურად, M წერტილში იქნება ზედა კულმინაციაში, b წერტილში ჩავა და M_1 წერტილში იქნება ქვედა კულმინაციაში. ჩასვლის b წერტილი არის ჩრდილო დასავლეთი. ჩასვლის აზიმუტი უდრის $\angle SZb$ -ს, რაც იზომება $\cup Sb$ -თი. $\cup Sb = \cup SIV + \cup Wb$. $\cup SW = 90^\circ$ (იხ. 3 ამოცანა), $\cup Wb = 45^\circ$, ამიტომ ჩასვლის აზიმუტი $A_b = 135^\circ$. ამოსვლის აზიმუტი $A_a = \cup SWNa = \cup SWN + \cup Na =$



ნახ. 55.

¹ M , a და b ნახ. 54-ზე არ არის, იხ. ნახ. 55.

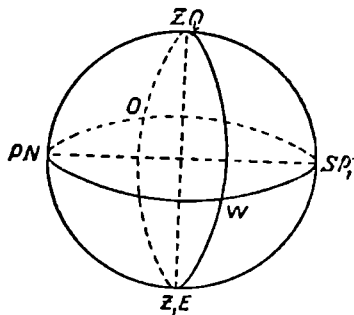
$=180^\circ+45^\circ$, ე. ი. $A_2=225^\circ$. ან უარყოფითი მიმართულებით $A_2=-\sphericalangle SOA=-135^\circ$.

11. რა შემთხვევაში არ იცვლება ვარსკვლავის სიმაღლე?

ამოხსნა. სიმაღლე, ცხადია, არ შეიცვლება, თუ ვარსკვლავი იმყოფება სამყაროს ერთ-ერთ პოლუსში. მაგრამ უფრო მნიშვნელოვანია შემდეგი შემთხვევა. ვთქვათ, დამკვირვებელი არის დედამიწის ჩრდილო პოლუსზე ($\varphi=90^\circ$), მაშინ სამყაროს პოლუსი იქნება ზენიტში და ცის ეკვატორი დამთხვეული იქნება ჰორიზონტის წრეზე. ვარსკვლავის დედამიწური წრეხაზი ეკვატორის პარალელურია, ამ შემთხვევაში ჰორიზონტის პარალელურია. ამიტომ აქ არც ერთი ვარსკვლავის სიმაღლე არ იცვლება. ასევე დედამიწის სამხრეთი პოლუსისათვის.

12. როგორ იცვლება ცის ეკვატორზე მყოფი ვარსკვლავის აზიმუტი დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის?

ამოხსნა. დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ($\varphi=0^\circ$) სამყაროს პოლუსები იმყოფება ჩრდილოეთის N და სამხრეთის S წერტილებში. ცის ეკვატორს აქვს ვერტიკალური მდებარეობა და გადის ზენიტსა და ნადირში, ე. ი. ემთხვევა პირველ ვერტიკალს (ნახ. 56). დამკვირვებელი.



ნახ. 56.

ცხადია, ცენტრში C წერტილში იმყოფება, სადაც დედამიწა წარმოიდგინება როგორც "შეკუმშული". ვარსკვლავის დედამიწური რკალიც პირველ ვერტიკალს ემთხვევა. ზედა კულმინაციიდან ქვედა კულმინაციამდე, ე. ი. ZWZ_1 -ზე აზიმუტი იქნება 90° , ხოლო ქვედა კულმინაციიდან ზედა კულმინაციამდე, ე. ი. Z_1OZ -ზე, აზიმუტი იქნება 270° .

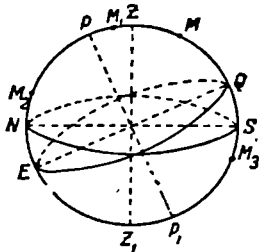
13. რას უდრის ვარსკვლავის აზიმუტი ზედა კულმინაციის მომენტში φ განედის მქონე ადგილზე? ერთნაირია თუ არა ის ყველა ვარსკვლავისთვის?

ამოხსნა. თუ ზედა კულმინაცია ხდება

ზენიტიდან სამხრეთით, — აზიმუტი ნულია,

ვინაიდან ვარსკვლავის ვერტიკალური წრეხაზი ემთხვევა მერიდიანის იმ ნახევარს, საიდანაც იწყება აზიმუტის ათვლა. თუ ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტიდან ჩრდილოეთით, ე. ი. სადმე PZ რკალზე, მაშინ აზიმუტი უდრის 180° -ს, რადგან ვარსკვლავის ვერტიკალური წრეხაზი ემთხვევა მერიდიანის იმ ნახევარს, სადაც არის ჩრდილოეთის N წერტილი. პირველ შემთხვევაში $MQLZQ$ (ნახ. 57); მაგრამ $MQ=\delta, ZQ=\varphi$ (იხ. § 5a) და გვექმნება $\delta < \varphi$. მეორე შემთხვევაში $M_1Q > ZQ$, აქ $M_1Q=\delta$,

ნახ. 57.



ამიტომ ამ შემთხვევაში $\delta > \varphi$. ამრიგად, თუ $\delta < \varphi$ აზიმუტი ზედა კულმინაციის დროს ნულის ტოლია, ხოლო თუ $\delta > \varphi$ — მაშინ უდრის 180° -ს.

14. რას უდრის კაპელას აზიმუტი ზედა კულმინაციის მომენტში თბილისში? მოსკოვში? კაპელას $\delta = 45^\circ 57'$, თბილისის $\varphi = 41^\circ 43'$, მოსკოვის $\varphi = 55^\circ 45'$.

პასუხი. თბილისში $A = 180^\circ$, მოსკოვში $A = 0$ (იხ. 13 ამოც.).

15. რა პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს ვარსკვლავის δ დახრილობა, რომ ის ჩაუვალი იყოს φ განედისთვის? რომ ის ამოუვალი იყოს იმავე განედისთვის?

ამოხსნა. ვარსკვლავი რომ ჩაუვალი იყოს, ქვედა კულმინაციის დროს ის არ უნდა ჩადიოდეს პორიზონტს ქვევით; მისი ქვედა კულმინაცია უნდა ხდებოდეს N წერტილს ზევით (ნახ. 57) სადმე M_2 წერტილში. მაშინ $ME_2 > NE$, მაგრამ $ME_2 = \delta$, $NE = 90^\circ - \varphi$ და ჩაუვლობის პირობა იქნება $\delta > 90^\circ - \varphi$.

ვარსკვლავი რომ არ ამოდოდეს, ზედა კულმინაციის დროს ის უნდა რჩებოდეს პორიზონტს ქვევით (S წერტილს ქვევით). მაშინ მისი ზენიტური მანძილი მეტი იქნება 90° -ზე. ზედა კულმინაციის დროს $Z = \varphi - \delta$; ამიტომ უნდა იყოს $\varphi - \delta > 90^\circ$, აქედან ამოუვლობის პირობაა:

$$\delta < \varphi - 90^\circ.$$

16. კაპელას $\delta = 45^\circ 57'$, არკტურის $\delta = 19^\circ 27'$, სირიუსის $\delta = -16^\circ 39'$ ვეგას $\delta = 38^\circ 44'$, ანტარესის $\delta = -26^\circ 19'$, ჩადიან თუ არა ეს ვარსკვლავები პორიზონტს ქვევით თბილისში? მოსკოვში? ლენინგრადში? თბილისის $\varphi = 41^\circ 43'$, მოსკოვის $\varphi = 55^\circ 45'$, ლენინგრადის $\varphi = 59^\circ 57'$.

პასუხი. თბილისში ყველა ჩადის, მოსკოვში და ლენინგრადში ჩაუვალა: კაპელა და ვეგა (იხ. 15 ამოცანა).

17. მოცემულია რამდენიმე ვარსკვლავის დახრილობა: $\delta_1 = -25^\circ$, $\delta_2 = -33^\circ$, $\delta_3 = -40^\circ$, $\delta_4 = 52^\circ$, $\delta_5 = -60^\circ$. ამოდის თუ არა ეს ვარსკვლავები პორიზონტს ზემოთ თბილისში? მოსკოვში? ლენინგრადში?

პასუხი. თბილისში ამოდის 1, 2 და 3 ვარსკვლავი; მოსკოვში ამოდის 1 და 2 ვარსკვლავი; ლენინგრადში ამოდის 1 ვარსკვლავი (იხ. 15 და 16 ამოცანა).

18. წინა ამოცანაში მოყვანილ ქალაქებში სამხრეთ ნახევარსფეროს ვარსკვლავები რა დახრილობამდე ჩანან?

პასუხი. თბილისში $\delta > -48^\circ 17'$, მოსკოვში $\delta > -34^\circ 15'$, ლენინგრადში $\delta > -30^\circ 3'$ (იხ. 15 და 16 ამოცანები).

19. რა სიდიდეს უნდა აღემატებოდეს ვარსკვლავის დახრილობა, რომ ის არ ჩადიოდეს თბილისში? მოსკოვში? ლენინგრადში?

პასუხი. თბილისში $\delta > 48^\circ 17'$, მოსკოვში $\delta > 34^\circ 15'$, ლენინგრადში $\delta > 30^\circ 3'$ (იხ. 15 და 16 ამოხსნა).

20. რა ზენიტურ მანძილზე გაივლის თბილისში ზედა კულმინაციის დროს ვარსკვლავი კაპელა? ვეგა?

ამოხსნა. თუ ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტიდან სამხრეთით, მაშინ $Z = \varphi - \delta$, ხოლო, თუ ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტიდან ჩრდილოეთით, მაშინ $Z = \delta - \varphi$, სადაც Z ყოველთვის დადებითია. 16 ამოცანის მონაცემებით ვიპოვიტ კაპელასთვის $Z_1 = 4^{\circ}14'$ ზენიტიდან ჩრდილოეთით (58 ნახაზზე აღნიშნულია კ წერტილით). ვეგასთვის $Z_2 = 2^{\circ}59'$, ზენიტიდან სამხრეთით (54 ნახაზზე აღნიშნულია ვ წერტილით).

21. დაამტკიცეთ, რომ ვარსკვლავის სიმაღლე ქვედა კულმინაციის დროს გამოისახება ფორმულით: $h = \varphi + \delta - 90^{\circ}$.

ამოხსნა. ვთქვათ, ქვედა კულმინაციის დროს ვარსკვლავი არის M წერტილში (ნახ. 58). სიმაღლე იქნება MN , მაგრამ $MN = ME - NE$. აქ $MN = h$, $ME = \delta$, $NE = 90^{\circ} - \varphi$. ამათი ჩასმით მივიღებთ: $h = \delta - (90^{\circ} - \varphi)$, ანუ $h = \varphi + \delta - 90^{\circ}$.

22. რას უდრის მოსკოვში ქვედა კულმინაციის დროს კაპელას სიმაღლე? არკტურის სიმაღლე?

პასუხი: კაპელას $h_1 = 11^{\circ}42'$, არკტურის $h_2 = -14^{\circ}48'$ (იხ. 16 და 21 ამოცანა).

23. რას უდრის იმ ვარსკვლავის დახრილობა, რომელიც ზენიტში გაივლის.

ამოხსნა. $Z = \varphi - \delta$. ზენიტში $Z = 0$, $\delta = \varphi$.

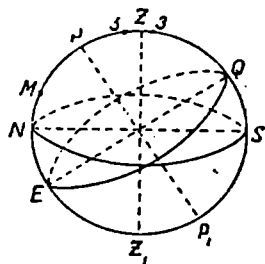
24. კაპელას $\alpha = 5^h13^m$, არკტურის $\alpha = 14^h13^m$, სირიუსის $\alpha = 6^h43^m$, ვეგას $\alpha = 18^h35^m$, ანტარესის $\alpha = 16^h26^m$. ვარსკვლავიერი დროით რა დროს გაივლიან ეს ვარსკვლავები ზედა კულმინაციაში? ქვედა კულმინაციაში?

ამოხსნა. ვარსკვლავიერი დროის ფორმულაა $S = \alpha + t$; ზედა კულმინაციის დროს $t = 0$, ამიტომ ზედა კულმინაციის ვარსკვლავიერი დრო იქნება შესაბამისად: $t_1 = 5^h13^m$, $t_2 = 14^h13^m$, $t_3 = 6^h43^m$, $t_4 = 18^h35^m$, $t_5 = 16^h26^m$.

ქვედა კულმინაციის დროს $t = 12^h$ -ს. თუ ვარსკვლავიერი დრო გამოვა 24 საათზე მეტი, 24^h —როგორც პერიოდი უნდა გამოვაკლოთ. ქვედა კულმინაციის მომენტი შესაბამისად იქნება: $t_1 = 17^h13^m$, $t_2 = 2^h13^m$, $t_3 = 18^h43^m$, $t_4 = 6^h35^m$, $t_5 = 4^h26^m$.

25. ვარსკვლავიერი დროის რა ინტერვალი გაივლის კაპელას ქვედა კულმინატიდან ვეგას ზედა კულმინაციაზე? ვეგას ზედა კულმინატიდან სირიუსის ქვედა კულმინაციაზე?

ამოხსნა. კაპელას ქვედა კულმინაციის დროა $S_1 = 5^h13^m + 12^h = 17^h13^m$, ვეგას ზედა კულმინაციის დროა $S_2 = 18^h35^m$ (იხ. 23 ამოცანა).



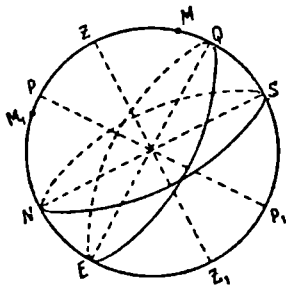
ნახ. 58.

კაპელას ქვედა კულმინაციიდან ვეგას ზედა კულმინაციამდე გაღის $S_2 - S_1 = 22^m$ ვარსკვლავიერი დრო.

სირიუსის ქვედა კულმინაციის მომენტი ია $S_3 = 6^h 43^m + 12^h = 18^h 43^m$. ვეგას ზედა კულმინაციიდან სირიუსის ქვედა კულმინაციამდე გაღის $S_3 - S_2 = 8^m$.

* 26. ცის რომელ მხარეზე და რასათიერი კუთხით მდებარეობს 23 ამოცანაში აღნიშნული ვარსკვლავები გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის ზედა კულმინაციაში გავლის დროს? აგრეთვე ამ წერტილის ქვედა კულმინაციაში ყოფნის დროს?

ამოხსნა. ვარსკვლავიერი დრო არის გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის საათიერი კუთხე (§ 6b). ამიტომ ამ წერტილის ზედა კულმინაციაში ყოფნის დროს $S = 0$. ჩავსვათ ვარსკვლავიერი დროის ფორმულაში $S = \alpha + t$, მივიღებთ, $0 = \alpha + t$, აქედან $t = -\alpha$, როცა საათიერი კუთხე უარყოფითია, შეიძლება მას მიუმატოთ 24^h -ი, როგორც პერიოდი. შესაბამისად მივიღებთ: $t_1 =$



ნახ. 59.

$= 18^h 47^m$, $t_2 = 9^h 47^m$, $t_3 = 17^h 17^m$, $t_4 = 5^h 25^m$, $t_{56} = 7^h 34^m$. საათიერი კუთხე აითვლება სამხრეთის წერტილიდან დასავლეთით; კაპელა იქნება აღმოსავლეთით, არკტური — ჩრდილო-დასავლეთით, სირიუსი — აღმოსავლეთით, ვეგა — დასავლეთით, ანტარესიც დასავლეთით (ჩრდილოეთისაქენ).

გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის ქვედა კულმინაციაში ყოფნის დროს $t = 12^h$; ვარსკვლავიერი დროის

ფორმულა გვაძლევს $12^h = \alpha + t$, აქედან შესაბამისად: $t_1 = 6^h 47^m$, $t_2 = 21^h 47^m$, $t_3 = 5^h 17^m$, $t_4 = 17^h 25^m$, $t_{56} = 19^h 34^m$, მდებარეობები წინა შემთხვევის სიმეტრიულია.

* 27. აღნიშნეთ ცის სფეროზე 25 ამოცანაში მიღებული საათიერი კუთხეები.

✓ * 28. როგორი α და δ უნდა ჰქონდეს ორ ვარსკვლავს, რომლებიც $7^h 35^m$ ვარსკვლავიერი დროით კულმინაციაში იმყოფება მოსკოვში $Z = 40^\circ$ ზენიტური მანძილით; ერთი ზენიტიდან სამხრეთით და მეორე ჩრდილოეთით.

ამოხსნა. დავხაზოთ ცის სფერო მოსკოვისთვის (ნახ. 59). მოსკოვის განედი $\varphi = 55^\circ 45'$ და ამის ტოლი უნდა იყოს პოლუსის სიმაღლე, $NP = \varphi$. მაშინ $ZP = 34^\circ 15'$ და მაშ მეორე ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაშია. პირველი ვარსკვლავი ზედა კულმინაციაშია; მისთვის გამოვიყენებთ ფორმულას $Z = \varphi - \delta$, საიდანაც $\delta_1 = \varphi - Z = 15^\circ 45'$. პირდაპირი აღვლენისთვის ვარსკვლავიერი დროის ფორმულაში $S = \alpha + t$ ჩავსვათ

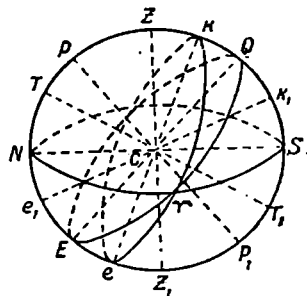
$t=0$. მივიღებთ $\alpha_1 = 7^{\circ}45'$. მეორე ვარსკვლავისთვის გამოვიყენებთ ქვედა კულმინაციის ფორმულას $h = \varphi + \delta - 90^{\circ}$ ($h = 50^{\circ}$). აქედან, $\delta_2 = h + 90^{\circ} - \varphi = 84^{\circ}15'$. მეორე ვარსკვლავისთვის $t = 12^h$. $S = \alpha + 12^h$, $\alpha_2 = 7^{\circ}35' - 12^h = -4^{\circ}25'$. დაუმატოთ პერიოდი 24^h , იქნება $\alpha_2 = 19^{\circ}35'$.

* 29. როგორი მდებარეობა აქვს ეკლიპტიკას ჰორიზონტის მიმართ დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსზე?

ამოხსნა. დედამიწის პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისთვის ცის ეკვატორი დამთხვეულია ჰორიზონტზე. ეკლიპტიკა კი ეკვატორთან ადგენს ε კუთხეს, რაც დაახლოებით უდრის $23^{\circ},5$; ასეთივე იქნება ეკლიპტიკასა და ჰორიზონტს შორის კუთხე პოლუსზე, მაგრამ ეს კუთხე ბრუნავს და 24 საათში ყველა მერიდიანის მიმართულებას შემოვივლის (იხ. 30 ამოცანა).

* 30. სად და როდის დაემთხვევა ეკლიპტიკა ჰორიზონტს?

ამოხსნა. ეკლიპტიკის სიბრტყის მდებარეობა ჰორიზონტის მიმართ განუწყვეტლივ იცვლება. ასევე იცვლება ეკლიპტიკის პოლუსის (§ 6c) მდებარეობაც. ვთქვათ, ქვედა კულმინაციაში ეკლიპტიკის ჩრდილო პოლუსი არის T წერტილში (ნახ. 60). მაშინ გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი Υ ჩადის, რადგან ამ წერტილიდან ეკლიპტიკა ამოდის ჩრდილო ნახევარსფეროში. ეკლიპტიკის მდებარეობა აღენიშნოთ ek -თი. ამ დროს ეკლიპტიკა უდრის კუთხეს ადგენს ჰორიზონტთან, ე. ი. მაქსიმუმი კუთხე უდრის KCS -ს, მაგრამ $\angle KCS = \angle KCQ + \angle QCS$; $\angle KCQ = \varepsilon$, (§ 50) $\angle QCS = 90^{\circ} - \varphi$, ამიტომ მაქს.



ნახ. 60

$\angle KCS = 90^{\circ} - \varphi + \varepsilon$. როცა ეკლიპტიკის პოლუსი ზედა კულმინაციაშია, მაშინ გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი ამოდის. ეკლიპტიკის e_1k_1 მდებარეობა ჰორიზონტთან უმცირეს კუთხეს ჰქმნის. მინიმუმი $\angle K_1CS = \angle QCS - \angle QCK_1$; მინ. $\angle K_1CS = 90^{\circ} - \varphi - \varepsilon$.

ეკლიპტიკა რომ დაემთხვას ჰორიზონტს, საჭიროა მინიმალური კუთხე ნული იყოს; ე. ი. $90^{\circ} - \varphi - \varepsilon = 0$, აქედან $\varphi = 90^{\circ} - \varepsilon$, $\varphi = 90^{\circ} - 23^{\circ},5 = 66\ 1/2^{\circ}$. ამრიგად, ეკლიპტიკა დაემთხვევა ჰორიზონტს ჩრდილოეთ პოლარულ წრეზე, $\varphi = 66\ 1/2^{\circ}$, როცა გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი ამოდის. ასევე ეკლიპტიკა დაემთხვევა ჰორიზონტს სამხრეთ პოლარულ წრეზე ($\varphi = -66\ 1/2^{\circ}$), როცა გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი ჩადის. (ამ შემთხვევაში $90^{\circ} - \varphi + \varepsilon = 180^{\circ}$).

* 31. რა კუთხეს ჰქმნის ეკლიპტიკა ჰორიზონტთან თბილისში გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილის ჩასვლის მომენტში? ამ წერტილის ამოსვლის მომენტში?

ამოხსნა. ჩასვლის მომენტში მაქსიმალური კუთხეა (იხ. 29 ამოცანა) $\angle KCS = 90^\circ - \varphi + \varepsilon$. ჩავსვათ თბილისის $\varphi = 41^\circ 43'$, $\varepsilon = 23^\circ 27'$, მივიღებთ მაქს. $\angle KCS = 71^\circ 44'$. ამოსვლის მომენტში მინიმალური კუთხეა, $\angle KCS = 90^\circ - \varphi - \varepsilon = 24^\circ 50'$.

* 32. რას უდრის ეკლიპტიკის ჩრდილო პოლუსის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა?

ამოხსნა. 57 ნახაზზე T -ს დახრილობა $\delta_T = TE = 90^\circ - PT = 90^\circ - \varepsilon$, რადგან ღერძებს შორის კუთხე სიბრტყეთა შორის კუთხეს უდრის

$$\angle TCP = \sphericalangle TP = \varepsilon.$$

T -ს პირდაპირი აღვლენა იქნება $\sphericalangle YQE = 270^\circ = 18^h$.

* 33. რას უდრის სამყაროს ჩრდილო პოლუსის ასტრონომიული გრძედი და განედი?

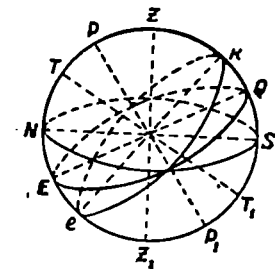
ამოხსნა. განედი $\beta_p = \sphericalangle PK = \sphericalangle PQ - \sphericalangle QK = 90^\circ - \varepsilon$. გრძედი $\lambda = \sphericalangle YQ = 90^\circ$ (იხ. 32 ამოცანა).

* 34. იპოვეთ ის წერტილები, რომელთა განედი დახრილობას უდრის და გრძედი პირდაპირ აღვლენას.

პასუხი. დღელამსწორობის წერტილები (იხ. 35 ამოცანა).

* 35. იპოვეთ გეომეტრიული ადგილი იმ წერტილების, რომელთა ასტრონომიული განედი დახრილობის ტოლია.

ამოხსნა. დაეხაზოთ ცის სფეროზე ეკვატორი და ეკლიპტიკა. გავატაროთ დიდი წრეხაზი, რომელიც გადის დღელამსწორობის წერტილებში და ეკვატორისა და ეკლიპტიკის პოლუსების შუა ადგილზე (ნახ. 62). ეს წრეხაზი არის საძიებელი გეომეტრიული ადგილი. მართლაც, ავიღოთ მასზე რაიმე M



ნახ. 61.

წერტილი¹, გავატაროთ დახრილობის წრეხაზი PMM_1 და განედის წრეხაზი TMM_2 ; სიმეტრიულობის გამო $\sphericalangle MM_1 = \sphericalangle MM_2$, ე. ი. $\delta = \beta$.

36. რას უდრის მზის სიმაღლე ქუთაისში ($\varphi = 42^\circ 15'$) ზაფხულის მზებუდობის დღეს? ზამთრის მზებუდობის დღეს?

ამოხსნა. ზაფხულის მზებუდობის დღე არის 22 ივნისის, როცა მზის დახრილობა მაქსიმუმია, $\delta \odot = 23^\circ 27'$. ზედა კულმინაციის დროს შუადღეზე $Z = \varphi - \delta = 42^\circ 15' - 23^\circ 27' = 18^\circ 48'$; $h = 90^\circ - Z = 71^\circ 12'$. ზამთრის მზებუდობის დღეს 22 დეკემბერს მზის დახრილობა მინიმუმია $\delta \odot = -23^\circ 27'$; $Z = 42^\circ 15' + 23^\circ 27' = 65^\circ 42'$, $h = 90^\circ - Z = 24^\circ 18'$.

37. რამდენად ღრმად ჩადის მზე არხანგელსკში ($\varphi = 64^\circ 32'$) 22 ივნისს შუალამეზე?

¹ ნახაზზე არ არის.

ამოხსნა. ქვედა კულმინაციის დროს $h = \varphi - \delta - 90^\circ = 64^\circ 32' + 23^\circ 27' - 90^\circ = -2^\circ 1'$.

მზ. როდის არ იძლევა ჩრდილს ვერტიკალური სვეტი ჩრდილოეთ ტროპიკზე? სამხრეთ ტროპიკზე?

ამოხსნა. ვერტიკალურმა სვეტმა ჩრდილი რომ არ მოგვეცეს, მზე უნდა იყოს ზენიტში. მაშინ $Z = 0$. ზედა კულმინაციის დროს $Z = \varphi - \delta$; აქედან $0 = \varphi - \delta$ და $\delta = \varphi$. ჩრდილოეთი ტროპიკის განედი $\varphi = 23^\circ 27'$; მზის დახრილობა ამის ტოლი უნდა იყოს. ეს ხდება 22 ივნისს. ასევე სამხრეთ ტროპიკზე ($\varphi = -23^\circ 27'$) 22 დეკემბერს.

მწ. როგორია მზის გრძედი დღელამსწორობის დღეებში? მზებუდობის დღეებში?

პასუხი. 21 მარტს $\lambda_\odot = 0^\circ$, 23 სექტ. $\lambda_\odot = 180^\circ$, 22 ივნისს $\lambda_\odot = 90^\circ$, 22 დეკემბერს $\lambda_\odot = 270^\circ$ (იხ. 40 ამოცანა).

40. როგორია მზის ასტრონომიული გრძედი პერიგეუმში და აპოგეუმში?

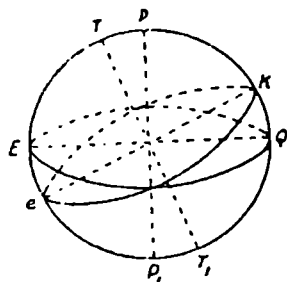
ამოხსნა. 21 მარტს მზე არის გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილში, საიდანაც იწყება გრძედების ათვლა. ამიტომ ამ დღეს $\lambda_\odot = 0^\circ$. 23 სექტემბერში მზე არის მეორე დღელამსწორობის წერტილში და გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილიდან გავილილი აქვს ნახევარი წრე; ამიტომ 23 სექტ. $\lambda_\odot = 180^\circ$.

მზის გრძედის საშუალო დღელამური ცვლილება უდრის $\frac{360^\circ}{365} = 0^\circ,98$.

პერიგეუმში ანუ დედამიწასთან უახლოეს წერტილში მზე არის 3 იანვარს. 23 სექტემბრიდან 3 იანვრამდე გავიდა $7 + 31 + 30 + 31 + 3 = 102$ დღე. 102 დღეში მზე გაივილიდა $102 \cdot 0^\circ,98 = 100^\circ$. ამიტომ პერიგეუმში მზის გრძედი იქნება $\lambda_\odot = 180^\circ + 100^\circ = 280^\circ$. აპოგეუმში ანუ დედამიწასთან უშორეს წერტილში მზე არის 3 ივლისს. 21 მარტიდან 3 ივლისამდე გავიდა $10 + 30 + 31 + 30 + 3 = 104$ დღე; $104 \cdot 0^\circ,98 = 102^\circ$. ამიტომ აპოგეუმში მზის გრძედი $\lambda_\odot = 102^\circ$ (სინამდვილეში ნაკლები იქნება, რადგან ზაფხულში მზე უფრო ნელა მოძრაობს).

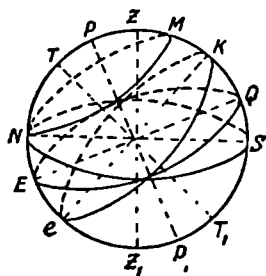
* 41. დაამტკიცეთ, რომ ჩრდილოეთ პოლარულ წრეზე ნახევარი წლის განმავლობაში მზე ამოდის ვარსკვლავიერი დროის ერთსა და იმავე მომენტში და წლის მეორე ნახევარში ჩადის ვარსკვლავიერი დროის იმავე მომენტში.

ამოხსნა. 21 მარტს, როცა გაზაფხ. დღელამსწ. წერტილი ამოდის, მზეც ამოდის, რადგან მზე ამ წერტილშია. ამ დროს აქ ეკლიპტიკა დამთხვეულია პორიზონტზე (იხ. 30 ამოცანა). შემდეგ დღეებში მზე გადაინაცვლებს ეკლიპტიკაზე დღელამსწორობის წერტილიდან მარჯვნივ და როცა დღელამსწორობის წერტილი ამოვა, ეკლიპტიკა დამთხვეულია



ნახ. 62.

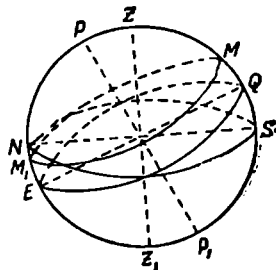
ჰორიზონტზე და მზეც ამოვა უფრო ჩრდილოეთით და ა. შ. 22 ივნისამდე. 22 ივნისს ქვედა კულმინაციის დროს მზე ეხება N წერტილს და მთელი დღე-ღამე ჰორიზონტს ზევითაა; ის ამ დღეს აღწერს ეკვატორის პარალელურ NM რკალს (ნახ. 63). შემდეგ დღეებში, როცა მზე კიდევ უფრო მარჯვნივ გადაინაცვლებს, დღელამსწორობის წერტილის ამოსვლის დროს (როცა ეკლიპტიკა დაემთხვევა ჰორიზონტს), ის იქნება დასავლეთის მხარეს, ე. ი. ახლა ჩადის ამ დროს. და ასე გრძელდება 22 ივნისიდან 22 დეკემბრამდე. ხოლო 22 დეკემბრიდან 21 მარტამდე მზე ამოდის ისევ როგორც 21 მარტიდან 22 ივნისამდე, რაც პირველად განვიხილეთ. დღელამსწორობის წერტილი Υ ამოდის O წერტილში და მისი საათიერი კუთხე უდრის 18 საათს. დღელამსწორობის წერტილის საათიერი კუთხე კი არის ვარსკვლავიერი დრო. ამრიგად, აქ 22 დეკემბრიდან 22 ივნისამდე მზე ამოდის ვარსკვლავიერი დროის 18 საათზე, ხოლო 22 ივნისიდან 22 დეკემბრამდე ჩადის ამავე ვარსკვლავიერ დროზე.



ნახ. 63.

* 42. დაახლოებით 1100 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, ჩინელებმა ასტრონომებმა იპოვეს, რომ ზაფხულის მზებუდობის დღეს მზის სიმაღლე შუადღისას უდრიდა $79^{\circ}7'$ -ს; ზამთრის მზებუდობის დღეს კი $31^{\circ}19'$ -ს. რა განედზე იყო მოხდენილი დაკვირვება და როგორი იყო მაშინ ეკლიპტიკის დახრა ეკვატორთან?

ამოხსნა. ზაფხულის მზებუდობის დღეს (22 ივნისს) მზის დახრილობა უდიდესია და უდრის ეკლიპტიკისა და ეკვატორის სიბრტყეებს შორის კუთხეს; $\delta \odot = \varepsilon$. ზამთრის მზებუდობის დღეს (22 დეკემბერს) მზის დახრილობა უმცირესია და უდრის უარყოფით ε -ს; $\delta \odot = -\varepsilon$. შუადღისას მზე ზედა კულმინაციაშია. ზედა კულმინაციის დროს $Z = \varphi - \delta$, მაგრამ Z უნდა შეეცვალოს სიმაღლით, $Z = 90^{\circ} - h$. მაშინ მივიღებთ: $90^{\circ} - 79^{\circ}7' = \varphi - \varepsilon$, $90^{\circ} - 31^{\circ}9' = \varphi + \varepsilon$. ამ ორი განტოლებიდან ვიპოვიოთ ორ უცნობს: $\varepsilon = 23^{\circ}54'$, $\varphi = 34^{\circ}47'$.



ნახ. 64.

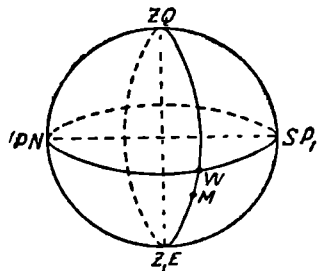
43. რატომ იცის ლენინგრადში თეთრი ღამეები?

ამოხსნა. თეთრი ღამეები ლენინგრადში იცის ზაფხულში 22 ივნისის მახლობელ დღეებში. დაეხაზოთ ცის სფერო ლენინგრადისთვის $\varphi = 60^{\circ}$. მზის დახრილობა 22 ივნისს უდრის $23^{\circ},5$ (დაახლოებით). მზის

დღელამური რკალი ამ დღეს იმყოფება ეკვატორს ზევით $23^{\circ},5$ -ზე (ნახ. 64). შუალამზე ქვედა კულმინაციის დროს მზე არის პორიზონტს ქვევით $\sphericalangle NM_1$ მანძილზე. $\sphericalangle NM_1 = \sphericalangle NE - \sphericalangle M_1E$, მაგრამ $\sphericalangle NE = 90^{\circ} - \varphi = 30^{\circ}$, $M_1E = \delta_{\odot} = 23^{\circ},5$. აქედან $\sphericalangle NM_1 = 30^{\circ} - 23^{\circ},5 = 6^{\circ},5$. ეს არის სწორედ სამოქალაქო ბინდის საზღვარი. 22 ივნისის მახლობელ დღეებში ლენინგრადში მზე მცირე ხანს ჩადის $6^{\circ},5$ -ზე ქვევით პორიზონტიდან და დანარჩენ დროს საკმაო სინათლეა.

* 44. როდესაც მზე პორიზონტს ქვევით 17° -ს მიაღწევს, სრული ღამე დგება (თავდება ასტრონომიული ბინდი). რამდენი ხნის შემდეგ დაიწყება სრული ღამე დედამიწის ეკვატორზე დღელამსწორობის დღეს?

ამოხსნა. ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისთვის ($\varphi = 0^{\circ}$) პოლუსები პორიზონტზე მდებარეობს, ცის ეკვატორს კი ვერტიკალური მდებარეობა აქვს და ზენიტსა და ნადირზე გაივლის.



ნახ. 65.

დღელამსწორობის დღეს მზის დღელამური რკალი ემთხვევა ცის ეკვატორს და ის ჩაეა დასავლეთის W წერტილში (ნახ. 65). შემდეგ მზე უნდა ჩავიდეს პორიზონტს ქვევით 17° -ზე, რომ ასტრონომიული ბინდი გათავდეს. ვინაიდან აქ ეკვატორს ვერტიკალური მდებარეობა აქვს, WM უნდა იყოს 17° , სადაც M მზის მდებარეობაა ბინდის დამთავრებისას. დროის გასაგებად შევადგინოთ პროპორცია $360^{\circ} : 24^h = 17^{\circ} : X$. აქედან $X = 1^h 8^m$.

45. მთვარის სრული დაბნელების დროს შეიძლება თუ არა დავინახოთ მზე?

ამოხსნა. რეფრაქცია პორიზონტში ზევით სწევს მნათობს $34'$ -ით. მთვარის დაბნელების დროს მზე პორიზონტს ქვევით არის, მაგრამ რეფრაქციის გამო შეიძლება პორიზონტს ზევით ჩანდეს, იმ დამკვირვებლისათვის, რომლისთვისაც მზე ეს-ეს არის პორიზონტს ამოეთვარა.

46. რამდენად ზრდის რეფრაქცია დღის სიდიდეს ეკვატორზე დღელამსწორობის დღეს?

ამოხსნა. დღელამსწორობის დღეს ეკვატორის წერტილებისთვის მზის დღელამური რკალი ემთხვევა პირველ ვერტიკალს (იხ. 43 ამოცანა). ამიტომ დღე გაიზრდება იმდენად, რა დროც სჭირდება მზეს „რეფრაქციის რკალის“ გავლას, რაც უდრის $34'$ ამოსვლის დროს და $34'$ ჩასვლის დროს, სულ $68'$ -ს. დროს გავიგებთ პროპორციით $360^{\circ} : 24^h = 68' : X$, აქედან $X = 4^m 5^s$.

47. ამცირებს თუ აღიდეგს რეფრაქცია მთვარისა და მზის დიამეტრს პორიზონტზე?

პასუხი. ამცირებს ვერტიკალურ დიამეტრს, რადგან მის ქვევითა კიდეს უფრო მეტად ასწევს ზევით.

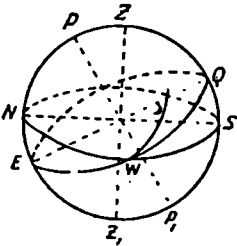
* 48. ვარსკვლავის ხილული ზენიტური მანძილი ზედა კულმინაციის დროს ბათუმში ($\varphi = 41^{\circ}39'$) იყო $Z_1 = 65^{\circ}48'$; რას უდრის ვარსკვლავის დახრილობა რეფრაქციის გათვალისწინებით?

ამოხსნა. რეფრაქციის სიდიდე $R = 58''$, $2 \operatorname{tg} Z_1$, გეოცენტრული $Z = Z_1 + R$; $\lg 58', 2 = 1,7649$, $\lg \operatorname{tg} 65^{\circ}48' = 0,3473$ $\lg R = 2,1122$. $R = 129'' = 2'9''$. $Z = 65^{\circ}50'9''$. ზედა კულმინაციისთვის $Z = \varphi - \delta$, $\delta = \varphi - Z = -24^{\circ}11'9''$.

* 49. გაზომვით მიღებული მზის ქვედა კიდის სიმაღლე შუალამეზე იყო $14^{\circ}11'5''$. მზის დახრილობა ამ დღეს უდრიდა $21^{\circ}19'34''$, მზის კუთხური რადიუსი $15'47''$. რეფრაქციის გათვალისწინებით განისაზღვროს განედი.

ამოხსნა. $\lg 58'', 2 = 1,7649$, $Z_1 = 90^{\circ} - h = 75^{\circ}48'55''$, $\lg \operatorname{tg} 75^{\circ}48'55'' = 0,5973$, $\lg R = 2,3622$, $R = 230'', 2 = 3'50''$. რეფრაქცია აღიდებს სიმაღლეს და ნამდვილი სიმაღლე ნაკლებია $h = 14^{\circ}11'5'' - 3'50'' = 14^{\circ}7'15''$.

ეს არის მზის ქვედა კიდის სიმაღლე; — ცენტრის სიმაღლე იქნება $h_1 = 14^{\circ}7'15'' + 15'47'' = 14^{\circ}23'2''$ ქვედა კულმინაციის დროს $h_1 = \varphi + \delta - 90^{\circ}$. აქედან $\varphi = h_1 - \delta + 90^{\circ} = 83^{\circ}3'28''$.



ნახ. 66.

* 50. პატარა დათვის β -ს სიმაღლე ზედა და ქვედა კულმინაციაში უდრიდა $55^{\circ}48'6''$ და $24^{\circ}58'56''$. რეფრაქციის გათვალისწინებით განისაზღვროს ვარსკვლავის დახრილობა და დაკვირვების ადგილის განედი.

პასუხი. $\delta = 74^{\circ}34'43''$, $\varphi = 40^{\circ}22'10''$ (იხ. 48 და 41 ამოცანა).

51. რა დროს არის საესე მთვარე ყველაზე მაღლა ჰორიზონტს ზევით?

ამოხსნა. საესე მთვარე დედამიწიდან მზის საწინააღმდეგო მხარეს იმყოფება. ამას გარდა, მთვარე მუდამ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლად არის. ამიტომ საესე მთვარე ყველაზე მაღლა არის მაშინ, როცა მზე შუალამეზე ყველაზე დაბლაა. ეს არის ზამთარი.

* 52. რატომ არის ახალი მთვარის ნამგალი შედარებით მაღლა გაზაფხულზე?

ამოხსნა. როცა მზის ჩასვლის დროს ეკლიპტიკა ცის ეკვატორზე ზევითაა, მაშინ მთვარის ორბიტა ეკვატორს ზევითაა, რადგან მთვარის ორბიტა ახლოს იმყოფება ეკლიპტიკასთან.

როცა გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილი ჩადის, ეკლიპტიკა ჰორიზონტთან უდიდეს კუთხეს ადგენს (იხ. 30 ამოცანა). გაზაფხულზე, კერძოდ 21 მარტს, მზე ჩადის გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილთან ერთად (ნახ. 66). მთვარის ორბიტა ამ დროს უდიდეს კუთხეს ად-

გენს; ამიტომ ახალი მთვარე, რომელიც მზესთან ახლოს არის, ყველაზე მაღალზეა გაზაფხულზე.

პჰ. რას დაინახავს მთვარეზე მყოფი წარმოსახვითი დამკვირვებელი:
1) მზის დაბნელების დროს? 2) მთვარის დაბნელების დროს?

პასუხი. 1) დედამიწის ნაწილობრივ დაბნელებას, 2) მზის დაბნელებას.

* 54. როგორ წარმოებს მთვარის მოძრაობა ჩრდილოეთის პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისთვის?

პასუხი. მზის ანალოგიურია, 15 დღეს პორიზონტს ზევითაა (როცა $\delta > 0$) და 15 დღეს პორიზონტს ქვევით (იხ. § 6c).

* 55. განსაზღვრეთ თბილისში მთვარის უდიდესი და უმცირესი სიმაღლე ზედა კულმინაციის დროს.

ამოხსნა. მთვარის ორბიტისა და ეკლიპტიკას შორის კუთხე უდრის $5^{\circ}9'$ -ს. მთვარის უდიდესი დახრილობა შეიძლება იყოს

$$\delta_1 = \epsilon + 5^{\circ}9' = 23^{\circ}27' + 5^{\circ}9' = 28^{\circ}36'.$$

ასევე უმცირესი დახრილობა შეიძლება იყოს $\delta_2 = -28^{\circ}36'$. თბილისის განედი $\varphi = 41^{\circ}43'$. ზედა კულმინაციისთვის $Z = \varphi - \delta$; $Z_1 = 41^{\circ}43' - 28^{\circ}36' = 13^{\circ}7'$. უდიდესი სიმაღლე იქნება $h_1 = 90^{\circ} - Z_1 = 76^{\circ}53'$. $Z_2 = 41^{\circ}43' + 28^{\circ}36' = 70^{\circ}19'$. უმცირესი სიმაღლე იქნება $h_2 = 90^{\circ} - Z_2 = 19^{\circ}41'$.

56. ყოველდღე ამოდის თუ არა მთვარე?

ამოხსნა. მთვარე ჩვენს განედზე არ აკმაყოფილებს ამოუვალობის პირობას $\delta < \varphi - 90^{\circ}$ (იხ. 15 და 55 ამოცანა); ყოველდღე ამოდის.

* 57. მთვარე რომ დედამიწას გარს უვლიდეს $\frac{1}{2}$ წელს, რამდენჯერ დავინახავდით წელიწადში ახალ მთვარეს?

ამოხსნა. ამ შემთხვევაში $L' = 1$, $T = \frac{1}{2}$, სინოდური და სიდერული შემობრუნების ფორმულა $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$ გვაძლევს: $\frac{1}{S} = \frac{1}{\frac{1}{2}} -$

$\frac{1}{1}$; $S = 1$ წელს, ე. ი. ერთჯერ დავინახავდით.

58. რა დრო გადის საათის ისრების ორ თანმიმდევარ დამთხვევას შორის?

ამოხსნა. აქ შეიძლება მივიღოთ წუთის ისრისთვის $T = 1^h$, საათის ისრისთვის $E = 12^h$, სინოდური და სიდერული შემობრუნების ფორმულით მივიღებთ: $\frac{1}{S} = \frac{1}{1} - \frac{1}{12}$; $S = \frac{12}{11}$ საათს $= 1^h 5^m 27^s$, (27).

59. მთეარის დაბნელება 1935 წლის 19 იანვარს დაიწყო $13^{\circ}54''$ მსოფლიო დროით (გრინვიჩის სამოქალაქო დრო). რომელ საათზე დაიწყებოდა ის ტაშენტიში სასარტყელო დროით? დეკრეტული დროით? ადგილობრივი საშუალო დროით?

მითითება: ტაშენტი მდებარეობს მეხუთე სარტყელში, შისი გრძედი $\lambda = 4^{\circ}37''$.

ამოხსნა. ყოველ სარტყელზე აღმოსავლეთით ერთი საათით მეტია დრო. ამიტომ ტაშენტის სასარტყელო დრო $T_s = 13^{\circ}54'' + 5^h = 18^{\circ}54''$. დეკრეტული დრო სასარტყელოზე ერთით მეტია $T_e = T_s + 1^h = 19^{\circ}54''$. სასარტყელო და საშუალო დროს შორის დამოკიდებულება ასეთია: $T_0 - T_s = \lambda - N$. აქედან $T_0 = 18^{\circ}54'' + 4^{\circ}37'' - 5^h = 18^{\circ}31''$.

60. 15 აგვისტოს ვარსკვლავიერი დროის $13^{\circ}45''$ -ზე, რას უდრის დაახლოებით საშუალო დრო? სასარტყელო დრო თბილისში? მითითება. თბილისის $\lambda = 2^{\circ}59''$ და $N = 3$.

ამოხსნა. საშუალო დრო დაახლოებით უდრის $T_0 = S - S_0$. $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$, სადაც x არის 21 მარტიდან გასული თვეების რიცხვი, ხოლო y დამატებით გასული დღეების რიცხვი. ჩვენს შემთხვევაში $x = 4$, $y = 25$. $S_0 = 12^h + 8^h + 100^m = 21^h 40^m$.

$T_0 = 13^{\circ}45'' - 21^h 40^m + (24^h)$, როცა დრო დღე-ღამის ფარგლებში უარყოფითი გამოდის, უნდა დაუმატოთ 24^h როგორც პერიოდი. $T_0 = 16^h 5^m$. სასარტყელო დროისთვის $T_0 - T_s = \lambda - N$, აქედან $T_s = 16^h 5^m - 2^h 59^m + 3^h = 16^h 6^m$.

61. 12 დეკემბერს თბილისის სასარტყელო დროის $17^{\circ}43''$ -ზე, რას უდრის დაახლოებით ვარსკვლავიერი დრო?

ამოხსნა. ჯერ ვიპოვოთ საშუალო დრო $T_0 = T_s + \lambda - N = 17^{\circ}43'' + 2^h 59^m - 3^h$, $T_0 = 17^{\circ}42''$. ვარსკვლავიერი დრო გამოითვლება ფორმულით $S = T_0 + S_0$, $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. ჩვენს შემთხვევაში $x = 8$, $y = 21$, $S_0 = 12^h + 16^h + 84^m = 29^h 24^m$. როცა დრო დღე-ღამის ფარგლებში 24^h საათზე მეტი გამოდის, უნდა გამოვავლოთ 24^h როგორც პერიოდი. $S_0 = 5^h 24^m$. $S = 17^{\circ}42'' + 5^h 25^m = 23^h 6^m$.

* 62. დაახლოებით რომელ საათზე გაივლის ზედა კულმინაციაში 1 თებერვალს კაპელა 1) მოსკოვში ადგილობრივი დროით? 2) მოსკოვში სასარტყელო დროით? 3) ვლადივოსტოკში სასარტყელო დროით?

მითითება. მოსკოვის $\lambda = 2^{\circ}30''$, $N = 2$, ვლადივოსტოკის $N = 9$. კაპელას $\alpha = 5^h 13^m$.

ამოხსნა. ვარსკვლავიერი დროის ფორმულაში $S = \alpha + t$, ზედა კულმინაციის დროს $t = 0$. $S = 5^h 13^m$. $T_0 = S - S_0$. $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. 1 თებერვლისთვის $x = 10$, $y = 11$. $S_0 = 32^h 44^m$ ანუ $S_0 = 8^h 44^m$, $T_0 = 5^h 13^m - 8^h 44^m + (24^h) = 20^h 29^m$. $T_s = T_0 - \lambda + T$. $T_s = 20^h 29^m - 2^h 30^m + 2^h = 19^h 59^m$. ვლადივოსტოკში $T_s = 19^h 59^m + 7^h$, რადგან შვიდი სარტყელია განსხვავება, ვლ. $T_s = 2^h 59^m$.

* 63. ცის ყველაზე უფრო ბრწყინვალე ვარსკვლავი სირიუსი ($\alpha = 6^h 43^m$) რა დღეს არის ზედა კულმინაციაში შუალაშისას?

ამოხსნა. სირიუსი ზედა კულმინაციაშია, როცა $S = \alpha = 6^h 43^m$. უნდა ვიპოვოთ შუალამეზე როდის არის ვარსკვლავიერი დრო $6^h 43^m$. შუალამის ვარსკვლავიერი დრო $S = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. ჩავსვათ $6^h 43^m - 12^h = x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. მარცხენა მხარეში უარყოფითი დრო გამოდის, დაუმატოთ პერიოდი 24^h , მივიღებთ: $18^h 43^m = x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. აქედან $x = 9$ და $y = 11$. 21 მარტიდან გასულია 9 თვე და 11 დღე. ე. ი. სირიუსი ზედა კულმინაციაში შუალამეზე არის 1 იანვარს.

* 64. გამოთვალეთ კაპელას, ვეგას და სირიუსის ზედა და ქვედა კულმინაციის მომენტი 1 იანვარს სოხუმის ადგილობრივი და სასარტყელო დროით.

მითითება. კაპელას $\alpha = 5^h 13^m$, ვეგას $\alpha = 18^h 35^m$, სირიუსის $\alpha = 6^h 43^m$. სოხუმის გრძედი $\lambda = 2^h 44^m$, $N = 3$.

პასუხი. ზედა კულმინაცია: კაპელას $T_0 = 22^h 29^m$, $T_1 = 22^h 45^m$, ვეგას $T_0 = 11^h 51^m$, სირიუსის $T_0 = 23^h 59^m$. ქვედა კულმინაცია: კაპელას $T_0 = 10^h 29^m$, ვეგას $T_0 = 23^h 51^m$, სირიუსის $T_0 = 11^h 59^m$.

65. მაქსიმუმი რამდენი კვირა დღე შეიძლება იყოს თებერვალში?

ამოხსნა. ნაკიან წელს თებერვალში შეიძლება იყოს ხუთი კვირა: 1, 8, 15, 22 და 29, მაგრამ ამოცანის პასუხია 10 კვირა! ეს შეიძლება იყოს გემის ეკიპაჟისთვის, რომელიც ასრულებს ყოველ კვირეულ რეისს; ვთქვათ, კამჩატკიდან ალიასკამდე. 1 თებერვალს კვირას კამჩატკიდან წასულმა გემმა თუ გადაკვეთა თარიღის გამოცვლის ხაზი, მეორე დღეც უნდა ჩაითვალოს 1 თებერვალი კვირა. ოთხშაბათს ან ხუთშაბათს გემი დაბრუნდება ალიასკიდან და 8-ში კამჩატკიდან გასული ისევ გადაკვეთს თარიღის გამოცვლის ხაზს; ისევ იქნება ორი კვირა და. ა. შ.

66. ნიუტონი დაიბადა 1642 წლის 25 დეკემბერს ძველი სტილით. რა რიცხვი იყო ეს ახალი სტილით?

ამოხსნა. 1582 წელს, როცა რეფორმა მოხდა, განსხვავება ძველსა და ახალ სტილს შორის უდრიდა 10 დღე-ღამეს. 1600 წელს გრიგორიუსი და იულიუსიცი ნაკიანად თვლიდა და განსხვავება არ გაზრდილა. ამიტომ ძველი სტილით ნიუტონის დაბადების თარიღს უნდა მიემატოს 10 დღე; ე. ი. ახალი სტილით ნიუტონი დაიბადა 1643 წლის 4 იანვარს.

67. რა დღე იყო ახალი სტილით, როცა ძველი სტილით 1900 წლის 15 თებერვალს ანგარიშობდნენ? აგრეთვე 1900 წლის 25 თებერვალს?

ამოხსნა. ძველი სტილით 1900 წლის თებერვლის გასვლამდე განსხვავება იყო 12 დღე-ღამე. ამიტომ 1900 წლის 15 თებერვალი ძველი სტილით, იქნება 1900 წლის 27 თებერვალი ახალი სტილით. ასევე 25 თებერვალი იქნა 9 მარტი.

* 68. არსებობდა კალენდრის პროექტი, რომლის მიხედვით ყოველ 128 წელში უნდა ყოფილიყო არა 32 ნაკიანი წელი, როგორც იულიუსის

კალენდარში, არამედ 31 ნაკიანი და 97 ჩვეულებრივი. დაამტკიცეთ, რომ კალენდარული წლის შეცდომა ასეთ კალენდარში შეადგენდა მხოლოდ 0,00001 დღე-ღამეს.

ამოხსნა. წლის საშუალო სიდიდე ასეთ კალენდარში იქნებოდა $(31 \cdot 366 + 97 \cdot 365) : 128 = 365,24219$. შეცდომა უდრის $365,24220 - 365,24219 = 0,00001$ დღე-ღამეს.

* 69. გამოთვალეთ არკტურის ამოსვლისა და ჩასვლის აზიმუტი და ვარსკვლავიერი დრო გორში. არკტურის $\alpha = 14^{\circ}13'$, $\delta = 19^{\circ}27'$; გორის $\varphi = 41^{\circ}58'$, $\lambda = 2^{\circ}56'5$, $N = 3$.

ამოხსნა. აზიმუტი გამოითვლება ფორმულით $\cos A = \frac{-\sin \delta}{\cos \varphi}$.

რადგან $\delta > 0$ ამას ასე დაეწერთ $\cos (180^{\circ} - A) = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$.

$\lg \sin 19^{\circ}27' = \bar{1},5224$, $\lg \cos 41^{\circ}58' = \bar{1},8713$, $\lg \cos (180^{\circ} - A) = \bar{1},6511$. $180^{\circ} - A = 63^{\circ}24'$, $A = 116^{\circ}36'$; ჩასვლის აზიმუტი $A_1 = 116^{\circ}36'$, ამოსვლის აზიმუტი $A_2 = -116^{\circ}36'$ ანუ $A_2 = 243^{\circ}24'$.

ვარსკვლავიერი დროისთვის ჯერ გამოვთვალოთ საათიერ კუთხეს. ფორმულით: $\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$. რადგან $\delta > 0$ ამას ასე დაეწერთ $\cos(180^{\circ} - t) = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$.

$\lg \operatorname{tg} 41^{\circ}58' = \bar{1},9539$, $\lg \operatorname{tg} 19^{\circ}27' = \bar{1},5479$, $\lg \cos (180^{\circ} - t) = \bar{1},5018$, $180^{\circ} - t = 71^{\circ}29'$, $t = 108^{\circ}31'$, გადავიყვანოთ საათიერ ზომაში $108^{\circ} : 15^{\circ} = 7^{\text{h}} + 3^{\circ}$, $3^{\circ} = 180'$, $211' : 15 = 14^{\text{m}}$; $t = 7^{\text{h}}14^{\text{m}}$. ჩასვლის $t_1 = 7^{\text{h}}14^{\text{m}}$, ამოსვლის $t_2 = -7^{\text{h}}14^{\text{m}}$; $S = \alpha + t$ ჩასვლის ვარსკვლავიერი დრო $S_1 = 14^{\text{h}}13^{\text{m}} + 7^{\text{h}}14^{\text{m}} = 21^{\text{h}}27^{\text{m}}$.

ამოსვლის ვარსკვლავიერი დრო $S_2 = 14^{\text{h}}13^{\text{m}} - 7^{\text{h}}14^{\text{m}} = 6^{\text{h}}59^{\text{m}}$.

* 70. როდის ამოვა და ჩავა მზე თბილისში რეფრაქციის გათვალისწინებით 22 ივნისს?

ამოხსნა. უნდა გამოვიყენოთ ფორმულა $\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$; რასაც ასე დაეწერთ $\cos t = \frac{\cos Z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$ მზის დახ-

რილობა 22 ივნისს უდრის $23^{\circ}27'$, თბილისის განედია $41^{\circ}43'$. ვიგულისხმობთ მზის ცენტრის ამოსვლა. რეფრაქციის გამო მზის ცენტრის ზენიტური მანძილი ამოსვლის დროს უდრის $Z = 90^{\circ} + 34'$, $\cos Z = -\sin 34'$. $\sin 34' = 0,0099$.

$\lg \sin 41^{\circ}43' = \bar{1},8231$, $\lg \sin 23^{\circ}27' = \bar{1},5999$, $\lg \sin \varphi \sin \delta = \bar{1},4230$, $\sin \varphi \sin \delta = 0,2649$, მრ. = $-0,2748$, რადგან მრიცხველი უარყოფითია, ხოლო მნიშვნელი დადებითი, ფორმულა ასე დაეწერთ $\cos (180^{\circ} - t) = \frac{\cos Z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$; მაშინ $\lg (-\operatorname{მრიცხ.}) = \bar{1},4391$; $\lg \cos 41^{\circ}43' =$

$= \bar{1},8730$, $\lg \cos 23^\circ 27' = \bar{1},9625$, $\lg \cos \varphi \cos \delta = \bar{1},8355$. $\lg \cos(180^\circ - t) =$
 $= \bar{1},6036$; $180^\circ - t = 66^\circ 20'$; $t = 113^\circ 40'$ — საათიერი კუთხე გადავიყვანოთ
 გრადუსულ ზომაში $t = 7^h 35^m$. ჩასვლის ვარსკვლავიერი დრო $S_1 = \alpha + t$,
 ამოსვლის $S_2 = \alpha - t$. მზის პირდაპირი აღვლენა 22 ივნისს უდრის 6^h .
 ამიტომ $S_1 = 6^h + 7^h 35^m = 13^h 35^m$, $S_2 = 6^h - 7^h 35^m + (24^h) = 22^h 25^m$.

საშუალო დრო $T_0 = S - S_0$, $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. ჩვენს შემთხვევაში
 $x = 3$, $y = 1$, $S_0 = 18^h 4^m$, ჩასვლის $T_0 = 13^h 35^m - 18^h 4^m + (24^h) = 19^h 31^m$. ამო-
 სვლის $T_0 = 22^h 25^m - 18^h 4^m = 4^h 21^m$. სასარტყელო დრო გამოითვლება
 ფორმულით $T_0 - T_b = \lambda - N$, აქედან $T_b = T_0 - \lambda + N$, თბილისის $\lambda =$
 $= 2^h 59^m$, $N = 3^h$, ჩასვლის $T_b = 19^h 32^m$, ამოსვლის $T_b = 4^h 22^m$. დეკრე-
 ტული დრო ერთი საათით მეტია.

ჩასვლის დეკრ. $T_e = 20^h 32^m$, ამოსვლის $T_e = 5^h 22^m$; დღის სიდიდე
 $15^h 10^m$.

* 71. გამოვთვალოთ ბინდის დაწყების და დამთავრების დრო თბი-
 სისში 22 ივნისს.

ამოხსნა. გამოვიყენებთ წინა ამოცანაში მოცემულ ფორმულას და
 სიდიდეებს, მხოლოდ ახლა ბინდის დაწყება-დამთავრებისთვის $Z = 90^\circ +$
 $+ 6^\circ 30'$.

$$\cos(180^\circ - t) = \frac{\sin 6^\circ 30' + \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}; \sin 6^\circ 30' = 0,1132. \text{ წინა ამოცანის}$$

მიხედვით $\sin \varphi \sin \delta = 0,2649$; მრიც. = 0,3781, $\lg(\text{მრიცხ.}) = \bar{1},5776$,

$\lg \cos \varphi \cos \delta = \bar{1},8355$ (იხ. წინა ამოც.), $\lg \cos(180^\circ - t) = \bar{1},7421$

$180^\circ - t = 56^\circ 29'$; $t = 123^\circ 31'$ საათიერ ზომაში $t_1 = 8^h 14^m$; სალამოს ბინდის
 დამთავრებისთვის $t_1 = 8^h 14^m$ დილის ბინდის დაწყებისთვის $t_2 = -8^h 14^m$.

$S_1 = 6^h + 8^h 14^m = 14^h 14^m$, $S_2 = 6^h - 8^h 14^m + (24^h) = 21^h 46^m$. წინა ამოცა-
 ნიდან ვიცით $S_0 = 18^h 4^m$, $T_0 = S - S_0$.

სალამოს ბინდის დამთავრება $T_0' = 14^h 14^m - 18^h 4^m + (24^h) = 20^h 10^m$.
 დილის ბინდის დაწყება $T_0'' = 21^h 46^m - 18^h 4^m = 3^h 42^m$ სასარტყელო დრო
 $T_b' = 20^h 11^m$, $T_b'' = 3^h 43^m$; დეკრეტული დრო $T_e' = 21^h 11^m$, $T_e'' = 4^h 43^m$;
 $T_e' - T_e'' = 16^h 28^m$.

* 72. ვიპოვოთ სირიუსის პორიზონტული კოორდინატები 30 მარტს.
 სალამოს 9 საათზე სასარტყელო დეკრეტული დროით თელავში.

სირიუსის $\alpha = 6^h 43^m$, $\delta = -16^\circ 39'$; თელავის $\varphi = 41^\circ 55'$, $\lambda = 3^h 2^m$, $N = 3$.

ამოხსნა. უნდა გამოვიყენოთ § 10-ის ფორმულები:

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (1)$$

$$\sin Z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t \quad (2)$$

$$\sin Z \sin A = \cos \delta \sin t \quad (3)$$

$$t = S - \alpha.$$

გამოვთვალოთ ჯერ ვარსკვლავიერი დრო $S = T_0 + S_0$, $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h +$
 $+ y \cdot 4^m$. 30 მარტისათვის $x = 0$, $y = 9$. $S_0 = 12^h 36^m$. სასარტყელო დრო.

იქნება $T_0 = 21^h - 1^h = 20^h$. სასარტყელო დროით გავიგებთ საშუალო დროს T_0 -ს.

$T_0 = T_0 + \lambda - N = 20^h 2^m$, ვარსკვლავიერი დრო $S = 20^h 2^m + 12^h 36^m - (24^h)$, $S = 8^h 38^m$. $t = S - \alpha = 1^h 55^m$; გრადუსულ ზომაში $t = 28^\circ 45'$. (3) და (2) ფორმულის გაყოფით მიიღება:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos \delta \sin t}{-\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t}$$

$\lg \cos \delta = \bar{1},9814$	$\lg \cos \varphi = \bar{1},8717$	$\lg \sin \varphi = \bar{1},8247$
$\lg \sin t = \bar{1},6821$	$\lg (-\sin \delta) = \bar{1},4572$	$\operatorname{tg} \cos \delta = \bar{1},9814$
$\lg (\text{მრიც.}) = \bar{1},6635$	$\lg (-\cos \varphi \sin \delta) = \bar{1},3289$	$\lg \cos t = \bar{1},9429$
	$-\cos \varphi \sin \delta = 0,2132$	$\lg (\text{II წვევ.}) = \bar{1},7490$
		$\text{II წვევ.} = 0,5610$

მნიშ. = 0,7742, $\lg (\text{მნიშ.}) = \bar{1},8888$, $\lg \operatorname{tg} A = \bar{1},7747$. $A = 30^\circ 46'$.

$\sin Z$ -ს გამოვითვლით (3) ფორმულიდან $\sin Z = \frac{\cos \delta \sin t}{\sin A}$, $\lg \sin A =$

$\bar{1},7089$, $\lg (\text{მრიცხ.}) = \bar{1},6635$, $\lg \sin Z = \bar{1},9546$. Z -ის მეოთხედის გამოსარკვევად უნდა მივმართოთ (1) ფორმულას $\lg (-\sin \varphi \sin \delta) = \bar{1},2819$, ფრჩხილში მინუს ნიშანი დაეწერეთ, რადგან $\sin \delta < 0$. $\lg (\cos \varphi \cos \delta \cos t) = \bar{1},7960$. ცხადია, $\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t > 0$, ე. ი. $\cos Z > 0$, $Z < 90^\circ$. $\lg (\sin Z)$ -ით ვიპოვიოთ Z -ს. $Z = 64^\circ 14'$.

* 78. 30 იანვარს ღამის $1^h 25^m$ -ზე სასარტყელო დეკრეტული დროით სტალინირში დაკვირვებით მიღებული იყო მნათობის პორიზონტული კოორდინატები: $Z = 55^\circ 23'$, $A = 265^\circ 34'$. იპოვეთ ამ მნათობის ეკვატორული კოორდინატები. სტალინირის $\varphi = 42^\circ 15'$, $\lambda = 2^h 56^m$, $N = 3$.

ამოხსნა. უნდა გამოვიყენოთ § 10-ის ფორმულები:

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos Z - \cos \varphi \sin Z \cos A \quad (1)$$

$$\cos \delta \cos t = \cos \varphi \cos Z + \sin \varphi \sin Z \cos A \quad (2)$$

$$\cos \delta \sin t = \sin Z \sin A \quad (3)$$

(3)-ის (2)-ზე გაყოფით მივიღებთ: $\operatorname{tg} t = \frac{\sin Z \sin A}{\cos \varphi \cos Z + \sin \varphi \sin Z \cos A}$

$\lg \sin Z = \bar{1},9154$	$\lg \cos \varphi = 1,8694$	$\lg \sin \varphi = \bar{1},8276$
$\lg (-\sin A) = \bar{1},9987$	$\lg \cos Z = \bar{1},7544$	$\lg \sin Z = \bar{1},9154$
$\lg (-\sin Z \sin A) = \bar{1},9141$	$\lg (\text{I წვევ.}) = \bar{1},6238$	$\lg (-\cos A) = \bar{2},8881$
	$\text{I წვევ.} = 0,4206$	$\lg (-\text{II წვევ.}) = \bar{2},6311$
	$-0,0428$	$\text{II წვევ.} = -0,0428$
	$\text{მნიშ.} = 0,3778$	

რადგან მრიცხველი უარყოფითია, ფორმულა ასე დავწეროთ

$$\operatorname{tg}(180^\circ - t) = - \frac{\sin Z \sin A}{(\text{მნიშ.})}$$

სადაც მნიშვნელი იგივეა.

$$\lg(-\sin Z \sin A) = \bar{1},9141,$$

$$\lg(\text{მნიშ.}) = \bar{1},5772$$

$$\lg \operatorname{tg}(180^\circ - t) = 0,3369,$$

$$180^\circ - t = 65^\circ 16'$$

$t = \pm 115^\circ 44' = \pm 7^h 43^m$. მაგრამ რადგან მნათობი აღმოსავლეთით არის ($A > 180^\circ$), უნდა ავიღოთ მინუსით; $t = -7^h 43^m$.

გამოვთვალოთ ვარსკვლავიერი დრო. $S = T_0 + S_0$ $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. 30 იანვრისთვის $x = 10$, $y = 9$, $S_0 = 12^h + 20^h + 36^m$; $S_0 = 8^h 36^m$.

$T_e = 1^h 25^m$ (მოცემულია), $T_s = 25^m$. საშუალო დრო $T_0 = T_s + \lambda - N = 25^m + 2^h 56^m - 3^h = 21^m$, $S = 21^m + 8^h 36^m = 8^h 57^m$. $\alpha = 8^h 57^m + 7^h 43^m = 16^h 40^m$.

დახრილობის გამოსათვლელად გამოვიყენოთ (3) ფორმულა $\cos \delta = \frac{\sin Z \sin A}{\sin t}$: აქ მრიცხველიც და მნიშვნელიც უარყოფითია.

$$\lg(-\sin Z \sin A) = \bar{1},9141$$

$$\delta = 25^\circ 23'$$

$$\lg(-\sin t) = \bar{1},9582$$

$$\alpha = 16^h 40^m.$$

$$\lg \cos \delta = \bar{1},9559$$

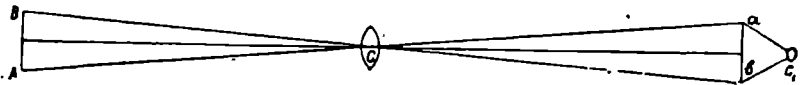
პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები

§ 11. ასტრონომიული იარაღები¹

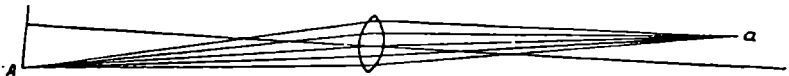
ა) სამზერი მილი; რეფრაქტორი

პირველი სამზერი მილი ასტრონომიული დაკვირვებისათვის გააკეთა გალილეიმ 1609 წელს. ორი წლის შემდეგ კეპლერმა თეორიულად შეიმუშავა სხვა სისტემის სამზერი მილი, რომლის პრინციპი ახლაც გამოყენებულია თანამედროვე ტელესკოპებში.

სამზერი მილის მთავარი ნაწილია ორი ორმხრივ ამოზნექილი მინა (ლინზა). უფრო დიდი მიმართულია საგნისკენ და ეწოდება ობიექტივი, უფრო პატარას კი ეწოდება ოკულარი. მათი ორივე მხარე სფერულ ზედაპირს წარმოადგენს. ობიექტივის ორივე ზედაპირის ცენტრთა შე-



ნახ. 67. საგნის გამოსახულება ფოკალურ სიბრტყეში.



ნახ. 68. სხივების შეკრება ობიექტივის მიერ.

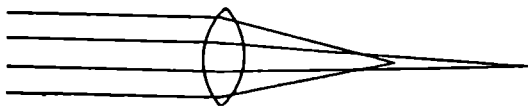
მერთებელ სწორს ეწოდება ოპტიკური ღერძი. ობიექტივის ცენტრში გამავალი სხივები არ გადატყდება. სხვა სხივები ისე გადატყდება, რომ რაიმე წერტილიდან წამოსული სხივები ფოკალურ სიბრტყეში ისევ ერთ

¹ გეოგრაფებს დაევალება სამზერი მილი, მერიდიანული წრედი და დანარჩენზე ზოგადი წარმოდგენა.

წერტილში შეიკრიბება. A წერტილის გამოსახულება იქნება a წერტილში (ნახ. 68). რაც მეტია ობიექტივის ზედაპირი, იმდენად მეტი სხივები დაეცემა და შეიკრიბება ფოკალურ სიბრტყეში. ეს ეხება AB საგნის ყველა წერტილს, რომლის ab გამოსახულებაც შებრუნებული იქნება. გამოსახულება ობიექტივის c ცენტრიდან იმავე კუთხით ჩანს, რა კუთხითაც ჩანს თვით საგანი. ამრიგად ობიექტივი საგანს არ აღიღებს, მისი როლი მდგომარეობს რაც შეიძლება მეტი სინათლის შეკრებაში.

გადიდების მისაღებად გამოსახულებას აკვირდებიან მოკლედფოკუსიანი ოკულარით. 67 ნახაზზე cd არის¹ ობიექტივის ფოკუსური მანძილი F , c, d —ოკულარის ფოკუსური მანძილი f . რაც მეტია F , f -ზე, იმდენად $\angle ac, b$ მეტია acb -ზე და ეს არის გადიდება. გადიდება მით მეტია, რაც ობიექტივის ფოკუსური მანძილი მეტია ოკულარის ფოკუსურ მანძილზე. თუ გადიდებას აღვნიშნავ m -ით, $m = \frac{F}{f}$.

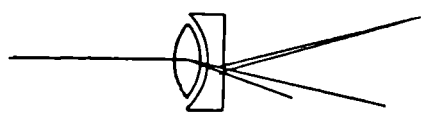
ლინზაში გატარებული პარალელური სხივები უნდა შეიკრიბოს ერთ წერტილში, მაგრამ კიდეში დაცემული სხივები უფრო ახლოს იკრიბება, ხოლო ცენტრში დაცემული უფრო შორს (ნახ. 69). ეს არის სფერული აბერაცია. ამას გარდა, თეთრი სხივი იშლება ფერებად; მათგან ცისფერი უფრო მეტად გადა-



ნახ. 69. სფერული აბერაცია

ტყდება, ხოლო წითელი უფრო ნაკლებად, ვიდრე დანარჩენი. ამიტომ ფოკუსში წერტილის გამოსახულების მაგიერ ვღებულობთ ვიწრო ფერად ზოლს. ამას ეწოდება ქრომატიული აბერაცია. ამ აბერაციითა ასაშორებლად XVIII საუკუნის ბოლო-

დან აკეთებენ რთულ ობიექტივებს ორი ან მეტი ლინზით, რომლებსაც სხვადასხვა გადატეხის კოეფიციენტები აქვს. ორი ლინზის შემთხვევაში ერთს აკეთებენ ორმხრივ ამოზნექილს, ერთგვარი



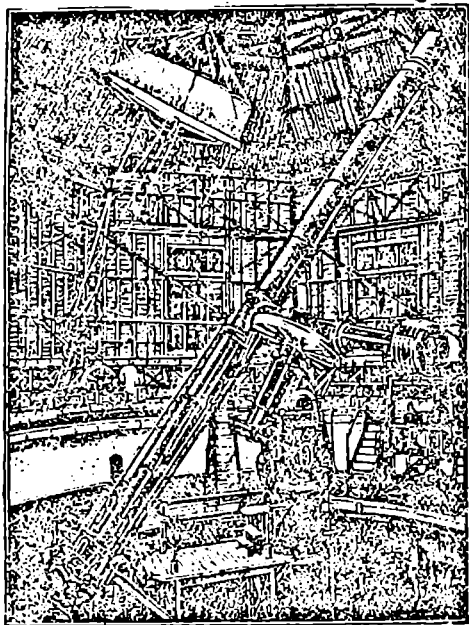
ნახ. 70. ქრომატიული აბერაცია.

შინისაგან, რომელსაც კრონგლასი ეწოდება; მეორე ლინზას აქვს ბრტყელი შეზნექილი ფორმა და გაკეთებულია ფლინტგლასისაგან (ნახ. 70). პირველი ლინზა იისფერს გადატეხს უფრო მეტად, ვიდრე წითელს; მეორეც, იისფერს გადატეხს უფრო მეტად, ვიდრე წითელს, მაგრამ საწინააღმდეგო მხარეს. ამის შედეგად ორივე ფერი ფოკალურ სიბრტყეში ერთ წერტილში იკრიბება. ასეთ ობიექტივს ეწოდება აქრომატიული. ქრომატიული აბერაციის სრული მოსპობა არ ხერხდება (შეიძლება

¹ d უნდა იყოს ab -ს შუაზე

მხოლოდ ორი ფერის სრული დამთხვევა), მაგრამ შეიძლება საგრძნობად შემცირებულ იქნას¹. ასევე სფერული აბერაციაც.

გამოსახულება რომ უფრო მკაფიო იყოს, ოკულარსაც რამდენიმე ლინზისაგან აკეთებენ. თუ ავიღებთ ოკულარს საკმაოდ მცირე ფოკუსური მანძილით, შეიძლება ნებისმიერად დიდი გადიდება მივიღოთ, მაგრამ ამ შემთხვევაში გამოსახულება ბუნდოვანი გამოდის. ამიტომ 1000-ზე



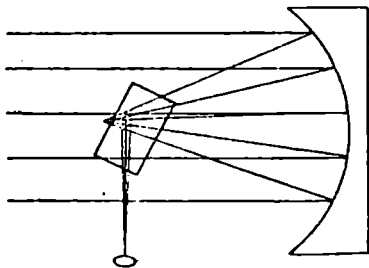
ნახ. 71. პულკოვოს ობსერვატორიის რეფრაქტორი (დანგრეულია).

მეტრი 102 სანტიმეტრს უდრის, რომელიც იმყოფება იერკსის (ა. შ. შ.) ობსერვატორიაში. ევროპაში ერთ-ერთი უდიდესი იყო პულკოვოს (ლენინგრადის ახლოს) ობსერვატორიის რეფრაქტორი, 76 სანტიმეტრის დიამეტრით, მაგრამ ის დაანგრეეს გერმანელმა ფაშისტებმა.

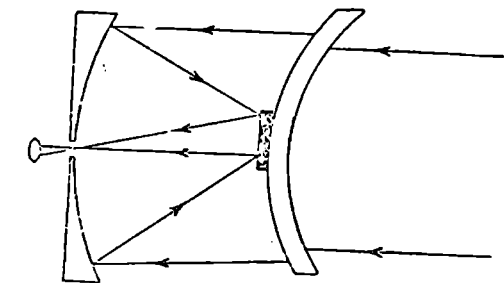
¹ ობიექტივის აქრომატიზაციას აკეთებენ სპექტრის გარკვეულ უბნისათვის, ორლინზიანი ობიექტივები, უფრო ხშირად, აქრომატირებული არიან სპექტრის ვიზუალურ უბანში, ხოლო სამი და ათხუთხიანი ობიექტივები სპექტრის ფოტოგრაფიულ უბანში. თუ გვინდა მივიღოთ ულტრაიისფერი უბანი, მაშინ ობიექტივებს კვარცისაგან აშუადებენ ან ამრეკლავ ოპტიკას ხმარობენ. რედ.

1) რეფლექტორი. მენისკური ტელესკოპი

რეფლექტორი არის ისეთი ტელესკოპი, რომელიც აგებულია სხივთა არეკვლის პრინციპზე. ამ შემთხვევაში ობიექტივის როლს ასრულებს ჩაზნექილი სარკე. მას აქვს ბრუნვის პარაბოლოიდის ფორმა და ზედაპირი დაფარულია ვერცხლის ან ალუმინის თხელი ფენით. როცა ასეთ სარკეს ეცემა პარალელური სხივები, ისინი აირეკლება, ისე რომ დაცემის კუთხე უდრის არეკვლის კუთხეს და საბოლოოდ შეიკრიბებიან ფოკუსში. ამის გამო წერტილოვანი მნათობის— ვარსკვლავის გამოსახულება (როგორც რეფრაქტორში) იმდენად უფრო კაშკაშაა, რამდენადაც ობიექტივის ზედაპირი მეტია ადამიანის თვალის გუგაზე. მაგრამ საიდან უნდა დავაკვირდეთ მას? თუ დავაკვირდით წინა მხრიდან, ჩვენი ტანი დაფარავს სხივებს და ვერაფერს დავინახავთ. ამის გამო ფოკუსამდე მოთავსებულია პატარა სარკე, რომელიც არეკლავს სხივებს, ისე რომ მათი შეკრება ხდება ტელესკოპის მიღს გარეთ. აქ მოთავსებულია ოკულარი და ხდება დამზერა. იმის მიხედვით, თუ რა ადგილას მიიღება გამოსახულება, არჩევენ სხვადასხვა სისტემის რეფლექტორს. ნიუტონის ტიპის რეფლექტორში პატარა სარკეს აქვს ბრტყელი ფორმა, მასზე ეცემა სარკიდან არეკლილი სხივები 45° -კუთხით, რის გამოც ფოკუსი გამოდის ტელესკოპის გვერდით (ნახ. 72). კასაგრენის რეფლექტორში პატარა სარკეს აქვს ჰიპერბოლური ზედაპირი; მისგან არეკლილი სხივები ეცემა ობიექტივის ცენტრში, სადაც არის ქუქურუტანა და მოთავსებულია ოკულარი. არის



ნახ. 72.



ნახ. 73.

კიდევ სხვა ტიპის რეფლექტორებიც.

დიდი რეფლექტორის გაკეთება უფრო ადვილია, ვიდრე დიდი რეფრაქტორის, ვინაიდან მისთვის საჭიროა ობიექტივის მხოლოდ ერთ ზედაპირს მიეცეს სწორი გეომეტრიული ფორმა და ოპტიკურად ერთგვაროვნება ლინზისთვის არაა აუცილებელი.

უკანასკნელ დრომდე უდიდესი რეფლექტორის დიამეტრი უდრიდა $2\frac{1}{2}$ მეტრს, ის დადგმულია ვილსონის მთაზე (ა. შ. შ.); მაგრამ ახლა უკვე დაიწყო მუშაობა 5-მეტრიანი დიამეტრის მქონე რეფლექტორმა

პალომარის მთაზე (ა. შ. შ.). როგორც ირკვევა, ასეთი დიდი ტელესკოპის მოხმარა ძნელია და არც იმდენად ეფექტურია.

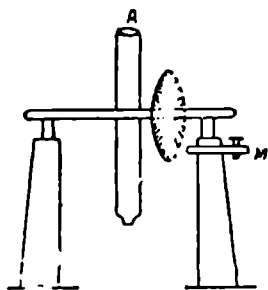
1941 წელს საბჭოთა მეცნიერმა მაკსუტოვმა გამოიგონა ახალი ტიპის ტელესკოპი, რომელიც აერთიანებს რეფრაქტორისა და რეფლექტორის დადებით თვისებებს. აქ სარკეს სფერული ფორმა აქვს, მაგრამ მის წინ მოთავსებულია ამოზნექილ-შეზნექილი ზედაპირიანი ლინზა, ანუ მენისკი, რომლის ორივე ზედაპირი აგრეთვე სფერულია (ნახ. 73). მნათობიდან წამოსული სხივები, პირველად გაივლის რა ლინზაში, დაეცემა მთავარ სარკეს, საიდანაც აირეკლება და დაეცემა ლინზის ცენტრში მოთავსებულ პატარა სფერულ სარკეს. პატარა სარკიდან არეკლილი სხივები იკრიბება მთავარი სარკის ცენტრში, სადაც არის ჭუჭყურტანა და მოთავსებულია ოკულარი. მაკსუტოვის ტელესკოპს, მისი სიმძლავრის სხვა ტელესკოპთან შედარებით, გაცილებით პატარა ფორმა აქვს და იძლევა მაღალი ხარისხის გამოსახულებას. 1946 წელს მას მიენიჭა სტალინური პრემია. ახლა წარმოებს მაკსუტოვის ტელესკოპის სასკოლო სერიის გამოშვება (7 სმ. დიამეტრით) და მიიღება ინდივიდუალური დაკვეთა უფრო დიდი ტელესკოპის დამზადებაზე¹; მაგალითად, აბასთუმნის ობსერვატორიისთვის მზადდება მაკსუტოვის ტელესკოპი 70; სანტ. დიამეტრით.

ც) კუთხსაზომი იარაღები

ხშირად ასტრონომიული დაკვირვება მნათობის მიმართულების კუთხეების განსაზღვრაში მდგომარეობს. ამის გამო ტელესკოპებს ყოველთვის აქვს კუთხსაზომი მოწყობილობა, რომლითაც აითვლება მნათობის კოორდინატები. სქემატურად უმარტივესი კუთხსაზომი იარაღია მერიდიანული წრედი. მასში სამზერი მილი დამაგრებულია ჰორიზონტულ ღერძზე, რომელსაც აქვს აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულება. ასეთი მოწყობილობის გამო სამზერი მილი მოძრაობს მერიდიანის სიბრტყეში და მნათობზე დაკვირვება კულმინაციის დროს წარმოებს. იმავე ღერძზე დამაგრებულია წრედი ზუსტი დანაყოფებით; მისი სიბრტყე მერიდიანის სიბრტყეს ემთხვევა და აქედან მიიღო იარაღმა თავისი სახელი (ნახ. 74). კუთხის ასათვლელად წრედთან არის მიკროსკოპი *M*. ღერძი მტკიცედ არის დამაგრებული ორ მყარ ბოძზე. იმის გამო, რომ ბრუნვა ხდება ერთი ღერძის გარშემო, იარაღის მონტირება შეიძლება მოხდეს დიდი სიზუსტით. ამას გარდა, მნათობზე დაკვირვება მერიდიანში უფრო ხელსაყრელია, სიმაღლის მცირე ცვლილებისა და სხვა მიზეზების გამო. ამიტომ მერიდიანული წრედით დაკვირვება უფრო ზუსტად წარმოებს და მას იყენებენ მნათობის კოორდინატების ზუსტი განსაზღვრისათვის. მეტი სიზუსტისათვის ოკულარში დაქიმულია ერთი-

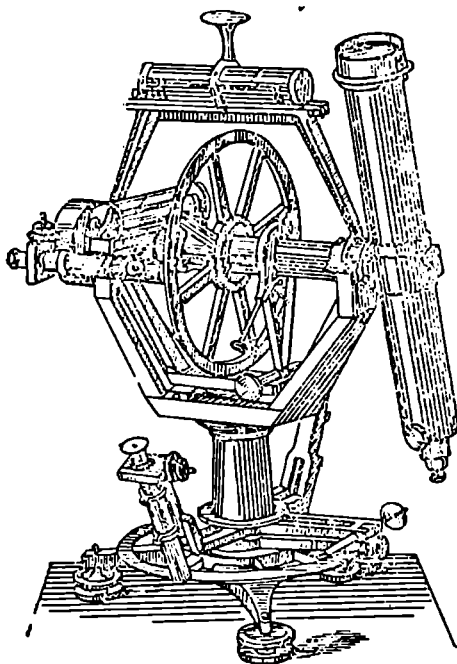
¹ ამავე ტიპის (ლინზოვან-სარკოვან) ტელესკოპებს მიეკუთვნება, ასტრონომიულ ხმარებაში ფართოდ გავრცელებული, შმიდტის ანაბერაციული კამერა. რ ე დ.

დან სამამდე ჰორიზონტული და რამდენიმე ვერტიკალური ძაფი. დაკვირვების დროს ის განათდება სუსტი სინათლით. შუა ვერტიკალური ძაფი შეესაბამება მერიდიანს და აკვირდება მნათობის ამ საშუალო ძაფზე გადასვლას. მერიდიანული წრედი დადგმულია მხოლოდ ზოგიერთ დიდ ობსერვატორიაში. სხვა ადგილებში მერიდიანული დაკვირვებისათვის იხმარება საპასაჟო ინსტრუმენტი, რომელიც შემცირებულ მერიდიანულ წრედს წარმოადგენს და ამავე დროს მოცემული აქვს გადატანისათვის ხელსაყრელი ფორმა. მისთვის დამახასიათებელია აგრეთვე დაკვირვების დროს სწრაფად მხარის შებრუნება, ისე რომ ღერძის აღმოსავლეთი მხარე დასავლეთ საყრდნობზე დაედება, და პირიქით.



ნახ. 74.

ჰორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრისათვის იხმარება უნივერ-



ნახ. 75.

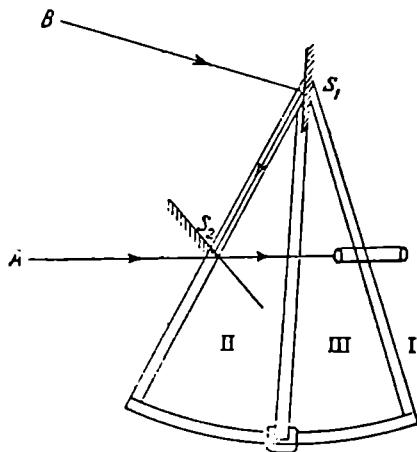
სალური ინსტრუმენტი ანუ თეოდოლიტი (ნახ. 75). მასში ბრუნვა ხდება ორი ღერძის გარშემო და ათვლისათვის აქვს ორი წრედი.

ჰორიზონტულ ღერძზე დამაგრებულია სამხერი მილი და ვერტიკალური წრედი. ჰორიზონტული ღერძი დადებულია ორ საყრდენზე, როგორც მერიდიანულ წრედში. მთელი ეს „მოწყობილობა“ ბრუნავს ვერტიკალური ღერძის გარშემო, რომლის ფუძეზე აზიმუტის ათვლისათვის მოთავსებულია ჰორიზონტული წრედი. მთელი იარაღი დგას სამ ფეხზე, რომლებსაც აქვთ ასაწვევ-დასაწვევი ხრახნები. ჰორიზონტული მდებარეობის შემოწმება ხდება ორი თარაზოთი. წრედებზე დანაყოფთა ათვლა წარმოებს სათანადო ადგილას მიმაგრებული მიკროსკოპებით.

ობსერვატორიებში ტელესკოპებს აქვთ ე. წ. ეკვატორიული დანადგარი. ამ შემთხვევაში ერთ ღერძს აქვს საყუაროს ღერძის მიმართულება, ხოლო მეორე ღერძი მდე-

ბარეობს ეკვატორის სიბრტყეში, პირველის მართობულად. კუთხეების ასათვლელად არის ორი წრედი, რომელთაგან ერთზე აითვლება პირდაპირი აღვლენა, ხოლო მეორეზე—დახრილობა. ასეთ დადგმულობას აქვს საათის მექანიზმი, რის გამოც ტელესკოპი მობრუნდება იმდენად, რამდენადაც მობრუნდება ცის სფერო და მნათობი ყოველთვის ჩანს ტელესკოპის ხედვის არეში (თუკი ერთხელ იქნა მიმართული მასზე).

ზღვაზე დაკვირვებისათვის მნათობთა სიმაღლის გასაზომად იხმარება სექსტანტი, რომელსაც არ სჭირდება მტკიცე დანადგარი. მას აქვს



ნახ. 76.

მიღში S_2 -ზე არეკვლის შემდეგ. სექსტანტს დაიჭერენ ისე, რომ გამკვირვალე სარკიდან მასში ჩანდეს ჰორიზონტზე მდებარე რაიმე საგანი. შემდეგ მოატრიალებენ III სახელურს მანამდე, სანამ S_1 და S_2 სარკეებზე ორჯერ არეკვლის შედეგად არ გამოჩნდება B საგანი, A -სთან ერთდ. მაშინ B -ს სიმაღლე უდრის III სახელურის მობრუნების კუთხეს გამრავლებულს ორზე.

დაკვირვების მომენტი ყოველთვის უნდა იქნას აღნიშნული ზუსტი დროით. აგებულების მიხედვით ასტრონომიაში იხმარება ორგვარი საათი. პირველი არის ჩვეულებრივი კედლის საათი, მაგრამ განსაკუთრებით დიდი სიზუსტით მომუშავე. მისი ძირითადი ნაწილია საქანი, რომელიც აკეთებს ერთ რყევას ერთი სეკუნდის განმავლობაში. ჰაერის რყევამ რომ გავლენა არ მოახდინოს, ის მოთავსებულია ყუთში; გარდა ამისა, ობსერვატორიებში ასეთ საათებს ხშირად ინახავენ სარდაფში, სადაც იცავენ ერთსა და იმავე ტემპერატურას. დაკვირვების დროს ასეთი საათით ვერ ვისარგებლებთ (რადგან ის უძრავად უნდა იყოს სარ-

დაფში), და გამოიყენება მეორეგვარი საათი, ე. წ. ქრონომეტრი. იგი ჰგავს ჯიბის საათს, მაგრამ მასზე გაცილებით დიდია, მოთავსებულია უთში და ისეა მოწყობილი, რომ რყევა გაელენას არ ახდენს მის მუშაობაზე. ობსერვატორიაში ზოგი საათი მუშაობს ვარსკვლავიერი და ზოგი სისუფლო დროით.

*** d) დაკვირვებათა სახეები.**

დაკვირვების შეცდომები

ჩვეულებრივად დაკვირვება წარმოებს თვალით ანუ ვიზუალურად, მაგრამ მეოცე საუკუნის პირველ ნახევარში ასტრონომიაში დიდი გამოყენება პოვა ფოტოგრაფიამ. ფოტოგრაფიული დაკვირვება მდგომარეობს ცის მნათობის ან მთელი უბნის სურათის გადაღებაში, რომლის შესწავლაც შემდეგ წარმოებს ლაბორატორიული დამუშავების საშუალებით. აღნიშნავენ ფოტოგრაფიული დაკვირვების რამოდენიმე უპირატესობას: 1) წამიერობა, 2) ინტეგრალობა, 3) დოკუმენტალობა და სხვ. წამიერობა მდგომარეობს ცის ხანმოკლე სურათების გადაღების შესაძლებლობაში, რომელსაც ადამიანის თვალი კარგად ვერ ამჩნევს, მაგალითად, მეტეორის მოვლენა.

ინტეგრალობა მდგომარეობს სინათლის შეჯამებაში; სუსტი ვარსკვლავი, რომელსაც ვერ ხედავს ადამიანის თვალი, მოქმედებს რა თავისი სინათლით ფოტოფირფიტაზე განუწყვეტლივ ერთსა და იმავე წერტილზე, ხანგრძლივი გადაღების ანუ ექსპოზიციის შემდეგ „გამოჩნდება“ იმავე ტელესკოპში. ადამიანის თვალი კი ხანგრძლივი დაკვირვებით იღლება და უფრო ნაკლებს ხედავს. დოკუმენტალობა მდგომარეობს იმაში, რომ ფოტოფირფიტა ნამდვილი სურათია ცის რაიმე უბნის აღებულ მომენტში და მას როცა გვინდა მაშინ შევისწავლით. თვალით დაკვირვება კი, თუ მაშინვე არ იქნა ჩაწერილი, შემდეგში იცვლება და სხვანაირად წარმოგვიდგება, ხოლო ყველაფრის ჩაწერა არ ხერხდება. ამის გამო გადაღებული სურათები ინახება და თანდათან გროვდება, რის გამოც



ნახ. 77. ქრონომეტრი.

ზოგი ობსერვატორია მდიდარია ე. წ. მინის ბიბლიოთეკით ანუ ფოტოფირფიტებით.

ამჟამად ფოტოგრაფიულმა დაკვირვებამ თითქმის განდევნა ვიზუალური დაკვირვება, მაგრამ ზოგიერთ დარგში ფოტოგრაფიულ და ელექტროფოტომეტრიულ დაკვირვებებთან ერთად ჯერ კიდევ შენარჩუნებულია ვიზუალური დაკვირვებები. ასეთებია: 1) გრძელის და განედის განსაზღვრა, 2) მნათობის „აბსოლუტური“ კოორდინატების განსაზღვრა, 3) დაბნელებათა დაწყებისა და დამთავრების მომენტების განსაზღვრა, 4) მთვარისა და ცთომილების ზედაპირის დეტალების შესწავლა, 5) ორმაგ ვარსკვლავებზე დაკვირვება.

დაკვირვება ყოველთვის შეიცავს ამა თუ იმ შეცდომას და მათი გამორიცხვა წარმოადგენს პრაქტიკული ასტრონომიის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას. შეცდომები არის ორგვარი: 1) ინსტრუმენტალური და 2) პირადი. ინსტრუმენტალური შეცდომები გამოწვეულია იმით, რომ იდეალურად ზუსტი იარაღის გაკეთება არ შეიძლება, გარდა ამისა, იგი შემდეგ განიცდის დეფორმაციასა და ცვლილებებს. მერიდიანული წრედისთვის შეიძლება განვიხილოთ შემდეგი შეცდომები: 1) დახრილობის შეცდომა — ღერძი არაა ზუსტად ჰორიზონტული. 2) აზიმუტის შეცდომა — ღერძს არა აქვს ზუსტად აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულება. 3) მილი არაა ზუსტად ღერძის მართობი (ე. წ. კოლიმაცია). 4) მილის ცენტრი არ ემთხვევა ზუსტად ღერძის ცენტრს (ე. წ. ექსცენტრისიტეტის შეცდომა). 5) წრის დანაყოფი არაა ზუსტი. ინსტრუმენტული შეცდომები იცვლება და დროგამოშვებით საკიროა იარაღის ხელახალი გამორკვევა.

პირადი შეცდომა მდგომარეობს იმაში, რომ ორი დამკვირვებელი ერთსა და იმავე სიდიდის გაზომვისას სხვადასხვა შედეგს ღებულობს. განსხვავება საერთოდ მცირეა, მაგრამ ასტრონომიაში მისი უგულვებელყოფა არ შეიძლება. მაგალითად, XIX საუკუნის ორი უდიდესი დამკვირვებელი იყო სტრუვე (რუსეთში) და ბესელი (გერმანიაში), რომლებიც ერთსა და იმავე კუთხეს 1"-ის განსხვავებით ზომავდნენ. ხოლო მაშინ აქტუალური საკითხი წლიური პარალაქსი იყო, რომელიც სეკუნდის ნაწილებში გამოისახება. ორ დამკვირვებელს შორის ასეთ განსხვავებას ეწოდება მათი პირადი განტოლება. მაშ სტრუვესა და ბესელის პირადი განტოლება იყო ერთი სეკუნდი. პირადი შეცდომის დამახასიათებელია მისი უცვლელობა საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში. ამიტომ, თუ დამკვირვებელი ერთხელ იქნა „გამოკვლეული“, შემდეგ თავისუფლად შეიძლება მისი დაკვირვებით სარგებლობა.

დაკვირვებანი წარმოებს ასტრონომიულ ობსერვატორიებში, სადაც ტელესკოპები გამართულია სპეციალურ კოშკებში და თავმოყრილია ასტრონომიული მუშაობისათვის საკირო იარაღები და ლიტერატურასაბჭოთა კავშირის ობსერვატორიებიდან უფრო მნიშვნელოვანია: 1) პულ-

კოვოს ობსერვატორია ლენინგრადის ახლოს, 2) ყირიმის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, 3) შტერნბერგის სახელობის მოსკოვის სახელმწიფო ასტრონომიული ობსერვატორია, 4) კიევის ობსერვატორია, 5) აბას-თუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია (საქართველო), 6) ბიუროკანის ასტროფიზიკური ობსერვატორია (სომხეთი), 7) ენგელგარტის ობსერვატორია ყაზანში და სხვა. საზღვარგარეთ: გრინვიჩის (ინგლისი); ლიკის და მოუნტ-ველრინის (აშშ) და სხვ.

§ 12. დროის განსაზღვრა —

ა) მერიდიანული დაკვირვების ხერხი

მერიდიანული დაკვირვების ხერხით დროის განსაზღვრა ყველაზე უფრო ზუსტი ხერხია. ეს ხერხი იმაში მდგომარეობს, რომ აკვირდებიან მნათობს მერიდიანული წრედით ზედა კულმინაციის დროს, ე. ი. როცა $t=0$. ვარსკვლავიერი დროის ფორმულა $S = \alpha + t$ გვაძლევს $S = \alpha$. მნათობის პირდაპირი აღვლენა α ცნობილი უნდა იყოს, რაც მოცემული იქნება ასტრონომიულ ყოველწლიურში ან ვარსკვლავთა კატალოგში. ამრიგად, მნათობის კულმინაციის ვარსკვლავიერი დრო თეორიულად ცნობილია. დაკვირვების დროს აღნიშნავენ ადგილობრივი საათით რა დროზე გაიარა ვარსკვლავმა ზედა კულმინაციაში. ვთქვათ, საათის ჩვენება იყო S_1 . მაშინ $S - S_1 = \Delta S$ გვიჩვენებს, თუ ჩვენი საათი რამდენადაა წინ ან უკან. ამ სხვაობას ეწოდება საათის შესწორება. თუ ვიცით საათის შესწორება, ცნობილად ითვლება სწორი დროც, ვინაიდან $S = S_1 + \Delta S$. თუ შესწორება დადებითია, ემატება საათის ჩვენებას, ხოლო თუ უარყოფითია — აკლდება. არაა მიღებული საათის ისრების გადასწორება ყოველი შესწორების განსაზღვრის დროს, არამედ შესწორებას იწერენ და საჭირო მომენტში საათის ჩვენებას უმატებენ. ვარსკვლავიერი დროიდან ხდება გადასვლა საშუალო და სასარტყლო დროზე, მაგრამ თვით დაკვირვებისთვის ვარსკვლავიერი საათით სარგებლობენ.

პრაქტიკული მუშაობის დროს მრავალ სიძნელეს წააფაწყდებით, რომელთაგან ერთ-ერთი უმთავრესია ის, რომ უნდა დაეაკვირდეთ მნათობის მერიდიანზე გადასვლას და ამავე დროს ქრონომეტრზე დაკვირვებით აღენიშნოთ, თუ რა მომენტში ხდებოდა ეს. ამ ორი დაკვირვების მოსაწესრიგებლად არსებობს ე. წ. თვალისა და ყურის ხერხი, რაც შემდეგში მდგომარეობს: წინასწარ, იციან რა დაახლოებით, როდის უნდა გაიაროს მნათობმა მერიდიანზე, დახედავენ ქრონომეტრზე და აღნიშნავენ, თუ რომელიმე საათის შემდეგ რამდენი წუთი წესრულდა. ამ მომენტიდან თავს ანებებენ ქრონომეტრს და ელოდებიან ტელესკოპში მნათობის გამოჩენას; ამავე დროს ყურს უგდებენ ქრონომეტრის დარტყმებს, რომელიც ზუსტად ნახევარ წამში ერთხელ წარმოებს და ითვლიან მას. სა-

დაცა მნათობიც გამოჩნდება და აკვირდებიან მას, სანამ შუა ძაფზე მივიდოდეს (იხ. § 11 *c*), რაც მერიდიანს შეესაბამება. თან აღნიშნავენ, თუ ამ მომენტში რამდენი დარტყმა იყო ქრონომეტრის მთელ წუთების შემდეგ. ვთქვათ, მაგალითად, 5 საათსა და 18 წუთის შემდეგ იყო 68 დარტყმა, მაშინ კულმინაციის მომენტი ჩვენი საათით იქნება $S_1 = 5^h 18^m 34^s$. თუ მნათობის პირდაპირი აღვლენა $\alpha = 5^h 17^m 49^s$ -ს, მაშინ $S = 5^h 17^m 49^s$ და საათის შესწორება $\Delta S = 5^h 17^m 49^s - 5^h 18^m 34^s = -0^m 45^s$. ეს უნდა მიემატოს ჩვენი საათის ჩვენებას სწორი დროის მისაღებად რაიმე მომენტში.

მნათობის მერიდიანზე გადასვლის დაკვირვება ახლა გადავიღებულება ქრონოგრაფის საშუალებით, რომელიც მუშაობს ტელეგრაფის პრინციპით. კულმინაციის მოახლოების მომენტში ჩართავენ ქრონოგრაფს; მის ლენტაზე აღინიშნება პატარა ხაზები, რომლებიც გარკვეულ მომენტს შეესაბამება. ამის შემდეგ დამკვირვებელი უყურებს მხოლოდ ტელესკოპში და, როცა მნათობი შუა ხაზს მიაღწევს, დამკვირვებელი ღილზე აქერს ხელს, რის გამოც ავტომატურად აღინიშნება მნათობის მერიდიანზე გადასვლის მომენტი.

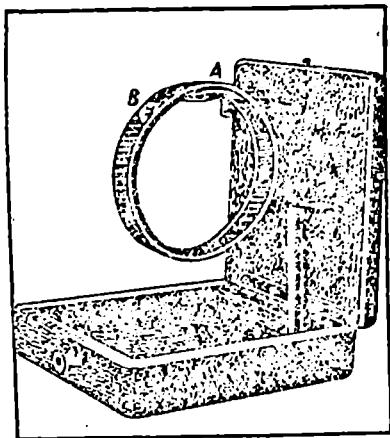
* *b*) ნებისმიერ ზენიტურ მანძილზე დაკვირვება

ისეთ შემთხვევაში, როცა არ არის მერიდიანული წრედი ან საპასაყო ინსტრუმენტი, დროის განსაზღვრისათვის მიმართავენ ნებისმიერ ზენიტურ მანძილზე დაკვირვებას უნივერსალ ინსტრუმენტის საშუალებით. რაიმე მომენტში განსაზღვრავენ ზენიტურ მანძილს ისეთი მნათობისას, რომლის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა ცნობილია. დაკვირვების დროს აღნიშნავენ დამკვირვებელი თავისი საათით; ვთქვათ, ის არის S_1 . ნეორე მხრივ, § 10-ის (4) ფორმულის თანახმად, $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$, აქედან $\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$, საიდანაც განისაზღვრება t . ამის შემდეგ განისაზღვრება დაკვირვების ნამდვილი ვარსკვლავიერი დრო ფორმულით $S = \alpha + t$. საათის შესწორება იქნება $S - S_1 = \Delta S$. ეს ხერხი, რამდენადმე ნაკლებ სიზუსტეს გაძლევს, ვიდრე წინა ხერხი, მაგრამ მაინც საკმაოდ კარგია.

c) მზის რგოლი

დაახლოებით დროის განსაზღვრა შეიძლება მზის რგოლის ანუ გლახენაპის რგოლის საშუალებით. ის წარმოადგენს ლითონის რგოლს 8 სანტიმეტრის დიამეტრით. რგოლის სიფართოე უდრის 2,5 სანტიმეტრს, ხოლო სისქე $1/2$ სანტიმეტრს. *A* წერტილში მას აქვს საყრდნობი, რითაც ის ეყრდნობა ლითონის სადგამის წვეტზე (ნახ. 78). *B* წერტილში არის ქუქრუტანა ერთი მილიმეტრის დიამეტრით. შიგნიდან რგოლი თანაბარ შუალედებით დაყოფილია ხაზებით. სიმძიმის გამო რგოლი ჩერდება ვერტიკალურად. შუალედმდე რაიმე მომენტში, ადგი-

ლობრივი საათით, რკოლს დადგამენ, ისე რომ მის სიბრტყეში იყოს მზე და B წერტილი მიმართული იყოს მზისაკენ. კუჰკრუტანიდან შესული სხივები გაანათებს შკალის რომელიმე ხაზს; ვთქვათ, განათებულია მე 40-ე ხაზი. ნაშუადღევს ისევ გაიმეორებენ დაკვირვებას და აღნიშნავენ იმ მომენტს, როცა განათებული იქნება იგივე მე-40-ე ხაზი. ამ მომენტების საშუალო არითმეტიკული გვაძლევს მზის კულმინაციის მომენტს, რაც ხდება კემმარიტ შუადღეზე. აღნიშნოთ დაკვირვების მომენტები T_1 და T_2 -ით, მაშინ კულმინაციის მომენტი დამკვირვებლის საათით $T'_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$. კემმარიტი მზის



ნახ. 78.

დროით კულმინაცია ხდება 12 საათზე $T_{\odot} = 12^h$. საშუალო დროისთვის უნდა ვიცოდეთ დროის განტოლება $T_0 - T_{\odot} = E$, რაც მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში. ამრიგად, კულმინაციის ნამდვილი მომენტი საშუალო დროით იქნება $T_0 = 12^h + E$, რადგან $T_{\odot} = 12^h$. შევადარებთ ამას დაკვირვებით მიღებულ კულმინაციის მომენტს T'_0 -ს. სხვაობა $T_0 - T'_0 = \Delta T$ გვაძლევს საათის შესწორებას, რაც დროის განსაზღვრის ეკვივალენტურია. ამ მეთოდის სიზუსტემ შეიძლება 40'-მდე მიაღწიოს, მაგრამ მას უმეტესად სამოსწავლო მნიშვნელობა აქვს.

დაახლოებით დროის განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე გნომონის საშუალებით, რომელიც კემმარიტი დროით 12 საათზე იძლევა უმოკლეს ჩრდილს. შემდეგ მხედველობაში უნდა მივიღოთ დროის განტოლება და როგორც წინა მავალითში მივიღებთ საათის შესწორებას.

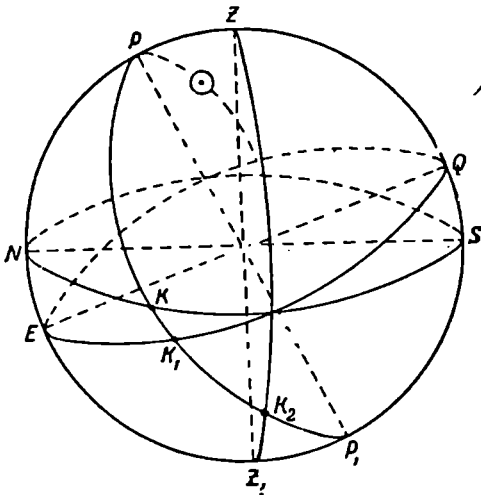
* d) მზის საათი

დროის დაახლოებით განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე მზის საათის საშუალებით. მისი თეორიის ასახსნელად მივმართოთ ცის სფეროს (ნახ. 79). ვთქვათ, მზე არის ცის აღმოსავლეთ მხარეს და მისი საათიერი კუთხე უდრის $i_{\odot} = \angle P_{\odot}$ (უარყოფითია). თუ გავაგრძელებთ მზის დახრილობის წრეს დასავლეთით, P -სთან შექმნილი კუთხე $NPK = i_{\odot}$. განვიხილოთ სამკუთხედი NPK . აღნიშნოთ $NK = r$, $\angle NKP = K$; ამას გარდა, $\angle PNK = 90^\circ$, $\angle NPK = i_{\odot}$, $\sphericalangle NP = \varphi$. გამოვიყენოთ ამ სამკუთხედზე სფერული ტრიგონომეტრიის (6) ფორმულა $\operatorname{tg} a = \sin b \operatorname{tg} A$. მივიღოთ $\angle NPK = A = i_{\odot}$, მაშინ $NK = r = a$ და გვექნება $\operatorname{tg} r = \sin \varphi \operatorname{tg} i_{\odot}$. ეს არის ჰორიზონტული მზის საათის ციფერბლატის ფორმულა. თუ დავა-

სობთ ჯოხს დახრილად, ისე რომ ის სამყაროს ღერძის პარალელური იყოს, მაშინ მისი ჩრდილის მიერ შედგენილი კუთხე გამოითვლება მიღებულ ფორმულით. აიღებენ, მაგალითად, $t_{\odot} = 1^h, 2^h, 3^h$, და გამოითვლიან τ -ს მნიშვნელობას ($1^h = 15^\circ$); გადაზომავენ გამოთვლილ კუთხეს ჩრდილოეთის მიმართულებიდან დასავლეთით და აღმოსავლეთით. ჩრდილოეთის მიმართულებას ჩრდილის მიმართულება ემთხვევა კემზარიტ შუადღეზე, ანუ, როცა $t_{\odot} = 12^h$. ერთი საათის წინ ის იყო დასავლეთით τ_1 კუთხეზე, ხოლო ერთი საათის შემდეგ იქნება ჩრდილოეთის მიმართულებიდან აღმო-

სავლეთით იმავე კუთხეზე და ა. შ. საშუალო დროისათვის მზის საათის ჩვენებას უნდა დაემატოს დროის განტოლება.

გაეატაროთ ეკვატორის და პირველი ვერტიკალის წრეხაზები და გავაგრძელოთ PK რკალი P_1 -მდე. მისი გადაკვეთა ეკვატორთან აღვნიშნოთ K_1 -ით და პირველ ვერტიკალთან K_2 -ით. აღვნიშნოთ $EK_1 = \tau_1$ და $Z_1K_2 = \tau_2$. PEK_1 სამკუთხედში $\angle PEK_1 = 90^\circ$, რადგან მერიდიანი მართობია ეკვატორის, $\sphericalangle PE = 90^\circ$. იმავე ფორმულის $\operatorname{tg} \alpha = \sin b \operatorname{tg} A$ -ს გამოყენებით მივიღებთ $\operatorname{tg} \tau_1 =$



ნახ. 79.

$= \sin 90^\circ \operatorname{tg} t_{\odot}$ ანუ $\tau_1 = t$. ეს არის ეკვატორული მზის საათის ფორმულა, აქ ჩრდილი თანაბრად იცვლის მიმართულებას.

PZ_1K_2 სამკუთხედში $\angle PZ_1K_2 = 90^\circ$, რადგან მერიდიანი პირველი ვერტიკალის მართობია. $\sphericalangle PZ_1 = 90^\circ - \varphi$; ამ სამკუთხედზე იმავე ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ $\operatorname{tg} \tau_2 = \cos \varphi \operatorname{tg} t_{\odot}$. ეს არის ვერტიკალური მზის საათის ციფერბლატის ფორმულა, როცა ციფერბლატის სიბრტყე ემთხვევა პირველ ვერტიკალს.

ე) დროის სამსახური

ზოგიერთ (ე. წ. ასტრომეტრიულ) ობსერვატორიაში, შემოღებულია დროის სამსახური, რაც მდგომარეობს დროის ზუსტ განსაზღვრაში და მის „შენახვაში“ სწორად მომუშავე საათების საშუალებით; აგრეთვე დროის ზუსტი რადიოსიგნალების გადაცემაში. დროის განსაზღვრა-

ამ შემთხვევაში ხდება პირველი ხერხით, ე. ი. მერიდიანული დაკვირვების საშუალებით. მას შეადარებენ ზუსტ საათებს (რომლებიც ასეთ ობსერვატორიებში რამოდენიმე უნდა იყოს კარგად დაკულ სარდაფში შენახული) და აღნიშნავენ თითოეული საათის შესწორებას. ასეთ მუშაობას აწარმოებენ ყოველ მოწმენდილ ღამეს. შემდეგ გარკვეულ მომენტში ყოველდღე თითოეული ასეთი ობსერვატორია გადასცემს სპეციალურ რადიოსიგნალებს, რომელიც შეიძლება მიღებულ იქნას ნებისმიერ ადგილზე ერთი მეასედი სეკუნდის სიზუსტით.

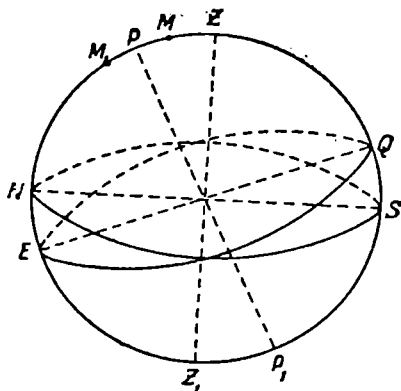
§ 13. გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრა

ა) განედის განსაზღვრა

განედის განსაზღვრისათვის არსებობს რამდენიმე ხერხი.

1) მერიდიანული დაკვირვების ხერხი. აკვირდებიან მნათობს ზედა კულმინაციის დროს და განსაზღვრავენ მის ზენიტურ მანძილს. შემდეგ გამოიყენება ფორმულა $Z = \varphi - \delta$, თუ კულმინაცია იყო ზენიტიდან სამხრეთით, და $Z = \delta - \varphi$, თუ კულმინაცია იყო ზენიტიდან ჩრდილოეთით. პირველ შემთხვევაში მივიღებთ $\varphi = \delta + Z$, ხოლო მეორე შემთხვევაში $\varphi = \delta - Z$. დაკვირვებისათვის ისეთი მნათობი უნდა იქნას აღებული, რომლის დახრილობა ცნობილია, მაგალითად, მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურში.

2) პოლუსის ახლომყოფ ვარსკვლავზე დაკვირვების ხერხი. დაკვირდებიან პოლუსის ახლომყოფ ვარსკვლავს ზედა კულმინაციის დროს და განსაზღვრავენ მის სიმაღლეს; ვთქვათ, ის უდრის h_1 -ს (ნახ. 80). 12 საათის შემდეგ დააკვირდებიან იმავე ვარსკვლავს ქვედა კულმინაციის დროს და განსაზღვრავენ მის სიმაღლეს; ვთქვათ, ის უდრის h_2 -ს. ნახაზე $h_1 = NM$ და $h_2 = NM_1$. ვარსკვლავი პოლუსიდან მუდამ თანაბრად დაშორებული. ამიტომ M წერტილი პოლუსიდან იმდენად მაღალზეა, რამდენადაც M_1 წერტილი უფრო დაბლაა. ამიტომ აღნიშნულ სიმაღლეთა საშუალო არითმეტიკული გვაძლევს პოლუსის სიმაღლეს. პოლუსის სიმაღლე კი განედის ტოლია (იხ. § 5 ა), ე. ი. გვაქვს: $\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}$.



ნახ. 80.

ამიტომ M წერტილი პოლუსიდან იმდენად მაღალზეა, რამდენადაც M_1 წერტილი უფრო დაბლაა. ამიტომ აღნიშნულ სიმაღლეთა საშუალო არითმეტიკული გვაძლევს პოლუსის სიმაღლეს. პოლუსის სიმაღლე კი განედის ტოლია (იხ. § 5 ა), ე. ი. გვაქვს: $\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}$.

როგორც ვხედავთ, ეს ორი ხერხი მარტივია, მაგრამ დაკვირვება უნდა განთავისუფლდეს სხვადასხვა შეცდომისაგან, რომელთაგან უმთავრესია რეფრაქციის შეცდომა. რეფრაქციის თეორია ზუსტად არ არის დამუშავებული და ამიტომ ამ ხერხებით განსაზღვრა ზუსტი არ იქნება.

* 3) თანაბარ სიმაღლეთა ხერხი ანუ ტალკოტის ხერხი. ამ შემთხვევაში აკვირდებიან ორ ვარსკვლავს, რომელთა კულმინაცია ხდება ერთნაირ (ან თითქმის ერთნაირ) ზენიტურ მანძილზე, ერთის ზენიტიდან სამხრეთით და მეორის ჩრდილოეთით; კულმინაციის მომენტი კი განსხვავდება ერთმანეთისაგან რაშიდენიმე წუთით. პირველი ვარსკვლავისთვის $Z_1 = \varphi - \delta_1$, ხოლო მეორესთვის $Z_2 = \delta_2 - \varphi$. ამათი გამოკლებით მივიღებთ

$$\varphi = \frac{(Z_1 - Z_2) + (\delta_1 + \delta_2)}{2}$$

აქ δ_1 და δ_2 ცნობილი უნდა იყოს ასტრონომიული ყოველწლიურიდან, Z_1 და Z_2 გაიზომება უშუალო დაკვირვებით და, ამრიგად, განისაზღვრება განედი φ . რეფრაქციის გავლენა $Z_1 - Z_2$ -ში გაბათილდება, რადგან ერთნაირ სიმაღლეზე და ერთდროულად რეფრაქცია ორი ვარსკვლავისთვის ერთი და იგივე იქნება. ამიტომ განედი ამ ხერხით უფრო ზუსტად განისაზღვრება.

თუ მეორე ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაშია, მაშინ $Z_2 = 180^\circ - \varphi - \delta_2$ (იხ. § 10 ბ) და გვექნება $\varphi = \frac{180^\circ + (Z_1 - Z_2) + (\delta_1 - \delta_2)}{2}$; აქაც იმავე მოსაზრებით რეფრაქცია გამოირიცხება.

ს) გრძედის განსაზღვრა

გრძედის განსაზღვრა ემყარება დებულებას: გრძედთა სხვაობა დროთა სხვაობის ტოლია, თუ გრძედები გამოსახულია საათიერ ზომაში (იხ. § 8). არსებობს რამდენიმე ხერხი.

1) ქრონომეტრების გადატანის ხერხი. A ქალაქიდან, რომლის გრძედი λ_1 ცნობილია, გადადიან B ქალაქში, რომლის გრძედიც უნდათ განსაზღვრონ. თან მიაქვთ რამდენიმე ქრონომეტრი, 5-დან 3-მდე, რომლებიც მუშაობს A ქალაქის დროით. B -ში მისვლის შემდეგ ადგილობრივ დროს უშუალო დაკვირვებით განსაზღვრავენ, როგორც ეს წინა პარაგრაფშია გადმოცემული. ვთქვათ, რაიმე მომენტში ადგილობრივი დრო არის T_2 , ქრონომეტრები კი ამ დროს გვიჩვენებს T_1 -ს. B -ს გრძედი იყოს λ_2 ; მაშინ დებულების თანახმად, $\lambda_2 - \lambda_1 = T_2 - T_1$, აქედან $\lambda_2 = \lambda_1 + (T_2 - T_1)$ — განისაზღვრება B ქალაქის გრძედი (ცხადია ქალაქების მაგიერ შეიძლება რაიმე წერტილები ავიღოთ დედამიწის ზედაპირზე).

2) ბუნებრივი სიგნალების ხერხი. ზოგიერთი ციური მოვლენა ერთდროულად ჩანს დედამიწის ყველა წერტილიდან (თუკი ის ჩანს). ასეთია მთვარის დაბნელება. იუპიტერის თანამგზავრთა დაბნელება და სხვ. მათი დაწყების და დამთავრების მომენტი წინასწარ არის გამოთვლილი გრინვიჩის (ანუ მსოფლიო) დროით და მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში. დამკვირვებელი აღნიშნავს მათ დაწყებას თავისი დროით. სხვაობა მოცემულ დროსთან შედარებით გამოწვეულია გრძედების სხვაობით და როგორც წინათ განისაზღვრება ადგილობრივი გრძედი: $\lambda_2 = \lambda_1 + (T_2 - T_1)$, სადაც ამ შემთხვევაში გრინვიჩის გრძედი $\lambda_1 = 0$.

3) რადიოსიგნალების ხერხი. ზოგიერთი ობსერვატორია (როგორც დროის სამსახურში აღნიშნეთ) თავისი დროით გარკვეულ მომენტებში უშვებს სპეციალურ დროის სიგნალებს, რომელიც შეიძლება მივიღოთ რადიომიმღებით ნებისმიერ ადგილას. სიგნალების გადმოცემის ადგილობრივი დრო T_1 და ობსერვატორიის გრძედი λ_1 ცნობილია. მიღების ადგილობრივი დრო ვთქვათ არის T_2 ; მაშინ ფორმულით $\lambda_2 = \lambda_1 + (T_2 - T_1)$ განისაზღვრება დაკვირვების ადგილის გრძედი. ეს ხერხი ყველაზე ხელსაყრელია და გამოიყენება ყოველი „მეცარდნილი“ ადგილისთვის ან გემისათვის ზღვაზე. რადიოტალღები ვრცელდება სინათლის სიჩქარით და სიგნალების დაგვიანება შეიძლება ნულად ჩაითვალოს.

თუ გრძედი ცნობილია, მაშინ ამ ხერხით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას საათის შესწორება.

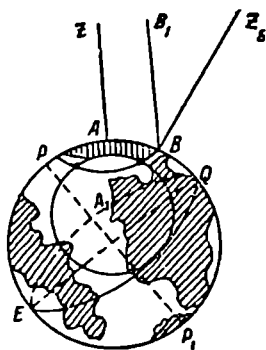
* c) გემის მდებარეობის განსაზღვრა

ზუვანე გემის მდებარეობის განსაზღვრისათვის არსებობს ხერხი, რომელსაც სომნერს მიაწერდნენ, მაგრამ, როგორც ირკვევა, იგი პირველად რუსმა მეზღვაურმა აკიმოვმა გამოიყენა. ეს ხერხი შემდეგში მდგომარეობს: ყოველი მნათობი იმყოფება ზენიტში დედამიწის რაიმე წერტილისთვის. ამ წერტილის მდებარეობა შეგვიძლია ვიპოვოთ, თუ ცნობილია მნათობის კოორდინატები α და δ და გრინვიჩის ვარსკვლავიერი დრო N_{gk} . თუ მნათობი ზენიტში იმყოფება, მაშინ $Z = 0$ და კულმინაციის ფორმულა $Z = \varphi - \delta$ გვაძლევს $\varphi - \delta = 0$ ანუ $\varphi = \delta$ -ს. ეს ჩანს ნახაზიდანაც, სადაც მნათობი არის A წერტილის ზენიტში და ამიტომ $\delta = ZCQ$ -ს, რაც განედის ტოლია (ნახ. 81)¹. კოორდინატები δ და α ამოიწერება ასტრონომიული ყოველწლიურიდან.

A წერტილის ვარსკვლავიერი დრო უდრის $S = \alpha$ -ს, რადგან ეს ვარსკვლავი A წერტილისთვის ზედა კულმინაციაში იმყოფება (იხ. § 6 b). მაგრამ, როგორც ვიცით, დროთა სხვაობა გრძედთა სხვაობის ტოლია (თუ გრძედები გამოსახულია საათიერ ზომაში). ამიტომ $\lambda - \lambda_{gk} = S - N_{gk}$ და, რადგან $\lambda_{gk} = 0$ და $N = \alpha$, გვექნება: $\lambda = \alpha - N_{gk}$. გრინვიჩის ვარსკვ-

¹ ნახაზზე C ცენტრში უნდა იყოს.

ლავეირი დრო S_{δ} გაიგება რადიოსიგნალებით ან გემის ქრონომეტრით. ამრიგად, გაიგება იმ წერტილის გეოგრაფიული კოორდინატები, რომლისათვისაც აღებული მნათობი ზედა კულმინაციაშია. ამ წერტილს (ე. ი. A -ს) ეწოდება მოცემული მნათობის გეოგრაფიული ადგილი. ვთქვათ, გემი იმყოფება რაღაც B წერტილში; მაშინ ეს მნათობი B წერტილიდან გამოჩნდება AZ -ის პარალელურად BB_1 მიმართულებით და მისი ზენიტური მანძილი იქნება $Z_B BB_1$, სადაც Z_B არის B წერტილის ზენიტი. ეს კუთხე კი ACB კუთხის ანუ AB რკალის ტოლია. ამრიგად, გემი იმყოფება A გეოგრაფიული ადგილიდან AB რკალის ტოლ მანძილზე, რაც უდრის აღებულ მნათობის ზენიტურ მანძილს B წერტილში. ეს ზენიტური მანძილი გაიზომება გემიდან უშუალო დაკვირვებით. შემოვწეროთ გლობუსზე წრე A წერტილიდან, მიღებული ზენიტური მანძილის ტოლი (რკალური) რადიუსით. გემი იმყოფება ამ წრის ერთ-ერთ წერტილში. ახლა ავიღოთ მეორე ვარსკვლავი, ვიპოვოთ მისთვის გეოგრაფიული ადგილი A_1 ,



ნახ. 81.

გავხზოთ ზენიტური მანძილი გემიდან და შემოვწეროთ A_1 -ის გარშემო მიღებული ზენიტური მანძილის ტოლი რადიუსით მეორე წრე. გემი იმყოფება ამ მეორე წრის ერთ-ერთ წერტილშიც. მაშასადამე, ის იმყოფება ამ ორი წრის გადაკვეთის ერთ-ერთ წერტილში. თუ სახელობრ რომელ წერტილში, ეს არ იქნება ძნელი მისახვედრი, ვინაიდან წრეთა გადაკვეთის ორი წერტილი დიდი მანძილით იქნება დაშორებული და დაახლოებით ცნობილია, თუ გემი რომელ ზღვაში იმყოფება. ამის შემდეგ გლობუსზე აითვლება გემის გეოგრაფიული კოორდინატები.

გლობუსზე წრეების ხაზვა უხერხულია და ამიტომ ეს ხერხი დამუშავებულია ბრტყელი რუკებისათვის, მაგრამ ამაზე ჩვენ არ შევიჩრდებით.

* § 14. მნათობის ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრა

ზემოთ იგულისხმებოდა, რომ ცნობილია მნათობის ეკვატორული კოორდინატები α და δ . ახლა განვიხილოთ ამათი განსაზღვრის ხერხები. თუ მნათობის კოორდინატები განისაზღვრება სხვა მნათობის კოორდინატებისაგან დამოუკიდებლად, მაშინ მათ ეწოდება აბსოლუტური კოორდინატები, ხოლო, თუ ისინი განისაზღვრება სხვა მნათობის კოორდინატებთან შეფარდებით, მაშინ ეწოდება შეფარდებითი კოორდინატები.

* a) აბსოლუტური დახრილობის განსაზღვრა

აეილოთ პოლუსის ახლომყოფი ვარსკვლავი და გავზომოთ მისი ზენიტური მანძილი ზედა და ქვედა კულმინაციის დროს. თუ ზედა კულმინაცია არის ზენიტიდან ჩრდილოეთით, გვექნება $Z_1 = \delta - \varphi$ და ქვედა კულმინაციის დროს $Z_2 = 180^\circ - \varphi - \delta$ (იხ. § 10b). გამოკლებით მივიღებთ

$$Z_2 - Z_1 = 180^\circ - 2\delta; \text{ აქედან } \delta = 90^\circ - \frac{Z_2 - Z_1}{2} \text{ მიმატებით მივიღებთ:}$$

$$Z_2 + Z_1 = 180^\circ - 2\varphi, \text{ აქედან } \varphi = 90^\circ - \frac{Z_1 + Z_2}{2}. \text{ თუ ზედა კულმინაცია}$$

არის ზენიტიდან სამხრეთით, მაშინ $Z_1 = \varphi - \delta$, Z_2 ისევე განისაზღვრება და შეკრება-გამოკლებით იპოვება δ და φ . ამ შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\delta = 90^\circ - \frac{Z_1 + Z_2}{2}, \varphi = 90^\circ - \frac{Z_2 - Z_1}{2}.$$

ამრიგად, ორივე შემთხვევაში განისაზღვრება δ და φ . ასეთი განსაზღვრა ჩატარდება რამდენიმე ვარსკვლავისთვის და ყველა განსაზღვრული φ -ს საშუალო მნიშვნელობა მოგვეცემს განედის საკმაოდ კარგ მიახლოებას. ამის შემდეგ δ განისაზღვრება კულმინაციის ფორმულით $Z = \delta - \varphi$ (ზენიტიდან ჩრდილოეთით) ან $Z = \varphi - \delta$ (ზენიტიდან სამხრეთით), საიდანაც $\delta = Z + \varphi$ ან $\delta = \varphi - Z$, ასე განსაზღვრული δ იქნება აბსოლუტური დახრილობა.

* b) აბსოლუტური პირდაპირი ალფენის განსაზღვრა

პირდაპირი ალფენის განსაზღვრისათვის საჭიროა გვექონდეს სწორი საათი. როცა არც ერთი ვარსკვლავის კოორდინატი არ არის ცნობილი, მაშინ შესაძლებელია განისაზღვროს მზის პირდაპირი ალფენა და მისი საშუალებით ვიპოვიოთ საათის შესწორება, ე. ი. სწორი დრო. ამისთვის აუცილებელია ვიცოდეთ ეკლიპტიკასა და ეკვატორს შორის კუთხე ϵ , რაც განისაზღვრება უშუალო დაკვირვებით, მზის საშუალო ჩრდილზე მზებუდობის დღეებში (იხ. II თავის 42 ამოცანა). გაზაფხულის მზებუდობის დღეს, ე. ი. 22 ივნისს, მზე იმყოფება ეკლიპტიკის უმაღლეს წერტილში და მისი დახრილობა უდრის ეკლიპტიკასა და ეკვატორს შორის კუთხეს ϵ -ს. ფორმულა $Z \odot = \varphi - \delta \odot$ გვაძლევს $\delta \odot = \varphi - Z \odot$ და განისაზღვრება $\delta \odot = \epsilon$. ზუსტი განსაზღვრისათვის საჭიროა მრავალი დაკვირვება და ის შესრულებული იყო ჯერ კიდევ უძველესი ასტრონომების მიერ. იმავე ფორმულით $\delta \odot = \varphi - Z \odot$ განისაზღვრება მზის დახრილობა ნებისმიერ დღეს. ვთქვათ, 82 ნახაზზე AB არის ეკლიპტიკის რკალი, AC არის ეკვატორის რკალი. BC კი იყოს B წერტილიდან

დაშვებული მართობი რკალი ეკვატორზე. თუ მზე იმყოფება B წერტილში BC უდრის დახრილობას δ_{\odot} -ს. $\angle BAC$ არის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთხე ε , ხოლო რკალი AC არის პირდაპირი აღვლენა α . ამ სამკუთხედზე გამოვიყენოთ § 3-ის (6) ფორმულა, რომელსაც აქვს სახე: $\operatorname{tg} \alpha = \sin b \operatorname{tg} A$. მივიღებთ: $\operatorname{tg} \delta_{\odot} = \sin \alpha \operatorname{tg} \varepsilon$. აქედან $\sin \alpha \odot = \frac{\operatorname{tg} \delta_{\odot}}{\operatorname{tg} \varepsilon}$



ნახ. 82.

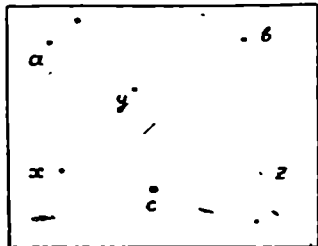
მარჯვენა მხარეში ცნობილი სიდიდეები და განისაზღვრება მზის პირდაპირი აღვლენა $\alpha \odot$.

მზის პირდაპირი აღვლენით შეიძლება ვიპოვოთ საათის შესწორება (იხ. § 12a). მაშასადამე გვეცოდინება ზუსტი ვარსკვლავიერი დრო S . ამის

შემდეგ მერიდიანული დაკვირვებით გაიგება ნებისმიერი ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენა, რადგან ზედა კულმინაციის დროს $S = \alpha$. დაკვირვებით გაიგება კულმინაციის კარსკვლავიერი დრო S და ეს უდრის პირდაპირ აღვლენას.

* c) შეფარდებითი კოორდინატების განსაზღვრა

აბსოლუტური კოორდინატები გულდასმით განისაზღვრება რამდენიმე დაკვირვების შედეგად. ასეთი განსაზღვრა შეიძლება ვარსკვლავთა მცირე რიცხვისთვის და მათ ფუნდამენტალური ვარსკვლავები ეწოდება. დანარჩენი ვარსკვლავებისთვის კოორდინატები შეფარდებითი ხერხით განისაზღვრება. ფოტოგრაფიული დაკვირვების დროს ეს შეიძლება მოეწიოს ასე: ფოტოფირფიტაზე გადაღებულია რამდენიმე ვარსკვლავის გამოსახულება, რომელთაგან სამი ან ოთხი ეკუთვნის ფუნდამენტალურ ვარსკვლავებს. გამჭვირვალე მილიმეტრიანი ქალაღი დაიდება ფოტოფირფიტაზე, ისე რომ ერთი ხაზი მიყვებოდეს პირდაპირ აღვლენას, ხოლო მისი მართობული ხაზი—დახრილობას. დასაწყისად მიიღება ერთ-ერთი ფუნდამენტალური ვარსკვლავი და სხვა ფუნდამენტალური ვარსკვლავების დაშორებით გამოირკვევა, თუ პირდაპირი აღვლენის რამდენი წუთი შეესაბამება ერთ სანტიმეტრს მილიმეტრიან ქალაღზე, ასევე დახრილობაზე. ამის შემდეგ გაიზომება რომელიმე ვარსკვლავის დაშორება პირველი ვარსკვლავიდან პირდაპირი აღვლენით და დახრილობით. ამ სიდიდეთა მიმატებით პირველი ვარსკვლავის კოორდინატებზე მიიღება აღებული ვარსკვლავის კოორდინატები. კონტროლისათვის მეორე ფუნდამენტალური ვარსკვლავიდანაც ათავლიან ასეთ სხვაობას და მის კოორდინატებზე მიმატებით მეორენაირად მიიღებენ აღებული



ნახ. 83.

ვარსკვლავის კოორდინატებს. ასე შეიძლება განისაზღვროს ფოტოფირ-
ფიტაზე გამოსული ყველა ვარსკვლავის შეფარდებითი კოორდინატი.
ეთქვათ, M_a ნახაზზე a, b, c იყოს ცნობილი ვარსკვლავები, ხოლო
 x, y, z — უცნობი. გაიზომება x -ის დაშორება a, b, c -დან და სხვ.

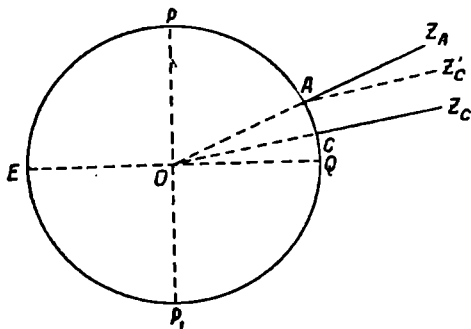
მილიმეტრიანი ქალაღი საკმაო სიზუსტეს არ იძლევა, ის მხოლოდ
პრინციპს გვიხსნის, თუ როგორ წარმოებს შეფარდებითი კოორდინატე-
ბის განსაზღვრა. ობსერვატორიებში ასეთი განსაზღვრისთვის იხმარება
სპეციალური ზუსტი საზომი იარაღები.

§ 15. დედამიწის ფორმა, სიდიდე და ბრუნვა

ა) დედამიწის სფეროსებურობა

ცნობილია, რომ დედამიწას სფეროს ფორმა აქვს. დედამიწის სფერო-
სებურობას ამტკიცებს შემდეგი მოვლენები: 1) მთვარის დაბნელების
დროს დედამიწის ჩრდილს ყოველთვის წრიული ფორმა აქვს; 2) ხილულ
პორიზონტს ტრიალ ადგილზე აქვს წრიული ფორმა; 3) შესაძლებელია
დედამიწის გარშემო მოგზაურობა ყოველი მიმართულებით; 4) საგნები
თანდათან ჩნდება მათთან მიახლოების დროს და, პირიქით, მაგალითად,
გემის გამოჩენა ნავთსადგურში; 5) პოლუსის სიმაღლე იცვლება მერი-
დიანის გასწვრივ (ე. ი. სა-
მხრეთიდან ჩრდილოეთით
ან შებრუნებით) მოგზაურო-
ბის დროს.

ეს საბუთები დედამიწის
სფეროსებურობის შესახებ
საკმაოდ ცნობილია და ჩვენ
მასზე არ შევჩერდებით. შე-
ვნიშნავთ მხოლოდ, რომ
უფრო საიმედო დამტკიცე-
ბას წარმოადგენს მეხუთე
მოვლენა; მერიდიანის გას-
წვრივ თანაბარი გადანაცვ-



ნახ. 84.

ლებით პოლუსის სიმაღლე თანაბრად იცვლება. რასაც არ ექნებოდა ად-
გილი დედამიწას რომ სფეროსებური ფორმა არ ჰქონოდა.

პირველად დედამიწის სფეროსებურობა გამოარკვეიეს ძველმა ბერძ-
ნებმა, თუმცა, როგორც ფიქრობენ, ეს მანამდე ეგვიპტელებმა იცოდ-
ნენ. დედამიწის რადიუსი პირველად გაზომა ერატოსფენმა III საუკუ-
ნეში ჩვენი წელთაღრიცხვის წინ. ამისთვის მან გამოიყენა შემდეგი
მსჯელობა. ცნობილი იყო, რომ როცა მზე სიენაში ჩანდა ღრმა კიდან,
ე. ი. ზენიტში იმყოფებოდა, მაშინ ალექსანდრიაში მისი ზენიტური
მანძილი უდრებდა $7^{\circ}2'$ -ს. ამას გარდა, ცნობილი იყო, რომ ეს ქალაქები

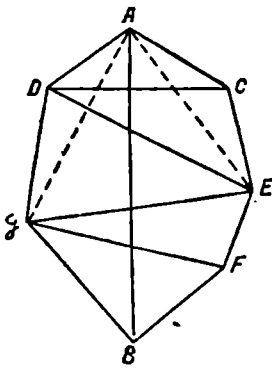
ერთ მერიდიანზე მდებარეობს. ნახაზზე Z_c არის სიენას ზენიტი, Z_A არის ალექსანდრიას ზენიტი, $\Delta Z'_c$ პარალელურია CZ_c -ს. თუ C წერტილიდან მზე ჩანს CZ_c —მიმართულებით, მაშინ A წერტილიდან გამოჩნდება AZ'_c -ს მიმართულებით. მზის ზენიტური მანძილი A წერტილში იქნება $Z_A \Delta Z'_c$, რაც უდრის ცენტრალურ $\angle AOC$ კუთხეს (ნახ. 84). შეიძლება შევადგინოთ პროპორცია: $7^\circ, 2' : 360^\circ = AC : 2\pi R$. ΔC რკალის სიგრძე უშუალოდ გაიზომება და გამოითვლება წრის სიგრძე $2\pi R = \frac{AC \cdot 360}{7,2}$, ამის შემდეგ

კი გაიგება დედამიწის რადიუსიც 2π -ზე გაყოფით.

ეს გაზომვა ჩატარებული იყო ძველი სიგრძის ერთეულებით, ე. წ. სტადიებით; მისი ზუსტი სიგრძე ჩვენთვის ცნობილი არ არის, მაგრამ ფიქრობენ, რომ ერთსფერის მიერ საკმაოდ ზუსტად იქნა გაგებული დედამიწის გარშემოწერილობა და რადიუსის სიგრძეც.

† b) ტრიანგულიაცია. ბრუნვის ელიფსოიდი. გეოიდი

დედამიწის სიდიდის გასაგებად საჭიროა გაიზომოს დიდი წრის რკალი რაც შეიძლება ზუსტად. ამავე დროს გაგებული უნდა იქნას, თუ რამდენ გრადუსს შეიცავს ეს რკალი. სიგრძის გაზომვა ზუსტად ძნელია არასწორი რელიეფის ან ბუნებრივი დაბრკოლებების (მდინარეები, ტბები და სხვ.) გამო. კუთხეები კი კარგად იზომება თანამედროვე კუთხსაზომი იარაღებით. ამ ნიადაგზე დიდი წრის რკალების გასაზომად დედამიწაზე შემუშავდა ტრიანგულიაციის მეთოდი, რაც შემდეგში მდგომარეობს: გასაზომი AB რკალის მახლობლად, რაც ნახაზზე სწორი ხაზითაა წარმოდგენილი, შეარჩევენ ვაკე ადგილს და მასზე გაზომავენ შედარებით მცირე მონაკვეთს, ვთქვათ, AC -ს დიდი სიზუსტით. ამ მონაკვეთს ეწოდება ბაზისი. AB რკალის გარშემო აშენებენ კოშკებს, საკმაოდ დაშორებით ურთიერთისაგან, მაგრამ ისე, რომ ერთი კოშკიდან ჩანდეს ორი დანარჩენი მაინც. წყნახაზზე კოშკებია A, C, D, E, F და სხვა წერტილებში. კუთხსაზომი იარაღით A და C წერტილებში გაზომავენ $\angle DAC$ და $\angle DCA$ -ს. მაშინ DCA სამკუთხედში ცნობილი იქნება ერთი გვერდი და მასთან მდებარე ორი კუთხე. ტრი-



ნახ. 85.

გონომეტრიული ხერხით გამოითვლება დანარჩენი ორი გვერდი: AD და DC . შემდეგ CDE სამკუთხედში გაიზომება კუთხეები CDE და DCE ; ცნობილი იქნება ერთი გვერდი და მასთან მდებარე ორი კუთხე და გამოითვლება ამ სამკუთხედის დანარჩენი ელემენტები. ასე ამოიხსნება კოშკებს შორის ყველა სამკუთხედი DCE, CEF, EFG და ა. შ.

შემდეგ განიხილება სხვაგვარი სამკუთხედები, სახელდობრ, ADE სამკუთხედიდან გაიგება AE გვერდი. AE სამკუთხედიდან, სადაც ცნობილი იქნება AE , EG და $\angle AEG$, გაიგება AG და ა. შ. საბოლოოდ გაიგება AB დიდი წრის რკალის სიგრძე.

ასტრონომიული დაკვირვებით გაიგება, თუ რამდენ გრადუსს შეიცავს AB რკალი. გვეცოდინება რა AB რკალის სიგრძე და მისი გრადუსული ზომა, ამ პარაგრაფის a საკითხში მოცემული პროპორციით შეიძლება გავიგოთ დედამიწის დიდი წრეხაზის სიგრძე. ის უდრის 40000 კილომეტრს, საიდანაც რადიუსი 6371 კილომეტრის ტოლი გამოდის.

სხვადასხვა ადგილის რკალურმა გაზომვამ ერთგრადუსიანი რკალისათვის მოგვცეს სხვადასხვა სიდიდე, რაც მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

განედი	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ერთ გრ. რკ. სიგრ.	110,57	110,61	110,71	110,85	111,04	111,23	111,42	111,56	111,66	111,70

დედამიწა რომ ზუსტი სფერო ყოფილიყო, ცხადია, ერთგრადუსიანი რკალის სიგრძე ყველგან ერთნაირი იქნებოდა და ედრებოდა $40000 : 360 = 111,1$ კმ-ს. ეს განსხვავებანი გვიჩვენებს, რომ დედამიწა პოლუსებზე უფრო შეზნეკილია და ეკვატორზე უფრო გამოზნეკილი.

დედამიწის ფორმის უფრო კარგ მიახლოებას გვაძლევს ბრუნვის ელიფსოიდი, რომელიც მიიღება ელიფსის ბრუნვით მისი მოკლე ღერძის გარშემო. დიდი ნახევარღერძი ანუ ეკვატორული რადიუსი აღვნიშნოთ a -თი, მოკლე, ანუ პოლარული რადიუსი b -თი. ამათი სხვაობის შეფარდებას a -სთან ეწოდება შეკუმშულობა, აღვნიშნოთ ის α -თი, $\alpha = \frac{a-b}{a}$.

ამ სამ სიდიდეს ეწოდება ელიფსოიდის ელემენტები. ბოლო დრომდე მიღებული იყო ჰეიფორდის ელემენტები, რომელიც ემყარებოდა 1909 წლამდე არსებულ გაზომვებს. ჰეიფორდის მიხედვით $a=6378,388$ კილომეტრს, $b=6355,909$ კმ-ს, $\alpha = \frac{1}{297}$. საბჭოთა მეცნიერმა კრასოვსკიმ

1936 წელს მიიღო: $a=6378,245$ კმ, $b=6356,863$ კმ, $\alpha = \frac{1}{298,3}$.

უკანასკნელი დროის დიდი წრის რკალების გაზომვებმა, განსაკუთრებით საბჭოთა კავშირში, გამოარკვია, რომ დედამიწის ფორმა უფრო უახლოვდება სამღერძა ელიფსოიდს, ვიდრე ბრუნვის ელიფსოიდს, მაგრამ სავესებით ზუსტად არც სამღერძა ელიფსოიდით გამოისახება. დედამიწის ნამდვილ ფორმად მიღებულია გეოიდი, რომელიც მიიღება თუ ზღვების დონეებს გავაგრძელებთ ხმელეთის ქვეშ ერთმანეთთან შეერთებამდე. გეოიდის ყოველ წერტილში შევეული ხაზი მისი ზედაპირის მართობია.

შვეული ხაზი აქ უკვე არ ემთხვევა რადიუსს, ამიტომ განედის განმარტებას უნდა დაზუსტება.

გეოგრაფიული ანუ ასტრონომიული განედი არის ის კუთხე, რომელსაც აღგენს შვეული ხაზი ეკვატორის სიბრტყეებთან. გეოცენტრული განედი არის კუთხე რადიუსსა და ეკვატორს შორის. თბილისში გეოცენტრული განედი $11^{\circ}39'$ -ით ნაკლებია გეოგრაფიულ განედზე. არჩევენ კიდევ გეოდეზიურ განედს, რომელიც არის დედამიწის ელიფსოიდის ნორმალსა და ეკვატორს შორის კუთხე. ელიფსოიდის ნორმალსა და შვეულ ხაზს შორის განსხვავება დამოკიდებულია დედამიწის ქერქში ნივთიერების არათანაბარ განაწილებაზე. ამას ეწოდება სიმძიმის ძალის ანომალია და მას მნიშვნელობა აქვს წიაღისეული სიმდიდრის ძებნაში. მოსკოვში ანომალია უდრის $10''$ -ს, კავკასიაში ზოგ ადგილას აღწევს $20''$ -ს.

შენიშნულია, რომ მთებისა და მალლობი ადგილების ქვევით ნივთიერება უფრო ნაკლები სიმკვრივისაა, ვიდრე ოკეანის ფსკერის ნივთიერება. ამის გამო ზღვის დონიდან 115 კილომეტრის სიღრმეზე ყველგან წნევა ერთი და იგივეა. ამას ეწოდება იზოსტაზიური ზედაპირი.

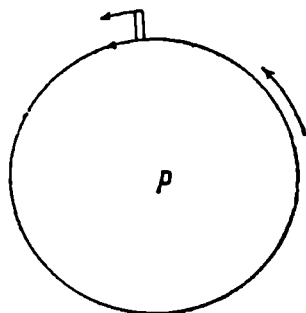
ქ c) დედამიწის ბრუნვა ღერძის გარშემო

ღედამიწა ბრუნავს ღერძის გარშემო დასავლეთიდან აღმოსავლეთით ერთ ვარსკვლავიერ დღელამეში, ანუ საშუალო დროით $23^h 56^m 4^s$ -ში. ამ ბრუნვის თვალსაჩინო დადასტურებაა ცის სფეროს ხილული დღელამური ბრუნვა აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ვინაიდან წარმოუდგენელია, რომ უზარმაზარი ცის სფერო ბრუნავდეს ძლიერ პატარა დედამიწის გარშემო. ამ ზოგადი მოსაზრების გარდა არსებობს რამდენიმე მოვლენა, რომელიც ამტკიცებს დედამიწის ბრუნვას ღერძის გარშემო. ეს მოვლენებია: 1) ვარდნილი სხეულის გადახრა აღმოსავლეთით, 2) ფუკოს საქანი, 3) დედამიწის შეკუმშულობა, 4) პასატები (ტროპიკული ქარები), 5) მდინარეთა მარჯვენა მხარის გადარეცხვა ანუ ბერის კანონი და სხვ.

1) ვარდნილი სხეულის გადახრა აღმოსავლეთით იმაში მდგომარეობს, რომ დედამიწის ბრუნვის შედეგად მისი ზედაპირის ყოველ წერტილს (გარდა პოლუსებისა) აქვთ ხაზობრივი სიჩქარე, რომელიც მიმართულია აღმოსავლეთით. ეს სიჩქარე მით მეტია, რაც უფრო დაშორებულია წერტილი ბრუნვის ღერძს და უდრის წრიული მოძრაობის სიჩქარეს $v = r\omega$, სადაც ω არის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, r კი—დაშორება ბრუნვის ღერძიდან. რაიმე ადგილზე თუ აგებულია კოშკი, მაშინ მის წვეროზე უფრო მეტი იქნება სიჩქარე, ვიდრე ფუძეზე (ნახ. 86). თუ კოშკის წვეროდან საწყისი სიჩქარის მიუცემელად ვარდება სხეული, ის ვარდნის დროს ინერციის გამო ინარჩუნებს ბრუნვისაგან გამოწვეულ თავის სიჩქარეს და ამიტომ დაეცემა კოშკის ფუძიდან უფრო აღმოსავ-

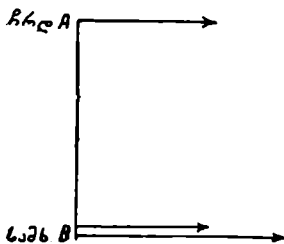
ლეთით, ვინაიდან ფუძის წერტილებს უფრო ნაკლები სიჩქარე ჰქონდათ. ასეთი გადახრა შედარებით მცირეა და მისი შემჩნევა შეიძლება მხოლოდ ზუსტი ცდის დროს, რაც შეიძლება მოეწყოს მაღაროში, რომ ქარმა არ მოახდინოს გავლენა. ფლამარიონის ცდაში 68 მეტრ სიმაღლეზე 49° განედზე თეორიული გადახრა იყო 0,81 სტ. დაკვირვებით მიიღო 0,76 სტ.

2) ფუკოს საქანი წარმოადგენს ჩვეულებრივ საქანს, რომელიც თავისუფლად მოძრაობს ყოველი მიმართულებით. მექანიკის კანონების თანახმად, ასეთი საქანი ინარჩუნებს თავის მოძრაობის სიბრტყეს. თუ ასეთ საქანს მოვაწყობთ ჩრდილოეთ პოლუსზე, მაშინ მისი ქანების სიბრტყე უცვლელი იქნება, დედამიწა კი მობრუნდება მარჯვნიდან მარცხნივ. ჩვენ დედამიწის ბრუნვას ვერ შევამჩნევთ და მოგვეჩვენება, რომ საქანის სიბრტყე ბრუნავს მარცხნიდან მარჯვნივ (სამხრეთ პოლუსზე შებრუნებით). ბრუნვის სიჩქარე პოლუსზე უდრის საათში 15° -ს. რაიმე განედზე კი უდრის $15^\circ \sin \varphi$ -ს. ეკვატორზე ბრუნვა არ შეიმჩნევა. ფუკოს საქანი მოწყობილია პარიზის პანთეონში, სადაც მას 67 მეტრი სიმაღლე აქვს და ლენინგრადში ანტირელიგიური მუზეუმში (ყოფილი ისაკის ტაძარი), სადაც 98 მეტრი სიმაღლე აქვს. თვალსაჩინოებისათვის საქანის სიმძიმეს ბოლოში აქვს წვეტი და იატაქზე დაყრილია ქვიშა, რომელზეც საქანი კვალს ტოვებს.



ნახ. 86:

3) დედამიწის შეკუმშულობა ამტკიცებს დედამიწის ბრუნვას, რადგან წინათ, როცა დედამიწა თხიერ მდგომარეობაში იყო, მას ექნებოდა



ნახ. 87.

სფეროს ფორმა. შემდეგ ბრუნვის შედეგად წარმოშობილმა ცენტრგამშორმა ძალებმა, რომლებიც ეკვატორზე უფრო მეტი იყო, გამოიწვიეს ეკვატორული გამოზნექილობა.

4) პასატები ანუ ტროპიკული ქარები, ჩრდილო ნახევარ სფეროში ჰქრის ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან სამხრეთ-დასავლეთისკენ. დედამიწა რომ არ ბრუნავდეს იქროლებდა სამხრეთისაკენ. სამხრეთ ნახევარსფეროში ისინი ჰქრის სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან ჩრდილო-დასავლეთისაკენ.

5) მდინარეთა მარჯვენა მხარის გადარეცხვა (ბერის კანონი) იმაში მდგომარეობს, რომ ჩრდილო ნახევარსფეროში მდინარეები თანდათან მიიწვეს მარჯვენა მხარისკენ და მარცხ-

ნივ სტოვებს გადაღეკილ ვაკე ადგილს, რომელიც წინათ მდინარის კალაპოტს წარმოადგენდა. ვთქვათ, მაგალითად, რომ მდინარე მოდის ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ, მაშინ A წერტილში წყლის წვეთები და ნაპირის წერტილები ერთნაირი სიჩქარით გადაადგილდება აღმოსავლეთით დედამიწის ბრუნვის გამო. შემდეგში წყალი ინერციის გამო ინარჩუნებს თავის სიჩქარეს. მდინარის ნაპირის წერტილებს კი მით მეტი სიჩქარე აქვთ, რაც უფრო სამხრეთისკენ არის ის, რადგან ბრუნვის ღერძიდან უფრო მეტადაა დაშორებული ($v=r\omega$). ამიტომ B წერტილში წყლის წვეთები ჩამორჩება კალაპოტს აღმოსავლეთით გადაადგილებაში და ეჯახება მარჯვენა, ე. ი. დასავლეთ ნაპირს. დიდი ხნის მოქმედებით მდინარე შლის მარჯვენა ნაპირს და გადაადგილდება მარჯვნივ-ასევე მდინარე სამხრეთიდან ჩრდილოეთით რომ მიდიოდეს, წყლის წვეთები დაეჯახებოდა აღმოსავლეთ ნაპირს და დაშლის მას. ამრიგად, ჩრდილო ნახევარსფეროში მდინარე ყოველთვის მარჯვენა მხარისაკენ გადაადგილება საუკუნეთა განმავლობაში. სამხრეთ ნახევარსფეროში კი გადაადგილება იქნება მარცხნივ. ასევე აიხსნება ტყვიის გადახრა ჩრდილო ნახევარსფეროში მარჯვნივ.

დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე უდრის საათში 15° -ს, რადგან $\omega = \frac{360^{\circ}}{24} = 15^{\circ}$; ერთ წუთში სიჩქარე იქნება $\omega = \frac{15 \cdot 60'}{60} = 15'$ და

ერთ წამში იქნება $\omega = \frac{15 \cdot 60''}{60} = 15''$. რადიანულ ზომაში დედამიწის

ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ერთ წამში იქნება $\omega = \frac{15}{206265} = \frac{1}{13751}$.

დედამიწის ბრუნვის გამო ეკვატორის წერტილების გადაადგილება აღმოსავლეთით ერთ წამში უდრის $s_0 = r\omega = 6378 \cdot \frac{1}{13754} = 464$ მეტრს.

სხვა წერტილებში გადაადგილების სიჩქარე უდრის $s = s_0 \cos \varphi$.

დედამიწის ბრუნვას სიმძიმის ძალაზე ორგვარი გავლენა აქვს. ერთი, ის იწვევს ცენტრგამშორ ძალას და ამით ამცირებს სიმძიმის ძალას, ყველაზე მეტად ეკვატორზე. მეორე, ბრუნვის შედეგად დედამიწამ მიიღო ახლანდელი ფორმა, ე. ი. ეკვატორზე უფრო გამოზნეკილია და პოლუსებზე შეზნეკილი. მიზიდულობის კანონის თანახმად, რაც უფრო დიდია მანძილი, მით ნაკლებია მიზიდულობა. ამიტომ ეკვატორზე დედამიწის მიზიდულობა რაიმე საგანზე ნაკლებია და პოლუსებზე მეტი. ორივე მიზეზის შედეგად ეკვატორზე სიმძიმის ძალა $\frac{1}{190}$ -ით ნაკლებია, ვიდრე პოლუსზე.

დედამიწის ბრუნვის ღერძი არ ინარჩუნებს მუდამ უცვლელ მდებარეობას დედამიწის შიგნით. ის მცირე ფარგლებში ირყევა, რის გამოც

იცვლება განედში. ღერძის ასეთი რყევის განსაზღვრა შეიძლება ორი ქალაქიდან დაკვირვებით, რომლებსაც დაახლოებით ერთნაირი განედი აქვთ და გრძედები განსხვავდება 180° -ით. მაგალითად, ბერლინი და ჰონოლულუ (წუნარი ოკეანე). როცა ერთი ქალაქის განედი იზრდება, მეორის მცირდება იმდენივეთი; განედის ცვლილებამ შეიძლება მიიღწიოს $0''$, 3 -ს.

III თავის სავარჯიშო

1. ობიექტივის ფოკუსური მანძილი 5 მეტრია. რა გადიდებას მივიღებთ, თუ ოკულარის ფოკუსური მანძილი უდრის 4 სანტიმეტრს? 4 მილიმეტრს?

ამოხსნა. გადიდება $m = \frac{F}{f}$. პირველი ოკულარისთვის $m_1 = \frac{500}{4} = 125$. მეორესთვის $m_2 = \frac{5000}{4} = 1250$.

* 2. ოკულარის ფოკუსური მანძილია 0,3 მილიმეტრი. რას უდრის ობიექტივის ფოკუსური მანძილი, თუ გადიდება 5000-ა?

ამოხსნა. $m = \frac{F}{f}$, $F = 0,3 \cdot 5000$ მმ = 1,5 მ.

* 3. როცა ობიექტივის ფოკუსური მანძილი 3,5 მეტრია, ოკულარი იძლევა გადიდებას 175-ჯერ. როგორ გადიდებას მოგვცემს ეს ოკულარი, თუ ობიექტივის ფოკუსური მანძილი იქნება 16 მეტრი?

ამოხსნა. ოკულარის ფოკუსური მანძილი $f = \frac{F}{m} = \frac{350}{175} = 2$ სანტიმეტრს. გადიდება მეორე ობიექტივთან იქნება $= \frac{1600}{2} = 800$.

4. როგორ შეიცვლება მთვარის გამოსახულება ტელესკოპში, თუ ობიექტივის ნახევარს დავფარავთ ქალაღლით?

პასუხი. გამოსახულება ორჯერ უფრო მკრთალი იქნება.

* 5. მთვარის კუთხური დიამეტრი უდრის $32'$ -ს; როგორი იქნება მისი გამოსახულების ხაზობრივი დიამეტრი ობიექტივის ფოკუსში, რომლის ფოკუსური მანძილი უდრის 3 მეტრს?

ამოხსნა. მთვარის გამოსახულება ობიექტივის ცენტრიდან ისეთივე კუთხით ჩანს, როგორც მთვარე (ნახ. 88). ამიტომ გამოსახულების რადიუსი $ac = oc \operatorname{tg} aoc = 3 \cdot \operatorname{tg} 16'$ მ; დიამეტრი $d = 2 \cdot 300 \operatorname{tg} 16'$ სანტ. = $= 600 \cdot 0,0047 = 2,82$ სანტ.

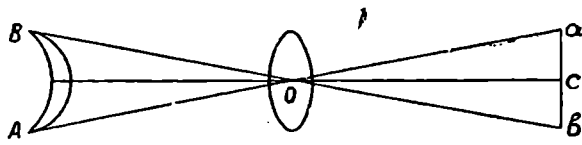
* 6. მარსის კუთხური დიამეტრი უდიდესი მოახლოების დროს უდრის $24''$ -ს. როგორი იქნება მისი ფოტოგრაფიული გამოსახულების დიამეტრი აბასთუმნის ობსერვატორიის რეფრაქტორში, რომლის ფოკუსური მანძილი $d = 6,8$ მეტრს?

ამოხსნა. წინა ამოცანის მიხედვით $d=2F \operatorname{tg} 12'$. მცირე კუთხის ტანგენსი შეიკვლება თვით კუთხით რადიანულ ზომაში.

$$d = 13,6 \operatorname{tg} 12'' \quad \text{მ} = \frac{13,6 \cdot 12 \cdot 1000}{206265} = 0,79 \text{ მმ}$$

* 7. სასკოლო ობიექტივის დიამეტრი $D=7$ სანტიმეტრს. გამოჩნდება თუ არა მასში ორმაგი ვარსკვლავი ცალ-ცალკე, თუ კომპონენტებს შორის დაშორება უდრის $2''$ -ს.

შენიშვნა. ტელესკოპის დამაშორებელი ძალა გამოისახება ფორმულით $S=11'',6:D$, სადაც D ობიექტივის დიამეტრია სანტიმეტრებში.



ნახ. 88.

ამოხსნა. დამაშორებელი ძალა $S=11'',6:7=1,7$. ცალ-ცალკე გამოჩნდება, რადგან $2''$ მეტია სასაზღვრო მანძილზე $1,7$ -ზე.

* 8. არა უმეტეს რა მანძილზე უნდა იყოს დაშორებული ორი მწვერვალი მთვარეზე, რომ ისინი ცალ-ცალკე გამოჩნდეს იერკსის რეფრაქტორში, რომლის ობიექტივის დიამეტრი უდრის 102 სანტიმეტრს. მთვარის საშუალო დაშორება 284000 კილომეტრია.

ამოხსნა. იერკსის რეფრაქტორის „დამაშორებელი ძალა“ $S=11'',6:102=0'',11$ (იხ. 7 ამოცანა). ახლა უნდა გავიგოთ რა სიგრძე აქვს ამ რკალს მთვარის მანძილზე. რკალის სიგრძე $l=r\varphi$, სადაც r მანძილია და φ კუთხე რადიანულ ზომაში. $0'',11$ -ს რადიანული ზომა იქნება $\frac{0,11}{206265}$; მივიღებთ:

$$l = 285000 \cdot \frac{0,11}{206265} \text{ კმ} = 152 \text{ მ}$$

* 9. რას უდრის მანძილი ორ მეზობელ ხაზს შორის მერიდიანულ წრედზე, რომლის დიამეტრი 1 მეტრია და დაყოფილია ყოველ $2'$ -ზე? რას უდრის $1''$ -ის ხაზობრივი სიგრძე ამ წრეზე?

ამოხსნა. $l=r\varphi$, აქ $r=\frac{1}{2}$ მ. $\varphi=2'=\frac{2 \cdot 60}{206265}$ რად. ზომაში $l=$

$$= 0,5 \cdot \frac{2 \cdot 60}{206265} \cdot 1000 \text{ მმ} = \frac{1}{3} \text{ მმ. } 1''\text{-ის სიგრძე იქნება } l_1=$$

$$= 0,5 \cdot \frac{1}{206265} \cdot 1000 = 0,0024 \text{ მმ.}$$

* 10. შუადღეზე საათის შესწორება იყო $\alpha = -26^{\circ}34',67$ საათის სა-
შუალო დღელამური სვლა $-1^{\circ},61$; იპოვეთ საათის შესწორება იმავე
დღის 18 საათზე და 6 საათზე.

$$\text{ამოხსნა. 6 საათში საათის სვლა უდრის} = \frac{-1^{\circ} \cdot 61}{4} = -0^{\circ},40.18$$

საათზე შესწორება იქნება $\alpha_1 = -26^{\circ}34',67 - 0^{\circ},40 = -26^{\circ}35',07$. 6 სა-
ათზე—იქნება $\alpha_2 = -26^{\circ}34',67 + 0^{\circ},40 = -26^{\circ}34',27$.

* 11. 3 თებერვალს შუადღეზე საათის შესწორება იყო $6^{\circ}14'$. სა-
ათის დღელამური სვლა უდრის -11° . განსაზღვრეთ საათის შესწორება
შუადღეზე 1 თებერვალს და 6 თებერვალს.

ამოხსნა. 1 თებერვალს შესწორება იქნება $\alpha_1 = 6^{\circ}14' + 2 \cdot 11^{\circ} =$
 $= 6^{\circ}36'$. 6 თებერვალს იქნება $\alpha_2 = 6^{\circ}14' - 3 \cdot 11^{\circ} = 5^{\circ}41'$.

* 12. იპოვეთ გრინვიჩის დრო, რომელიც შეესაბამება თბილისის
სასარტყელო დროს $12^{\circ}10'30''$.

ამოხსნა. თბილისი არის შესამე სარტყელში. ამიტომ გრინვიჩის
დრო იქნება $9^{\circ}10'30''$.

* 13. 12 იანვარს მზის საათი გვიჩვენებდა ნაშუადღევის $19^{\circ}30''$.
რას გვიჩვენებს ამ დროს საშუალო საათი? ვარსკვლავიერი საათი? რას
უდრის სასარტყელო დრო ამ მომენტში ქუთაისში? დროის განტოლება
12 იანვარს უდრის $8''$. ქუთაისის გრძედი $= 2^{\circ}51''$. ნომერი $N_0 = 3$.

ამოხსნა. საშუალო დრო იპოვება ფორმულით $T_0 - T_{\odot} = E$, სა-
დაც T_{\odot} — მზიური დრო და E — დროის განტოლება მოცემულია. $T_0 =$
 $= 19^{\circ}30'' + 8'' = 19^{\circ}38''$. სასარტყელო დრო გამოითვლება ფორმულით:

$$T_0 - T_s = \lambda - N \cdot T_s = 19^{\circ}38'' - 2^{\circ}51'' + 3'' = 19^{\circ}47''.$$

ვარსკვლავიერი დრო გამოითვლება ფორმულით $S = T_0 + S_0$, $S_0 =$
 $= 12^{\circ} + x \cdot 2^{\circ} + y \cdot 4''$. 12 იანვრამდე 21 მარტიდან გავიდა 9 თვე და 22
დღე. $S_0 = 12^{\circ} + 9 \cdot 2^{\circ} + 22 \cdot 4'' = 31^{\circ}28''$. ანუ $S_0 = 7^{\circ}28''$; $S = 19^{\circ}38'' +$
 $+ 7^{\circ}28'' = 27^{\circ}6''$. პერიოდის 24° -ის გამოკლების შემდეგ $S = 3^{\circ}6''$.

* 14. დამტკიცეთ, რომ ყველგან არსებობს დამოკიდებულება
 $S - \alpha + \eta - t = 0$, სადაც S ვარსკვლავიერი დროა, α — მზის პირდაპირი
აღვლენა, η — დროის განტოლება და t საშუალო დრო შუადღიდან.

ამოხსნა. ჩვენს აღნიშვნებში $\alpha = \alpha_{\odot}$, $\eta = E = T_0 - T_{\odot}$, $t = t_0$. მაგრამ
 $T_0 - T_{\odot} = \alpha_{\odot} - \alpha_0$. ჩავსვათ ეს სიდიდეები, მივიღებთ: $S - \alpha_{\odot} + \alpha_{\odot} - \alpha_0 -$
 $- t_0 = 0$. ე. ი. $S = \alpha_0 + t_0$, რაც ვარსკვლავიერი დროის ფორმულაა საშუ-
ალო მზისათვის.

* 15. 11 თებერვალს მზე ამოვიდა $7^{\circ}6''$ და ჩავიდა $16^{\circ}24''$ სასარტყე-
ლო დროით. რას უდრის მოცემული ადგილის საშუალო და სასარტყე-
ლო დროს შორის განსხვავება?

მითითება. 11 თებერვალს დროის განტოლება მაქსიმუმია და უდრის
 $14''$ -ს.

ამოხსნა. დღის სიდიდე უდრის $16^{\text{h}}24^{\text{m}}-7^{\text{h}}6^{\text{m}}=9^{\text{h}}18^{\text{m}}$. ნახევარი დღის სიდიდე უდრის $4^{\text{h}}39^{\text{m}}$. შუადღე იქნებოდა $7^{\text{h}}6^{\text{m}}+4^{\text{h}}39^{\text{m}}=11^{\text{h}}45^{\text{m}}$ — სასარტყელო დროით. საშუალო და კემზარიტი დროის დამოკიდებულებიდან $T_0 - T_{\odot} = E$ -ს გავიგებთ მზის კულმინაციის საშუალო დროს. მზის ზედა კულმინაციის დროს $T_{\odot} = 12^{\text{h}}$. $T_0 = 12^{\text{h}} + 14^{\text{m}} = 12^{\text{h}}14^{\text{m}}$. განსხვავება $T_0 - T_{\odot} = 11^{\text{h}}45^{\text{m}} - 12^{\text{h}}14^{\text{m}} = -29^{\text{m}}$.

* 16. მზის გამოსახულებამ გადაკვეთა მზის რგოლის ერთი და იგივე ხაზი 29 ივნისს $9^{\text{h}}35^{\text{m}}5^{\text{s}}$ და $14^{\text{h}}25^{\text{m}}41^{\text{s}}$ ადგილობრივი საშუალო დროით. განსაზღვრეთ საათის შესწორება, თუ დროის განტოლება უდრის $3^{\text{m}}10^{\text{s}}$.

ამოხსნა. ორ გადაკვეთას შორის გასული დრო უდრის $14^{\text{h}}29^{\text{m}}41^{\text{s}} - 9^{\text{h}}35^{\text{m}}5^{\text{s}} = 4^{\text{h}}54^{\text{m}}36^{\text{s}}$. მზის კულმინაციის მომენტისთვის ადგილობრივი საშუალო დროით, ამ სხვაობის ნახევარი უნდა მიუმატოთ პირველი გადაკვეთის მომენტს. $T_0' = 9^{\text{h}}35^{\text{m}}5^{\text{s}} + 2^{\text{h}}27^{\text{m}}18^{\text{s}} = 12^{\text{h}}2^{\text{m}}23^{\text{s}}$ (მზის კულმინაციის მომენტს იძლევა აგრეთვე I და II მომენტის შუა არითმეტიკული). კულმინაციის ზუსტი დრო საშუალო დროით გამოითვლება ფორმულით $T_0 - T_{\odot} = E$; $T_0 = 12^{\text{h}} + 3^{\text{m}}10^{\text{s}} = 12^{\text{h}}3^{\text{m}}10^{\text{s}}$. საათის შესწორება იქნება $T_0 - T_0' = 12^{\text{h}}3^{\text{m}}10^{\text{s}} - 12^{\text{h}}2^{\text{m}}23^{\text{s}} = 47^{\text{s}}$.

* 17. პიონერმა ხაშურში გააკეთა ჰორიზონტული მზის საათი. ზაფხულში ის წავიდა სოხუმში, თან წაიღო თავისი საათი. რამდენად სწორად განსაზღვრავდა ის დროს ახალ ადგილზე. ხაშურის განედი $\varphi = 42^{\circ}$, სოხუმის $\varphi = 43^{\circ}$.

ამოხსნა. პორიზონტული მზის საათის ციფერბლავტი დაყოფილია ფორმულით: $\text{tg}\tau = \sin\varphi \text{tg}t$. როცა $t = 1^{\text{h}}, 2^{\text{h}}, 3^{\text{h}}, \dots$ ხაშურისთვის $\tau = 10^{\circ}10', 21^{\circ}7', 33^{\circ}47', 49^{\circ}12', 68^{\circ}10'$ და სხვა¹. შუადღეზე $t = 0$, ცხადია, დრო სწორად განისაზღვრება. ნაშუადღევს ან შუადღემდე ერთი საათისთვის მზის საათიერი კუთხე სოხუმში გამოითვლება ფორმულით $\text{tg}t_1 = \frac{\text{tg}10^{\circ}10'}{\sin 43^{\circ}}$, მივიღებთ $t_1 = 14^{\circ}44' = 58^{\text{m}}56^{\text{s}}$, ე. ი. ნაშუადღევს 1^{h} -ს უჩვენებს დაახლოებით 1 წუთით უფრო ადრე და შუადღემდე ერთი წუთით უფრო გვიან. $\text{tg}t_2 = \frac{\text{tg}21^{\circ}7'}{\sin 43^{\circ}}$; გამოდის, რომ ორი საათისათვის — 2^მ-ით: ასევე გამოითვლება 3 საათისთვის — 2^მ, 2-ით, 4 საათისთვის — 2^მ-ით, 5 საათისთვის — 0^მ, 7-ით, ნაშუადღევსთვის უფრო ადრე და შუადღემდე უფრო გვიან აღნიშნული სიდიდეებით. სასარტყელო დროისთვის საჭირო იქნება გრძედის შესწორება.

* 18. ეიულ ვერნის ნაწარმოების „საიდუმლო კუნძულის“ გმირი 14 აპრილს გაირიყა უცნობ კუნძულზე, მას ქონდა ქრონომეტრი, რომელიც

¹ ი. იმნაძე, თანავარსკვლავედები, 1952 წ., გვ. 7.

მუშაობდა ვაშინგტონის დროით. მეორე დღეს მზის საშუალებით მან განსაზღვრა ამ კუნძულის გრძელი და აგრეთვე განედიც. როგორ?

ამოხსნა. გააკეთა გნომონი. დაკვირვებით აღნიშნა ერთნაირი ჩრდილების მომენტი შუადღემდე და ნაშუადღევს. მათი საშუალო არითმეტიკული $\frac{T_1 + T_2}{2} = T$ წარმოადგენს მზის კულმინაციის მომენტს ქეშმარიტი მზის დროით.

15 აპრილს დროის განტოლება ნულია და ამიტომ ქეშმარიტი დრო ამ დღეს იგივე ნამდვილი დროა. კულმინაცია ქეშმარიტი დროით ხდება 12 საათზე. სხვაობა ქრონომეტრის ჩვენებასა და 12 საათს შორის უდრის კუნძულისა და ვაშინგტონის გრძედთა სხვაობას.

განედის გაგებისთვის დაახლოებით უნდა სკოდნოდა მზის დახრილობა. მაშინ განსაზღვრავდა სიმაღლეს ჰუმცირესი ჩრდილის დროს,

ე. ი. შუადღეზე (იხ. § 2) $\operatorname{tg} h = \frac{\text{ჯოხის სიგრძე}}{\text{ჩრდილის სიგრძე}}$. შემდეგ კულმინაციის ფორმულა $Z = \varphi - \delta$ ასე დაიწერება $90 - h = \varphi - \delta$, აქ, თუ δ ცნობილია, გაიგება φ . მაგრამ სინამდვილეში განედი გაგებულ იქნა ჯვარის თანაუარსკვლავედის α -ზე დაკვირვებით. იცოდა, რომ ამ ვარსკვლავის დაშორება სამხრეთ პოლუსიდან უდრის 27° . მარტივი მოწყობილობით განსაზღვრა ამ ვარსკვლავის სიმაღლე ქვედა კულმინაციის დროს. ის უდრიდა 10° -ს. ამიტომ სამხრეთი პოლუსის სიმაღლე იქნება $27^\circ + 10^\circ = 37^\circ$. ამის მიხედვით განედი უდრის -37° .

* 19. ზედა კულმინაციის დროს ვარსკვლავის ზენიტური მანძილი $Z_1 = 25^\circ$ ზენიტიდან ჩრდილოეთით. ქვედა კულმინაციის დროს ამ ვარსკვლავის ზენიტური მანძილი იყო $Z_2 = 75^\circ$. რა განედზე იყო დაკვირვება და რას უდრიდა ვარსკვლავის დახრილობა?

ამოხსნა. ეს ვარსკვლავი არის პოლუსის ახლომყოფი. სიმაღლე ზედა კულმინაციის დროს იქნება $h = 90^\circ - Z$; $h_1 = 65^\circ$ $h_2 = 15^\circ$. განედი უდრის მათ საშუალო არითმეტიკულს, $\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2} = 40^\circ$. დახრილობა

გამოითვლება ფორმულით $Z_1 = \delta - \varphi$, საიდანაც $\delta = 65^\circ$.

* 20. მოსკოვის დიამეტრი უდრის 20 კილომეტრს, რამდენად აღრეთენდება აღმოსავლეთის კიდეზე, თუ განედი უდრის $55^\circ 45'$?

ამოხსნა. პარალელის რადიუსი $O'M$ უდრის $R \cos \varphi$, სადაც R დედამიწის რადიუსია, ხოლო φ განედი (ნახ. 89). პარალელის სიგრძე იქნება $2\pi R \cos \varphi$. 20 კილომეტრიანი რკალის გრადუსული ზომისთვის შევადგინოთ პროპორცია:

$$2\pi R \cos \varphi : 20 = 360^\circ : X, \text{ აქედან } X = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 20}{\cos 55^\circ 45' \cdot 40000}, \text{ რადგან დედა-}$$

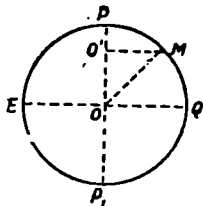
მიწის გარშემოწერილობა $2\pi R = 40000$

$$X = \frac{648}{\cos 55^{\circ}45'}$$
, $\lg 648 = 2,8116$, $\lg \cos 55^{\circ}45' = \bar{1},7515$

$$\lg X = 3,0601 \quad X = 1148'' = 76^{\circ},5, \quad X = 1^{\circ}16',5.$$

ეს არის გრძედთა სხვაობა მოსკოვის აღმოსავლეთ და დასავლეთ კიდეს შორის. ასეთივეა გათენების მომენტებს შორის განსხვავება.

* 21. რამდენად უფრო ადრე თენდება მცხეთაში ბორჯომთან შედარებით, თუ ცნობილია, რომ ეს ქალაქები ერთ განედზე იმყოფება, $\varphi = 41^{\circ}50'$ და მათ შორის პირდაპირი ხაზით 115 კილომეტრია.



ნახ. 89.

ამოხსნა. წინა ამოცანის მიხედვით $2\pi R \cos \varphi : 115 = 360^{\circ} : X$; $X = 1^{\circ}, 374$, $X = 5^{\circ},5$ (მცირე მანძილზე პარალელი და დიდი წრის რკალი ტოლია).

* 22. რომის ობსერვატორია გადმოსცემს დროის სიგნალებს დილის 8 საათზე თავისი დროით. თბილისში ის მიღებულ იქნა $10^{\text{h}}9^{\text{m}}15^{\text{s}}$ -ზე ადგილობრივი დროით. გაიგეთ თბილისის გრძედი, თუ რომის გრძედი უდრის $12^{\circ}29'$ -ს.

ამოხსნა. რომის გრძედი გამოვსახოთ საათიერ ზონაში $12^{\circ}29' = 49^{\circ}56'$. გამოვიყენოთ ფორმულა $\lambda_2 - \lambda_1 = T_2 - T_1$; აქედან

$$\lambda_2 = \lambda_1 + T_2 - T_1 = 49^{\circ}56' + 10^{\text{h}}9^{\text{m}}15^{\text{s}} - 8^{\text{h}}; \quad \lambda_2 = 2^{\text{h}}59^{\text{m}}11^{\text{s}}.$$

* 23. რას უდრის დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული სიჩქარე შემდეგ განედებზე: $\varphi_1 = 45^{\circ}$, $\varphi_2 = 60^{\circ}$, $\varphi_3 = 30^{\circ}$, აგრეთვე თბილისში $\varphi = 41^{\circ}43'$.

ამოხსნა. კუთხური სიჩქარე ყველგან ერთნაირია. ის უნდა გარავლდეს პარალელის რადიუსზე, რაც უდრის $R \cos \varphi$ -ს (იხ. ამოც. 20). ეკვატორზე სიჩქარე $v_0 = R\omega = 464$ მეტრს. $v_1 = v_0 \cos 45^{\circ} = 326 \frac{\text{მ}}{\text{სექ}}$, ასე-

$$\text{30 } v_2 = 232 \frac{\text{მ}}{\text{სექ}}, \quad v_3 = 402 \frac{\text{მ}}{\text{სექ}}, \quad v_{\text{თბ.}} = 346,4 \frac{\text{მ}}{\text{სექ}}.$$

* 24. რა სიზუსტით უნდა გაიზომოს 10 კმ. სიგრძის ბაზისი, რომ მისი გაზომვის არასიზუსტემ დედამიწის გარშემოწერილობაში არ გამოიწვიოს 100 მეტრზე მეტი შეცდომა.

ამოხსნა. ჩავთვლით, რომ ბაზისის სიზუსტის შეცდომა პროპორციულად გადავა გარშემოწერილობის გაზომვაში. მაშინ $40000 : 10 = 100 : X$, $X = \frac{10 \cdot 100}{40000} = \frac{1}{40}$ მ = 2,5 სტმ.

* 25. თბილისი და რომი დაახლოებით ერთ განედზე იმყოფება, საშუალო $\varphi = 41^{\circ}48'$. გრძედთა სხვაობა კი უდრის $2^{\text{h}}9^{\text{m}}15^{\text{s}}$. რამდენად განსხვავდება ამ ქალაქებს შორის პარალელი და დიდი წრის რკალი.

ამოხსნა. გრძელთა სხვაობა გამოვსახოთ გრადუსულ ზომაში: $2^{\circ}15' = 32^{\circ}18'45''$. პარალელის სიგრძე უდრის $2\pi R \cos \varphi$ და როგორც, 20 ამოცანაში დაწვერთ: $2\pi R \cos \varphi : 360^{\circ} = X : 32^{\circ}18'45''$; აქედან $X = \frac{2\pi R \cos \varphi \cdot (32^{\circ}18'45'')}{360^{\circ}}$.

$R = 6371$; $32^{\circ}18'45'' = 116325''$; $360^{\circ} = 1296000''$, $\lg \pi = 0,4971$, $\lg R = 3,8042$, $\lg \cos \varphi = 1,8724$, $\lg 116345 + 5,06657$, $\lg 1299000 = 6,1126$. $\lg X = 3,4278$. $X = 2678$ კმ.

დიდი წრის რკალი ამ ქალაქებს შორის გამოითვლება ფორმულით $\cos \gamma = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$, რადგან $\varphi_1 = \varphi_2$ (იხ. § 4c). $\lg \sin \varphi = 1,8238$ $\lg \cos \varphi = 1,8724$, $\lg \cos 32^{\circ}18'45'' = 1,9269$.

$\cos \gamma = 0,9139$, $\gamma = 23^{\circ}57',5 = 23^{\circ},97$. სიგრძისათვის გავამრავლოთ 111,1-ზე, მივიღებთ დიდი წრის რკალი = 2663 კმ. განსხვავება 15 კმ.

* 26. ნეაპოლი მდებარეობს აღმოსავლეთის გრძელის $14^{\circ}15'$ -ზე, ნიუ-იორკი დასავლეთის გრძელის $71^{\circ}29'$ -ზე. განედი ორივესი $41^{\circ}51'8''$ -ა. რამდენად დიდია პარალელის სიგრძე დიდი წრის რკალის სიგრძეზე ამ ქალაქებს შორის.

პასუხი. 330 კმ-ით, (იხ. 25 ამოცანა).

27. ასაწონი საქონელი იმყოფება $\varphi = 45^{\circ}$ -ზე. სად ჯობია წაიღონ ის გასასყიდად, პოლუსზე თუ ეკვატორზე?

ამოხსნა. $\varphi = 45^{\circ}$ -ზე საქონელს საშუალო წონა აქვს ეკვატორსა და პოლუსთან შედარებით. თუ აწონიან ზამბარბიანი სასწორით, პოლუს-

ზე წონაში მოიგებენ $\frac{1}{190} : 2 = \frac{1}{380}$ -ით, ე. ი. ტონაზე 2,6 კილოგრამს.

ეკვატორზე კი წონაში წააგებენ ამდენივეთი. ფულადი მოგება დამოკიდებულია ტრანსპორტზე და მყიდველთა რაოდენობაზე.

28. კ. სიმონოვი, თავის მოთხრობაში, „ღლები და ღამეები“, ამბობს, რომ სტალინგრადი და რუსეთის სხვა ქალაქები ძნელი დასაცავია მტრისაგან და თუ დაეკარგეთ, შემდეგ ძნელი ასაღებია, რადგან მტრის მხარეს, ე. ი. დასავლეთით, მაღლობია, ხოლო აღმოსავლეთით დაბლობი. რით აიხსნება ეს?

პასუხი. ეს აიხსნება ბერის კანონით, რომლის მიხედვით ჩრდილო-ნახევარსფეროში მდინარეთა მარჯვენა მხარე კლდინია, ხოლო მარცხენა გადარეცხილი.

* 29. რა დროში გააკეთებს ერთ სრულ ბრუნს ფუკოს საქანის სიბრტყე თბილისში?

ამოხსნა. ერთ საათში მობრუნება უდრის $15^{\circ} \sin \varphi$. სრული ბრუნ-

ვისთვის დასკირდება $X = 360^\circ : 15^\circ \sin \varphi = \frac{24}{\sin \varphi}$ საათი. $\lg 24 = 1,3802$,

თბილისის $\varphi = 41^\circ 43'$, $\lg \sin \varphi = \bar{1},8231$, $\lg X = 1,5571$, $X = 36^h,07 = 36^h 4^m 12^s$.

* 30. ასტრონომიული განედი გეოცენტრულ განედზე მეტია, თუ მისი ტოლია დედამიწის ყოველ წერტილში?

პასუხი. ასტრონომიული განედი აბსოლუტური სიდიდით ყოველთვის მეტია გეოცენტრულ განედზე, გარდა ეკვატორისა და პოლუსებისა, სადაც შეიძლება ისინი ტოლი იყოს.

ციური მემანია

§ 16. გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა :

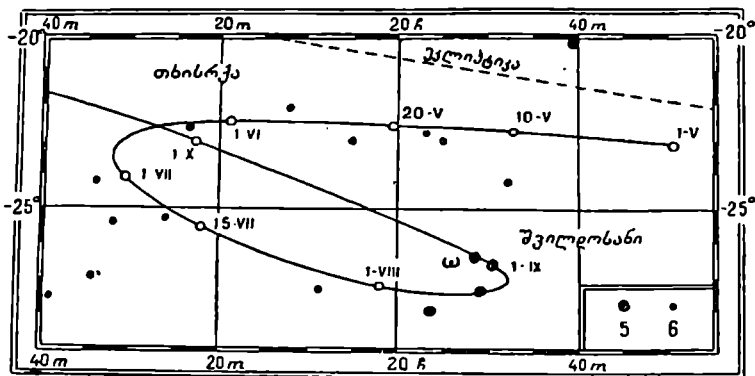
ა) ცთომილების ხილული მოძრაობა

მზე, მთვარისა და ვარსკვლავებს გარდა ცაზე უძველესი დროიდანვე ამჩნევდნენ ხუთ მნათობს, რომლებიც თავისი ფორმით ჰგავდა ვარსკვლავებს, მაგრამ განსხვავდებოდა მათგან მოძრაობის მიხედვით. ვარსკვლავები, როგორც ვიცით, ცის სფეროზე უძრავად გვეჩვენება, ხოლო ცის სფეროს ხილული ბრუნვის გამო აღწერს დღელამურ წრეებს. აღნიშნული ხუთი მნათობის დღელამური წრეები თითქმის ისეთივეა, როგორც ვარსკვლავებს აქვთ, მაგრამ ეს მნათობები მოძრაობს ვარსკვლავებს შორის. ისინი ხან ერთ თანავარსკვლავედში ამოყოფდნენ თავს და ხან მეორეში. ამიტომ ამ ხუთ მნათობს დაარქვეს მოხეტიალე ვარსკვლავები ანუ პლანეტები; ქართულად მათ ცთომილებს ვეძახით. ეს ხუთი ცთომილი, რომელიც უძველესი დროიდან იყო ცნობილი, არის: მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი, ანუ ძველი ქართულით: ოტარიდი, ასპიროზი, მარიხი, მუშთარი და ზუალი.

თუ ვაწარმოებთ ხანგრძლივ დაკვირვებას რომელიმე ცთომილის ხილულ მოძრაობაზე, ვნახავთ, რომ ის ვარსკვლავებს შორის გადაადგილდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. რაიმე მომენტში ცთომილი შეჩერდება და რამდენიმე დღეს უძრავად გვეჩვენება. შემდეგ იწყებს უკუსვლით მოძრაობას, რომელიც დიდხანს არ გრძელდება. უკუსვლით მოძრაობას მოსდევს შეჩერების მომენტი და შემდეგ ისევ წინსვლითი მოძრაობა. ასეთნაირი მოძრაობის შედეგად ცთომილი ვარსკვლავებს შორის ზოგჯერ აღწერს მარყუჯებს (ნახ. 90). უმთავრესად ცთომილთა მოძრაობა პირდაპირია, ე. ი. დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ არის მიმართული. ამას გარდა, აღსანიშნავია, რომ ცთომილები მუდამ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლად იმყოფება და ამრიგად ისინი ყოველთვის ზოდიაკოს რომელიმე თანავარსკვლავედში ჩანს. მოძრაობის მიხედვით ცთომილები იყოფა ორ ჯგუფად: 1) შიდა ცთომილები და 2) გარე ცთომილები. ძველად ფიქრობდნენ, რომ შიდა ცთომილები მზის აქეთ (დედამიწისაკენ) იმყოფება, ხოლო გარე ცთომილები მზის გარეთ მოძრაობენ. შიდა ცთო-

მილებს ეკუთვნის მერკურის და ვენერა, გარე ცთომილები კი არის მარსი, იუპიტერი, სატურნი და სხვა.

შიდა ცთომილები მერკურის და ვენერა მუდამ მზის მახლობლად მოძრაობს და მზიდან შედარებით მცირე კუთხურ მანძილზე იმყოფებიან,



ნახ. 90. (ვენერა 1/I—1/VII 53)

ხან აღმოსავლეთით და ხან დასავლეთით. მერკურის უდიდესი და შორება, ანუ უდიდესი ელონგაცია იცვლება 18°-დან 28°-მდე, ხოლო ვენერას უდიდესი ელონგაცია 43°-დან 48°-მდე აღწევს. ვინაიდან მერკურის ახლოა მზესთან, ის იკარგება მზის სხივებში და იშვიათად ჩანს.

ვთქვათ, ნახაზე T გამოსახავს დედამიწას, $O IV$ არის პორიზონტის აღმოსავლეთ-დასავლეთის ხაზი. როცა მზე „ \odot “ ახალჩასულია, მერკურის

M შეიძლება დავინახოთ დასავლეთის მხარეს, თუ ის მზიდან აღმოსავლეთით იმყოფება ვარსკვლავიერ ცაზე. მზის ამოსვლის წინ კი მერკურის M' გამოჩნდება, თუ ის მზიდან დასავლეთით იმყოფება და, ამრიგად, მზეზე უფრო ადრე ამოდის.

ვენერას ხილვის პირობები უფრო კარგია, ვინაიდან უფ-

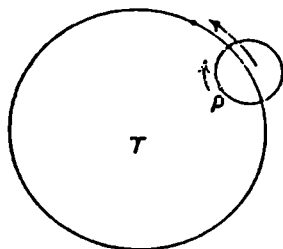
რო დიდი კუთხით შორდება მზეს. თუ უდიდესი ელონგაციის დროს ვენერა არის მზიდან აღმოსავლეთით, მაშინ ის მზის ჩასვლის შემდეგ 48°-ის მანძილზე იქნება მზიდან და სამ საათზე უფრო მეტ ხანს გამოჩნდება საღამო ხანს. ასევე ამოსვლის დროს, თუ ვენერა ვარსკვლავიერ ცაზე მზიდან დასავლეთით იმყოფება, ის გამოჩნდება გათენების წინ. ხშირად კი, როგორც მერკურის, ვენერაც იკარგება მზის სხივებში. ვენე-

რას ზოგჯერ ცისკრის ვარსკვლავს ან უბრალოდ ცისკარს უწოდებენ. ეს სახელწოდება სავსებით სწორი არ არის, ვინაიდან ვენერა ხან დილით ჩანს და ხან საღამოს.

გარე ცთომილები შეიძლება დაშორდეს მზეს ნებისმიერი კუთხით. ამის გამო ისინი ხან დილის მნათობად გამოჩნდება და ხან საღამოს მნათობად; ზოგჯერ კი მთელი ღამის განმავლობაში ჩანს.

± ბ) გეოცენტრული სისტემა

ცთომილთა ხილული მოძრაობის ახსნა მეცნიერებისათვის ძნელი ამოცანა იყო. ძველი ბერძნები ფიქრობდა, რომ ციურ სხეულთა მოძრაობა უსათუოდ წრიული გზით უნდა წარმოებდეს, რადგან ეს არის ყველაზე უფრო სრულყოფილი მრუდიო. მათ ამ ძირითად პრინციპს აშკარად არ აკმაყოფილებდა ცთომილები, რომლებიც საკმაოდ უწესრიგოდ გადაადგილდებოდნენ ვარსკვლავებს შორის. ბერძნები ფიქრობდნენ რომ ხილული მოვლენა არ ემთხვევა ნამდვილ მოვლენას. მათი აზრით, ცთომილები სინამდვილეში მოძრაობს წრიული გზით, მაგრამ მოძრაობს არა ერთ წრეზე, არამედ რამდენიმე წრეზე, რის შედეგადაც აღიწერება ხილული არაწესიერი მრუდიო. ძველი მეცნიერების შედეგები ამ საკითხზე ჩამოაყალიბა პტოლომემ (II ს. ჩვენი წელთაღრიცხვით) და ეწოდება პტოლომეს სისტემა, ანუ გეოცენტრული სისტემა. ამ სისტემის მიხედვით სამყაროს ცენტრში არის დედამიწა (ბერძნულად—გეო), დედამიწის გარშემო მოძრაობს მზე, მთვარე და ცთომილები შემდეგი თანამიმდევრობით: მთვარე, მერკური, ვენერა, მზე, მარსი, იუპიტერი და სატურნი. ცთომილებს იქით კი არის უძრავ ვარსკვლავთა სფერო. მზე და მთვარე მოძრაობს წრიული გზით, მაგრამ დედამიწა წრის ცენტრში არ იმყოფება. ცთომილების მოძრაობა კი შემდეგნაირად წარმოებს: დედამიწის გარშემო დიდ წრეზე, ანუ დეფერენტზე მოძრაობს პატარა წრის ცენტრი, პატარა წრეზე, ანუ ეპიციკლზე კი მოძრაობს ცთომილი. ეპიციკლის ცენტრი დეფერენტზე მოძრაობს მარჯვნიდან მარცხნივ, ანუ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. ასეთ მოძრაობას ეწოდება პირდაპირი მოძრაობა. ცთომილი ეპიციკლზე მოძრაობს შებრუნებული მიმართულებით, ანუ მარცხნიდან მარჯვნივ (ნახ. 92). ასეთი სქემით აიხსნებოდა ცთომილის ხილული მოძრაობა ზოგადი სახით. უფრო მეტი სიზუსტისთვის საჭირო გახდა თითო



ნახ. 92.

ცთომილისათვის რამდენიმე ეპიციკლის დამატება. ამ შემთხვევაში დეფერენტზე მოძრაობს პირველი ეპიციკლის ცენტრი, პირველ ეპიციკლზე—მეორე ეპიციკლის ცენტრი და ასე შემდეგ; ბოლო ეპიციკლზე კი მოძრაობს ცთომილი.

დეფერენტებისა და ეპიცკლების მთელი ეს სისტემა წარმოადგენდა მათემატიკურ იარაღს ცთომილთა ხილული მოძრაობის ასახსნელად და პირველად მას არც ჰქონდა სხვა პრეტენზია; მაგრამ შემდეგ თანდათანობით შეხედეს მას როგორც სამყაროს ნამდვილ სურათს. ქრისტიანული რელიგია, რომელიც შემდეგ წარმოიშვა, სამყაროს ზოგად წარმოდგენაში პტოლომეს სისტემას დაემყარა და იგი თავის ერთ-ერთ ქვაკუთხედად გაიხადა. საღვთო წერილებში აღწერილი ქვეყნის გაჩენისა და გადარჩენის მითები კარგად ეგუებოდა გეოცენტრულ თვალსაზრისს.

საშუალო საუკუნეებში არაბებმა უფრო ზუსტი ასტრონომიული დაკვირვებანი ჩაატარეს, ვიდრე ბერძნებს ჰქონდათ. დაკვირვების შედეგების თეორიასთან შესათანხმებლად ისინი იძულებული გახდნენ თითოეული ცთომილისთვის რამდენიმე ეპიცკლი დაემატებიათ, რის გამოც გეოცენტრული სისტემა ძლიერ გართულდა. ამასთან დაკავშირებით არსებობს ერთი გადმოცემა: ესპანეთის მეფე ალფონს X ასტრონომიის მოყვარული ყოფილა. პტოლომეს სისტემა მას ძლიერ რთულად მოსჩვენებია და უთქვამს: „ღმერთს რომ ეკითხა ჩემთვის, შე მას სამყაროსთვის უფრო მარტივ სქემას ურჩევდით“. ამისათვის მას ბრალი დასდეს მწვალებლობაში და სამეფო ტახტი წაართვეს. ეკლესია ეყრდნობოდა რა ცუდად გაგებულ არისტოტელეს და პტოლომეს, სდევნიდა ყოველ ახალ აღმოჩენას. ამან მეცნიერებაში საშუალო საუკუნოებრივი უმოქმედობა გამოიწვია.

ქ. c) ჰელიოცენტრული სისტემა

XV ს. ბოლოდან ახალწარმოშობილ ბურჟუაზიულ ურთიერთობასთან ერთად იწყება აღორძინების ეპოქა. ამ დროიდან ყველა მეცნიერება იწყებს გამოცოცხლებას. განსაკუთრებით კი ვითარდება ასტრონომია, რასაც ხელს უწყობდა დიდი გეოგრაფიული აღმოჩენები. ზღვაზე შორეული მოგზაურობისათვის აუცილებელია მნათობთა ზუსტი მდებარეობის ცხრილები. ამას გარდა, შეცდომების დაგროვება ძველ კალენდარში მოითხოვდა მზისა და მთვარის მოძრაობის შესწავლას. ორივე ეს გარემოება იწვევდა ასტრონომიის თეორიით დაინტერესებას. ამ დროს ზოგი მოაზროვნე კრიტიკულად უყურებდა პტოლომეს სისტემას და ზოგმა ახალი სისტემის შექმნაც კი სცადა.

1543 წელს დაიბეჭდა დიდი პოლონელი მეცნიერის ნიკოლოზ კოპერნიკის წიგნი „ციურ სფეროთა შემობრუნების შესახებ“ („De revolutionibus orbium coelestium“). წიგნი მიძღვნილი იყო რომის პაპის პავლე III-სადმი. მიძღვნაში კოპერნიკი წერდა, რომ ამ შრომას ის „საიდუმლოდ ინახავდა არა ცხრა წლის, არამედ ოთხჯერ ცხრა წლის განმავლობაში“ და მხოლოდ მეგობრების რჩევით ბედავს მის გამოქვეყნებას. კოპერნიკის

შიში საუქმელიანი იყო, რადგან მისი მოძღვრება სრულიად ეწინააღმდეგებოდა რელიგიის ღოგმებს.

კოპერნიკის ძირითადი დებულება ციურ სხეულთა მოძრაობის შესწავლისათვის იყო შემდეგი: „მდებარეობის ყოველი ათვისებული შეცვლა წარმოდგება ან დაკვირვებული საგნის მოძრაობით, ან დამკვირვებლის მოძრაობით, ან ორივე მიზეზით“. ჩვენ ვშორდებით ნავსადგურს და გვეჩვენება, რომ ნაპირი გვშორდება ჩვენო, — ამბობდა კოპერნიკი. ამრიგად, დამკვირვებლის მოძრაობას პირველად მიექცა ყურადღება ცთომილთა ხილული მოძრაობის ახსნის საქმეში. დამკვირვებელი კი დედამიწაზე იმყოფება. ადამიანის დედამიწაზე გადაადგილება იმდენ ცვლილებას ვერ გამოიწვევს; საქმე ისაა დედამიწა თუ მოძრაობს. და აი, კოპერნიკმა დედამიწას ორგვარი მოძრაობა აღმოუჩინა. 1) დედამიწა ბრუნავს ღერძის გარშემო დღე-ღამეში ერთხელ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით და 2) დედამიწა მოძრაობს მზის გარშემო წელიწადში ერთხელ. ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვა იწვევს ცის სფეროს ხილულ დღეღამურ ბრუნვას, ხოლო დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობა იწვევს წლის დროების ცვლილებას.

სამყაროს სურათი კოპერნიკის სისტემის ანუ ჰელიოცენტრული სისტემის (ჰელიო—მზე) მიხედვით ასეთია: სამყაროს ცენტრში მოთავსებულია მზე; მზის გარშემო წრიულ ორბიტებზე მოძრაობს ცთომილები: მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი, ხოლო ცთომილებს იქით იმყოფება უძრავ ვარსკვლავთა სფერო. მთვარე მოძრაობს დედამიწის გარშემო და ორივე ერთად, მზის გარშემო. ამიტომ მთვარეს დედამიწის თანამგზავრი ეწოდება. ცთომილთა ხილული მოძრაობა ამ სისტემით ადვილად აიხსნება (იხ. § 17 c).

კოპერნიკის ჰელიოცენტრულმა სისტემამ დიდად გაამარტივა სამყაროს სურათი და იგი ძლიერ ხელსაყრელი აღმოჩნდა მეცნიერების შემდეგი განვითარებისათვის. მაგრამ კოპერნიკი პტოლომესა და სხვა ძველი ასტრონომების მსგავსად ფიქრობდა, რომ ციურ სხეულთა მოძრაობა უნდა წარმოებდეს წრიული გზით. ამის გამო მას კიდევ დარჩა მთელი რიგი ეპიციკლები ცთომილთა მოძრაობის ასახსნელად.

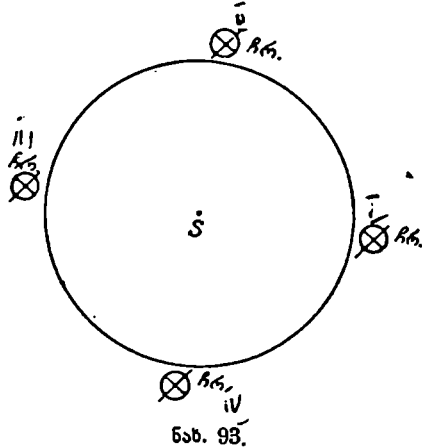
† d) წლის დროების ახსნა

დედამიწის თავის ღერძის გარშემო ბრუნვით აიხსნება ყოველდღიური ციური მოვლენები (იხ. § 6). ბრუნვის დროს მზისკენ მიქცეულია დედამიწის ხან ერთი მხარე და ხან მეორე და ამის მიხედვით იცვლება დღე-ღამე.

წლის დროების სხვადასხვაობა აიხსნება დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობით. კოპერნიკი ფიქრობდა, რომ დედამიწა მზის გარშემო მოძრაობს წრიული გზით, მაგრამ მზე წრის ცენტრში არ იმყოფება. კეპლერმა დაამტკიცა, რომ დედამიწა მოძრაობს ელიფსზე, რომლის ერთ-ერთ ფო-

კუსში იმყოფება მზე, მაგრამ ამ შესწორებას წლის დროების ახსნაზე არ აქვს გავლენა.

თუ ვიგულისხმებთ, რომ ჩვენ მოძრაობას ზევდან უყურებთ, მაშინ მზე მოთავსებული იქნება S წერტილში (ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში), ცენტრიდან მცირე დაშორებით. ზამთარში (სახელდობრ, 3 იანვარს) დედამიწა უახლოესს მანძილზეა მზესთან, მაგრამ მისი ღერძის ჩრდილო ნახევარი დახრილია მზის საწინააღმდეგო მხარეს, როგორც ეს ნაჩვენებია I მდებარეობაში¹. ჩრდილო ნახევარსფეროს მზის სხივები ეცემა დახრილად და კარგად ვერ ათბობს მას (ნახ. 93). სამხრეთ ნახევარსფეროს კი პირიქით, მზის სხივები ამ დროს ეცემა უფრო შვეულად და კარგად ათბობს. ამიტომ I მდებარეობაში ჩრდილო ნახევარსფეროზე არის ზამ-



თარი და სამხრეთ ნახევარსფეროზე—ზაფხული.

II მდებარეობაში ღერძის მიმართულება მზის მიმართულების მართობულია და ამიტომ მზის სხივები ორივე ნახევარსფეროს თანაბრად ეფინება. ეს შეესაბამება 21 მარტს. შემდეგ ღერძის ჩრდილო ნახევარსფერო თანდათან მიმართული აღმოჩნდება მზისკენ და თანდათან უფრო მეტად თბება ჩრდილო ნახევარსფერო. ამიტომ II მდებარეობაში ჩრდილო ნახევარსფეროზე არის გაზაფხული და სამხრეთზე — შემოდგომა.

III მდებარეობაში ღერძის ჩრდილო ნახევარი დახრილი არის მზისკენ და კარგად თბება ჩრდილო ნახევარსფერო, ხოლო სამხრეთი ნახევარსფერო ცუდად. ამიტომ III მდებარეობაში ჩრდილო ნახევარზე არის ზაფხული, სამხრეთ ნახევარსფეროზე კი—ზამთარი. IV მდებარეობაში, ისე როგორც III მდებარეობაში, ღერძი მზის მიმართულების მართობულად არის და მზის სხივები ორივე ნახევარსფეროს თანაბრად ეფინება; ჩრდილო ნახევარსფეროზე არის შემოდგომა და სამხრეთზე გაზაფხული.

1. ბელიოცენტრული სისტემის მსოფლმხედველობრივი მნიშვნელობა

კოპერნიკის სისტემა თავისი დროის მსოფლმხედველობაში უდიდესი გადატრიალება იყო. დედამიწა წინათ სამყაროს ცენტრში რომ ეგონათ მოთავსებული, ახლა პატარა ცთომილი აღმოჩნდა, ხოლო „ბუნების მეფე“—ადამიანი უმნიშვნელო არსებად გადაიქცა. მაგრამ ეს მაინც ადამიანის გონების უდიდესი გამარჯვება იყო. ფრიდრიხ ენგელსი „ბუნების დიალექტიკაში“ წერდა: „რევოლუციური აქტი, რომლითაც ბუნების

¹ ნახაზე I უნდა იყოს მარჯვნივ, II—ზევით, III მარცხნივ, IV ქვევით.

კვლევამ თავისი დამოუკიდებლობა გამოაცხადა და, თითქოს ლუთერის მიერ პაპის ბულის დაწვა გაიმეორა, იმ უკვდავი ნაწარმოების გამოცემა იყო, რომლითაც კოპერნიკმა, თუმცა მოკრძალებით და ასე ვთქვათ სიკვდილის სარეცელზე, საბრძოლველად გამოიწვია ეკლესიის ავტორიტეტი ბუნების საკითხებში¹.

კოპერნიკის დაუკითხავად მის წიგნს წამძღვარებული ჰქონდა ოსიანდრის წინასიტყვაობა, სადაც წერდა, რომ ავტორის ჰიპოთეზა სინამდვილეს არ შეეფერება და მხოლოდ გამოთვლების ხელსაყრელობისთვის არის მოგონილი.

პროტესტანტულმა ეკლესიამ ნაშინვე გაილაშქრა კოპერნიკის წინააღმდეგ. ლუთერი ამბობდა: „ვიღაც სულელს სურს ახალი სისტემა შექმნას, რომ თითქოს დედამიწა მოძრაობს მზის გარშემო, მაგრამ ისუ ნავინმა მზეს უბრძანა შეჩერება და არა დედამიწას“. ეს არგუმენტი ახლა უაზროდ გვეჩვენება, მაგრამ მაშინ საღვთო წერილიდან გადახვევა ანუ ერესი უდიდესი ბრალდება იყო.

კათოლიკური ეკლესია ერთხანს ლოიალობას იჩენდა ახალი სისტემის მიმართ. აქ გავლენა ჰქონდა ოსიანდრის წინასიტყვაობას. ამას გარდა, წიგნი ფართო მასებისათვის არ იყო დაწერილი და ვინც მათემატიკა და ასტრონომია არ იცოდა, იქიდან ვერავითარ ახალ აზრებს ვერ ამოიკითხავდა. მაგრამ მალე გამოჩნდნენ ადამიანები, რომლებიც ცოცხალი სალაპარაკო ენით განმარტავდნენ ახალ სისტემას. ამ მხრივ საყურადღებოა ჯორდანო ბრუნო, რომლის გაბედული აზრები თანამედროვე ასტრონომიის შეხედულებას უახლოვდება. ბრუნო ამბობდა: მზე არის მხოლოდ მზის სისტემის ცენტრი; მთელ სამყაროს კი ცენტრი არ აქვს. ყოველი ვარსკვლავი იგივე მზეა, რომელთაც თავიანთი ცთომილები ეყოლება. ზოგიერთ ამ ცთომილზე შეიძლება სიცოცხლეც იყოსო. ეს აზრები მეცნიერების განვითარებამ საესებით დაადასტურა, მაგრამ მაშინ ძნელი შესაგუებელი იყო. თვით კეპლერიც კი ამბობდა თურმე: „თავბრუ მეხვევა, როცა ბრუნოს წიგნს ვკითხულობო“.

ეკლესიის მსახურნი გამოფხიზლდნენ და მწვალებლებად აცხადებდნენ კოპერნიკის მიმდევრებს. ინკვიზიციამ¹ ხელში ჩაიგდო ჯორდანო ბრუნო; შვიდ წელს აწამეს ის და შემდეგ კოცონზე დაწვეს რომში 1600 წელს. 33 წლის შემდეგ აწამეს მეორე დიდი იტალიელი მეცნიერი გალილეო გალილეი. კოპერნიკის წიგნი აკრძალეს 1616 წელს.

ყოველი რელიგია ემყარება უძრავ დედამიწას, რომლის გარშემოც თითქოს მოძრაობს მნათობები. ამიტომ ეკლესია ვერ შეურიგდა ჰელიოცენტრულ სისტემას და მუდამ სდევნიდა მას. შემდეგ, როცა შეუძლებელი გახდა დედამიწის მოძრაობის უარყოფა, ამ საკითხს ღუმილით უვლიდნენ გვერდს.

რუსეთში კოპერნიკის მოძღვრება ვზას იკაფავს XVIII ს. მეორე ნახევრიდან. განსაკუთრებული მკვნებარებით იცავდა ჰელიოცენტრულ სისტემას ლომონოსოვი. მას ბუნებრივად მიაჩნდა, რომ მზე იმყოფება ცთო-

¹ ინკვიზიცია—ეკლესიის დამსჯელი ორგანო.

შილთა სისტემის ცენტრში და გეოცენტრული სისტემის წინააღმდეგ ამბობდა: „ვის უნახავს ისეთი ყუყუნი მზარეული, რომელიც ატრიალებდა კერიას მწუადის გარშემო“. თავის ლექსებში ლომონოსოვი ანეითარებდა ქვეყნის უსასრულობისა და მრავალი ქვეყნის არსებობის იდეას. სინოდის წევრები თხოვდნენ მეფეს, მიეღო ზომები, რათა არავის არ დაეწერა ქვეყანათა სიმრავლის და დედამიწის მოძრაობის შესახებ, რომელიც ეწინააღმდეგება „წმიდა“ წიგნებს.

უკანასკნელ დროს ზოგიერთი ბურჟუაზიული მეცნიერი გამოდის რელიგიური მსოფლმხედველობის დასაცავად და ამ მიზნით ისინი თითქოს ეყრდნობიან თანამედროვე მეცნიერების, კერძოდ, ფარდობითობის თეორიის მიღწევებს. მახი და მისი მიმდევრები ამტკიცებენ, რომ კოპერნიკის და პტოლომეს სისტემა ეკვივალენტურია, რადგან ამა თუ იმ სისტემის არჩევა პირობითი შეთანხმების საქმეაო; მოვლენის აღწერა ორივე სისტემაში შეიძლებაო. მათ ფიზიკის ამოცანად მიაჩნიათ კანონის აღმოჩენა შეგარძნებათა კავშირებს შორის და არა თვით საგნებს შორის. ეს არის აგნოსტიციზმი, რომელიც უარყოფს ობიექტურ რეალობას. ასეთ შეხედულებას მიყვებართ სუბიექტური იდეალიზმისა და ფიდეიზმისაკენ, როგორც ეს გენიალურად დაასაბუთა ლენინმა თავის წიგნში „მატერიალიზმი და ემპირიოკრიტიციზმი“.

ისტორიაც ავალსაჩინოდ გვიჩვენებს კოპერნიკისა და პტოლომეს სისტემის არაეკვივალენტურობას. 15 საუკუნე ბატონობდა პტოლომეს სისტემა და ამ ხნის განმავლობაში მეცნიერებას თითქმის არავითარი განვითარება არ განუცდია. კოპერნიკის სისტემას კი მალე მოჰყვა მთელი რიგი აღმოჩენები და მეცნიერების მძლავრი განვითარება. კეპლერის კანონების, ნიუტონის მიზიდულობის კანონისა და სხვათა აღმოჩენა შეუძლებელი იყო პტოლომეს სისტემის ფარგლებში. „მეცნიერებას სწორედ იმიტომ ეწოდება მეცნიერება, — ამბობს დიდი სტალინი, — რომ იგი არა ცნობს ფეტიშებს, მას არ ეშინია აღმართოს ხელი დრომოქმულის, ძველის წინააღმდეგ, და გულისხმიერად უგდებს ყურს გამოცდილების, პრაქტიკის ხმას. საქმე რომ სხვანაირად იყოს, ჩვენ არ გვექნებოდა საერთოდ მეცნიერება, არ გვექნებოდა, ვთქვათ, ასტრონომია, და ჩვენ კვლავ თავს შევიქცევდით პტოლომეს დახავსებულ სისტემით“¹.

§ 17. ძველმარის კანონები. უკუსვლითი მოძრაობა

ა) სინოდური და სიდერული შემობრუნება. შეფარდებითი მანძილების განსაზღვრა

როცა ცთომილს ისეთივე გრძელი აქვს, როგორც მზეს, მაშინ ამბობენ, რომ ის შეერთებაში იმყოფება. შიდა ცთომილისთვის შეერთება ორგვარია, შიდა შეერთება და გარე შეერთება. ამის ნათელსაყოფად მიემართოთ ნახაზს.

¹ ი. სტალინი, ლენინიზმის საკითხები, 1951 წ., გვ. 632.

ეთქვათ, 94 ნახაზზე S გამოსახავს მზეს, პირველი წრე შიდა ცთომილის (მაგალითად, ვენერას) ორბიტა იყოს, მეორე წრე—დედამიწის ორბიტა, ხოლო მესამე წრე—გარე ცთომილის (მაგალითად, მარსის) ორბიტა. T არის დედამიწიდან გაზაფხულის დღელამსწორობის წერტილისაკენ გატარებული მიმართულება.

ამ მიმართულებიდან აითვლება გრძედები, მარჯვნიდან მარცხნივ.

დედამიწის T მდებარეობისათვის ვენერას შიდა შეერთება იქნება V და გარე შეერთება იქნება V' . გარე ცთომილისთვის, მაგალითად, მარსისთვის შეერთება იქნება M მდებარეობაში. შეერთების დროს, ცხადია, ცთომილი არ გამოჩნდება, რადგან იკარგება მზის სიკაშკაშეში.

როცა ცთომილისა და მზის

გრძედები ერთმანეთისგან განსხვავდება 180° -ით, მაშინ ამბობენ, რომ ცთომილი პირისპირ დგომაში, ანუ ოპოზიციაში იმყოფება. დედამიწის T მდებარეობისათვის მარსის ოპოზიცია იქნება M' მდებარეობაში. შიდა ცთომილებისთვის ოპოზიცია არ შეიძლება.

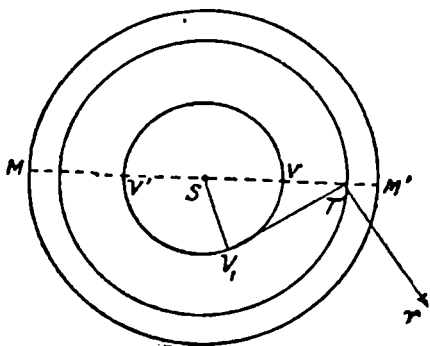
ცთომილებისთვის, ისე როგორც მთვარისთვის, არჩევენ სინოდურ და სიდერულ შემობრუნებას. სიდერული, ანუ ვარსკვლავიერი შემობრუნება არის ის დრო, რომლის განმავლობაშიც ცთომილი გარს უყლის მზეს. სინოდური შემობრუნება არის ორ შეერთებას ან ორ პირისპირ დგომას შორის გასული დრო. აღენიშნოთ S -ით სინოდური შემობრუნების სიდიდე, T -თი—სიდერული შემობრუნების სიდიდე, ხოლო E -თი—წლის სიდიდე. მაშინ შიდა ცთომილისთვის, როგორც მთავარისათვის (იხ. § 7a); მიიღება ფორმულა

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}. \quad (1)$$

ანალოგიურად მიიღება გარე ცთომილისთვის:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T}. \quad (2)$$

* ჰელიოცენტრული სისტემა საშუალებას იძლევა გაგებულ იქნას შეფარდებითი მანძილები, ანუ ცთომილიდან მზემდე მანძილი შეიძლება გამოსახულ იქნას დედამიწიდან მზემდე მანძილით. ვიგულისხმობთ, რომ ცთომილები მზის გარშემო მოძრაობს წრეხაზზე. შიდა ცთომილი განვიხილოთ უდიდესი ელონგაციის დროს. ვენერას უდიდესი ელონგაცია იქნება STV_1 კუთხე (ნახ. 94), როცა TV_1 მიმართულება ეხება ვენერას

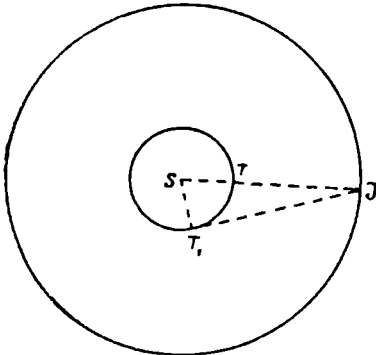


ნახ. 94.

ორბიტს. დაკვირვებით ცნობილია, რომ დაახლოებით $\angle STV_1 = 48^\circ$ -ს. STV_1 სამკუთხედიდან გვექნება:

$$\frac{SV_1}{ST} = \frac{\sin 48^\circ}{\sin 90^\circ} = 0,73. \quad (3)$$

* გარე ცთომილისთვის, მავალითად, იუპიტერისთვის ცნობილია სინოდური შემობრუნება, ე. ი. დრო ორ პირისპირ დგომას შორის. (2) ფორმულით გამოითვლება სიდერული შემობრუნება T , რაც უდრის 11 წელს და 315 დღეს. ვთქვათ, რაიმე მომენტში იუპიტერი არის პირისპირ



ნახ. 95.

დგომაში I წერტილში. 11 წლისა და 315 დღის შემდეგ იუპიტერი დაბრუნდება I წერტილში. ამ ხნის განმავლობაში დედამიწის მეთორმეტჯერ შემობრუნებას უკლია $365 - 315 = 50$ დღე-ღამე. დღე-ღამეში დედამიწა საშუალოდ გადაინაცვლებს $0^\circ,983$, ხოლო 50 დღე-ღამეში გადაინაცვლებს $50 \cdot 0^\circ,983 = 49^\circ$. ამიტომ დედამიწა იქნება T_1 წერტილში, ისე რომ T_1ST კუთხე უდრის 49° -ს. დედამიწიდან მზისკენ და იუპიტერი-სკენ მიმართულებათა შორის კუთხე

IT_1S უშუალოდ გაიზომება; აღმოჩნდა, რომ ის უდრის 120° -ს, ამიტომ კუთხე $T_1IS = 11^\circ$. IT_1S სამკუთხედიდან გვექნება:

$$\frac{SI}{ST_1} = \frac{\sin 120^\circ}{\sin 11^\circ} = \frac{0,866}{0,191} = 5,2. \quad (4)$$

ამრიგად ყველა ცთომილის მზისგან დაშორება დედამიწიდან მზემდე მანძილის მასშტაბში გამოითვლება.

† *b)* ტიპო ბრაჰე და კეპლერი. კეპლერის კანონები \curvearrowright

XVI საუკუნის მეორე ნახევარში ზუსტი დაკვირვებით სახელი გაითქვა დანიელმა ასტრონომმა ტიპო ბრაჰემ, რომელმაც მეფის დახმარებით კუნძულ ზეანზე ააშენა ობსერვატორია. მისი დაკვირვების შეცდომა არ აღემატებოდა $2'$ -ს, რაც იმ დროისთვის დიდია. მიღწევა იყო. ტიპო არ იზიარებდა არც პტოლომეს და არც კოპერნიკის შეხედულებას. პირველის შესახებ ის ამბობდა, რომ შეუძლებელია ცთომილი მოძრაობდეს სიცარიელის, ე. ი. ეპიცენტრის ცენტრის გარშემო. ჰელიოცენტრულ სისტემაზე კი ამბობდა: დედამიწა რომ მოძრაობდეს მზის ცენტრის გარშემო, მაშინ ვარსკვლავები წლის განმავლობაში ცის სფეროზე პატარა წრეებს უნდა აღწერდესო. ეს უკანასკნელი აზრი ერთადერთი მეცნიერუ-

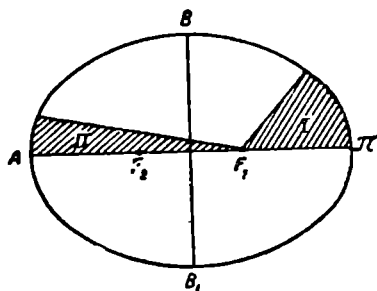
ლი არგუმენტი იყო კოპერნიკის წინააღმდეგ, რომლის მნიშვნელობაც შემდეგ იქნა გამოაკვეული (იხ. § 18 d). ტიპომ თვითონ შექმნა რაღაც საშუალო სისტემა. მისი აზრით, ცთომილები მოძრაობს მზის გარშემო და ყველა ერთად დედამიწის გარშემო. 1601 წელს ტიპომ გარდაიცვალა და თავის ასისტენტს იოჰან კეპლერს დაავალა დაემუშაებინა მისი დაკვირვებანი მისივე სისტემის მიხედვით. მაგრამ კეპლერი კოპერნიკის მიმდევარი აღმოჩნდა და ცთომილთა მდებარეობაზე ტიპოს მდიდარი დაკვირვებითი მასალა ჰელიოცენტრული სისტემის თვალსაზრისით დაამუშავა. ამ პარაგრაფის a) საკითხში განხილული ხერხით კეპლერს შეეძლო შეფარდებითი მანძილების გაგება. აღმოჩნდა, რომ ერთი რომელიმე ცთომილის მანძილები მზემდე არ იყო ერთი და იგივე, არამედ იცვლებოდა. ე. ი. ცთომილის გზა, ანუ ორბიტა არ იყო წრე. ექსცენტრულად (მზე არა ცენტრში) აღებული წრეც არ აკმაყოფილებდა ცთომილის მოძრაობას. შემდეგ კეპლერმა უარყო წრეულად მოძრაობის უძველესი იდეა. ცთომილთა ორბიტებისთვის შინჯა ოვოიდი და სხვა მრუდები. მრავალი შინჯის შემდეგ კეპლერმა აღმოაჩინა, რომ ცთომილები მოძრაობს ელიფსზე და დაადგინა ორი კანონი:

პირველი კანონი: ცთომილები მოძრაობს მზის გარშემო ელიფსზე, რომელს ერთ-ერთ ფოკუსში იმყოფება მზე.

მეორე კანონი: ცთომილის რადიუს ვეზრის მიერ აღწერილი ფართი დროის პროპორციულია. ამ მეორე კანონს, აგრეთვე, ფართთა კანონი ეწოდება.

ვთქვათ, 96 ნახაზზე მოცემული ელიფსი გამოსახავს ცთომილის გზას, ანუ ორბიტას. მზე იმყოფება ერთ-ერთ ფოკუსში, მაგ., F_1 -ში. II არის ორბიტის უახლოესი წერტილი, ანუ პერიჰელიუმი. A არის ორბიტის უშორესი წერტილი, ანუ აფელიუმი. AI არის დიდი ღერძი, ხოლო AO ან ON — დიდი ნახევარღერძი¹. $BO = OB_1$ არის პატარა ნახევარღერძი.

მეორე კანონი ამბობს, რომ თანასწორ დროში აღწერილი ფართები თანასწორია. თუ 96 ნახაზზე წახაზული I და II ფართები აღწერილია თანასწორ დროში, მაშინ ისინი თანასწორია.



ნახ. 96.

აღნიშნული ორი კანონი კეპლერმა გამოაქვეყნა 1609 წელს. ათი წლის მუშაობის შემდეგ კეპლერმა აღმოაჩინა დამოკიდებულება გარემოქცევის პერიოდსა და დიდ ნახევარ ღერძს შორის, რაც ჩამოაყალიბა მესამე კანონის სახით.

მესამე კანონი: ცთომილთა გარემოქცევის დროის კვადრატები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი ორბიტების დიდი ნახევარღერძის კუბები.

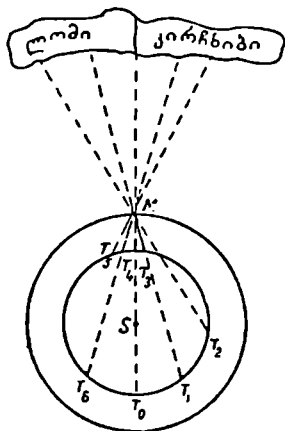
¹ O უნდა იყოს ცენტრში.

თუ ორი ცთომილის გარემოქცევის პერიოდებს აღვნიშნავთ T_1 და T_2 -თი, ხოლო დიდ ნახევარღერძებს a_1 და a_2 -თი, მაშინ შესაძლებელია კანონი ასე დაიწერება:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (5)$$

* *c*) უკუსვლითი მოძრაობის სიდიდე და ხანგრძლიობა

უკუსვლითი მოძრაობის ზოგადი ხასიათის გამოსარკვევად, ცთომილთა ორბიტები ერთ-მსიბრტყეზე მდებარე წრეების სახით წარმოვიდგინოთ. S იყოს მზე, K პირველი წრე იყოს დედამიწის ორბიტა, ხოლო მეორე წრე რომელიმე გარე ცთომილის ორბიტა. განვიხილოთ გარე ცთომილის გარკვეული M მდებარეობა და ვნახოთ როგორ იცვლება მისი მოძრაობა დედამიწის მოძრაობის გამო.



ნახ. 97.

დედამიწის T_0 მდებარეობიდან M გარე ცთომილი გამოჩნდება T_0M მიმართულებით და, ვთქვათ, ის გეგმილდება კირჩხიბის თანავარსკვლავედში. დედამიწის T_1 მდებარეობიდან M გამოჩნდება T_1M მიმართულებით, ვთქვათ, ლომის თანავარსკვლავედში. T_2 მდებარეობიდან გამოჩნდება ისევე ლომის თანავარსკვლავედში, მაგრამ უფრო აღმოსავლეთით. დედამიწის T_3 , T_2 მდებარეობისათვის M გარე ცთომილის მოძრაობა იყო პირდაპირი. დედამიწის T_3 მდებარეობიდან M გამოჩნდება T_3M მიმართულებით კირჩხიბის

თანავარსკვლავედში. T_2 და T_3 -ს შორის, სადღაც იყო M -ის შეჩერებების მომენტი, რომლის შემდეგ დაიწყო უკუსვლითი მოძრაობა. ყველაზე სწრაფი უკუსვლითი მოძრაობა იქნება T_4 მდებარეობაში, როცა M ოპოზიციასაა.

დედამიწის T_6 მდებარეობაში M განაგრძობს უკუსვლით მოძრაობას, ხოლო T_6 მდებარეობაში M უკვე წინსვლითად მოძრაობს. მათ შორის სადღაც არის მეორე შეჩერების მომენტი.

გარეცთომილის მოძრაობის დროს სურათი რთულდება, მაგრამ ზოგადი ხასიათი ისეთივე რჩება.

განვიხილოთ დედამიწის რა მდებარეობისთვის იქნება M გარე ცთომილის შეჩერების მომენტი. უკუსვლით მოძრაობა სიმეტრიულია ST_0M_0 (ნახ. 98) ხაზის მიმართ და საკმარისია განვიხილოთ მხოლოდ მეორე შეჩერების მომენტი.

TMS სამკუთხედში აღვნიშნოთ $\angle MTS = \psi$, $\angle TMS = M$ და $\angle TSM = S$.

დედამიწის კუთხური სიჩქარე აღენიშნოთ n -ით, გარე ცთომილის კუთხური სიჩქარე n_1 -ით, მაშინ $S=(n-n_1)t$, სადაც t დროს ავთვლით შეერთების მომენტიდან. $\psi + S + M = 180^\circ$ -ს. აქედან

$$\Delta\psi = -(n-n_1)\Delta t - \Delta M. \quad (6)$$

თუ Δt დროის განმავლობაში გარე ცთომილის მოძრაობა ისეთი იქნა, რომ დედამიწის T -დან T_1 -მდე გადაადგილების დროს M გარე ცთომილი უძრავად ჩანდა, მაშინ $M_1 T \parallel MT$ -ს. M_1 -დან გავატაროთ MS -ის პარალელური $M_1 S_1 \parallel MS$ -ს, მაშინ $\angle T_1 M_1 S_1 = \angle TMS$ და $\angle S_1 M_1 S = \Delta M = \angle M_1 S M$. მაგრამ ეს უკანასკნელი კუთხე არის გარე ცთომილის მიერ მზის გარშემო აღწერილი კუთხე Δt დროში, ე. ი. $\Delta t \cdot n_1$, ამიტომ $\Delta M = n_1 \Delta t$ და (6)-დან ვღებულობთ:

$$\frac{d\psi}{dt} = -n. \quad (7)$$

დედამიწის ორბიტის რადიუსი მივიღოთ ერთის ტოლად, ცთომილის ორბიტის რადიუსი აღენიშნოთ r -ით, მაშინ $M T S$ სამკუთხედიდან

$$\sin \psi = \frac{r \sin S}{\sqrt{1+r^2-2r \cos S}}, \quad (8)$$

აქედან

$$\cos \psi \, d\psi = \frac{r \cos S (1+r^2-2r \cos S) - r^2 \sin^2 S}{(1+r^2-2r \cos S)^2} dS. \quad (9)$$

$\cos \psi = -\sqrt{1 - \frac{r^2 \sin^2 S}{1+r^2-2r \cos S}} = \frac{1-r \cos S}{\sqrt{1+r^2-2r \cos S}}$, რადგან ψ ზღაგვია.

აღნიშვნის თანახმად $dS=(n-n_1)dt$. ეს და (7) ჩავსვათ (9)-ში, გამარტივების შემდეგ მივიღებთ

$$(r \cos S - 1) n = \left[r \cos S - \frac{r^2 \sin^2 S}{1+r^2-2r \cos S} \right] (n-n_1),$$

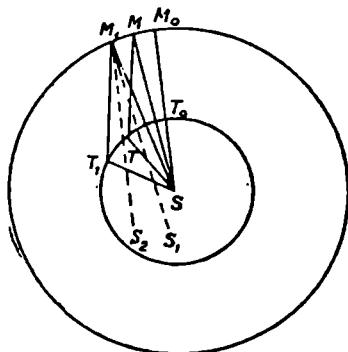
ანუ

$$\cos^2 S [r^2 (n+n_1)] - \cos S [2n+n_1 r(1+r^2)] + n+n_1 r^2 = 0. \quad (10)$$

(10) განტოლების ამოხსნისათვის აღენიშნოთ $r \cos S = X$, $n+n_1 = A$, $-[(n+n_1)+(n+n_1 r^2)] = B$ და $C = n+n_1 r^2$; მაშინ მივიღებთ

$$AX^2 + BX + C = 0. \quad (11)$$

ამავე დროს $A+C = -B$.



ნახ. 98.

(11)-ის ამოხსნა იქნება $X = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$, მაგრამ $B^2 = A^2 + 2AC + C^2$ და ვლებულობთ.

$$X = \frac{-B \pm \sqrt{(A-C)^2}}{2A} = \frac{A+C \pm (A-C)}{2A},$$

აქედან $X_1 = 1$. $X_2 = \frac{C}{A}$.

პირველი ფესვი არ გამოდგება, ვინაიდან გვაძლევს $r \cos S = 1$, ხოლო ჩვენ $\cos \psi$ -ის ფორმულაში ვიკულისხმეთ $1 - r \cos S < 0$, მეორე ფესვი გვაძლევს $r \cos S = \frac{n + n_1 r^2}{n + n_1}$, ანუ

$$\cos S = \frac{n + n_1 r^2}{(n + n_1) r}. \quad (12)$$

გამოთვლილი $S < T_1 S M_1$ -ს, გავატაროთ M_1 -დან $M_0 S$ -ის პარალელური $M_1 S_2 \parallel M_0 S$. მაშინ $\angle T_1 M_1 S_2$ არის უკუსვლითი მოძრაობა ოპოზიციის შემდეგ, რაშიც დავრწმუნდებით, თუ გავატარებთ T_1 -დან $S M_0$ -ის პარალელურს. $\angle S_2 M_1 S = \angle M_1 S M_0$ -ს არის გარე ცთომილის მოძრაობა ოპოზიციიდან შეჩერების მომენტამდე, რაც უდრის $n_1 t$ -ს. $T_1 M_1 S$ სამკუთხედიდან გამოვითვლით ψ -ს (6) ფორმულით და შემდეგ M -ს, $M = 180^\circ - (\psi + S)$. ამის შემდეგ უკუსვლითი მოძრაობა ოპოზიციის შემდეგ იქნება $M - n_1 t$. შთელი უკუსვლითი მოძრაობა კი ორჯერ მეტია.

უკუსვლითი მოძრაობის ხანგრძლიობა ოპოზიციის შემდეგ იქნება $S: (n - n_1)$. ამდენივე დროს გრძელდება უკუსვლითი მოძრაობა ოპოზიციამდე და, ამრიგად, უკუსვლითი მოძრაობის სრული ხანგრძლიობა უდრის $2S: (n - n_1)$ -ს.

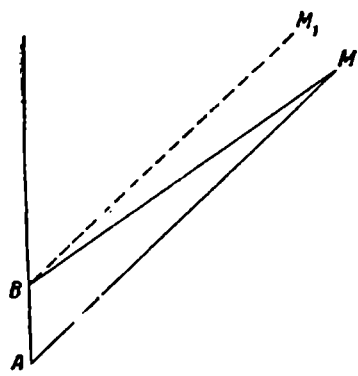
შიდა ცთომილისთვის $\frac{d\psi}{dt} = n$ -ს, $\cos \psi > 0$, $n_1 > n$ -ზე და მიიღება იგივე (10) ფორმულა. S -ის და ψ -ს გამოთვლის შემდეგ უკუსვლითი მოძრაობა იქნება $2(\psi - nt)$ და უკუსვლითი მოძრაობის ხანგრძლიობა $2S: (n_1 - n)$.

§ 18. დამკვირვებლის მოძრაობით გამოწვეული გადაადგილება

ა) პარალაქსური გადაადგილება. დღელამური პარალაქსი

როცა დამკვირვებელი ადგილს იცვლის, მაშინ რაიმე საგანი მას სხვადასხვა მიმართულებით ეჩვენება. მაგალითად, მყინვარწვერს თბილისიდან ვხედავთ რაიმე გარკვეული მიმართულებით; თუ გორში წავალთ, მაშინ მყინვარწვერი სხვა მიმართულებით გამოჩნდება. საგნის ასეთნაირ გადაადგილებას, რომელიც გამოწვეულია დამკვირვებლის მიერ ადგილის გამოცვლით, ეწოდება პარალაქსური გადაადგილება. ვთქვათ, დამკვირ-

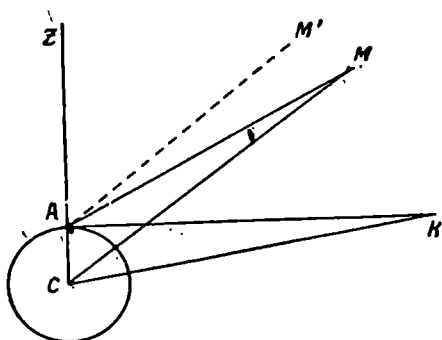
ვებელი A -დან M საგანს ხედავს AM მიმართულებით (ნახ. 99), თუ დამკვირ-
 ვებელი B წერტილში გადავიდა, მაშინ ის M საგანს დაინახავს BM მიმარ-
 თულებით. B -დან გავატაროთ AM -ის პარალელური BM_1 . მიმართულების
 შეცვლა, ანუ პარალაქსური გადაადგი-
 ლება ამ შემთხვევაში იქნება $\angle M_1BM$.
 ეს კუთხე უდრის M წერტილთან შექ-
 მნილ კუთხეს AMB -ს, რომელიც დამ-
 კვირებლის დგომის საწყის და ბო-
 ლო წერტილზე დაყრდნობილი.



ნახ. 99.

მოდრაობა დედამიწის ზედაპირზე
 სხვადასხვა მიმართულებით და სხვა-
 დასხვა სიდიდით შეიძლება. მეცნიე-
 რებაში ასეთი გაურკვეველი სიდიდე
 არ გამოდგება და მიღებულია დამ-
 კვირებლის ისეთი გადასვლა, რო-
 მელიც აღებული წერტილისთვის
 ერთი და იგივეა; თუმცა ეს გადას-
 ვლა ფიქტიურია, მაგრამ ამას არა აქვს მნიშვნელობა. ასეთ გადასვლად-
 მიღებულია დამკვირვებლის წარმოსახვითი გადასვლა დედამიწის ზედა-
 პირიდან მის ცენტრში. მნათობის მიმართულების შეცვლას ამ შემთხვე-
 ვაში ეწოდება დღელაპური პარალაქსი. 100 ნახაზზე წრე გამოსახავს

დედამიწას. დამკვირვებელი A
 წერტილიდან M მნათობს დაინა-
 ხავს AM მიმართულებით. C ცენ-
 ტრიდან K იგივე მნათობი გამოჩ-
 ნდებოდა CM მიმართულებით.
 გავატაროთ CM -ის პარალელური
 AM' . ცხადია, მნათობის მიმარ-
 თულების შეცვლა არის $\angle M'AM$
 და ეს უდრის $\angle AMC$ -ს. ამიტომ
 შეიძლება ითქვას, რომ დღელა-
 მური პარალაქსი არის მნათობთან
 შექმნილი კუთხე, რომლის გვერ-
 დები დაყრდნობილია დამკვირ-



ნახ. 100.

ვებლის წერტილში გამავალ დედამიწის რადიუსზე.
 რაც უფრო მალაღბეა მნათობი, იმდენად მისი დღელამური პარა-
 ლაქსი მცირეა (თუ მანძილი უცვლელი რჩება). ზენიტში მყოფი მნათო-
 ბისთვის დღელამური პარალაქსი ნულია, რადგან მნათობი რადიუსის
 გაგრძელებაზეა. პარალაქსი უდიდესია, როცა მნათობი ჰორიზონტში
 იმყოფება. ამრიგად, მნათობის დღელამური პარალაქსი დამოკიდებულია
 ჰორიზონტიდან მის სიმაღლეზე. სიმაღლე კი იცვლება დღელამის გან-

მავლობაში და აქედან წარმოსდგება ტერმინი „დღელამური პარალაქსი“. პორიზონტში მყოფ მნათობის პარალაქსს უწოდებთ ამ მნათობის პორიზონტულ პარალაქსს და აღვნიშნავ π ასოთი. ჩვეულებრივ პარალაქსს კი აღვნიშნავთ p ასოთი. M წერტილისთვის $p = \angle AMC$ -ს და K წერტილისთვის $\pi = \angle AKC$ -ს.

✦ *ბ) პარალაქსი და მანძილი.* პარალაქსის გავლენა ზენიტურ მანძილზე

A წერტილში M მნათობის ზენიტური მანძილი იქნება $Z_1 = \angle ZAM$ (ნახ. 100) და მას ეწოდება ხილული ზენიტური მანძილი. C წერტილში კი ზენიტური მანძილი იქნება $Z = \angle ZCM$ და ეწოდება გეოცენტრული ზენიტური მანძილი. AMC სამკუთხედში Z_1 არის გარე კუთხე, ამიტომ

$$Z_1 = Z + p, \quad (1)$$

ე. ი. პარალაქსი აღიღებს ზენიტურ მანძილს და ამცირებს სიმაღლეს.

მნათობის დაშორება დედამიწის ცენტრიდან აღვნიშნოთ D -თი, დედამიწის რადიუსი r -ით. ACK სამკუთხედიდან

$$\sin \frac{r}{D} = \sin \pi, \quad (2)$$

აქედან თუ ცნობილია პორიზონტული პარალაქსი, გაიგება მანძილი

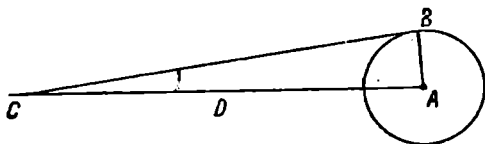
$$D = \frac{r}{\sin \pi}. \quad (3)$$

ვინაიდან პარალაქსი მცირე კუთხეა, მისი სინუსი (და ტანგენსი) შეიცვლება თვით კუთხით, თუ კუთხეს გამოვსახავთ რადიანულ ზომაში,

ე. ი. $\sin \pi = \frac{\pi''}{206265}$ (იხ. § 4*d*) და (3) მიიღებს სახეს:

$$D = 206265 \frac{r}{\pi''}. \quad (3')$$

მანძილის გაგების შემდეგ ხილული კუთხობრივი რადიუსით გაიგება მნათობის ნამდვილი სიდიდე. ვთქვათ, მნათობის რადიუსი $R = AB$



ნახ. 101.

დედამიწიდან ჩანს ρ კუთხით, $\angle ACB = \rho$ (ნახ. 101). მაშინ $R = D \operatorname{tg} \rho$.

ჩავსვათ D (3) ფორმულიდან, გვექნება $R = \frac{r \operatorname{tg} \rho}{\sin \pi}$ ანუ მცირე კუთხეების გამო

$$R = \frac{r \rho''}{\pi''}. \quad (4)$$

ამ ფორმულით გამოითვლება მნათობის რადიუსის ხაზობრივი სიდიდე.

* ACM სამკუთხედიდან $\frac{r}{D} = \frac{\sin p}{\sin Z_1}$, (2) ფორმულის თანახმად,

გვექნება

$$\sin p = \sin \pi \sin Z_1 \quad (5)$$

* აქაც p და π მცირე კუთხეების სინუსები შევცვალოთ კუთხეებით. (1)-ის თანახმად, $p = Z_1 - Z$. ამიტომ (5) შიიღებს სახეს:

$$\sin Z_1 - \sin Z = \sin \pi \sin Z_1 \quad (5')$$

ასეთია პარალაქსის გავლენა ზენიტურ მანძილზე.

* c) პარალაქსის განსაზღვრა დაკვირვებით. მზის პარალაქსი

ჰორიზონტული პარალაქსის განსაზღვრისათვის აკვირდებიან მნათობს ორი ობსერვატორიიდან, რომელიც დაახლოებით ერთსა და იმავე მერიდიანზე მდებარეობს და დაშორებულია ერთმანეთისაგან რაც შეიძლება დიდი მანძილით. ამ შემთხვევაში მნათობი ორივე ობსერვატორიაში თითქმის ერთდროულად გაივლის კულმინაციაში, რის გამოც მისი გეოცენტრული დახრილობა (და პარალაქსი) ერთი და იგივე იქნება, ხოლო ობსერვატორიების დიდი სიშორის გამო ხილული დახრილობა განსხვავებული გამოვა.

აღნიშნოთ გეოცენტრული დახრილობა და ზენიტური მანძილი δ , Z -ით, პირველი ობსერვატორიისთვის განედი, დახრილობა და ზენიტური მანძილი φ_1 , δ_1 , Z_1 -ით, ხოლო მეორე ობსერვატორიისთვის — φ_2 , δ_2 , Z_2 -ით.

კულმინაციის დროს პირველი ობსერვატორიისთვის: $Z_1 = \varphi_1 - \delta_1$ და გეოცენტრული $Z = \varphi_1 - \delta$, აქედან $Z_1 - Z = \delta - \delta_1$.

(5') ფორმულის თანახმად, გვექნება

$$\sin Z_1 = \sin(\delta - \delta_1)$$

ასევე მეორე ობსერვატორიისთვის მივიღებთ

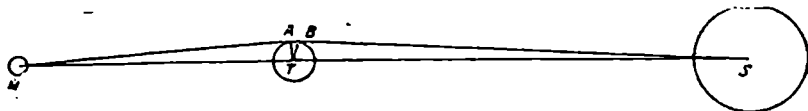
$$\sin Z_2 = \sin(\delta - \delta_2)$$

ამათი სხვაობით განისაზღვრება აღებულ მნათობის ჰორიზონტული პარალაქსი

$$\pi = \frac{\delta_2 - \delta_1}{\sin Z_1 - \sin Z_2} \quad (6)$$

როგორც (3) ფორმულიდან ჩანს, პარალაქსი მანძილის უკუპროპორციულია. ყველაზე დიდი პარალაქსი აქვს მთვარეს; საშუალოდ ის 57'-ს უდრის, მაგრამ შეიძლება 4'-ით მეტი ან ნაკლები იყოს, მთვარემდე მანძილის ცვლილებასთან დაკავშირებით. დაიწერება $\pi \approx 57'$. ამ პარალაქსით საშუალო მანძილი მთვარემდე გამოდის 384400 კილომეტრი.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მზის პარალაქსის განსაზღვრა, რადგან მისი საშუალებით განისაზღვრება ასტრონომიული ერთეული—დედამიწიდან მზემდე მანძილი. სამზერი მილის მიმართვა კაშკაშა მზის ცენტრზე არ შეიძლება, რის გამოც მზის პარალაქსი უშუალოდ არ განისაზღვრება და მიმართავენ არაპირდაპირ ხერხს; ყველაზე უფრო პოპულარულია მარსის საშუალებით განსაზღვრა. აკვირდებიან მარსს ოპოზი-



ნახ. 102.

ციის ანუ პირისპირდგომის დროს. ამ დროს მარსი უახლოესს მანძილზეა დედამიწასთან და პარალაქსიც კარგად განისაზღვრება. 192 წახაზზე S არის მზე, T დედამიწა, M მარსი. მარსის ჰორიზონტული პარალაქსი π_M განისაზღვრება ფორმულით $\sin \pi_M = \frac{AT}{TM}$, მზის პარალაქსი კი ფორმულით $\sin \pi_\odot = \frac{BT}{ST}$. აქედან $ST \cdot \sin \pi_\odot = TM \sin \pi_M$, რადგან $AT = BT$ -ს. აღენიშნოთ დედამიწიდან მზემდე მანძილი $ST = a$ -თი, ხოლო მარსიდან მზემდე მანძილი $SM = a_1$ -ით. მაშინ $TM = a_1 - a$. ჩავსვათ ეს ზემო ტოლობაში მივიღებთ:

$$\sin \pi_\odot = \frac{a_1 - a}{a} \sin \pi_M,$$

მცირე კუთხეების სინუსები შევცვალოთ კუთხეებით გვექნება

$$\pi''_\odot = \left(\frac{a_1}{a} - 1 \right) \pi''_M. \quad (7)$$

აქ მარსის ჰორიზონტული პარალაქსი π''_M განისაზღვრება უშუალო დაკვირვებით; კეპლერის მესამე კანონის თანახმად, შეფარდება $\frac{a_1}{a} = \sqrt[3]{\frac{T_1^2}{T^2}}$ და გამოითვლება მზის პარალაქსი. აღსანიშნავია, რომ

(7) ფორმულაში კოეფიციენტი $\frac{a_1}{a} - 1 = 0,52$, რის გამოც მარსის პარალაქსში დაშვებული შეცდომა მზის პარალაქსში სანახევროდ გადადის და ეს უკანასკნელი უფრო ზუსტი გამოვა. მარსის მაგიერ მზის პარალაქსის განსაზღვრისათვის შეიძლება ავიღოთ მცირე ცთომილი. დაკვირვება და მზის პარალაქსის განსაზღვრა იმავე წესით იწარმოებს როგორც ზევით იყო აღნიშნული, მაგრამ მცირე ცთომილი ტელესკოპში ჩანს წერლის სახით და მასზე უფრო ზუსტად შეიძლება მივმართოთ სამზერი მილი.

სხვადასხვა მეცნიერს მზის პარალაქსი სხვადასხვა სიდიდის გამოუდი-
ოდა. საერთაშორისო შეთანხმებით მიღებულია მზის საშუალო პარა-
ლაქსი $\pi_{\odot} = 8'',80$, რაც მზემდე საშუალო მანძილისთვის გვაძლევს
149.500.000 კილომეტრს.

უკანასკნელი დროის გამოკვლევები ექვს ბადებენ მზის პარალაქსის
სისწორეში, ფიქრობენ რომ იგი ცოტათი უფრო ნაკლებია ზემოაღნიშ-
ნულ სიდიდებზე. თუ ეს ასეა, მაშინ მზემდე მანძილი ცოტათი უფრო
დიდი იქნება.

ქ d) წლიური პარალაქსი

დღელამური პარალაქსი გამოიყენება მზის სისტემის ფარგლებში.
ვარსკვლავებისთვის კი მას აზრი არა აქვს, ვინაიდან დიდი სიშორის გა-
მო დედამიწის რადიუსი უახლოეს ვარსკვლავთანაც კი, შეიძლება ითქვას,
არავითარ კუთხეს არ ჰქმნის. მაგრამ ვარსკვლავებისთვის მნიშვნელობა
აქვს იმ გადაადგილებას, რომელსაც ასრულებს დამკვირვებელი დედა-
მიწის მზის გარშემო მოგზაურობის დროს.

ვთქვათ, 103 ნახაზზე ცენტრში არის მზე,

ხოლო A, B, C, D ოვალი დედამიწის ორ-

ბიტა. დედამიწის A მდებარეობიდან M მნა-

თობი გამოჩნდება AM მიმართულებით და

ცის სფეროზე ის დაგეგმილდება სადმე a

წერტილში. დედამიწის B მდებარეობიდან

იგივე მნათობი გამოჩნდება BM მიმართუ-

ლებით და დაგეგმილდება b წერტილში. C

მდებარეობიდან დაგეგმილდება c წერტილში

და D მდებარეობიდან d წერტილში. ამრი-

გად, მნათობი ყოველთვის გადახრილი იქნება

იმ მხარეს, საითაც ჩანს დედამიწიდან მზე და

წლის განმავლობაში ცის სფეროზე აღწერს

პატარა ელიფსს. დაკვირვებით დიდხანს ვარ-

სკვლავთა არავითარი გადაადგილება არ იყო

აღმოჩენილი და ეს დამაჯერებლობას უქარ-

გავდა კოპერნიკის სისტემას, რასაც მიუთი-

თებდა ჯერ კიდევ ტიჰო ბრაჰე. კოპერნი-

კის მიმდევრები ამას ხსნიდნენ ვარსკვ-

ლავთა* დიდი დაშორებით, რის გამოც მათი გადაადგილება ძლი-

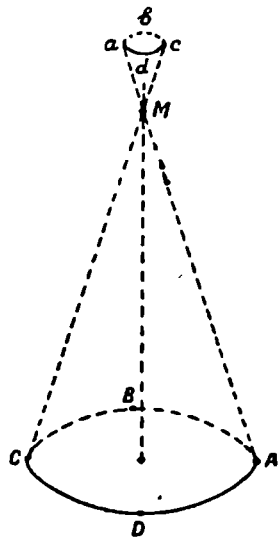
ერ მცირე უნდა იყოსო. შემდეგ, გულმოდგინედ ეძებდნენ ვარსკვლავთა

პარალაქსურ გადაადგილებას, მაგრამ დიდხანს ვერ აღმოაჩინეს. მხო-

ლოდ XIX საუკუნის ორმოციან წლებში სამმა მეცნიერმა: სტრუვემ (რუ-

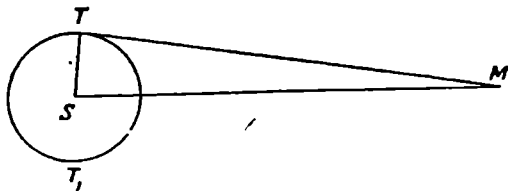
სეთში), ბესელმა (გერმანიაში) და ჰენდერსონმა (სამხრეთ აფრიკაში)

ერთდროულად აღმოაჩინეს ვარსკვლავთა წლიური პარალაქსი.



ნახ. 103.

წლიური პარალაქსი ეწოდება სწორკუთხოვანი სამკუთხედის იმ მცირე-კუთხეს, რომლის წვერო იმყოფება მნათობზე, ხოლო გვერდები დაყრდნობილია დედამიწის ორბიტის რადიუსზე. 104 ნახაზზე წლიური პარალაქსი $p = \angle TMS$. ნახევარ წელიწადში დედამიწა T -დან T_1 -ში გადავა



ნახ. 104.

და მნათობი გამოჩნდება T_1M მიმართულებით. ცხადია, წლიური პარალაქსი უდრის TMT_1 კუთხის ნახევარს. წლიური პარალაქსის გასაგებად აკვირდებიან მნათობს, როცა მისი მიმართულება მზის მიმართულებასთან ჰქმნის სწორ კუთხეს (T და S კუთხეები მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისაგან). ნახევარი წლის შემდეგ გაიმეორებენ დაკვირვებას. მიმართულების შეცვლის ნახევარი უდრის წლიურ პარალაქსს.

წლიური პარალაქსით გაიგება მანძილი ვარსკვლავამდე. დედამიწის ორბიტის რადიუსი აღვნიშნოთ a -თი, ხოლო მანძილი დედამიწიდან ვარსკვლავამდე D -თი. მაშინ $\frac{a}{D} = \sin p$, აქედან $D = \frac{a}{\sin p}$. რადგან p მცირეა სინუსს შევცვლით თვით კუთხით რადიანულ ზომაში და გვექნება

$$D = \frac{206\,265\,a}{p''} \quad (8)$$

ამ ფორმულით გაიგება მანძილი ვარსკვლავამდე, თუ პარალაქსი ცნობილია.

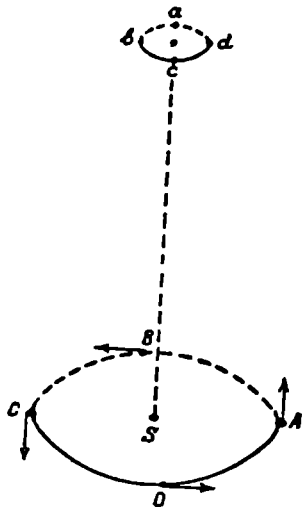
ვარსკვლავთა წლიური პარალაქსი მცირე სიდიდეა. უდიდესი პარალაქსი აქვს α ცენტავრს, რაც უდრის $0'',75$. ეს ვარსკვლავი იმყოფება ჩვენგან $4\frac{1}{3}$ სინათლის წლის მანძილზე, ე. ი. $4\frac{1}{3}$ წელი გაივლის სანამ სინათლე ამ ვარსკვლავიდან ჩვენამდე მოაღწევდეს.

† ე) სინათლის აბერაცია

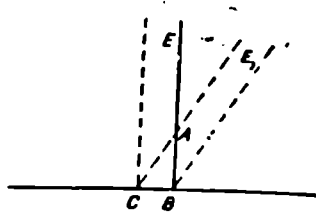
1828 წელს ინგლისელმა ბრადლეიმ აღმოაჩინა ვარსკვლავის მდებარეობის ცვლილება წლიური პერიოდით. მეცნიერს ეგონა, რომ მან წლიური პარალაქსი აღმოაჩინა, მაგრამ ეს იყო სხვა მოვლენა, რომელსაც შემდეგ სინათლის აბერაცია უწოდეს. პარალაქსური გადაადგილება დამოკიდებულია მხოლოდ დამკვირვებლის საწყისის და ბოლო ადგილსამყოფელზე. სინათლის აბერაცია კი დამოკიდებულია დამკვირვებლის მოძრაობის სიჩქარეზე. თუ წვიმაში მოძრავ თავლია მანქანაზე დავდგებით, ჩვენ დავსველდებით იმ მხრიდან, საითაც მიდის მანქანა; ჩვენ გვეჩვენება, რომ წვიმის წვეთები დახრილად ეცემა. ასევე, დედამიწის მოძრაობის

გამო ხდება სინათლის სხივის მოჩვენებითი გადახრა იმ მხარეს, საითაც მოძრაობს დედამიწა და მნათობიც გადახრილი გვეჩვენება. *A* მდებარეობაში დედამიწა მოძრაობს ორბიტის მხების მიმართულებით, რაც მიმართულია ნახაზის სიბრტყის უკანა მხარეს (ნახ. 105). *M* მნათობიც იქით გადაიხრება და ვხედავთ მას *a* წერტილში. დედამიწის *B* მდებარეობაში სხივი გადაიხრება მხების მიმართულებით და მნათობი გამოჩნდება *b* წერტილში. დედამიწის *C* მდებარეობაში სხივი გადაიხრება ნახაზის სიბრტყიდან ჩვენსკენ და მნათობი გამოჩნდება *c* წერტილში. *D* მდებარეობაში კი მნათობი გამოჩნდება *d* წერტილში. ამრიგად აბერაციის გამოც ვარსკვლავები წლის განმავლობაში ცის სფეროზე აღწერს ელიფსებს, მაგრამ ეს ელიფსები უფრო დიდია წლიური პარალაქსის ელიფსებზე.

აბერაციის სიდიდის გამოსაკვლევად განვიხილოთ ნახაზი 106. ვთქვათ, დედამიწა მოძრაობს *CB* მიმართულებით და ვაკვირდებით *E* ვარსკვლავს, მოძრაობის მართობი მიმართულებით *B* წერტილში. ვიდრე სხივი *A* ობიექტივიდან *B* ოკულიარში მოვიდოდეს დედამიწის მოძრაობის გამო *B* ოკულიარი მარჯვნივ გადაადგილდება და დამკვირვებელი *E* ვარსკვლავს ვერ დაინახავს. ამიტომ სამზერო მილის *B* ოკულიარი *C* წერტილში უნდა გადავწიოთ და ვარსკვლავს დავინახავთ *CE* მიმართულებით. ამ



ნახ. 105.



ნახ. 104.

შემთხვევაში სხივის გადახრას, ანუ *EAE*₁-ს ეწოდება აბერაციის კუთხე. აღვნიშნოთ ის α -თი; ცხადია, $\alpha = \angle CAB$ -ს. *AB* სინათლის სიჩქარის პროპორციულია, ხოლო *CB* დედამიწის სიჩქარის: $AB = c \cdot \Delta t$, $CB = v \cdot \Delta t$, სადაც *c* არის სინათლის სიჩქარე და *v* დედამიწის სიჩქარე. *ABC* სამკუთხედიდან გვექნება $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$. მცირე კუთხის ტანგენსი შე-

იცვლება თვით კუთხით რადიანულ ზომაში, ე. ი.

$$\alpha = \frac{v}{c} \quad (9)$$

$c = 300\,000$ კილომეტრს, $v = 30$ კილომეტრს; როცა ჩავსვამთ (9)-ში, მივიღებთ $\alpha = \frac{1}{10000}$ ან გრადუსულ ზომაში $\alpha = \frac{206265''}{10000} \approx 20'',5$.

წლიური პარალაქსი და სინათლის აბერაცია ამტკიცებს დედამიწის მოძრაობას მზის გარშემო.

† a) მოძრაობის აქსიომები

კეპლერის კანონების აღმოჩენის შემდეგ დაისვა საკითხი, თუ რა იწვევს ცთომილის მოძრაობას მზის გარშემო. კეპლერს ამ საკითხზე არ ქონდა ნათელი წარმოდგენა და არც შეეძლო მისი გადაწყვეტა, ვინაიდან მოძრაობის ზოგადი პრინციპები ჯერ კიდევ არ იყო ჩამოყალიბებული. ზოგი მეცნიერი გამოთქვამდა აზრს, რომ ცთომილთა მოძრაობას იწვევს მზის მიზიდულობა, რომელიც მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია; მაგრამ ამ აზრის დამტკიცებას ვერ ახერხებდნენ. XVII საუკუნის დასაწყისში მოძრაობის კანონების შესწავლაზე მუშაობდა გალილეი და ჰიუგენსი. ამ მეცნიერთა შრომების საფუძველზე ნიუტონმა ჩამოაყალიბა მოძრაობის აქსიომები.

I აქსიომა: თუ სხეულზე არ მოქმედობს ძალა, მაშინ ის ინარჩუნებს თავის მდგომარეობას, ე. ი. იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში ან მოძრაობს თანაბრად და სწორხაზობრივად. ამას ეწოდება ინერციის კანონი.

II აქსიომა: თუ სხეულზე მოქმედობს ძალა, მაშინ ის (სხეული) დებულობს აჩქარებას, რომელსაც ამ ძალის მიმართულება აქვს. აჩქარების სიდიდე პროპორციულია ძალის და უკუპროპორციულია სხეულის მასის.

თუ აღვნიშნავთ ძალას F -ით, მასას — m -ით და აჩქარებას — g -თი, მაშინ ეს აქსიომა ასე დაიწერება:

$$g = \frac{F}{m} \quad \text{ანუ} \quad F = mg \quad (1)$$

აჩქარება გამოისახება კოორდინატთა მეორე წარმოებულებით; ამიტომ კოორდინატთა ლერძებში (1) ტოლობას ექნება სახე:

$$X = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad Y = m \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad Z = m \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (1')$$

სადაც X, Y, Z -ით აღნიშნულია ძალის გეგმალები კოორდინატთა ლერძებზე.

III აქსიომა: თუ ერთი სხეული მოქმედობს მეორეზე რაიმე ძალით, მაშინ მეორეც მოქმედობს პირველზე იმავე ძალით, მაგრამ საწინააღმდეგო მიმართულებით. ეს არის ქმედებისა და უკუქმედების კანონი.

1687 წელს გამოვიდა ისააკ ნიუტონის წიგნი „ნატუროალური ფილოსოფიის მათემატიკური საფუძვლები“ („Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“), რომელსაც ზოგი მეცნიერი ადამიანის გონების უღრმეს ნაწარმოებს უწოდებს. ამ შრომამ საფუძველი ჩაუყარა თეორიულ მექანიკას და უსასრულო მცირეთა მათემატიკას. მოძრაობის კანონების საშუალებით კეპლერის კანონებიდან ნიუტონმა გამოიყვანა მიზიდულობის კანონი: ორი მატერიალური სხეულის ურთიერთ მიზიდულობა მათი

მასების პროპორციულია და მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციული. ეს კანონი ფორმულის სახით ასე იწერება:

$$F = k^2 \frac{m m_1}{r^2}, \quad (2)$$

სადაც F ძალაა, m და m_1 პირველი და მეორე სხეულის მასებია, r მათ შორის მანძილია, ხოლო k^2 — პროპორციულობის კოეფიციენტი.

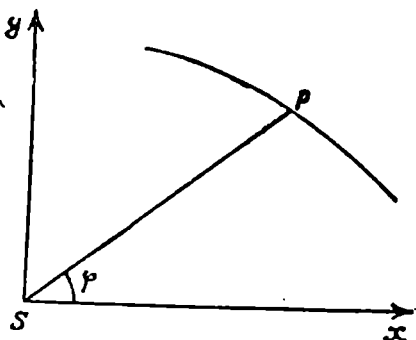
*₊ b) მიზიდულობის კანონის გამოყვანა კეპლერის კანონებიდან

განვიხილოთ ცთომილის მოძრაობა მზის გარშემო. კოორდინატთა სიბრტყედ ავიღოთ ორბიტის სიბრტყე, სათავე ავიღოთ მზის ცენტრზე და ცთომილის სწორკუთხოვანი კოორდინატები აღვნიშნოთ x , y -ით; პოლარული კოორდინატები კი r , φ -ით, სადაც r რადიუს ვეზრია, ხოლო φ რადიუს ვეზრის მიერ შედგენილი კუთხე პოლარულ ღერძთან, ამ შემთხვევაში x ღერძთან. დამოკიდებულება სწორკუთხოვან და პოლარულ კოორდინატებს შორის ასეთია:

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi. \quad (3)$$

გაწარმოებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{dr}{dt} \cos \varphi - r \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt}, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{dr}{dt} \sin \varphi + r \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}. \end{aligned} \quad (4)$$



ნახ. 107.

კიდევ ერთხელ გაწარმოებით გვექნება:

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= \left[\frac{d^2r}{dt^2} - r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right] \cos \varphi - \left[2 \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + r \frac{d^2\varphi}{dt^2} \right] \sin \varphi \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= \left[\frac{d^2r}{dt^2} - r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right] \sin \varphi + \left[2 \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + r \frac{d^2\varphi}{dt^2} \right] \cos \varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

ისე გამოისახება ცთომილის აჩქარების გეგმილი x და y ღერძზე. ახლა გამოვსახოთ აჩქარების გეგმილი რადიუსის მიმართულებით და რადიუსის მართობი მიმართულებით. რადიუსზე აჩქარების გეგმილისთვის x ღერძზე აჩქარება უნდა გავამრავლოთ $\cos \varphi$ -ზე, y -ზე აჩქარების გეგმილი $\sin \varphi$ -ზე და შევკრიბოთ. აღვნიშნოთ ეს აჩქარება W_r -ით, მაშინ

$$W_r = \frac{d^2x}{dt^2} \cos \varphi + \frac{d^2y}{dt^2} \sin \varphi$$

რადიუსის მართობი მიმართულებით აჩქარების მისაღებად x ღერძზე აჩქარების გეგმილი უნდა გავამრავლოთ $\cos(90+\varphi)$ -ზე და y ღერძზე აჩქარების გეგმილი $\cos\varphi$ -ზე. აღვნიშნოთ ეს აჩქარება W_p -თი, მაშინ

$$W_p = -\frac{d^3 x}{dt^3} \sin\varphi + \frac{d^3 y}{dt^3} \cos\varphi,$$

(5) ტოლობის თანახმად, მივიღებთ:

$$W_r = \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2, \quad W_p = 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + r \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (6)$$

კეპლერის მეორე კანონის თანახმად, ფართითი სიჩქარე მუდმივი სიდიდეა. პოლარულ კოორდინატებში ფართითი სიჩქარე უდრის $\frac{1}{2} r^2 \frac{d\varphi}{dt}$ -ს და შეიძლება დავწეროთ $\frac{1}{2} r^2 \frac{d\varphi}{dt} = c$. გაწარმოებით მივიღებთ $r \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{2} r^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0$. ამას თუ შევადარებთ (6)-ის მეორე ტოლობას, ვნახავთ, რომ მართობი აჩქარება $W_p = 0$.

ვიანგარიშოთ დარჩენილი რადიალური აჩქარების სიდიდე. კეპლერის პირველი კანონის თანახმად, ცუომილის ორბიტა არის ელიფსი. პოლარულ კოორდინატებში ელიფსის განტოლება ასეთია:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos\varphi}$$

გაწარმოებით მივიღებთ:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{p e \sin\varphi \frac{d\varphi}{dt}}{(1 + e \cos\varphi)^2} = \frac{c e \sin\varphi}{p}$$

და

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{c e \cos\varphi \frac{d\varphi}{dt}}{p} = \frac{c e \cos\varphi c}{p r^2},$$

რადგან $\frac{p^2}{(1 + e \cos\varphi)^2} = r^2$ -ს და $r^3 \frac{d\varphi}{dt} = c$ -ს. ჩავსვათ (6)-ის W_r -ში $\frac{d\varphi}{dt}$.

და $\frac{d^2 r}{dt^2}$ -ის მნიშვნელობანი გვექნება $W_r = \frac{c^2}{r^2} \left(\frac{e \cos\varphi}{p} - \frac{1}{r} \right)$. მაგრამ

$\frac{1}{r} = \frac{1 + e \cos\varphi}{p}$ და საბოლოოდ მივიღებთ:

$$W_r = -\frac{c^2}{p} \frac{1}{r^3}.$$

მაშ აჩქარება უკუპროპორციულია მანძილის კუადრატის; უარყოფითი ნიშანი კი გვიჩვენებს, რომ აჩქარება მიმართულია კოორდინატთა ცენტრისაკენ ანუ მზისაკენ.

აღენიშნოთ $\frac{c^2}{\rho} = \mu$. მაშინ $W_r = -\frac{\mu}{r^2}$. ძალა კი, რომლითაც იზიდავს მზე ცთომილს, II აქსიომის მიხედვით იქნება $F = -\frac{\mu m}{r^2}$. ცთომილიც იზიდავს მზეს და ის გამოისახება ანალოგიური ფორმულით $F_1 = +\frac{\lambda M}{r^2}$, სადაც M მზის მასაა, ხოლო λ პროპ. კოეფიციენტი. ქმედებისა და უკუქმედების აქსიომის მიხედვით ეს ძალები სიდიდით თანასწორია და საწინააღმდეგო მხრივ არიან მიმართული. ამიტომ $\frac{\mu m}{r^2} = \frac{\lambda M}{r^2}$. აქედან $\frac{\lambda}{m} = \frac{\mu}{M} = k^2$ მუდმივია და გვექნება: $\mu = k^2 M$. ჩავსვათ ეს F -ის ზემო გამოსახულებაში, საბოლოოდ მივიღებთ მიზიდულობის კანონს:

$$F = -k^2 \frac{Mm}{r^2} \quad (7)$$

* c) მიზიდულობის კანონის შემოწმება მთვარის მოძრაობით

მიზიდულობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ, გამოსარკვევი იყო, არის თუ არა სიმძიმის ძალა და მიზიდულობის ძალა ერთი და იგივე. ამის შემოწმება შეიძლება მთვარის მოძრაობით. მთვარისა და დედამიწის ურთიერთმიზიდულობის ძალა უდრის

$$F = k^2 \frac{Mm}{R^2},$$

სადაც M დედამიწის მასაა, m —მთვარის მასაა, R კი—მანძილი მთვარემდე. აჩქარება უდრის ძალას გაყოფილს მასაზე; ამიტომ დედამიწის მიზიდულობით გამოწვეული მთვარის აჩქარება იქნება $W = k^2 \frac{M}{R^2}$. ანალოგიურად დედამიწის მიზიდულობით გამოწვეული აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე იქნება $W_1 = k^2 \frac{M}{r^2}$, სადაც r დედამიწის რადიუსია, $R = 60r$, აქედან $\frac{W}{W_1} = \frac{1}{3600}$.

სიმძიმის ძალის აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე უდრის $g = 981 \frac{\text{სანტ.}}{\text{სექ.}^2}$. თუ სიმძიმის ძალა და მიზიდულობის ძალა ერთი და იგივეა, მაშინ $W_1 = g$. ამ დაშვებით გვექნება $W = \frac{981}{3600} = 0,273 \frac{\text{სანტ.}}{\text{სექ.}^2}$.

მთვარის აჩქარება შეიძლება ვიანგარიშოთ უშუალოდ, თუ მივიღებთ, რომ მისი ორბიტა არის წრეხაზი. წრიული მოძრაობის

აჩქარება $W_0 = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$. კუთხური სიჩქარე $\omega = \frac{2\pi}{T}$, სადაც T არის მთვარის სიღერული შემობრუნება და უდრის 27,321 დღე-ღამეს. მთვარემდე მანძილი სანტიმეტრებში იქნება: $R = 60r = 60 \cdot 6370 \cdot 10^3$ სანტიმეტრი. ჩავსვათ ეს სიდიდეები W_0 -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$W_0 = \frac{4\pi^2 \cdot 60 \cdot 6370 \cdot 10^3}{(27,32 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)^2} = 0,273 \frac{\text{სანტ.}}{\text{სექ}^2}.$$

ე. ი. მთვარის აჩქარება იმ დაშვებით გამოთვლილი, რომ სიმძიმის ძალის აჩქარება და მიზიდულობის ძალის აჩქარება ერთი და იგივეა, გამოდის დაკვირვებით უშუალოდ მიღებული მთვარის აჩქარების ტოლი. ამით დამტკიცებულია მიზიდულობის ძალისა და სიმძიმის ძალის იგივეობა.

*** d) კეპლერის კანონების გამოყვანა ნიუტონის მიზიდულობის კანონიდან**

მიზიდულობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ ნიუტონმა წამოაყენა ამოცანა: როგორ იმოძრავენ ორი სხეული, თუ მათზე ურთიერთმიზიდულობის გარდა არაფერია სხვა ძალა არ იმოქმედებს. ამას ეწოდება ორი სხეულის ამოცანა და ის თეორიულად გადაწყვიტა თვითონ ნიუტონმა.

მოდრაობის განტოლების შესადგენად უნდა განვიხილოთ ორივე სხეულის აჩქარება. ცთომილის აჩქარება მზისგან გამოწვეული უდრის $W_p = k^2 \frac{M}{r^2}$ და მიმართულია მზისკენ. მზის აჩქარება ცთომილისგან

გამოწვეული უდრის $W_s = k^2 \frac{m}{r^2}$ და მიმართულია საწინააღმდეგო

მხარეს, ე. ი. ცთომილისკენ. აქ M არის მზის მასა და m ცთომილის მასა. თუ განვიხილავთ ცთომილის შეფარდებით მოძრაობას მზის მიმართ, მზე უნდა ვივთულისხმოთ უძრავად და მისი აჩქარება მიუმატოთ ცთომილის აჩქარებას. ამიტომ ცთომილის აჩქარება მზის მიმართ იქნება

$$W = k^2 \frac{M+m}{r^2}$$

და მიმართულია მზისკენ, ანუ კოორდინატა სათავისკენ. კოორდინატა ღერძებზე გეგმილის მისაღებად ეს სიდიდე უნდა გავამრავლოთ აჩქარების მიმართულების კუთხის კოსინუსებზე, რაც x ღერძისთვის იქნება $-\frac{x}{r}$, y -სთვის $-\frac{y}{r}$ და z -სთვის $-\frac{z}{r}$. მეორე მხრივ, აჩქა-

რების გეგმილები გამოისახება კოორდინატთა მეორე წარმომადგენლებით, ე. ი. $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$, $\frac{d^2z}{dt^2}$ -ით. აღნიშნოთ $k^2(M+m) = \mu$ და გაუტოლოთ აჩქარების ორივე გამოსახულება ერთმანეთს, მივიღებთ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{\mu x}{r^3}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{\mu y}{r^3}, \quad \frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{\mu z}{r^3} \quad (8)$$

გავამრავლოთ (8)-ის მესამე განტოლება y -ზე და მეორე $-z$ -ზე და გამოვაკლოთ, მივიღებთ: $y \frac{d^2z}{dt^2} - z \frac{d^2y}{dt^2} = 0$, ასევე მიიღება:

$$z \frac{d^2x}{dt^2} - x \frac{d^2z}{dt^2} = 0, \quad x \frac{d^2y}{dt^2} - y \frac{d^2x}{dt^2} = 0. \quad \text{ანუ}$$

$$y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} = A; \quad z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} = B, \quad x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = C, \quad (9)$$

სადაც A, B, C მუდმივებია. (9) არის გაორკეცებული ფართითი სიჩქარის გეგმილები შესაფერ კოორდინატო სიბრტყეებზე და მათ ეწოდებათ ფართითი ინტეგრალები. (9) წარმოადგენს კეპლერის მეორე კანონს სწორკუთხოვან კოორდინატებში. ამ ტოლობებიდან პირველი გავამრავლოთ x -ზე, მეორე y -ზე, მესამე z ზე და შევკრიბოთ; მივიღებთ $Ax + By + Cz = 0$. ეს არის სათავეზე გამავალი სიბრტყის განტოლება. კოორდინატთა სიბრტყედ თუ მივიღებთ ამ სიბრტყეს, მაშინ ორი ტოლობა მოისპობა და დაგვრჩება

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = C \quad (9')$$

(8)-დან დაგვრჩება პირველი ორი, რადგან $z = 0$. გავამრავლოთ (8)-ის პირველი $\frac{dx}{dt}$ -ზე, მეორე $\frac{dy}{dt}$ -ზე და შევკრიბოთ; მივიღებთ:

$$\frac{dx}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dy}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{\mu}{r^3} \left(x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} \right) \quad (10)$$

მარცხენა მხარე არის $\frac{1}{2}v^2$ -ის წარმომადგენელი, რადგან $v^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$, მარჯვენა მხარე კი არის $-\frac{\mu}{r}$ -ის წარმომადგენელი. ამიტომ

გვექნება $v \frac{dv}{dt} = \mu \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{r} \right)$; აქედან

$$\frac{v^2}{2} = \frac{\mu}{r} + \frac{\alpha}{2} \quad \text{ანუ} \quad v^2 = \frac{2\mu}{r} + \alpha, \quad (11)$$

სადაც α სინტეგრაციო მუდმივია. (11)-ს ეწოდება ცოცხალი ძალის ინტეგრალი.

შეორე მხრივ, b) საკითხის (4)-დან მიიღება

$$v^2 = \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2 \right].$$

გაუტოლოთ v^2 -ის ორივე გამოსახულება ერთმანეთს, მივიღებთ:

$$\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2 \right] = \frac{2\mu}{r} + \alpha.$$

ფართოთი სიჩქარის ფორმულიდან $r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) = c$ -ს, გვექნება $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 =$

$$= \frac{c^2}{r^4}. \text{ ჩავსვათ ეს ზევითა ტოლობაში, მივიღებთ } \frac{c^2}{r^4} \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + \frac{c^2}{r^2} =$$

$$= \frac{2\mu}{r} + \alpha. \text{ ეს შეიძლება ასე დაიწეროს: } c^2 \left[\frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{d\varphi} \right]^2 = \alpha + \frac{\mu^2}{c^2} -$$

$$- \left(\frac{c}{r} - \frac{\mu}{c}\right)^2 \text{ ანუ } \left[\frac{d \left[\frac{\frac{c}{r} - \frac{\mu}{c}}{\sqrt{\alpha + \frac{\mu^2}{c^2}}} \right]}{d\varphi} \right] = 1 - \left[\frac{\frac{c}{r} - \frac{\mu}{c}}{\sqrt{\alpha + \frac{\mu^2}{c^2}}} \right]^2.$$

აღენიშნოთ $\frac{\frac{c}{r} - \frac{\mu}{c}}{\sqrt{\alpha + \frac{\mu^2}{c^2}}} = u$, კვადრატული ფესვის ამოღების შემდეგ გვე-

ქნება $\frac{du}{\pm \sqrt{1-u^2}} = d\varphi$, აქედან ინტეგრაციით მივიღებთ: $\varphi = \arccos u + \omega$

ანუ $u = \cos(\varphi - \omega)$.

დაუბრუნდეთ ძველ ცვალებადს, გვექნება:

$$\frac{\frac{c}{r} - \frac{\mu}{c}}{\sqrt{\alpha + \frac{\mu^2}{c^2}}} = \cos(\varphi - \omega) \text{ ანუ } \frac{c}{r} = \frac{\mu}{c} + \sqrt{\alpha + \frac{\mu^2}{c^2}} \cos(\varphi - \omega).$$

აქედან

$$r = \frac{\frac{c^2}{\mu}}{1 + \sqrt{1 + \frac{\alpha c^2}{\mu^2} \cos(\varphi - \omega)}}$$

$$\text{აღნიშნოთ } \frac{c^2}{\mu} = p, \quad \sqrt{1 + \frac{\alpha c^2}{\mu^2}} = e$$

მივიღებთ

$$r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi - \omega)} \quad (12)$$

ამრიგად, ორბიტა არის კონუსური კვეთის მრუდი: ელიფსი, ჰიპერბოლი ან პარაბოლი. მაშ კეპლერის პირველი კანონი მივიღეთ განზოგადებული ფორმით. აღნიშენიდან $e^2 = 1 + \frac{\alpha c^2}{\mu^2} = 1 + \frac{\alpha p}{\mu}$, მაგრამ, როგორც ცნობილია, პარამეტრი $p = a(1 - e^2)$, ამიტომ $-(1 - e^2) = -\frac{a(1 - e^2)}{\mu}$, აქედან $\alpha = -\frac{\mu}{a}$, ჩავსვათ ეს (11)-ში, მივიღებთ

$$v^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \quad (11')$$

წრიული ორბიტისთვის $r = a$ და $v^2 = \frac{\mu}{r}$, პარაბოლისთვის $a = \infty$ და $v^2 = \frac{2\mu}{r}$, ელიფსისთვის $a > 0$ და $v^2 < \frac{2\mu}{r}$, ჰიპერბოლისთვის $a < 0$ და $v^2 > \frac{2\mu}{r}$.

აღნიშენიდან $\mu = k^2(M + m)$, $c^2 = p\mu$, აქედან $c = k\sqrt{M + m} \sqrt{p}$, მეორე მხრივ, საშუალო გარკვევებული ფართობი სიჩქარე უდრის ელიფსის გარკვევებული ფართი გაყოფილი გარემოქცევის პერიოდზე, ე. ი. $c = \frac{2\pi ab}{T}$, გაუტოლოთ c -ს ორივე მნიშვნელობა და ავიყვანოთ კვადრატში, მივიღებთ

$$\left(\frac{2\pi ab}{T} \right)^2 = k^2(M + m)p.$$

მაგრამ ცნობილია, რომ ელიფსისთვის $b^2 = a^2(1 - e^2)$, $p = a(1 - e^2)$ და მივიღებთ $\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = k^2(M + m)$, აქედან $\frac{a^3}{T^2(M + m)} = \frac{k^2}{4\pi^2}$ მუდმივია. ორი ცთომილისთვის ამ ტოლობის გამოყენება გვაძლევს

$$\frac{T_1^3(M + m)}{T_1^2(M + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3} \quad (13)$$

მასების შეფარდება $\frac{M + m}{M + m_1}$ ძლიერ მცირედ განსხვავდება ერთისგან.

ეს არის კეპლერის მესამე კანონი განზოგადებული ფორმით.

ამრიგად, ნიუტონის მიზიდულობის კანონიდან მივიღეთ კეპლერის კანონები; მათ შორის I და II კანონი განზოგადებული ფორმით.

(11)-დან გამომდინარე პარაბოლური სიჩქარის ფორმულაში $v^2 = \frac{2\mu}{r}$ ჩავსვათ $\mu = k^2(M+m)$, მივიღებთ

$$v_0 = \frac{k \sqrt{2(M+m)}}{\sqrt{r}} \quad (14)$$

ამას ეწოდება პარაბოლური, ანუ კრიტიკული სიჩქარე. თუ რაიმე სხეულის სიჩქარე $v \geq v_0$, მაშინ ის იმოძრაებს გაშლილ მრუდზე, ე. ი. მოშორდება ცენტრალური სხეულის მიზიდულობის ველს. დედამიწის-თვის კრიტიკული სიჩქარე უდრის $11,2 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$. k -ს ეწოდება გრავიტაციის მუდმივი. c , g , r (სანტიმეტრი, გრამი, სეკუნდი) სისტემაში $k^2 = \frac{1}{15000000}$. მასა M გამოსახული უნდა იყოს გრამებში. m —მცირე სხეულის მასა ჩვეულებრივად არ მიიღება მხედველობაში. r გამოსახული უნდა იყოს სანტიმეტრებში.

ე) ორბიტის ელემენტები. ბოდე-ტიციუსის წესი

ორბიტის სიბრტყის გადაკვეთა ცის სფეროსთან გვაძლევს დიდ წრეხაზს. ეს წრეხაზი ეკლიპტიკის წრეხაზს კვეთს ორ წერტილში, რომელთაც კვანძები ეწოდება. ის კვანძი, სადაც ორბიტა სამხრეთ ნახევარსფეროდან გადმოდის ჩრდილო ნახევარსფეროში, იწოდება აღმავალ კვანძად და აღინიშნება ω ნიშნით. მეორე კი იწოდება დაღმავალ კვანძად და აღინიშნება შებრუნებულ ω ნიშნით. ეთქვამთ, 108 ნახაზზე π არის პერიპელიუმის (იხ. § 17 *b*) გეგმილი ცის-სფეროზე და γ არის გაზაფხულის დღელაშწორობის წერტილი.

თითოეული ცთომილის ან კომეტის მოძრაობა ხასიათდება ექვსი სიდიდით, რომელთაც ორბიტის ელემენტები ეწოდება. ეს სიდიდეებია:

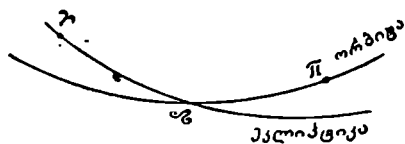
1) a — დიდი ნახევარღერძი. ის გვიჩვენებს ორბიტის სიდიდეს (იხ. § 17).

2) e — ექსცენტრისტიტი, ახასიათებს ორბიტის ფორმას $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$

3) i — დახრილობა, კუთხე ორბიტის სიბრტყესა და ეკლიპტიკის სიბრტყეს შორის.

4) ω — პერიპელიუმის დაშორება კვანძიდან $\omega = \omega \pi$ (ნახ. 108).

5) Ω — აღმავალი კვანძის გრძედი; $\Omega = \gamma \Omega$.



ნახ. 108.

6) t_0 —პერიპელიუმზე გადასვლის მომენტი.

ამ ელემენტების განსაზღვრას ეწოდება ორბიტის გამოთვლა. თუ ცნობილია ცთომილის ან კომეტის სამი მდებარეობა, მაშინ შეიძლება გამოთვლილ იქნას ეს ელემენტები. პირიქით, თუ ცნობილია ორბიტის ელემენტები, მაშინ შეიძლება გამოვთვალოთ ცთომილის მდებარეობა ნებისმიერი მომენტისთვის. ორივე ეს საკითხი თეორიული ასტრონომიის ამოცანას წარმოადგენს.

დიდი ცთომილების ორბიტები მცირედ განსხვავდება წრისგან. მაგალითად, დედამიწისთვის ექსცენტრისიტეტი $e = 0,016738$, ვენერასთვის — $0,006806$, იუპიტერისთვის — $0,048387$ და სხვა. კომეტების ორბიტები არის დაგრძელებული ელიფსი ან პარაბოლი (იშვიათად ჰიპერბოლი), ე. ი. მათი ექსცენტრისიტეტი უდრის ან ახლოა ერთთან.

ცთომილთა დაშორება მზიდან გამოისახება დაახლოებითი ფორმულით, რომელსაც ბოდე-ტიციურის წესი ეწოდება. სიგრძის ერთეულად მზის სისტემაში მიღებულია ასტრონომიული ერთეული, ანუ დედამიწიდან მზემდე მანძილი. მერკურის დაშორება ამ ერთეულში დაახლოებით $0,4$ -ს უდრის, აღვნიშნოთ ის d_0 -ით. სხვა ცთომილთა დაშორება კი გამოისახება ფორმულით: $d = d_0 + 0,3 \cdot 2^n$,

სადაც n იწყება ნულიდან. ვენერასთვის $n = 0$, დედამიწისთვის $n = 1$, მარსისთვის $n = 2$, იუპიტერისთვის $n = 4$, სატურნისათვის $n = 5$ და სხვა. ცთომილთა ნამდვილი დაშორება და ამ წესით მიღებული დაშორება მოცემულია ქვემო ცხრილში.

	მერკური	ვენერა	დედამიწა	მარსი		იუპიტერი	სატურნი
ნამდვილი დაშორება	0,387	0,723	1	1,524	—	5,201	9,536
ბოდე-ტიციუსის წესით	0,4	0,7	1	1,6	2,8	5,2	10,0

ამ წესის დადგენის შემდეგ აღმოჩენილ იქნა ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი. ურანისთვის $n = 6$, პლუტონისთვის $n = 7$ -ს, ხოლო ნეპტუნის მანძილი გამონაკლისს წარმოადგენს. გამონაკლისია აგრეთვე $n = 3$ -ის შესაბამის მანძილი $2,8$. მაგრამ მეცხრამეტე საუკუნეში აღმოჩენილ იქნა მცირე ცთომილები ანუ ასტეროიდები, რომელთა საშუალო მანძილი $2,8$ -ს უდრის.

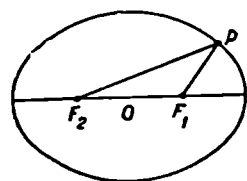
ამ ბოლო დროს აკადემიკოსმა ო. შმიდტმა ცთომილთა წარმოშობის თავისი თეორიიდან გამომდინარე, მოგვცა მანძილთა ახალი ფორმულა. ეს ფორმულა უფრო ზუსტად იძლევა ცთომილთა მანძილებს, მაგრამ უფრო რთულია.

* 1) ცთომილის მდებარეობის მიახლოებითი გამოთვლა

თუ ცთომილის მდებარეობა გამოთვლილია დროის თანაბარი შუალედებისთვის, მაშინ მას ეწოდება ეფემერიდები. ასეთი ეფემერიდები ყოველი მეოთხე დღისთვის მოცემულია ასტრონომიულ ყოველწლიურებში („Астрономический ежегодник“). მათი გამოთვლა წარმოებს თეორიული ასტრონომიის ფორმულებით; მაგრამ მიახლოებითი გამოთვლა შეიძლება ვაწარმოოთ გრაფიკული ხერხით. რადიუს გეზრის ფორ-

მულაში $r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi - \omega)}$, აღნიშნავენ $\varphi - \omega = \psi$. ეს არის მჭეს-

თან, ანუ ფოკუსთან შექმნილი კუთხე პერიპელიუმის მიმართულებასა და რადიუს გეზრს. შორის და ეწოდება ქეშმარიტი ანომალია. ცთომილის p მდებარეობისთვის $v = \angle \pi F_1 p^1$.



ნახ. 109.

ცთომილის საშუალო დღელამური მოძრაობა $n = \frac{360^\circ}{T}$, სადაც T არის გარემოქცევის პერი-

ოდი. თუ საშუალო მოძრაობას გავამრავლებთ იმ დროზე, რომელიც გავიდა პერიპელიუმზე გადასვლის მომენტიდან, მივიღებთ ე. წ. საშუალო ანომალიას. აღენიშნოთ ის M -ით, მაშინ $M = n(t - t_0)$.

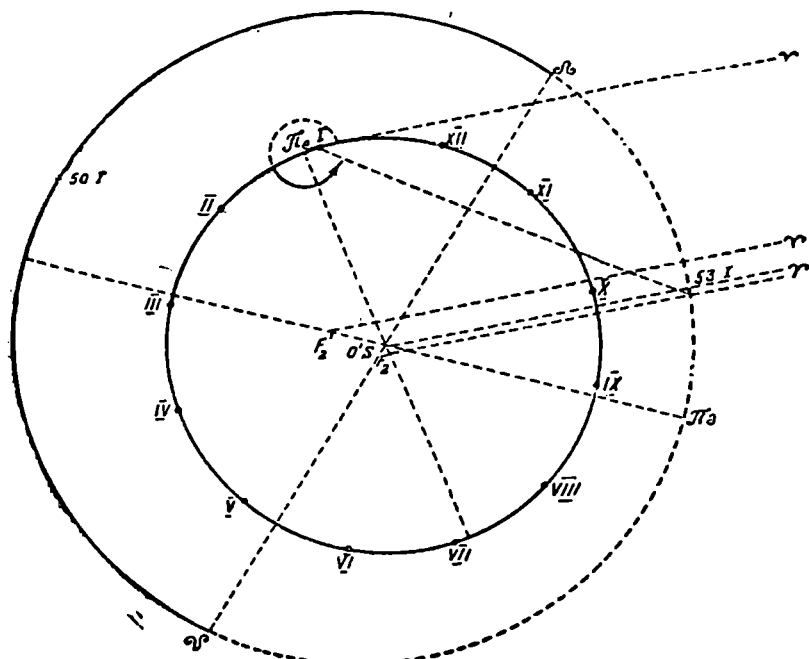
(15)

შევაერთოთ p წერტილი F_2 ფოკუსთან. აღენიშნოთ $\angle p F_2 \pi = u$ და უწოდოთ მას ფსევდო ანომალია. მტკიცდება რომ, როცა ექსცენტრისიტეტი მცირეა, ფსევდო ანომალია დაახლოებით საშუალო ანომალიას უდრის, ე. ი. $u \approx M$. ამის გამო შეიძლება გამოვთქვათ დებულება: პირველი ფოკუსიდან ანათვალის ქეშმარიტი ანომალია და მეორე ფოკუსიდან ანათვალის საშუალო ანომალია ორბიტაზე დაახლოებით ერთსა და იმავე წერტილს გვაძლევს. საშუალო ანომალიის გამოთვლა ადვილია (15) ფორმულით და ამრიგად ვიპოვით ცთომილის დაახლოებით მდებარეობას ორბიტაზე; მაგრამ იმის გამოსარკვევად, თუ საით დავინახავთ მას, უნდა გავითვალისწინოთ ამ დროს დედამიწის მდებარეობა.

ვთქვათ, 110 ნახაზზე S წერტილი მზეს გამოსახავს, ხოლო S' ხაზი გაზაფხულის დღელამსწორობის მიმართულებას, საიდანაც აითვლება გრძედები. დიდი ცთომილების ორბიტის ელემენტებიდან (იხ. ჭხრილი I). ვიპოვით დედამიწის პერიპელიუმის გრძედს და გადავზომავთ მას S წერტილთან მარჯვნიდან მარცხნივ (საათის ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით)². აღენიშნოთ ეს გრძედი λ_{π_2} -ით. ცხრილიდან ჩანს, რომ $\lambda_{\pi_2} = 102^\circ 5'$. ნახაზზე $\angle \gamma S \pi_2 = 102^\circ 5'$. $\pi_2 S$ და მისი გაგრძელება მზის მეორე მხარეს წარმოადგენს დედამიწის დიდ ლერძს. ცნობილია, რომ

¹ π უნდა იყოს F_2, F_1 -ის გადაკვეთაზე ელიფსთან.
² ჩვენი კოლმეურნეები ასეთ ბრუნვას უწოდებენ „წალმა ბრუნვას“ ან კიდევ წისკვილის ბრუნვის მიმართულებას.

ფოკუსიდან, ე. ი. S წერტილიდან ორბიტის ცენტრი დაშორებულია ae მანძილით. დედამიწის ორბიტის დიდი ნახევარღერძისთვის მივიღოთ $a=4$ სანტიმეტრს. მაშინ $ae=4 \cdot 0,01638 \approx 0,067$ სანტიმეტრს $= 0,67$ მი-



ნახ. 110.

ლიმეტრს. მეორე ფოკუსი F_2 დაშორებული იქნება ცენტრიდან ამდენივე მანძილით. O წერტილზე $\pi_e S$ -ის მართობულად გავატარებთ ხაზს და გადავზომავთ პატარა ნახევარღერძს $b=4 \cdot \sqrt{1-(0,0167)^2} \approx 4$, ე. ი. $b=a=4$ სანტ. და დაეხაზავთ წრეს $r=4$ სანტ. რადიუსით. ეს გამოსახავს დედამიწის ორბიტას.

S წერტილთან გადავზომოთ პირველი იანვრისათვის დედამიწის საშუალო გრძედის ტოლი კუთხე, რაც უდრის $100^\circ, 6$. ორბიტაზე მიღებული I წერტილი გამოსახავს დედამიწის მდებარეობას პირველ იანვარს. F_2 ფოკუსიდან გავატაროთ დედამსწორობის მიმართულების პარალელური ხაზი და გადავზომოთ ყოველი თვის შესაბამის დედამიწის საშუალო ანომალია. იმავე ცხრილიდან ჩანს, რომ დედამიწის საშუალო მოძრაობა უდრის $3548'', 2$. პირველი თებერვლისთვის გადავზომავთ $3548'', 2 \cdot 31 = 30^\circ 33'$ პირველი იანვრის მდებარეობიდან. პირველი მარტისთვის ამას დაემატება $3548'', 2 \cdot 28 = 27^\circ 36'$, პირველი აპრილისთვის უკანასკნელ მდებარეობას დაემატება $3548'', 2 \cdot 30 = 29^\circ 33'$ და ა. შ. ასე მივიღებთ

დედამიწის მდებარეობას ყოველი თვის პირველი რიცხვისთვის, რაც ნახაზე აღნიშნულია რომაული ციფრებით, თვეთა რიგის მიხედვით. მიღებული I, II და სხვა მდებარეობიდან გავატაროთ Σ' -ს პარალელური ხაზები. ცის სფეროზე ყველა ეს ხაზი ერთ წერტილს გვაძლევს.

ახლა მზის გარშემო დავხაზოთ რომელიმე ცთომილის, მაგალითად, მარსის ორბიტა. I ცხრილიდან ვხედავთ, რომ მარსის პერიპელიუმის გრძელი უღრის $\lambda_{\pi} = 335^{\circ}8'$. მზიდან გადავზომოთ ეს კუთხე (ვიწყებთ Σ' ხაზიდან), მივიღებთ მარსის პერიპელიუმის მიმართულებას. გავაგრძელოთ ეს მიმართულება მზის მეორე მხარესაც. მარსის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი უღრის $1,524$. ჩვენს მასშტაბში იქნება $a_1 = 1,524 \cdot 4 = 6,1$ სანტიმეტრი. ექსცენტრისიტეტი $e_1 = 0,093$. Σ' მზიდან, ანუ პირველი ფოკუსიდან ცენტრი o' იქნება $a_1 e_1$, მანძილზე პერიპელიუმის საწინააღმდეგო მიმართულებით. $a_1 e_1 = 6,1 \cdot 0,093 = 0,567$ სანტიმეტრს. მეორე ფოკუსი F'_2 იქნება ამდენივე მანძილი o' -დან. $\Sigma F'_2 o'$ -ზე გატარებული ხაზი იქნება მარსის დიდი ღერძის მიმართულება. მოვზომოთ o' -დან $a_1 = 6,1$ სანტ. ორივე მხარეს; შემდეგ o' წერტილიდან გავატაროთ დიდი ღერძის მართობული მიმართულება და o' -დან მოვზომოთ ორივე მხრივ $b_1 = a_1 \sqrt{1 - e_1^2} = 6,1$ სანტ. ეს იქნება პატარა ღერძი. დიდი და პატარა ღერძით დავხაზავთ ელიფსს, რაც ამ შემთხვევაში წრეა. ეს იქნება მარსის ორბიტა.

ცხრილიდან ვიპოვით, რომ მარსის აღმავალი კვანძის გრძელი უღრის $49^{\circ}10'$. გადავზომოთ ეს კუთხე Σ' წერტილიდან, ორბიტაზე ვიპოვით Δ აღმავალ კვანძს. მის მოპირდაპირედ მზის მეორე მხარეს არის დაღმავალი კვანძი Υ . ორბიტის ნახევარი ეკლიპტიკის სიბრტყის ჩრდილოეთით უწყვეტი ხაზითაა წარმოდგენილი, ხოლო ეკლიპტიკის სამხრეთით — წყვეტილი ხაზით. მარსის და საერთოდ დიდი ცთომილების ორბიტა დახრილობა მცირეა და ისინი მუდამ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლად იმყოფება.

მარსის გრძელი 1950 წლის i იანვარს უღრიდა 145° , ის გადავზომოთ მზიდან. ერთ წელიწადში მარსი გაივლის $1886'', 5 \cdot 365,24$, სადაც $1886'', 5$ მარსის საშუალო დღედამური მოძრაობაა, ხოლო $365,24$ — წლის სიდიდე. სამ წელიწადში მარსი გაივლიდა $1886'', 5 \cdot 365,24 \cdot 3 = 573^{\circ}37' = 1$ წრეს და $213^{\circ}37'$. 1950 წლის 1 იანვრის მდებარეობიდან F_2 ფოკუსთან გადავზომოთ კუთხე $213^{\circ}37'$, მივიღებთ მარსის მდებარეობას 1953 წლის 1 იანვრისთვის; აღნიშნოთ ის მარსის ორბიტაზე. გავზომოთ კუთხე ტრანსპორტირით დედამიწის I მდებარეობიდან დედამსწორობის პარალელურ მიმართულებას და მარსის 1953 წლის 1 იანვრის მიმართულებას შორის. ეს იქნება მარსის ხილული გრძელი აღნიშნული წლის პირველ იანვარს, რაც $= 330^{\circ}$ -ს. პირველი თებერვლისთვის F'_2 ფოკუსთან დაშტებით უნდა გადავზომოთ $1886'', 5 \cdot 31 = 16^{\circ}15'$, რის შემდეგაც დედამიწის II მდებარეობიდან ტრანსპორტირით გავზომავთ

მერ- წული	326° 25'	354 10
თხის რკა	306° 5'	326 25
შეიღლო- სანი	265° 25'	306 5
ღობანგ.	239° 40'	265 25
საწორი	216° 10'	239 40
კალწული	173° 5'	216 10
ლოში	137° 25'	173 5
კირჩხიბი	114° 15'	137 25
მარხ- ბივი	88° 25'	114 15
კურო	53° 15'	88 25
ვერძი	27° 35'	53 15
თევზები	354° 10'	27 35
დასაწყისი		
ბოლო		

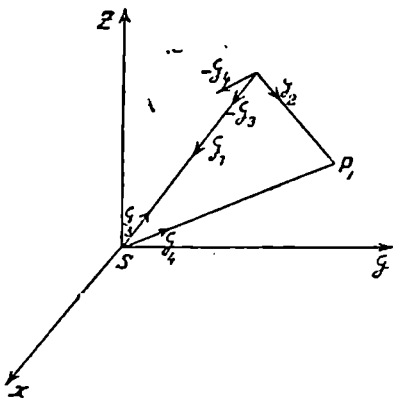
კუთხეს დღედამსწორობის მიმართულებასა და მიღებულ მდებარეობას შორის. ეს იქნება მარსის ხილული გრძედი 1950 წლის პირველ თებერვალს. ასევე სხვა თვეების პირველი რიცხვისთვის გადავზომავთ მარსის დამატებით მოძრაობას და დედამიწის შესაფერი მდებარეობიდან იეთვლით ხილულ გრძედს. სხვა წლებისთვისაც ასე მოვიქცევით.

გრძედის მიხედვით რომ ვიპოვოთ ცაზე ცთომილი, უნდა ვიცოდეთ ამ გრძედზე ზოდიაკოს რომელი თანავარსკვლავედია. აქვე მოცემულია ზოდიაკოს თანავარსკვლავედთა საზღვრები.

§ 20. სამი და მრავალი სხეულის ამოცანა

* a) სამი სხეულის ამოცანა

ორი სხეულის ამოცანა, როგორც ვნახეთ, თეორიულად ადვილად ამოიხსნება (თუმცა ჩვენ სრული ამოხსნა არ მოგვიყვანია), მაგრამ, როცა ერთმანეთს იზიდავს სამი სხეული, მაშინ მოძრაობის განსაზღვრა ძლიერ რთულ ამოცანას წარმოადგენს. განვიხილოთ S მზისა და



ნახ. 111.

p_1 და p_2 ცთომილის ურთიერთმიზიდულობის გავლენა p_3 ცთომილზე. აღვნიშნოთ $S p_1 = r_1$, $S p_2 = r_2$ და $p_1 p_2 = p$; ამას გარდა მზის მასა აღვნიშნოთ M -ით და ცთომილების m_1 და m_2 -ით. p_2 ცთომილის აჩქარება, რომელიც გამოწვეულია მზის მიზიდულობით, იქნება $g_1 = k^2 \frac{M}{r_1^2}$

და მიმართულია მზისკენ. p_3 -ის აჩქარება გამოწვეული p_1 -სგან იქნება $g_2 = k^2 \frac{m}{r_1^2}$ და მიმართულია p_1 -სკენ (ნახ. 111).

გარდა ამისა, მხედველობაში უნდა მივიღოთ მზის აჩქარება, რომელიც გამოწვეულია p_1 და p_2 ცთომილებისგან. p_2 -სგან გამოწვეული მზის აჩქარება იქნება $g_3 = k^2 \frac{m_2}{r_2^2}$ და მიმართულია p_2 -სკენ. p_1 -სგან გამოწვეული

აჩქარება კი იქნება $g_4 = k^2 \frac{m_1}{r_1^2}$ და მიმართულია p_1 -სკენ. როცა ვიხილავთ p_2 ცთომილის შეფარდებით მოძრაობას მზის მიმართ, მაშინ მზის აჩქარება უნდა მივაკუთვნოთ p_2 -ს შებრუნებული გეზით.

g_1 და $-g_3$ იგივეა, რაც ორი სხეულის ამოცანაში გვხვდება. ისინი მიმართულია მზისკენ და მათი მიმართულების კუთხის კოსინუსები იქნება: $\frac{-x_2}{r_2}$, $\frac{-y_2}{r_2}$, $\frac{-z_2}{r_2}$.

g_2 -ის მიმართულების კუთხის კოსინუსები იქნება $\frac{x_1 - x_2}{\rho}$, $\frac{y_1 - y_2}{\rho}$, $\frac{z_1 - z_2}{\rho}$, ხოლო $-g_4$ -ის $\frac{-x_1}{r_1}$, $\frac{-y_1}{r_1}$, $\frac{-z_1}{r_1}$.

კოორდინატთა ღერძებზე აჩქარების გეგმილის მისაღებად, თითოეული აჩქარება უნდა გაეამრავლოთ შესაბამის მიმართულების კუთხის კოსინუსზე და შეეკრიბოთ. მეორე მხრით, აჩქარება გამოისახება კოორდინატთა მეორე წარმოებულებით. როცა გაუტოლებთ ერთმანეთს ორივე აჩქარების გეგმილს, მივიღებთ მოძრაობის განტოლებას.

x კოორდინატისთვის მას ექნება სახე:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k^2 \frac{(M+m)}{r_2^3} x_2 + k^2 m_1 \frac{(x_1 - x_2)}{\rho^3} - k^2 m_1 \frac{x_1}{r_1^3} \quad (1)$$

$$\text{აღვნიშნოთ } k^2(M+m) = \mu, \quad k^2 m_1 \left[\frac{x_1 - x_2}{\rho^3} - \frac{x_1}{r_1^3} \right] = \frac{\partial R}{\partial x_2},$$

მაშინ

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} + \frac{\mu x_2}{r_2^3} = m_1 \frac{\partial R}{\partial x_2} \quad (1')$$

R ფუნქციას, რომლის წარმოებულებაც x_2 -ით (1') ტოლობის მარჯვენა მხარეა, ვწოდება შემაშფოთებელი ანუ პერტურბაციული ფუნქცია. ეს ფუნქცია იწვევს გადახვევას ორი სხეულის ამოცანიდან. ოთხი და მეტი სხეულისთვისაც ანალოგიურად შედგება მოძრაობის განტოლება, მაგრამ R უფრო რთული იქნება.

(1)-ის მსგავსად დაიწერება მოძრაობის განტოლება y და z კოორდინატებისთვის; მივიღებთ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას.

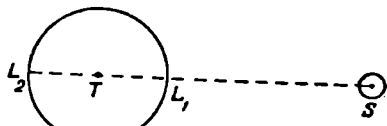
ამ სისტემის ამოხსნა ზოგადი სახით არ მოხერხდა. მაგრამ მზის სისტემის აღმოაჩნდა ზოგიერთი ისეთი თვისება, რომელიც ამარტივებს ამოცანას. ამათგან უფრო მნიშვნელოვანია შემდეგი: 1) მზის მასა გაცილებით დიდია ცთომილთა მასაზე; ის აღემატება ყველა ცთომილის მასას 745-ჯერ. 2) ცთომილები მოძრაობენ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლად და მათი ორბიტები მცირედ განსხვავდება წრისაგან. ამის გამო შესაძლებელი გახდა მიახლოებითი მეთოდების განვითარება. ამ მიმართულებით მუშაობდნენ ეილერი, კლერო, ლაგრანჟი, ლაპლასი და სხვ. მათი შრომებით შეიქმნა კლასიკური ციური მექანიკა.

1912 წელს ფინელმა მათემატიკოსმა ზუნდმაწამა მოახერხა სამი სხეულის ამოცანის ამოხსნა უსასრულო მწკრივების სახით. მაგრამ ეს მწკრივები ისე ნელა იკრიბება, რომ ერთი კოორდინატის გამოთვლას დასჭირდებოდა კვალიფიციურ გამოთვლელთა მთელი შტატის მუშაობა ათასი წლის განმავლობაში. ამრიგად ამ ამოხსნას არა აქვს პრაქტიკული მნიშვნელობა.

— ს) შემფოთება. მზის სისტემის სიმტკიცე

ერთი რომელიმე ცთომილის (ან კომეტის) მოძრაობაში ძირითად როლს თამაშობს მზის მიზიდულობა; მაგრამ დანარჩენი ცთომილების მიზიდულობასაც აქვს მცირე გავლენა, რომელსაც შემფოთება ეწოდება. ის იწვევს ცთომილის მოძრაობაში გადახვევას კეპლერის კანონებიდან.

* ყველაზე დიდ შემფოთებას განიცდის მთვარე. მთვარისთვის ძირითადი სხეული არის დედამიწა, ხოლო შემფოთებელი მზე. თუმცა მზე მთვარეს ორჯერ მეტ აჩქარებას ანიჭებს, ვიდრე დედამიწა, მაგრამ მზე დაახლოებით ასეთსავე აჩქარებას იწვევს დედამიწის მოძრაობაში. შემფოთებისთვის კი მნიშვნელობა აქვს იმ აჩქარებათა სხვაობას, რომელსაც იწვევს რაიმე სხეული ძირითადი და „თანამგზავრი“ მნათობის მოძრაობაში. 112 ნახაზზე S არის მზე, T დედამიწა, L_1 და L_2 მთვარის მდებარეობა ახალმთვარობისა და სავსე მთვარობის დროს. მზის მიერ გამოწვეული მთვარის აჩქარება ახალმთვარობის დროს იქნება $g_1 = k^2 \frac{M}{(R-r)^2}$,



ნახ. 112.

დედამიწის აჩქარება კი $g_0 = k^2 \frac{M}{R^2}$; ამათი სხვაობა წარმოადგენს მთვარის შემფოთებელ აჩქარებას

$$g_1 - g_0 = k^2 M \frac{2(Rr - r^2)}{R^2(R-r)^2} \approx \frac{2rk^2M}{R^3}, \quad (2)$$

რადგან r მცირეა R -თან შედარებით.

* დედამიწის მიერ გამოწვეული მთვარის აჩქარება იქნება

$$G = k^2 \frac{m}{r^2} \quad (3)$$

(2) და (3) ტოლობის გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{g_1 - g_0}{G} = \frac{M r^3}{m R^3} \quad (4)$$

* მზის მასა 332000-ჯერ მეტია დედამიწის მასაზე, ხოლო დაშორება 390-ჯერ მეტია დედამიწიდან მთვარემდე მანძილზე, ე. ი. $M=332000$ და $R=390$; როცა ჩავსვამთ (4)-ში, მივიღებთ

$$\frac{g_1 - g_0}{G} = \frac{1}{90}.$$

* ე. ი. მთვარის შემაშფოთებელი აჩქარება ძირითადი აჩქარების $\frac{1}{90}$ -ის ტოლია. მთვარის მოძრაობაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ცთომილებიც. დიდი შემაშფოთებელი ძალისა და სიახლოვის გამო, მთვარის მოძრაობაში მრავალი უსწორობა ანუ შეშფოთება არის შემჩნეული. ამათგან უმთავრესია: 1) მთვარის კვანძების უკუუსვლითი მოძრაობა წელიწადში $19^{\circ}, 3$ -ით, რის გამოც 18 წელსა და 7 თვეში ისინი მთელ წრეს აღწერენ. 2) პერიგეუმის (ანუ მთვარის ორბიტის დედამიწასთან უახლოესი წერტილის) წინსვლითი მოძრაობა წელიწადში $40^{\circ}, 7$ -ით. 3) ორბიტის დახრილობის ცვლილება $+11'$ ფარგლებში, რის გამოც ორბიტის დახრილობა უდრის $5^{\circ} 9' \pm 11'$.

ცთომილთა ურთიერთშეშფოთება მცირეა, მათი მასების სიმცირისა და დიდი დაშორების გამო. მხოლოდ იუპიტერი და სატურნი იწვევს მათთან ახლო გავლილი კომეტის ან მცირე ცთომილის საგრძნობ შემაშფოთებას.

ორბიტის რომელიმე ელემენტი გამოისახება მწკრივის სახით:

$$p + p' t + p'' t^2 + \dots + \Sigma A \sin^{\cos}(\alpha t + \beta) + t \Sigma A' \sin^{\cos}(\alpha' t + \beta') + \dots \quad (5)$$

აქ t დროს გამოსახავს, ხოლო $p, p', \dots, A, A', \dots, \alpha, \beta, \alpha', \beta', \dots$ და სხვა მუდმივებია. ნიშანი \sin^{\cos} აღნიშნავს კოსინუსს ან სინუსს; Σ შეჯამების ნიშანია. იმ წევრებს, სადაც t შედის უშუალოდ, ეწოდება საუკუნობრივი წევრები, რადგან ისინი იზრდება დროსთან ერთად. ის წევრები კი, რომლებშიც t შედის სინუსის ან კოსინუსის ქვეშ, იწოდება პერიოდულ წევრებად.

თუმცა ცთომილთა შეშფოთება მცირეა, მაგრამ, თუ იგი დიდხანს მოქმედობს ერთი და იმავე მიმართულებით, შეიძლება დიდი ცვლილებები მოახდინოს. ამ საკითხს სწავლობდა ლაგრანჟი და ლაპლასი, რის-

თვისაც განიხილავენ (5) მწკრივს. აღმოჩნდა, რომ ცთომილთა ორბიტის დიდი ნახევარღერძი არ განიცდის არც საუკუნოებრივ და არც გრძელპერიოდთან შეშფოთებებს. ეს ნიშნავს, რომ ცთომილთა ორბიტები არც შემცირდება და არც გადიდება საგრძნობლად, რის გამოც ისინი არც მზეზე დაეცემა და არც სამყაროს სივრცეში გაითანტება. ამაში მდგომარეობს მზის სისტემის სიმტკიცე. ეს დებულება ემყარება (5) მწკრივის უმთავრეს წევრებს და სამართლიანია ასეთი მილიონი წლებისთვის. აქ შეიძლება შევნიშნოთ, რომ დედამიწიდან მზემდე მანძილის ერთი მეათედით შემცირება ან გადიდება დედამიწაზე ზოგიერთი სახის ცოცხალი არსების მოსპობის გამოიწვევდა.

ასევე მკირე ფარგლებში შეიძლება შეიცვალოს ორბიტის დახრილობა და ექსცენტრისიტეტი. მაგალითად, დედამიწისთვის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთხე შეიძლება მეტი გახდეს ან შემცირდეს 2° -ით; ხოლო ექსცენტრისიტეტი არ გადააქარბებს 0,05-ს.

† c) ნეპტუნისა და პლუტონის აღმოჩენა

სატურნი იყო უტელესკოპო ასტრონომიის უკანასკნელი ცთომილი. 1781 წელს ჰერშელმა ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს შემთხვევით აღმოაჩინა ურანი. გამოთვალეს ურანის ორბიტა ყველა ცთომილის შესწავლათა გათვალისწინებით. მაგრამ ურანი უხვევდა თავის გზიდან. დაუშვეს, რომ ეს გადახვევა გამოწვეულია უცნობი ცთომილით და დაისვა ამოცანა დაკვირვებით მიღებული გადახვევებით ეპოვათ შემაშფოთებელი ცთომილი. ამ ამოცანის გადაწყვეტას ხელი მოჰქიდა ფრანგმა ლევერიემ და ინგლისელმა ადამსმა. 1846 წლის 23 სექტემბერს, ლევერიეს მიერ ნაჩვენებ ადგილზე, ჰალემ იპოვა ახალი ცთომილი, რომელსაც ნეპტუნი უწოდეს. ნამდვილ მდებარეობასა და ლევერიეს გამოთვლილ მდებარეობას შორის განსხვავება იყო $52'$; ადამსის გამოთვლილი კი განსხვავდებოდა $2^{\circ} 27'$ -ით. ეს იყო ადამიანის გონების დიდი გამარჯვება. იგი თვალნათლად გვიჩვენებს, რომ ჩვენი ცოდნა ნამდვილად ასახავს რეალურ ბუნებას და მასზე დაყრდნობით შეიძლება აღმოვაჩინოთ ახალი მოვლენები.

რუსმა ასტრონომმა კოვალსკიმ დაამუშავა ნეპტუნის მოძრაობის თეორია, ყველა ცთომილის შესწავლათა გათვალისწინებით. მაგრამ ურანის მსგავსად ნეპტუნიც უხვევდა თავის გზიდან და დაისვა ამოცანა ხილული გადახრებით გამოთვლილიყო ახალი ცთომილის მდებარეობა. ამ ამოცანას ხელი მოჰქიდა ლოველმა. ლოველის მიერ გამოთვლილი ადგილის მახლობლად 1930 წელს აღმოაჩინეს ახალი ცთომილი, რომელსაც პლუტონი უწოდეს. პლუტონის ფიზიკური მონაცემები ისეთი აღმოჩნდა, რომ მას არ შეეძლო ნეპტუნის მოძრაობაში შემჩნეული გადახრები

გამოწვია. ამიტომ ფიქრობენ, რომ აღმოჩენის მომენტში ეს ცთომილხ შემთხვევით „მოხვდა“ გამოთვლილი მდებარეობის მახლობლად.

d) პრეცესია და ნუტაცია -

უძველესი დროიდან იყო ცნობილი, რომ დღელამსწორობის წერტილი ცის სფეროზე არ არის სავსებით უძრავი, არამედ გადაადგილდება აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ე. ი. მზის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამის გამო მზე უფრო ადრე გაივლის მოძრავ დღელამსწორობის წერტილს, ვიდრე ის, რომ უძრავი ყოფილიყო. ამ მოვლენას დაარქვეს „წინსწრება“, ანუ პრეცესია. ის დრო, რომელიც სჭირდება მზეს, რომ ორჯერ გაიაროს გაზაფხულის¹ დღელამსწორობის წერტილზე, იწოდება ტროპიკულ წელიწადად; ის უდრის 365,24220 დღე-ღამეს. ეკლიპტიკის უძრავ წერტილზე მზის ორხელ გავლას შორის გასულ დროს ეწოდება ვარსკვლავიერი წელიწადი და ის უდრის 365,25636 დღე-ღამეს. ამრიგად, ვარსკვლავიერ და ტროპიკულ წელს შორის სხვაობა უდრის 0,01416 დღე-ღამეს.

დღელამსწორობის წერტილის გადაადგილება იმას ნიშნავს, რომ იცვლება ეკვატორის სიბრტყის მდებარეობა ეკლიპტიკის მიმართ. ეკვატორის სიბრტყის ცვლილება კი დედამიწის ლერძის ცვლილებას მოასწავებს.



ნახ. 113.

ეს მოვლენა დიდხანს იყო მეცნიერებისთვის გაუგებარი და მხოლოდ მიზიდულობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ გახდა შესაძლებელი მისი ახსნა.

* მოძრაობის დროს, როგორც ვიცით, დედამიწის ლერძი ინარჩუნებს თავის მიმართულებას, მაგრამ ეს შენარჩუნება დროის „მცირე“ პერიოდს ეხება. დედამიწა რომ ზუსტად ერთგვაროვანი სფერო ყოფილიყო, მაშინ ლერძის მიმართულება ყოველთვის უცვლელი დარჩებოდა. განვიხილოთ მთვარის მოქმედება დედამიწის ეკვატორულ გამოზნექილობაზე. L მთვარე (ნახ. 113) იზიდავს ეკვატორის Q წერტილს (ასევე ეკვატორული გამოზნექილობის ყველა წერტილს) QL მიმართულებით, ვთქვათ, QA

¹ შეიძლება ვთქვათ შემოდგომის.

ძალით. ეს ძალა იშლება ორ მდგენელად; ერთი \overline{QB} ეკლიპტიკის სიბრტყის პარალელურია და მეორე \overline{QD} მისი მართობულია. ასევე მეორე მხარეზე, მთვარე იზიდავს ეკვატორის E წერტილს EL მიმართულებით, ვთქვათ, $\overline{EA'}$ ძალით. ეს ძალა იშლება ორ მდგენელად, $\overline{EB'}$ ეკლიპტიკის პარალელურად და $\overline{ED'}$ მის მართობულად. ეკლიპტიკის პარალელური ძალები \overline{QB} და $\overline{EB'}$ დედამიწის ბრუნვაზე გავლენას ვერ მოახდენს, ვინაიდან მთვარე საერთოდ ამ მიმართულებით იზიდავს მთელ დედამიწას. დარჩენილი ორი ძალა \overline{QD} და $\overline{ED'}$ წარმოადგენს ძალთა წყვილს რომელიც ეკლიპტიკის მართობულია. ეს ძალთა წყვილი ცდილობს მოაბრუნოს დედამიწა, ისე რომ EQ ეკვატორი დაემთხვას ეკლიპტიკის სიბრტყეს. დედამიწის ეს მცირე ბრუნვა იკრიბება დედამიწის დღელამურ ბრუნვასთან, რის გამოც ახალი ბრუნვის ღერძი გამოდის ნახაზის სიბრტყიდან ჩვენსკენ, ე. ი. მობრუნდება მარცხნიდან მარჯვნივ. დედამიწის ღერძის ასეთი უკუსვლითი ბრუნვა განუწყვეტლივ წარმოებს და 26000 წელში აღწერს. კონუსს ეკლიპტიკის CT ღერძის გარშემო (იხ. ნახ. 113), ამავე პერიოდში აღწერს წრეს დღელამსწორობის წერტილები.

მთვარის მსგავსად აიხსნება მზის მოქმედებაც. ორივე მნათობის მოქმედება ერთი და იმავე მიმართულებით წარმოებს, რადგან მზე იმყოფება ეკლიპტიკის სიბრტყეში, ხოლო მთვარე ახლოა ამ სიბრტყესთან. პრეცესის წლიური სიდიდე უდრის $360^{\circ} : 26000 = 50''$, 2. აქედან დაახლოებით $34''$ მთავრისგან წარმოსდგება და $16''$ მზისგან. საერთო პრეცესიაში მცირე წილი გამოწვეულია აგრეთვე ცთომილების შეშფოთებით, რომლებიც უმნიშვნელოდ ცვლის ეკლიპტიკის სიბრტყის მდებარეობას.

თანაბარ უკუსვლით ბრუნვის გარდა წარმოებს აგრეთვე დედამიწის ღერძის რყევა მისი საშუალო მდებარეობის გარშემო. ამას ეწოდება ნუტაცია. ის რამდენიმე პერიოდული რყევისგან შედგება, რომელთაგან უმთავრესია მთვარის კვანძების ბრუნვის პერიოდი 18,6 წელი. ნუტაციის სიდიდემ შეიძლება მიაღწიოს $9''$ -მდე.

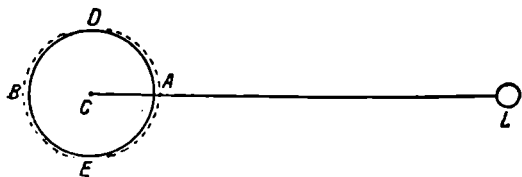
✚ c) მოქცევა და უკუქცევა

დაკვირვებით ადვილი შესამჩნევია, რომ ზღვის ნაპირზე წყლის დონე ზოგჯერ უფრო მაღალია და ზოგჯერ უფრო დაბალი. ამ მოვლენას ეწოდება ზღვის მოქცევა და უკუქცევა. დღე-ღამეში ადგილი აქვს ორ მოქცევას და ორ უკუქცევას, მაგრამ ეს მოვლენა იგვიანებს დღიდან დღემდე 50 წუთით. ამდენივეთი იგვიანებს დღე-ღამეში მთვარის კულმინაცია და ეს მოვლენა გვიჩვენებს, რომ მთვარის მოძრაობასა და მოქცევა-უკუქცევას შორის არსებობს კავშირი. 114 ნახაზზე გამოსახულია დედამიწა და მთვარე. დედამიწის A წერტილს მთვარე უფრო მეტად იზიდავს, ვიდრე C ცენტრს. ხოლო C -ს უფრო მეტად, ვიდრე B წერტილს.

ამის გამო წყლის წვეთები ოკეანეში A მხარეს წინ წავა მთვარისკენ, ხოლო B მხარეს ჩამორჩება. ამიტომ A და B წერტილებში ადგილი ექნება ზღვის მოქცევას, ხოლო D და E წერტილებში უკუქცევას.

მთვარის გარდა, მოქცევა უკუქცევას იწვევს მზის მიზიდულობაც.

* ამ პარაგრაფის $h)$ საკითხის (2) ფორმულის ანალოგიურად გამოიყვანება მთვარის მიერ გამოწვეული მოქცევა-უკუქცევის აჩქარება



ნახ. 114.

$$g_{\text{მ}} = k^2 \frac{2 r m}{R_{\text{მ}}^3}, \quad (2')$$

სადაც r დედამიწის რადიუსია, $R_{\text{მ}}$ — მთვარემდე მანძილი და m — მთვარის მასა.

* ასევე მზის მიერ გამოწვეული მოქცევა-უკუქცევის აჩქარება იქნება

$$g_{\odot} = k^2 \frac{2 r M}{R_{\odot}^3} \quad (2)$$

* ამათ შეფარდებაში როცა ჩავსვამთ, შესაფერ სიდიდეებს მივიღებთ:

$$\frac{g_{\text{მ}}}{g_{\odot}} = 2,2, \quad (6)$$

ე. ი. მთვარის მიერ გამოწვეული მოქცევა-უკუქცევის აჩქარება 2,2-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე მზის მიერ გამოწვეული.

როცა მზე და მთვარე ერთი მიმართულებით მოქმედებს, მაშინ ადგილი აქვს უდიდეს მოქცევა-უკუქცევას. ეს ხდება ახალმთვარობის და სავსე მთვარობის დროს. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში მზე და მთვარე დედამიწიდან სხვადასხვა მხარეს იმყოფება, მაგრამ მაინც თითოეული იწვევს უდიდეს მოქცევას ერთსა და იმავე დიამეტრის ორივე ბოლოზე (იხ. ნახ. 114). რომელიმე ადგილზე მთვარის (ან მზის) უდიდეს მოქცევას ადგილი უნდა ჰქონდეს, როცა ეს მნათობი ზედა ან ქვედა კულმინაციაში იმყოფება. მაგრამ ზღვის ფსკერზე წყლის ხახუნის გამო, ეს მოვლენა იგვიანებს, სხვადასხვა ადგილზე სხვადასხვა დროით, ზოგჯერ 12 საათსაც კი.

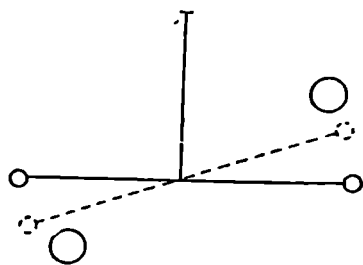
პატარა ზღვებში მოქცევისა და უკუქცევის ღონეთა სხვაობა $\frac{1}{2}$ მეტრამდე იცვლება, შავ ზღვაში ის უდრის 10—15 სანტიმეტრს. ოკეანეს ზოგიერთ ყურეში კი დიდია და 10—20 მეტრის სიმაღლეს აღწევს.

წყლის დონეს გარდა, მოქცევა-უკუქცევას განიცდის აგრეთვე დედამიწის შყარი ქერქიც, მაგრამ ის უმნიშვნელოა.

* f) ციურ სხეულთა მასების განსაზღვრა

ციურ სხეულთა მასების განსაზღვრისთვის საჭიროა ვიცოდეთ დედამიწის მასა. პირველი ხერხი დედამიწის მასის გასაგებად მოიფიქრანოტონმა. ის ამ მიზნით დედამიწის მიზიდულობას ადარებდა იზოლირებული მთის მიზიდულობას; მაგრამ ეს ხერხი არ არის ზუსტი.

ლაბორატორული ხერხი მდგომარეობს გრავიტაციული მუდმივის k^2 -ის განსაზღვრაში. ამათგან ყველაზე პოპულარულია გრეხითი სასწორის მეთოდი, რომელიც კევენდიშმა გამოიგონა 1798 წელს. ეს სასწორი შემდეგნაირად არის მოწყობილი: კვარცის ძაფზე ჩამოკიდებულია მსუბუქი ღერო, რომლის ბოლოებზე დამაგრებულია ორი ერთნაირი პატარა ბურთული. სასწორი წინასწარ არის შესწავლილი (სანამ ცდას მოვაწყობდეთ) და ცნობილია, თუ რა ძალას შეუძლია მისი მობრუნება გარკვეულ კუთხეზე. სასწორის ბურთულებს შიუახლოვებენ ორ მასობრივ ბურთს ერთნაირ მანძილზე. ბურთების მიზიდულობის შედეგად სასწორი მობრუნდება. მობრუნების მიხედვით კი განისაზღვრება ძალა. ეს ძალა ბურთების ურთიერთმიზიდულობის შედეგია და უდრის



ნახ. 115.

$$F = k^2 \frac{m_1 m_2}{d^2}, \quad (7)$$

სადაც m_1 და m_2 დიდი და პატარა ბურთების მასებია, ხოლო d — მათ ცენტრებს შორის მანძილი. აქედან განისაზღვრება k^2 , რადგან სხვა ცნობილია:

$$k^2 = \frac{F d^2}{m_1 m_2}. \quad (8)$$

მეორე მხრივ, რაიმე სხეულის სიმძიმის ძალა განისაზღვრება ორნაირად: I, ძალა უდრის მასას გამრავლებულს აჩქარებაზე: $P = mg$, და II მიზიდულობის კანონით: $P = k^2 \frac{Mm}{r^2}$; აქ m არის სხეულის მასა, g სიმძიმის ძალის აჩქარება, M დედამიწის მასა და r დედამიწის რადიუსი. ორი უკანასკნელი ტოლობიდან მივიღებთ

$$g = k^2 \frac{M}{r^2} \quad (9)$$

აქედან განისაზღვრება დედამიწის მასა M , რადგან k^2 ცნობილია (8) ფორმულით. CGS (სანტიმეტრი, გრამი, სეკუნდი) სისტემაში $k^2 = \frac{1}{15 \cdot 10^6}$ და დედამიწის მასა გამოდის $M = 6 \cdot 10^{27}$ გრამი $= 6 \cdot 10^{21}$ ტონა.

მზის მასის გასაგებად შევადაროთ მზისგან გამოწვეული დედამიწის აჩქარება, დედამიწისგან გამოწვეულ მთვარის აჩქარებას. დედამიწის აჩქარება იქნება $G = k^2 \frac{M}{R^2}$, მთვარის აჩქარება კი იქნება $g = k^2 \frac{m}{r^2}$. აქ M არის მზის მასა, m — დედამიწის მასა, R — მზემდე მანძილი და r — მთვარემდე მანძილი. აქედან

$$\frac{G}{g} = \frac{M r^2}{m R^2} \quad (10)$$

მეორე მხრივ, ეს აჩქარებათა შეფარდება შეიძლება ვიანგარიშოთ წრიული მოძრაობის ფორმულით: $g = R \omega^2$, სადაც $\omega = \frac{2\pi}{T}$. დედამიწისთვის $G = \frac{4\pi^2}{T^2} R$ და მთვარისთვის $g = \frac{4\pi^2}{t^2} r$.

აქედან

$$\frac{G}{g} = \frac{t^2 R}{T^2 r} \quad (11)$$

აქ t არის მთვარის სიდერული შემობრუნება და T ვარსკვლავური წელი. (10) და (11)-დან მივიღებთ

$$M = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2} m \quad (12)$$

უფრო ზუსტად მზის მასა გაიგება კეპლერის განზოგადებული მესამე კანონით, რომელსაც აქვს სახე:

$$\frac{A^3}{T^2(M+m)} = \frac{A_1^3}{T_1^2(M+m_1)} = \text{მუდმივეს} \left(= \frac{k^2}{4\pi^2} \right). \quad (13)$$

დედამიწისთვის, რომელიც მზის გარშემო მოძრაობს, გვექნება $\frac{A^3}{T^2(M+m)} = \text{მუდმივეს}$. მთვარისთვის, რომელიც დედამიწის გარშემო მოძრაობს, გვექნება $\frac{a^3}{t^2(m+m_1)} = \text{მუდმივეს}$. ამ ორ ტოლობიდან მივიღებთ

$$\frac{M+m}{m+m_1} = \frac{A^3}{a^3} \frac{t^2}{T^2} \quad (14)$$

(14) ტოლობის მარჯვენა მხარეში A და a არის დედამიწის და მთვარის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი, T და t კი გარემოქცევის პერიოდები. მარცხენა მხარეში m დედამიწის მასა და m' მთვარის მასა ცნობილად იგულისხმება და განისაზღვრება მზის მასა M . აღმოჩნდა, რომ მზის მასა 332 000-ჯერ მეტია დედამიწის მასაზე.

კეპლერის განზოგადებული მესამე კანონი გამოიყენება აგრეთვე ცთომილთა მასების განსაზღვრისათვის, თუ აღებულ ცთომილს ჰყავს თანამგზავრი. თუ ცთომილს თანამგზავრი არ ჰყავს, მაშინ მისი მასა განისაზღვრება იმ შემთხვევით, რომელსაც იწვევს ცთომილი სხვა ციური სხეულის მოძრაობაში. ასევე მთვარის მასა შეიძლება განვსაზღვროთ იმ შემთხვევით, რომელსაც ის იწვევს დედამიწის მოძრაობაში.

დედამიწა და მთვარე მოძრაობს საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო ერთი სიდერული თვის განმავლობაში. იმ



ნახ. 116.

ციურ სხეულებზე დაკვირვებით, რომელთა მოძრაობა ცნობილია, შეიძლება გაიზომოს დედამიწის T ცენტრის რყევა სიმძიმის C ცენტრის გარშემო, რაც 108 ნახაზზე აღნიშნულია პუნქტურიით. ამის შედეგად კი განისაზღვრება TC მანძილი. აღვნიშნოთ $TC = \rho$, $TL = r$, დედამიწის მასა აღვნიშნოთ M -ით და მთვარის მასა m -ით. მასები სიმძიმის ცენტრამდე მანძილების უკუპროპორციულია; ამიტომ

$$M\rho = (r - \rho)m, \quad (15)$$

აქედან განისაზღვრება მთვარის მასა m ; ის დედამიწის მასაზე 81,5-ჯერ მეტია.

IV თავის სავარჯიშო

1. გამოთვალეთ მერკურის სინოდური შემობრუნება, თუ ცნობილია, რომ სიდერული ანუ ვარსკვლავიერი შემობრუნება უდრის 88 დღე-ღამეს.

ამოხსნა. გამოიყენებთ ფორმულას $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$, სადაც ვარსკვლავიერი წლის სიდიდე $E = 365,26$ დღე-ღამეს. $T = 88$ დღე. გამოდის, რომ $S = 116$ დღე-ღამეს.

2. გამოთვალეთ იუპიტერის სინოდური შემობრუნება, თუ ცნობილია, რომ ვარსკვლავიერი შემობრუნება უდრის 11 წელს და 315 დღე-ღამეს.

ამოხსნა. გარე ცთომილისთვის $\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T}$; 11 წელი და 315 დღე. $= 365,24 \cdot 11 + 315 = 4332,64 = T$. გამოდის, რომ $S = 399$ დღე-ღამეს $= 1$ წ. 34 დღე.

მ. გამოთვალეთ მარსის ვარსკვლავიერი შემობრუნების პერიოდი. თუ ცნობილია, რომ სინოდური შემობრუნების პერიოდი უდრის 2 წელსა და 50 დღე-ღამეს.

ამოხსნა. $\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T}$. $S = 365,24 \cdot 2 + 50 = 780,48$ დღ. $E = 365,26$. გამოდის $T = 687$ დღ.

* 4. ვენერას ხილვის პირობები მეორდება ყოველ რვა წელს თითქმის თვის ერთსა და იმავე რიცხვებში. გამოარკვეეთ ამის მიზეზი, თუ ცნობილია, რომ ვენერას ვარსკვლავიერი შემობრუნების პერიოდი $T = 225$ დღე-ღამეს.

ამოხსნა. როგორც პირველ ამოცანაში გამოითვლება ვენერას სინოდური პერიოდი; ის უდრის 586 დღე-ღამეს. 8 წელში არის $8 \cdot 365,24 = 2922$ დღე-ღამე. ვენერას 5 სინოდურ შემობრუნებაში გაივლის $5 \cdot 586 = 2930$ დღ., ე. ი. რვა წელი დაახლოებით უდრის ვენერას 5 სინოდურ შემობრუნებას და ამიტომ მეორდება ხილვის პირობები.

* 5. გამოთვალეთ უკუსვლითი მოძრაობის სიდიდე და ხანგრძლიობა მარსისთვის.

ამოხსნა. უნდა გამოვიყენოთ ფორმულა $\cos S = \frac{n + n_1 r^2}{r(n + n_1)}$. ორბიტის ელემენტების ცხრილიდან (იხ. წიგნის ბოლოში ცხრილი. I) ვიპოვით: დედამიწის $n = 3648''$, 2, მარსისთვის $n_1 = 1886''$, 5 $r = 1,524$.

$$\lg n_1 = 3,2756, \quad \lg r = 0,1829, \quad n_1 r^2 = 4379'',$$

$$\lg(n + n_1) = 3,7352, \quad \lg(n + n_1 r^2) = 3,8991,$$

$$\lg \cos S = \bar{1},9810 \quad S = 16^\circ 50'.$$

უკუსვლითი მოძრაობის ნახევარი $t = S : (n - n_1) = 36,67$ დღ.

$$\psi > 90^\circ. \quad \sin \psi = \frac{r \sin S}{\sqrt{1 + r^2 - 2rc \cos S}} \quad \lg \sin S = \bar{1},4618. \quad \lg (36) = \bar{1},8032. \quad \psi = 180^\circ - 43^\circ 58' = 136^\circ 2'; \quad \psi + S = 152^\circ 52'; \quad M = 180^\circ - (\psi + S) = 27^\circ 8'. \quad \text{უკუსვლითი მოძრაობის ნახევარი } \theta = M - n_1 t.$$

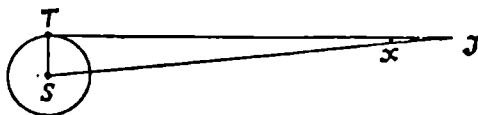
$$\lg t = 1,5643; \quad n_1 t = 69160'' = 19^\circ 13'; \quad \theta = 7^\circ 55'.$$

უკუსვლითი მოძრაობა იქნება $2\theta = 15^\circ 50'$; უკუსვ. მოძრ. ხანგრძლიობა $2t = 73,34$. დღ.

* 6. გამოთვალეთ უკუსვლითი მოძრაობის სიდიდე და ხანგრძლიობა ვენერასთვის.

ამოხსნა. ორბიტის ელემენტების ცხრილიდან ვიპოვით: $n = 3548''$, 2. ვენერასთვის $n_1 = 5767''$, 7, $r = 0,723$. S გამოვიტვლით იმავე ფორმულით, როგორც 5 ამოცანაში. გამოდის $S = 13^\circ$. შიდა ცთომილისთვის $t = S : (n_1 - n)$; $t = 21,18$ დღ. $\theta = \psi - n_1 t$; $\psi < 90^\circ$, $\psi = 28^\circ 44'$, $n_1 t = 20^\circ 53'$, $\theta = 7^\circ 51'$, $2\theta = 15^\circ 42'$, $2t = 42,36$ დღე.

* 7. რას უდრის იუპიტერიდან დედამიწის უდიდესი ელონგაცია. თუ იუპიტერის დაშორება მზიდან უდრის 5,2 ასტრონომიულ ერთეულს. ა მო ხ ს ნ ა. $\sin x = 1 : 5,2$ $x = 11^\circ$ (ნახ. 117).



ნახ. 117.

* 8. რას უდრის მარსის პირდაპირი მოძრაობის ხილული კუთხური სიჩქარე შეერთებაში და უკუსვლითი მოძრაობის ხილული კუთხური სიჩქარე ოპოზიციასში.

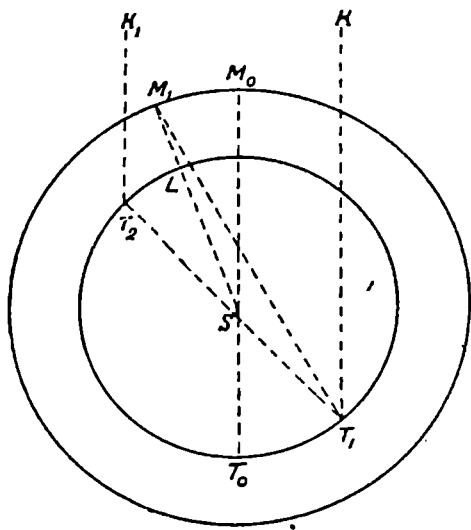
ა მო ხ ს ნ ა. ვთქვათ, პირისპირი დგოვის დროს დედამიწა გადაადგილდა $n = \angle T_0ST_1$ კუთხეზე (ნახ. 118), ხოლო მარსი $n_1 = \angle M_0SM_1$ კუთხეზე. გავატაროთ $T_1K \parallel T_0SM_0$ -ის, მაშინ მარსის ხილული პირდაპირი მოძრაობა იქნება $\angle M_1T_1K$, რაც უდრის $\angle ST_1K - \angle ST_1M_1$, აღვნიშნოთ $\angle ST_1M_1 = x$.

$\angle M_1ST_1 = 180^\circ - (n - n_1)$. დედამიწის ორბიტის რადიუსი უდრის ერთს: მარსის რადიუსი აღვნიშნოთ r -ით. M_1ST_1 სამკუთხედიდან $r : \sin x = (1+r) : \sin(n - n_1)$. კუთხეების სიმციროს გამო გვექნება $x = \frac{(n - n_1)r}{1+r}$. მარსის პირდაპირი მოძრაობა იქნება $\theta = n -$

$x = \frac{n + n_1 r}{1+r}$. როგორც ვიცით, $n = 3548''2$, $n_1 = 1886''5$, $r = 1,524$. როცა ჩავსვათ, მივიღებთ $\theta = 42' 23''$. ოპოზიციის

დროს დედამიწის დღიური გადაადგილება, ვთქვათ, არის $n = \angle M_0ST_2$. გავატაროთ $T_2K_1 \parallel SM_0$. მარსის ხილული უკუსვლითი მოძრაობა $\theta_1 = \angle K_1T_2M_1$; T_2M_1S სამკუთხედიდან მივიღებთ:

$$\frac{1}{r} = \frac{\sin M}{\sin [180^\circ - (n + \theta)]}$$



ნახ. 118.

გავატაროთ $M_1K_2 \parallel SM_0$, მაშინ $\angle K_2M_1S = n_1$ და $0_1 = M - n_1$; ამიტომ ვპეკნება:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\sin(n-n_1)}{r - \cos(n-n_1)}.$$

გამოთვლის შემდეგ მივიღებთ $M = 52' 51''$. $0_1 = 25' 10''$.

* 9. რა ხილული კუთხური სიჩქარით შორდება ვენერა, მზეს ზედა შეერთების დროს.

ამოხსნა. დედამიწის გადაადგილება $n = \angle T_0ST_1$ -ს ვენერას $V_1SV_0 = n$ -ს. 8 ამოცანის მსგავსად, T_1SV_1 სამკუთხედიდან $r : \sin x = (1 + r) : \sin(n_1 - n)$. აქედან $x = \frac{(n_1 - n)r}{1 + r}$; $n_1 = 5767''$, $n = 3548''$, $r = 0,723$.

გამოთვლით მივიღებთ $x = 15' 31''$ დღე-ღამეში.

* 10. განსაზღვრეთ მერკურის საშუალო მანძილი მზემდე, თუ მისი საშუალო უდიდესი ელონგაცია 23° -ს უდრის.

პასუხი. $r = \sin 23^\circ = 0,3907$ ასტ. ერთეულს.

* 11. შეამოწმეთ კეპლერის მესამე კანონი სატურნის მოძრაობით, რომლისთვისაც $a = 9,539$ და $T = 29,457$.

* 12. განსაზღვრეთ ცთომილის საშუალო მანძილი მზემდე, თუ ცნობილია, რომ მისი სინოდური შემობრუნება უდრის ორ წელს.

ამოხსნა. ჯერ გავიგებთ ვარსკვლავიერი შემობრუნების პერიოდს ფორმულით $\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T}$, საიდანაც $T = 2$ წელს. შემდეგ გამოვიყენებთ კეპლერის მესამე კანონს.

$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a_0^3}{T_0^2}$, სადაც დედამიწისთვის $a_0 = 1$, $T_0 = 1$. $a = \sqrt[3]{4} = 1,588$ ასტ. ერთეულს.

* 13. რას უდრის ცთომილის საშუალო მანძილი მზემდე, რომელიც მზის გარშემო შემოვლას უნდება 8 წელს?

პასუხი. 4 ასტ. ერთ.

* 14. ასტეროიდ პალადას საშუალო დაშორება მზიდან უდრის 2,77 ასტ. ერთეულს. რას უდრის მისი გარემოქცევის პერიოდი?

პასუხი. $T = \sqrt{a^3} = 4,611$ წელს.

* 15. რა მანძილზე უნდა გავაჩეროთ ორშაურიანი, რომ მან მთლიანად დაფაროს მთვარე ან მზე, რომელთა ხილული დიამეტრი უდრის $32'$ -ს. ორშაურიანის დიამეტრი უდრის 1,7 სანტიმეტრს.

ამოხსნა. ორშაურიანის რადიუსი უდრის 0,86 სანტ. აღვნიშნოთ მანძილი თვალიდან ორშაურიანის გაჩერებამდე x -ით, მაშინ

119 ნახაზიდან ჩანს, რომ $0,85 = x \sin 16'$, აქედან $x = 181$ სანტ.

* 16. როგორი იქნება მთვარიდან დედამიწის ხილული დიამეტრი?

ამოხსნა. დედამიწის რადიუსი $r=6370$ კმ. მთვარემდე საშუალო მანძილი $R=384000$ კმ. დედამიწის ხილული დისკოს ρ რადიუსისთვის $r=R \sin \rho$. $\rho=57'$, დიამეტრი $d=1^{\circ}54'$.

* 17. რა კუთხურ მანძილზე დაშორდება მთვარე დედამიწას მარსზე მყოფი დამკვირვებლისთვის საშუალო ოპოზიციის დროს?

ამოხსნა. მთვარემდე მანძილი $r=384000$ კმ. დედამიწიდან მზემდე მანძილი $a=1$ ასტ. ერთ.=149500000 კმ. მარსიდან მზემდე მანძილი $a_1=1,524$ ასტ. ერთეულს. დედამიწიდან მარსამდე მანძილი ოპოზიციის დროს $a_1-a=0,524$ ასტ. ერთეულს. 15 ამოცანის მიხედვით $r=(a_1-a) \sin x$, აქედან გამოდის $x=1^{\circ}41'$.

* 18. მზის ხილული რადიუსი უდრის $\rho=16'$. იპოვეთ მზის რადიუსის ხაზობრივი სიდიდე.

პასუხი. $R=a \sin \rho=696000$ კმ, სადაც a ასტ. ერთეულია.

* 19. მზის საშუალო ჰორიზონტული პარალაქსი უდრის $8'',80$, ხოლო მთვარის $-57'$ -ს. გამოთვალეთ ამ მნათობთა მანძილი დედამიწის ცენტრიდან.

ამოხსნა. დედამიწის რადიუსი აღენიშნათ r -ით, მაშინ მანძილი $d = \frac{r}{\sin \pi}$. მზისთვის $D_{\odot} = \frac{r}{\sin \pi_{\odot}} = \frac{6370}{\sin 8'',80}$. მცირე კუთხის სინუსი შეიცვლება თვით კუთხით რადიანულ ზომაში. ე. ი. $D_{\odot} = \frac{6370 \cdot 206265''}{8'',8} = 149500000$ კმ. მთვარისთვის $D_{\text{მ}} = \frac{r}{\sin 57'} = 384400$ კმ.

* 20. მთვარის რადიუსი შეადგენს დედამიწის 0,27-ს. რას უდრის მთვარეზე მზის ჰორიზონტული პარალაქსი?

ამოხსნა. პარალაქსის განმარტების თანახმად, $\sin \pi = \frac{r}{D}$; მანძილი მზემდე D იგივეა მთვარის საშუალო მდებარეობიდან, რაც დედამიწიდან. რადიუსი კი უდრის დედამიწის რადიუსის 0,27 ნაწილს. ამიტომ $\sin \pi_{\text{მ}} = \frac{0,27 R}{D} = 0,27 \sin \pi_{\odot}$. სიმცირის გამო სინუსები შეიცვლება კუთხეებით $\pi_{\text{მ}} = 0,27 \pi_{\odot} = 2'',4$.

* 21. რა ფარგლებში იცვლება მარსის ჰორიზონტული პარალაქსი? ამოხსნა. მარსის დაშორება მზიდან $a_1=1,524$ ასტ. ერთეულს. დედამიწასთან უახლოეს მანძილზე მარსის დაშორება უდრის $D_1=a_1-a=0,524 a$, ხოლო უშორეს მანძილზე დაშორება $D_2=a_1+a=2,524 a$. პარალაქსისთვის $\sin \pi = \frac{r}{D}$; მარსის უდიდესი პარალაქსი განისაზღვრება ფორმულით $\sin \pi_{\max} = \frac{r}{0,524 a}$, ხოლო უმცირესი $\sin \pi_{\min} = \frac{r}{2,524 a}$;

აქ r არის დედამიწის რადიუსი და a ასტრონომიული ერთეული. კუთხეების სიმციროს გამო სინუსები შეიცვლება თვით კუთხით რადიანულ ზომაში. მივიღებთ $\pi_{max} = 16'' , 76$, $\pi_{min} = 3'' , 49$ (რადიანულ ზომაში გადაყვანი კოეფიციენტი $m = 206265''$; $\lg m = 5,3142$).

* 22. რას უდრის ვენერას უდიდესი პორიზონტული პარალაქსი? როგორ გამოჩნდება დედამიწა და მთვარე ამ დროს ვენერადან?

ამოხსნა. ვენერას უდიდესი პარალაქსი ექნება შიდა შეერთების დროს, როცა დედამიწიდან დაშორება უდრის $a - a_1$ -ს. აქ a არის დედამიწის და a_1 ვენერას საშუალო დაშორება მზიდან. მაქსიმუმი $\sin \pi = \frac{r}{a - a_1}$, აქედან $\pi' = \frac{r}{0,277 a} \cdot m$ (იხ. 21 ამოცანა), რადგან $a_1 = 0,723 a$.

გამოდის მაქსიმუმი $\pi = 31'' , 71$ ამასვე უდრის ვენერადან დედამიწის კუთხური რადიუსი. მთვარის რადიუსი კი იქნება ამის 0,27 ნაწილი, ე. ი. $\rho_{\text{მზ}} = 8'' , 56$. მთვარისა და დედამიწის უდიდესი კუთხური დაშორება ρ_1 გამოითვლება ფორმულით: $d = (a - a_1) \operatorname{tg} \rho_1$, სადაც $d = 384000$ კმ მთვარესა და დედამიწას შორის მანძილია. გამოდის, რომ $\rho_1 = 8' 49''$.

* 23. ნეპტუნი იმყოფება მზიდან 30 ასტრონომიულ ერთეულზე. რას უდრის მისი პორიზონტული პარალაქსი დედამიწიდან საშუალო მანძილზე? რა კუთხით გამოჩნდება ნეპტუნიდან მზის რადიუსი?

ამოხსნა. პარალაქსი მანძილის უკუპროპორციულია. ამიტომ ნეპტუნის პორიზონტული პარალაქსი მზის პარალაქსზე 30-ჯერ ნაკლები იქნება $\pi_{\text{მზ}} = 8'' , 8 : 30 = 0'' , 293$. მზის რადიუსი 30-ჯერ ნაკლები იქნება, ე. ი. მზის $\rho_{\text{მზ}} = 16' : 30 = 1' 2''$.

* 24. რას უდრის მზის ხილული პარალაქსი შუადღეზე თბილისში დღელამსწორობის დღეს?

ამოხსნა. ხილული პარალაქსი $p = \pi \sin \chi$. დღელამსწორობის დღეს $\delta \odot = 0$. შუადღეზე, ე. ი. ზედა კულმინაციის დროს $\chi = \varphi - \delta = \varphi$ -ს. თბილისის $\varphi = 41^{\circ} 43'$. მაშ $p = 8'' , 8 \sin 41^{\circ} 43' = 5'' , 86$.

* 25. მთვარის დახრილობა უდრის $15^{\circ} 17'$. როგორ შეიცვლება მისი ზენიტური მანძილი პარალაქსის გამო ზედა კულმინაციის დროს ქუთაისში ($\varphi = 41^{\circ} 15'$), თუ მთვარის პორიზონტული პარალაქსი ამ დღეს უდრიდა 1° -ს.

ამოხსნა. $\chi = \varphi - \delta = 25^{\circ} 58'$. პარალაქსის გავლენა გამოითვლება ფორმულით $\sin p = \sin \pi \sin \chi'$, სადაც χ' ხილული ზენიტური მანძილია. მაგრამ შეიძლება შევცვალოთ გეოცენტრული ზენიტური მანძილით. $\lg(\sin p) = \bar{3},8833$; $\lg p'' = \bar{3},1975$ (იხ. 21 ამოცანა). $p = 1576'' = 26' 16''$ ხილული ზენიტური მანძილი $\chi' = \chi + p = 26^{\circ} 24' 16''$.

* 26. როგორ შეიცვლება მარსის ზენიტური მანძილი პარალაქსის გამო ზედა კულმინაციის დროს მოსკოვში ($\varphi = 55^{\circ} 45'$), თუ მისი დახრილობა ამ დღეს უდრიდა $21^{\circ} 36' 13''$ -ს, ხოლო პორიზონტული პარალაქსი $12'' , 5$.

ამოხსნა. პარალაქსის სიმცირის გამო დაიწერება $p = \pi \sin \gamma$.
 $\gamma = \varphi - \varepsilon = 34^{\circ} 8' 47''$, $p = 12'',55 \sin \gamma = 7''$. $\gamma' = \gamma + p = 34^{\circ} 8' 54''$.

* 27. დაკვირვებით მიღებული მცირე ცთომილის ზენიტური მანძილი იყო $58^{\circ} 42' 15''$. მისი ჰორიზონტული პარალაქსი ამ დროს უდრიდა $7''$, ა. რეფრაქციაზე და პარალაქსზე შესწორებით იპოვეთ გეოცენტრული ზენიტური მანძილი.

ამოხსნა. რეფრაქცია ამცირებს ზენიტურ მანძილს, ხოლო პარალაქსი ადიდებს. ამიტომ რეფრაქციის შესწორება $R = 58'',2 \operatorname{tg} \gamma_1$ უნდა მიემატოს და პარალაქსის შესწორება $p = \pi \sin \gamma_1$ უნდა გამოაკლდეს ხილულ ზენიტურ მანძილს. გამოთვლით მივიღებთ $R = 1' 35'',7$, $p = 6'',2$.
 $\gamma_1 = 58^{\circ} 43' 44'',5$.

* 28. დაკვირვებით მიღებული მთვარის ზედა კიდის ზენიტური მანძილი უდრიდა $64^{\circ} 13' 20''$. მთვარის ხილული რადიუსი $15' 51''$. რეფრაქციაზე და პარალაქსზე შესწორებით იპოვეთ მთვარის ცენტრის ზენიტური მანძილი თუ მისი ჰორიზონტული პარალაქსი ამ დღეს იყო 1° .

ამოხსნა. $\gamma = \gamma_1 + R + p - p$. $R = 58'',2 \operatorname{tg} \gamma_1 = 2' 1''$, $p = 15' 51''$,
 $\sin p = \sin 1^{\circ} \sin \gamma_1$; $p = 55' 9''$; $\gamma = 63^{\circ} 36' 3''$.

* 29. რას უდრის მარსის წლიური პარალაქსი საშუალო მანძილზე?

ამოხსნა. გამოითვლება ფორმულით $\sin P = \frac{a}{a_1} = \frac{1}{1,524}$; $P = 41^{\circ} 1'$.

* 30. უახლოესი ვარსკვლავის α ცენტავრის წლიური პარალაქსი $P = 0'',75$ -ს. რას უდრის ამ ვარსკვლავის დედამიწური პორიზონტული პარალაქსი?

ამოხსნა. წლიური პარალაქსის განმარტების თანახმად, $\sin P = \frac{a}{x}$, სადაც a არის ასტრონომიული ერთეული, ხოლო x მანძილი მნათობამდე. აქედან განვსაზღვროთ x , რისთვისაც მცირე კუთხის სინუსი შევცვალოთ თვით კუთხით რადიანულ ზომაში $x = \frac{a}{\sin P} = \frac{a \cdot 206265}{P}$. პორიზონტული პარალაქსის განმარტების თანახმად,

$\sin \pi = \frac{r}{D}$, სადაც r დედამიწის რადიუსია, ხოლო D —მანძილი მნათობამდე. აქედან $\frac{\pi}{206265} = \frac{r}{D}$. α ცენტავრისთვის $D = x$ და მივიღებთ:

$$\pi = \frac{r \cdot P}{a} = 0'',000032.$$

* 31. რას უდრის მზის წლიური პარალაქსი?

ამოხსნა. გეომეტრიულად მზის წლიური პარალაქსს აზრი არა აქვს, რადგან მზესთან არ წარმოიდგინება კუთხე დედამიწის ორბიტის რადი-

უსზე დაყრდნობილი. მაგრამ მზის პარალაქსი გამოიყენება არაპირდაპირი გზით. თუ წლიური პარალაქსი არის $1''$, მაშინ მანძილი იქნება $D = \frac{1}{\sin 1''}$ ასტ. ერთ. = 206265 ასტ. ერთ. პარალაქსი მანძილის უკუპროპორციულია. ამიტომ $P'' \odot : 1'' = 206265 : 1$. აქედან $P = 206265'' = 1$ რადიანს.

* მ2. წლიური აბერაციის გარდა, არსებობს აგრეთვე დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული აბერაცია, რასაც ეწოდება დღელამური აბერაცია. რას უდრის მისი სიდიდე ეკვატორზე? ფ განელზე?

ამოხსნა. ბრუნვით გამოწვეული ეკვატორის წერტილების სიჩქარე უდრის $464 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$. აბერაციისთვის $\text{tg } \alpha = \frac{v}{c} = \frac{0,464}{300\,000}$. აქედან $\alpha = 0'',32$. ფ განელზე იქნება $\alpha_1 = 0'',32 \sin \varphi$.

* მ3. როგორი იქნება ვენერაზე აბერაციის სიდიდე?

ამოხსნა. აბერაციისთვის $\text{tg } \alpha_1 = \frac{v_1}{c}$. ვენერას სიჩქარე მზის გარ-

შემო მოძრაობისას $v_1 = \frac{2\pi a_1}{T_1} = \frac{2\pi a}{T} \cdot \frac{a_1 T}{a T_1}$, სადაც $\frac{2\pi a}{T}$ არის

დედამიწის სიჩქარე— v ; ამიტომ $\text{tg } \alpha_1 = \frac{v}{c} \frac{a_1 T}{a T_1}$, სადაც $\frac{v}{c} = \text{tg } \alpha$

არის დედამიწის აბერაციული კუთხის ტანგენსი. მცირე კუთხეების გამო გვექნება $\alpha_1 = \alpha \frac{a_1 T}{a T_1} = \alpha \cdot 1,15 = 23'',4$.

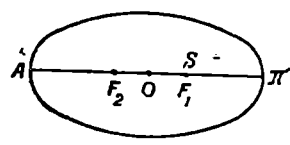
* მ4. განსაზღვრეთ მარსის უდიდესი და უმცირესი დაშორება მზიდან.

ამოხსნა. მარსის დიდი ნახევარღერძი $a_1 = 1,524 a$, სადაც a ასტრონომიული ერთეულია; ექსცენტრისიტეტი $e_1 = 0,093$ მზე იმყოფება

F_1 ფოკუსში (ნახ. 120). უმოკლესი მანძილი $r_{\min} = 0\pi - OF_1 = a_1 - a_1 e_1$. უდიდესი მანძილი კი იქნება $r_{\max} = F_1 A = a_1 + a_1 e_1$. $r_{\min} = 0,907 a_1 = 206600000$ კმ. $r_{\max} = 1,907 a_1 = 249100000$ კმ.

* მ5. რას უდრის ყველაზე უდიდესი და ყველაზე უმცირესი დაშორება დედამიწასა და მარსს შორის?

ამოხსნა. დედამიწის $a = 1$ ასტ. ერთეულს, $e = 0,0167$. დედამიწის მზესთან უმოკლესი მანძილი $r_{\min} = 0,9833 a = 147000000$ კმ. უდიდესი მანძილი $r_{\max} = 2,0167 a = 151900000$ კმ. ყველაზე უმცირესი დაშორებაა, როცა ოპოზიციის დროს მარსი მზიდან უმცირეს მანძილზეა და დედამიწა უდიდესზე. წინა ამოცანის თანახმად, ეს იქნება 206600000 კმ. — 151900000 კმ. = 54700000 კმ. ყველაზე უდიდესი დაშორება იქნება შეერთების დროს, როცა ორივე ცთომილი მზიდან უდიდესად არის დაშორებული. ეს უდრის 401000000 კმ.



ნახ. 120.

* 36. პალეის კომეტის დაშორება მიზიდან პერიოდიულუმში უდრიდა 0,587 ასტრონომიულ ერთეულს, ხოლო აფელიუმში 35,31 ასტ. ერთეულს. განსაზღვრეთ ამ კომეტის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი და ექსცენტრისიტეტი.

ამოხსნა. $r_{max}=35,31 a$, $r_{min}=0,587 a$, სადაც a ასტ. ერთეულია.
 $2a_1=r_{max}+r_{min}$. აქედან $a_1=17,948 a$. $r_{max}-r_{min}=2a_1e_1=34,7230 a$.
 $a_1e_1=17,3615 a$. $e_1=\frac{a_1e_1}{a_1}=0,9633$.

* 37. ორბიტის ელემენტების მიხედვით დახაზეთ ერთად და ერთ მასშტაბში დედამიწისა და მარსის ორბიტები, და განსაზღვრეთ მარსის ხილული გრძედი 1954, 1955, 1956 წლის 1 იანვრისთვის.

პასუხი. 216° , 349° , 231° . (იხ. § 19f).

* 38. ორბიტის ელემენტების მიხედვით დახაზეთ ერთად და ერთ მასშტაბში დედამიწისა და ვენერას ორბიტები და განსაზღვრეთ ვენერას ხილული გრძედი 1956, 1957, 1958 წლის 1 მაისისთვის.

პასუხი. 91° , 50° , 2° .

* 39. ორბიტის ელემენტების მიხედვით დახაზეთ ერთად და ერთ მასშტაბში დედამიწისა და იუპიტერის ორბიტები და განსაზღვრეთ იუპიტერის ხილული გრძედი 1954, 1957, 1960 წლის 1 ოქტომბრისთვის.

პასუხი. 235° , 234° , 218° .

* 40. დედამიწამ რომ შეწყვიტოს მზის გარშემო მოძრაობა, რამდენ ხანში დაეცემოდა ის მზეზე?

ამოხსნა. მოძრაობა იქნება სწორხაზობრივი ანუ ელიფსურის ზღვრული შემთხვევა, როცა $e=1$. დედამიწა იქნება აფელიუმში და მზეზე, ანუ პერიოდიულუმში მოსვლამდე გაივლის ნახევარი პერიოდი. გამოვიყენოთ კეპლერის მესამე კანონი დედამიწის ნამდვილ და წარმოსახვით მოძრაობას შორის: $\frac{T^2}{(2t)^2}=\frac{a^2}{(a/2)^2}$; აქედან $t=\frac{T}{4\sqrt{2}}$. დედამიწის-

თვის $T=365,24$; ამიტომ $t=365,24:5,65=64,6$ დღე-ღამე.

* 41. რა დროში დაეცემოდა მთვარე დედამიწაზე, მისი მოძრაობა რომ შეწყვეტილიყო?

პასუხი. 4,8 დღე-ღამეში (იხ. 40 ამოცანა).

* 42. დაამტკიცეთ, რომ ელიფსური მოძრაობის დროს უდიდესი სიჩქარე ისე შეეფარდება უმცირეს სიჩქარეს, როგორც უდიდესი დაშორება მიზიდან—უმცირესს.

ამოხსნა. სიჩქარე გამოისახება ფორმულით: $v^2=k^2(M+m)\left(\frac{2}{r}-\frac{1}{a}\right)$. უდიდესი სიჩქარე იქნება, როცა r უმცირესია, ე. ი. პერიოდი-

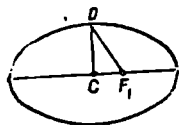
უმში, სადაც $r = a - ae$. $v_{max}^2 = k^2(M+m) \left(\frac{2}{a-ae} - \frac{1}{a} \right) = k^2 \frac{(M+m)(1+e)}{a(1-e)}$;

უმცირესი სიჩქარე იქნება, როცა r უდიდესია, ე. ი. აფელიუმში, სადაც $r = a + ae$. $v_{min}^2 = k^2(M+m) \left(\frac{2}{a+ae} - \frac{1}{a} \right)$; $v_{min}^2 = k^2(M+m) \frac{1-e}{a(1+e)}$;

აქედან

$$\frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{1+e}{1-e} = \frac{a+ae}{a-ae}.$$

* 43. დაამტკიცეთ, რომ ელიფსური მოძრაობის დროს მცირე ღერძის ბოლოზე სხეულის სიჩქარე წრიული სიჩქარის ტოლია.



ნახ. 121.

ამოხსნა. D წერტილში სიჩქარის კვადრატია $v^2 = k^2(M+m) \left(\frac{2}{F_1 D} - \frac{1}{a} \right)$. $F_1 D^2 = CF_1^2 + CD^2$ (ნახ.

121), მაგრამ $CF_1 = ae$. $CD = a\sqrt{1-e^2}$. ამიტომ $F_1 D = a$.

მაშინ $v^2 = k^2(M+m) \frac{1}{a}$. ეს კი წრიული სიჩქარის კვადრატია.

* 44. რას უდრის პარაბოლზე მოძრავი სხეულის სიჩქარე დედამიწის მანძილზე?

ამოხსნა. პარაბოლური სიჩქარის კვადრატია გამოისახება ფორმულით

$$v^2 = \frac{2k^2 M}{r} \quad (m=0); \quad k^2 = \frac{1}{15\,000\,000}; \quad \lg k^2 = \bar{8},8239, \quad M_{\odot} = 332000m,$$

სადაც დედამიწის მასა $m = 6 \cdot 10^{27}$ გრამს. $\lg M_{\odot} = 33,2993$. დედამიწის მანძილზე $r = 149500000$ კმ. $= 1495 \cdot 10^{10}$ სტ. $\lg r = 13,1747$; $\lg 2 = 0,3010$.

$$\lg v^2 = 13,2495, \quad \text{აქედან } v = 421500 \frac{\text{სანტ.}}{\text{სექ.}} = 42,15 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$$

* 45. კეპლერის მესამე კანონის ზუსტი ფორმულით განსაზღვრეთ იუპიტერის მასა, რისთვისაც მიიღეთ მზის მასა $M=1$, დედამიწის მასა $m=0$, $T_1 = 4332,6$ დღე-ღამეს, $a_1 = 5,2028$, $T = 365,26$ დღე-ღამეს.

$$\text{პასუხი. } m_1 = 0,0009 = \frac{1}{1100} \quad (\text{იხ. 46 ამოცანა}).$$

* 46. მარსის თანამგზავრის ფობოსის მოძრაობით განსაზღვრეთ მარსის მასა დედამიწის მასასთან შედარებით. ფობოსის: $a_1 = 9300$ კმ, $T_1 = 0,32$ დღე-ღამეს. მთვარის: $a = 384000$ კმ, $T = 27,3$ დღე.

ამოხსნა. დედამიწის მასა $M=1$. მთვარის და ფობოსის მასა m და

m_1 უკუვადოთ. კეპლერის მესამე განზოგადებული კანონი $\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(M_1+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}$ გვაძლევს $M_1 = \frac{T^2 M a_1^3}{T_1^2 a^3}$; გამოდის, რომ $M_1 = 0,103$ დედამიწის მასასთან შედარებით.

* 47. როგორი უნდა იყოს დედამიწის მასა, რომ მთვარე მის გარშემო მოძრაობდეს იმავე პერიოდით, მაგრამ ორჯერ უფრო დიდ მანძილზე?

ამოხსნა. აქ $T_1 = T$, $a_1 = 2a$ და კეპლერის მესამე კანონი გვაძლევს $M_1 = \frac{T^2 M (2a)^3}{T^2 a^3} = 8 M$ (იხ. 47 ამოცანა).

* 48. მზის მასა რომ ორჯერ შემცირდეს, დაიქვრს თუ არა ის დედამიწას?

ამოხსნა. ახლა დედამიწა თითქმის წრიულად მოძრაობს და მისი სიჩქარის კვადრატი გამოისახება ფორმულით: $v^2 = \frac{k^2 M}{r}$. მზის მასა რომ ორჯერ შემცირდეს, პარაბოლური სიჩქარისათვის გვექნება $v^2 = \frac{2k^2 M_1}{r}$, აქ $M_1 = \frac{M}{2}$ და მივიღებთ $v^2 = \frac{k^2 M}{r} = v_0^2$, ე. ი. დედამიწის სიჩქარე მაშინ იქნება პარაბოლური და არ იმოძრაებს მზის გარშემო.

* 49. რა ჰორიზონტული სიჩქარით უნდა გავისროლოთ ქურვი, თუ ჰაერის წინააღმდეგობას არ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ის არ დაეარდეს დედამიწაზე და იმოძრაოს მის გარშემო პატარა თანამგზავრის სახით? როგორ იქნება ამ „თანამგზავრის“ ბრუნვის პერიოდი?

ამოხსნა. წრიული სიჩქარის ფორმულაში $v^2 = \frac{k^2 M}{r}$ ჩავსვათ $k^2 = \frac{1}{15\,000\,000}$, დედამიწის მასა $M = 6 \cdot 10^{27}$ გრამი, დედამიწის რადიუსი $r = 637\,100\,000$ სანტ. მივიღებთ $v = 7,92 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$. პერიოდის გამოსარკვევად გამოვიყენებთ კეპლერის მესამე კანონს $\frac{T_1^2}{a^3} = \frac{a_1^3}{a^3}$ მთვარისა და ამ „თანამგზავრისთვის“. აქ $T = 27,32$ დღ. a არის მთვარის დაშორება, a_1 „თანამგზავრის“ დაშორება, რაც უდრის დედამიწის რადიუსს. ეს რადიუსი 60-ჯერ ნაკლებია მთვარემდე მანძილზე, ე. ი. $a_1 = \frac{1}{60} a$. მივიღებთ $T_1 = \frac{T}{60\sqrt{60}} = 1^{\text{h}} \cdot 24^{\text{m}} \cdot 39^{\text{s}}$.

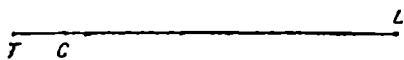
* 50. რას უდრის კრიტიკული სიჩქარე დედამიწის ზედაპირზე? მთვარის ზედაპირზე?

ამოხსნა. კრიტიკული სიჩქარე პარაბოლური სიჩქარეა. $v^2 = \frac{2k^2 M}{R}$, დედამიწისთვის ეს გვაძლევს $v_1 = 11,2 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$. მთვარისთვის $m = \frac{M}{81,5}$, $r = 0,27R$, $v_{1,2}^2 = \frac{2k^2 M}{r} \cdot \frac{1}{81,5 \cdot 0,27}$. მივიღებთ $v_{1,2} =$

$= 2,4 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$ (დედამიწისათვის ატმოსფეროს წინააღმდეგობა აქაც არ არის მხედველობაში მიღებული).

* 51. რამდენად არის დაშორებული მთვარისა და დედამიწის სიმძიმის ცენტრი დედამიწის ცენტრიდან?

ამოხსნა. მასები უკუპროპორციულია ცენტრამდე მანძილების. ვთქვათ, T არის დედამიწის ცენტრი, C —სიმძიმის ცენტრი, L —მთვარე. $TL=384\ 000$ კმ. აღვნიშნოთ



$TC=x$ (ნახ. 122), მაშინ

$$Mx = m(384\ 000 - x);$$

ნახ. 122.

მაგრამ $M=81,5 m$; გამოდის $x=4770$ კმ.

* 52. რა ადგილას უნდა მოვათავსოთ მატერიალური ნაწილაკი საწყისი სიჩქარის მიუხედავად, რომ არც დედამიწისკენ წავიდეს და არც მთვარისკენ?

ამოხსნა. დედამიწიდან დაშორება აღვნიშნოთ x -ით. მიზიდულობის ძალები იქნება $F_1 = k^2 \frac{M}{x^2}$, $F_2 = k^2 \frac{m}{(384\ 000 - x)^2}$; $F_1 = F_2$ და გამოდის $x=345\ 600$ კმ.

53. როგორ იქნება წლის დროები 13 000 წლის შემდეგ?

ახლა დედამიწა პერიპელიუმში არის ზამთარში. 13 000 წლის განმავლობაში ღერძი პრეცესიული ბრუნვის ნახევარს შეასრულებს და დედამიწის ღერძის ჩრდილო ნახევარი პერიპელიუმში დახრილი იქნება მზისაკენ, ე. ი. ამ დროს ჩრდილო ნახევარსფეროში ზაფხული იქნება. ამრიგად, წლის დროები იქნება უმცირესი ახლანდელთან შედარებით.

54. რამდენად მეტია უდიდესი მოქცევის ტალღა უმცირესი მოქცევის ტალღაზე?

ამოხსნა. უდიდესი იქნება, როცა მზე და მთვარე ორივე იწვევს მოქცევას, უმცირესი კი—როცა ერთი მოქცევას იწვევს და მეორე უკუქცევას. მთვარის მოქცევა 2,2-ჯერ მეტია, ვიდრე მზისა. ამიტომ უდიდესი მოქცევა უმცირესზე მეტია $\frac{2,2+1}{2,2-1} = 2,7$ -ჯერ.

ასტროფიზიკა

§ 21. ასტროფიზიკის მეთოდი

a) ტალღის სიგრძე და რხევის სიხშირე. დოპლერ-ზელოპოლსკის პრინციპი

ფიზიკიდან ცნობილია, რომ სინათლე წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კერძო სახეს. ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ვრცელდება—სწორხაზობრივად და ამ გავრცელების გარშემო შექმნილია ელექტრული და მაგნიტური ველი. ეს ველები მართობია ურთიერთის და აგრეთვე გავრცელების გზის; რიცხობრივად კი ტოლია. ველს თითოეულ წერტილში გარკვეული დაძაბულობა აქვს, პლიუს ან მინუს სიდიდის. მათი სიდიდე სხვადასხვა წერტილში მეორდება და გამოისახება სინუსოიდით.



ნახ. 123.

ორ მაქსიმუმს (aa') ან ორ მინიმუმს შორის მანძილს ეწოდება ტალღის სიგრძე და აღინიშნება λ -თი (ნახ. 123). ტალღა ვრცელდება დაახლოებით 300 000 კილომეტრის სიჩქარით; ეს არის სინათლის სიჩქარე და აღინიშნება c -თი. გავრცელების გზის ყოველ λ წერტილში დაძაბულობა განუწყვეტლივ იცვლება და ამავე დროს მეორდება თითო ტალღის შემდეგ. ერთი და იმავე დაძაბულობის ორ განმეორებას შორის გასულ დროს ეწოდება პერიოდი და აღინიშნება T ასოთი. პერიოდის განმავლობაში გამოსხივება გაივლის ტალღის სიგრძეს, ე. ი.

$$cT = \lambda, \tag{1}$$

რადგან c არის სიჩქარე.

T დროში რხევა ხდება ერთჯერ. ამიტომ ერთ სეკუნდში რხევა იქ-

ნება $\frac{1}{T}$. პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება რხევის სიხშირე და აღინიშნება ν -თი.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (2) \text{ ან } T = \frac{1}{\nu} \quad (2')$$

ჩაესვათ (1)-ში, გვექნება

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება მრავალგვარია; ისინი განსხვავდება ერთმანეთისაგან მხოლოდ ტალღის სიგრძით. ცხრილიდან ვხედავთ, რომ რადიოტალღები 25 კილომეტრიდან 1 სანტიმეტრამდე ცვალებ-

გამოსხივების სახეობა	ტალღის სიგრძე სანტიმეტრებში
რადიოტალღები	2500000,0—1,0
ინფრაწითელი გამოსხივება	1,0—0,00007
ხილული სინათლე	0,00007—0,00004
ულტრაიისფერი გამოსხივება	0,00004—0,0000010
რენტგენის სხივები	0,000001—0,00000001
γ -სხივები	0,00000001—0,0000000001

ლობს; ხილული სინათლე იცვლება 0,00007-დან — 0,00004 სანტიმეტრამდე. ულტრაიისფერ გამოსხივების შემდეგ არის რენტგენის და γ სხივები, რომელთა ტალღის სიგრძე თანდათან მცირდება. ხილული სინათლის ტალღისათვის სანტიმეტრი დიდია და იზმარება ანგსტრემში. ანგსტრემი უდრის $\frac{1}{10^8}$ სანტიმეტრს და

აღინიშნება Å -თი. ხილული სინათლის ტალღის სიგრძე ანგსტრემებში იცვლება 7000 Å -დან 4000 Å -მდე.

* თუ გამოსხივების წყარო მოძრაობს, მაშინ იცვლება ტალღის სიგრძე და რხევის სიხშირე. ვთქვათ, A წერტილში არის მნათობი, რომელიც იძლევა გამოსხივებას λ სიგრძის ტალღით; სიხშირე კი არის ν (ნახ. 124). ერთ სეკუნდში B წერტილში მყოფი დამკვირვებელი მიიღებს ν რხევას, A წერტილი რომ არ მოძრაობდეს. მაგრამ, თუ ერთ სეკუნდში მნათობი გადაადგილდება A' წერტილში, მაშინ უკანასკნელი რხევა იგვიანებს იმ დროით, რაც სჭირდება სინათლეს ამ მანძილის გასაველად. აღენიშნოთ მნათობის სიჩქარე v -თი, $v = AA'$. დაგვიანება უდრის $\frac{v}{c}$ სეკუნდს. ამიტომ ახლა B წერტილში ν რხევა მოგვა არა

ერთ სექუნდში, არამედ $1 + \frac{v}{c}$ სექუნდში. მაშ ერთ სექუნდში გვექნება

$$\frac{y}{1 + \frac{v}{c}} = y' \text{ რხევა. ამის გამო შეიცვლება ტალღის სიგრძეც. (3)-ის თანა-}$$

$$\text{მად, } \lambda' = c : \left(\frac{v}{1 + \frac{v}{c}} \right) = \frac{c}{v} + \frac{v}{v}, \text{ ე. ი.}$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{v}{v}, \quad (3')$$

მაშ, თუ სინათლის წყარო გვშორდება, ტალღის სიგრძე მატულობს, ე. ი. სინათლე ხდება უფრო წითელი. ასევე, თუ სინათლის წყარო გვი-
ახლოვდება, ტალღის სიგრძე კლებულობს, ე. ი. სინათლე ხდება უფრო
იისფერი. ამას ეწოდება დოპლერ-ბელოპოლსკის პრინციპი. ეს შეცვლა
ძლიერ მცირეა, მაგრამ ზუსტი ხელსაწყოებით შეიძლება მისი გაზომვა
და მას დიდი გამოყენება აქვს თანამედროვე ასტრონომიაში.

ბ) სპექტრული ანალიზის კანონები

ჩვეულებრივი თეთრი სხივი შედგება სხვადასხვა ფერისგან. ამაში
შეიძლება ადვილად დაერწმუნდეთ, თუ ბნელ ოთახში ვიწრო ქუქრუტა-
ნიდან ზემოსულ სინათლის სხივს გავატარებთ სამწახნაგა მინის პრიზმაში
(ან დიფრაქციულ ჯებირში). სხვადასხვა ფერის სხივები პრიზმაში
სხვადასხვანაირად გადატყდება და პრიზმის მეორე მხარეს ეკრანზე მი-
იღება ფერადი ზოლი, რომელსაც სპექტრი ეწოდება. ის შედგება შვიდი
ფერისაგან: წითელი,
ნარინჯისფერი, ყვითე-
ლი, მწვანე, მტრედის-
ფერი, ლურჯი და იის-
ფერი. ყველაზე ნაკ-
ლებად გადატყდება
წითელი სხივები, შემდეგ ნარინჯისფერი და ა. შ. ყველაზე მეტად კი—
იისფერი.



ნახ. 125.

სპექტრული ანალიზის კანონები ჩამოყალიბებულ იქნა გასული საუ-
კუნის სამოციან წლებში.

I კანონი: თეთრ ელვარებამდე გახურებული მყარი ან თხიერი
სხეული და აგრეთვე ძლიერ შეკუმშული გაზი გამოასხივებს ყველა ტალ-
ღის სხივებს და იძლევა განუწყვეტელ სპექტრს.

II კანონი: გახურებული არამკვრივი გაზი გამოასხივებს ისეთ სი-
ნათლეს, რომელიც იძლევა ხაზოვან სპექტრს.

ამ შემთხვევაში სპექტრის ბნელ ფონზე განათებულია რამდენიმე ხაზი. ასეთ სპექტრს ეწოდება გამოსხივების ხაზობრივი სპექტრი. ყოველი გაზი თავის შესატყვის ხაზობრივ სპექტრს იძლევა. თითოეული ხაზის ადგილი ზუსტად არის განსაზღვრული ლაბორატორიული მეთოდით. ეს ეხება არა მარტო ჩვეულებრივ გაზებს, არამედ ყოველ ნივთიერებას გახობრივ მდგომარეობაში. მაგალითად, ნატრიუმში სპექტრის ყვითელ ნაწილში იძლევა ორ ხაზს, რომლის ტალღის სიგრძეებია 5895,932 და 5889,975 ანგსტრემი.

თუ მანათობელი გაზის უკან იმყოფება განუწყვეტელი სპექტრის მქონე სინათლის წყარო, მაშინ სპექტრის ნათელ ფონზე გამოჩნდება რამდენიმე ბნელი ხაზი. გამოსხივების სპექტრთან შედარებით გამოიკვეა, რომ ეს სწორედ ის ხაზებია, რომელსაც გამოასხივებდა გაზი, მის უკან რომ უწყვეტი სპექტრის სინათლის წყარო არ ყოფილიყო. ასეთ სპექტრს ეწოდება შთანთქმის ხაზობრივი სპექტრი. ამას ეხება მესამე კანონი, რომელიც კირხჰოფის კანონის სახელითაა ცნობილი.

III კანონი: თუ მანათობელი გაზის უკან მოთავსებულია უწყვეტი სპექტრის სინათლის წყარო, მაშინ გაზი შთანთქმავს სწორედ იმ სხივებს, რომელსაც თვითონ გამოასხივებდა აღებულ ტემპერატურაზე.

ამ კანონს დიდი მნიშვნელობა აქვს ციურ სხეულთა ატმოსფეროს შედგენილობის გასაგებად.

გამოსხივების და შთანთქმის სპექტრი არის ხაზოვანიც და ზოლოვანიც. ხაზოვან სპექტრს გვაძლევს ისეთი გაზი, რომელიც შედგება ცალკეული ატომებისაგან, ხოლო ზოლოვანს—ისეთი გაზი, რომელიც შედგება ელემენტების ან რთული ნივთიერების მოლეკულებისაგან.

სპექტრი დამოკიდებულია აგრეთვე გაზის ფიზიკურ ბუნებაზე: ა) გაზის წნევის გადიდების დროს შესაბამის სპექტრალური ხაზები უფრო ფართო ხდება და ახალი ხაზებიც ჩნდება. ბ) სპექტრი იცვლება ტემპერატურის ცვლასთან ერთად. მაღალი ტემპერატურის დროს ატომების უმრავლესობა იონიზირებულია და სპექტრიც სხვანაირია.

გ) მაგნიტურ არეში სპექტრული ხაზები იყოფა. თუ გამოსხივება ხდება მაგნიტური ძალხაზების პარალელურად, სპექტრული ხაზები ორდებაინ, ვლებულობთ ე. წ. „დუბლეტებს“. ხოლო თუ გამოსხივება მაგნიტური ძალხაზების მართობულია, მაშინ ხაზები სამად იყოფა, ანუ წარმოიქმნება „ტრიპლეტები“ (თუმცა „დუბლეტები“ და „ტრიპლეტები“ გარეგანი ველის გარეშეც მიიღება, ატომში ღონეების დაყოფის გამო).

დ) თუ გამოსხივება გადის ძლიერ გრავიტაციულ ველში, მაშინ ფარდობითობის თეორიის თანახმად, ტალღის სიგრძე მატულობს, ე. ი. სინათლე უფრო წითელი ხდება.

სპექტრის ეს კანონები და თვისებანი საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ ციურ სხეულთა ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა და ფიზიკური ბუნება.

* მნათობთა სპექტრის მისაღებად ტელესკოპის ობიექტივის წინ ათავსებენ პრიზმას, რასაც საობიექტივო პრიზმას უწოდებენ. ერთი რომელიმე ვარსკვლავიდან წამოსული პარალელური სხივები გაივლის პრიზმაში და დაიშლება ფერებად. ობიექტივი შეიკრებს ერთი ფერის სხივებს ერთ წერტილში და ეს იქნება ვარსკვლავის გამოსახულება აღებულ ფერში. მეორე ფერის სხივები შეიკრიბება მეორე წერტილში და ა. შ.; ამის გამო ფოკალურ სიბრტყეში მიიღება ვიწრო ფერადი ზოლი, რაც აღებული ვარსკვლავის სპექტრს წარმოადგენს. ამ სპექტრს აკვირდებიან ოკულარიდან ან ახდენენ ფოტოგრაფირებას. ფოტოგრაფირება უფრო ხელსაყრელია, რადგან ფირფიტაზე მიიღება ყველა ვარსკვლავის სპექტრი, რომელიც კი ჩანს ტელესკოპის მხედველობის არეში. შემდეგ თავისუფალ დროს ამ ფირფიტაზე შეისწავლიან იმ ვარსკვლავის სპექტრს, რომელიც სურთ.

* უფრო ზუსტი დაკვირვებისათვის გამოიყენება სპექტოგრაფი, რომელიც ტელესკოპს მიედგმება ოკულარის მხრიდან. სპექტოგრაფი არის ჩვეულებრივი სპექტროსკოპი ფოტოგრაფირებისთვის საჭირო მოწყობილობით.

* c) გამოსხივების კანონები. ატომის ალგუნება და გამოსხივება

თუ რაიმე ნივთიერებას, მაგალითად, რკინას გავახურებთ ჯერ წითელ ელვარებაზე, შემდეგ ყვითელ ელვარებაზე, და, ბოლოს, თეთრ ელვარებაზე და ყოველთვის გამოვირკვევთ მის სპექტრს, ვნახავთ, რომ ყოველ გახურების დროს სპექტრში არის უოველი ფერი, მხოლოდ წითელი ელვარების დროს ყველაზე ნათელია სპექტრის წითელი ნაწილი, ყვითელის დროს ყვითელი, ხოლო თეთრი ელვარების დროს—მწვანე-ენერგიის განაწილება სხვადასხვა ტემპერატურის დროს მსგავსია, მაგრამ არაა ერთნაირი. თუ გამოსხივება გამოწვეულია ტემპერატურისაგან, მაშინ ცნობილია, რომ მოცემულ ტემპერატურაზე აღებული ტალღის სიგრძისთვის გამოსხივებისა და შთანთქმის უნარის შეფარდება ყოველი სხეულისთვის ერთი და იგივეა. ამიტომ სხეული ყველაზე მეტად შთანთქავს იმ ენერგიას, რომელსაც ყველაზე მეტად ასხივებს. ამის მიხედვით წარმოიშვა აბსოლუტურად შავი სხეულის ცნება. აბსოლუტურად შავი სხეული ისეთი სხეულია, რომელიც შთანთქავს ყველა ენერგიას ყველა სიგრძის ტალღებით. ასეთი სხეულისთვის ცნობილია შემდეგი კანონები:

ს ტ ე ფ ა ნ - ზ ო ლ ც მ ა ნ ის კ ა ნ ო ნ ი : აბსოლუტური შავი სხეულის ზედაპირის ერთეულიდან გამოსხივებული ენერგია მისი აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია.

$$E = \sigma T^4, \quad (4)$$

სადაც E არის გამოსხივებული ენერგია, T —აბსოლუტური ტემპერატურა და σ —მუდმივია.

ვინის კანონი: აბსოლუტურად შავი სხეულის მაქსიმალური გამოსხივების ტალღის სიგრძე მისი აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულია.

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T} \quad (5)$$

აქ λ_{max} მაქსიმალური გამოსხივების ტალღის სიგრძეა, C —მუდმივია. ამ კანონის მიხედვით, როცა ტემპერატურა იზრდება, მაქსიმალური გამოსხივების ტალღის სიგრძე მოკლდება, ანუ გადაინაცვლებს იისფერი ბოლოსაკენ.

ორივე ეს კანონი არის პლანკის ფორმულის შედეგი, რომელიც გამოსახავს ენერგიის განაწილებას აბსოლუტურად შავი სხეულის სპექტრში ტალღის სიგრძისა და ტემპერატურის მიხედვით.

პლანკის ფორმულა:

$$E(\Delta\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(\frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)} \Delta\lambda \quad (6)$$

ამ კანონების საშუალებით განისაზღვრება ციურ მნათობთა აბსოლუტური ტემპერატურა, რადგან ისინი დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ, როგორც აბსოლუტურად შავი სხეული.

ზემოთ მოყვანილი კანონები ეხება მთელი სხეულის გამოსხივებას. ასტრონომიაში მნიშვნელობა აქვს იმის გათვალისწინებას, თუ რა ხდება თითოეულ ატომში. ამისთვის საჭიროა გვეჩვენოს გარკვეული წარმოდგენა ატომის აგებულებაზე.

ბორის მიხედვით ატომი შედგება ატომგულისა და მის გარშემო მბრუნავი ელექტრონებისგან. გული შეიცავს ატომის თითქმის მთელ მასას და ის დამუხტულია დადებითად. ელექტრონები დამუხტულია უარყოფითად; მათი რიცხვი უდრის ელემენტის რიგის ნომერს მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ელექტრონები მოძრაობს სხვადასხვა ორბიტებზე. თითოეულ ორბიტაზე მათ ახასიათებს გარკვეული ენერგია. თუ ელექტრონი გადახტა დაშორებული ორბიტიდან უფრო შიგა ორბიტაზე, განთავისუფლდება ენერგია, პირიქით გადასვლის დროს კი შთაინთქმება. განთავისუფლებული (ან შთანთქმული) ენერგიის ტალღის სიგრძე უკუღმა პროპორციულია გამოსხივებული (ან შთანთქმული) ენერგიისა.

$$\Delta E = \frac{ch}{\lambda} \quad (7)$$

აქ ΔE არის გამოსხივებული (ან შთანთქმული) ენერგია, c —სინათლის სიჩქარე, λ —ტალღის სიგრძე, ხოლო $\frac{1}{2}$ პლანკის მუდმივი.

ენერგია გამოსხივდება არა განუწყვეტლივ, არამედ ნაწილნაწილად (პორციობით), რასაც ეწოდება კვანტი¹. ასევე, შთანთქმაც ხდება ნაწილნაწილად, რის დროსაც ელექტრონი ავა უფრო ზედა ორბიტაზე. ასეთ ატომს ეწოდება აღზნებული. თუ შთანთქმული ენერგია დიდია, მაშინ ელექტრონი სავსებით მოშორდება ატომს; ამ შემთხვევაში ატომს ეწოდება იონიზირებული. იონიზირებული ატომის სპექტრი სხვანაირია და ჰგავს მის წინ მდგომი ელემენტის სპექტრს მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. იონიზირება შეიძლება იყოს ორმაგი, სამმაგი და ა. შ.

შთანთქმის ხაზობრივი სპექტრის წარმოშობა შემდეგნაირად აიხსნება: მანათობელი ზედაპირიდან წამოსულ სინათლეს შთანთქავს მანათობის ატმოსფეროში მყოფი გაზის ატომები. ეს ატომები აღზნებული გახდება, მაგრამ მალე შთანთქმულ ენერგიას ისინი ისევ გამოასხივებენ. გამოსხივება მოხდება ყოველი მიმართულებით და ჩვენკენ გამოსხივებული ენერგოიდან მცირე ნაწილი წამოვა. ამის გამო იმ ტალღის სიგრძეზე, რომელიც შთანთქმის ატომებმა, ენერგიის დანაკლისი იქნება და სპექტრში ბნელი ხაზები წარმოიშვება. ამიტომ სპექტრის ბნელი ხაზებით შეიძლება გამოკრეველ იქნას, თუ რა გაზის ატომებისგან შედგება მანათობის ატმოსფერო.

*** d) ხილული და აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე.
ფოტომეტრია**

სიკაშკაშის მიხედვით ხილული ვარსკვლავები, როგორც აღნიშნული გვექონდა (§ 2), უძველესი დროიდან დაყოფილია 6 კლასად. თითოეულ კლასში შემავალ ვარსკვლავებს შესაბამისი სიდიდის ვარსკვლავებს უწოდებენ. ყველაზე კაშკაშაა პირველი სიდიდის ვარსკვლავები (I კლასი) და ყველაზე სუსტი მეექვსე სიდიდის. ტელესკოპის გამოგონების შემდეგ ასეთი დაყოფა გავრცელდა ისეთ ვარსკვლავებზეც, რომლებიც არ ჩანდნენ უბრალო თვალით. ასეთი დაყოფა გავრცელდა აგრეთვე უფრო კაშკაშა ობიექტებზეც. ამასთან ერთად დაზუსტდა ვარსკვლავიერი სიდიდეებად დაყოფა და, ამრიგად, შემოღებულ იქნა ნულოვანი, უარყოფითი და წილადი ვარსკვლავიერი სიდიდეები.

ვარსკვლავიერი სიდიდეების განსაზღვრა ერთი და იმავე ვარსკვლავებისათვის, რომელსაც სხვადასხვა ეპოქის ადამიანები ახდენენ, თითქმის ყოველთვის ერთნაირი გამოდიოდა. ეს დამთხვევა ვარსკვლავიერი სიდიდეების განსაზღვრაში საკვირველი ჩანდა, რადგან დამკვირვებლები

¹ ენერგიის ნაწილნაწილად გამოსხივება პირველად პლანკმა დაუშვა, რის საფუძველზეც გამოიყვანა თავისი ფორმულა. ეს იდეა ძალიან ნაყოფიერი გამოდგა და ამის საფუძველზე წარმოიშვა მეცნიერების ახალი დარგი კვანტური მექანიკა. რედ.

არ სარგებლობდნენ ზუსტი ერთეულით და მეთოდებით. შემდეგ გამოიკვია, რომ ამის მიზეზი არის ვებერ-ფეხნერის ფსიქო-ფიზიოლოგიური კანონი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: თუ გალიზიანების წყარო იცვლება გეომეტრიული პროგრესიით, მაშინ მისი შესაბამი შეგრძნება იცვლება არითმეტიკული პროგრესიით.

ვარსკვლავიერი სიდიდეებისთვის ჩვენ გვაქვს არითმეტიკული პროგრესია: 1, 2, 3... და ა. შ. ამ კანონის მიხედვით უნდა დავასკვნათ, რომ მათი შესაბამი სინათლის ენერგია იცვლება გეომეტრიული პროგრესიით. აღნიშნოთ ვარსკვლავიერი სიდიდე m -ით, სინათლის ენერგია— I -ით; ნულოვანი, ერთი, ორი და სხვა სიდიდეებისათვის აღნიშნავენ I_0, I_1, I_2 და ა. შ. მაშინ აღნიშნული კანონის მიხედვით შეგვიძლია დავეწეროთ ვარსკვლავიერი სიდიდე m : 0, 1, 2, 3, 4, 5 და ა. შ.

შესაბამისი სინათლის ენერგია I : $I_0, \frac{I_0}{q}, \frac{I_0}{q^2}, \frac{I_0}{q^3}, \frac{I_0}{q^4}, \frac{I_0}{q^5}$ და ა. შ., სადაც q გეომეტრიული პროგრესიის მნიშვნელია და $I_1, I_2...$ და ა. შ.

შეცვლილია მათი ტოლი სიდიდეებით $I_1 = \frac{I_0}{q}, I_2 = \frac{I_0}{q^2}$ და ა. შ. საერთოდ

რაიმე m_1 და m_2 ვარსკვლავიერი სიდიდეებისთვის გვექნება $I_{m_1} = \frac{I_0}{q^{m_1}}$

და $I_{m_2} = \frac{I_0}{q^{m_2}}$.

ამათი გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = q^{m_2 - m_1} \quad (8)$$

დაკვირვებით გამოიკვია, რომ $q=2,512$ და მისი ლოგარითმი ათის უფძით უდრის 0,4-ს, ამიტომ (8) გადაიწერება

$$\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = (2,512)^{m_2 - m_1}$$

ან
$$\lg \left(\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} \right) = 0,4(m_2 - m_1) \quad (8')$$

(8) და (8')-ს ეწოდება პოგსონის ფორმულა.

ხილული სიკაშკაშე და ხილული სიდიდე არ ახასიათებს ვარსკვლავის ნამდვილ სიკაშკაშეს, რადგან უფრო ახლო მყოფი ვარსკვლავი უფრო კაშკაშა გამოჩნდება, თუნდაც სუსტი იყოს. ამიტომ შემოღებულია ე. წ. აბსოლუტური სიკაშკაშე და აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე. წარმოიდგინენ, რომ ყველა ვარსკვლავი იმყოფება ჩვენგან ერთსა და იმავე მანძილზე. ასეთ მანძილად მიღებულია ათი პარსეკი. ერთი პარსეკი არის ის მანძილი, რომლის პარალაქსი ერთი სეკუნდია (იხ. § 18). ათი პარსეკი კი არის ის მანძილი, რომლის პარალაქსი 0'',1-ა (რადგან პარალაქსი უკუპროპორციულია მანძილის). თუ წარმოვიდგინოთ, რომ

მნათობი იმყოფება ათი პარსეკის მანძილზე, მაშინ მის ვარსკვლავურ სიდიდეს ეწოდება აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე და აღინიშნება M -ით. ასევე, შესაბამ სიკაშკაშეს უწოდებთ აბსოლუტურ სიკაშკაშეს და აღენიშნავეთ I_M -ით.

რაიმე ვარსკვლავის აბსოლუტური და ხილული სიკაშკაშის შეფარდება პოგსონის ფორმულით იქნება

$$\frac{I_M}{I_m} = (2,512)^{m-M} \quad (9)$$

ფიზიკიდან ცნობილია, რომ სინათლის ინტენსივობა კლებულობს მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად, ამიტომ

$$\frac{I_M}{I_m} = \frac{d^2}{D^2}, \quad (10)$$

სადაც d -თი აღნიშნულია მნათობამდე ნამდვილი მანძილი, ხოლო D -თი— ათი პარსეკის მანძილი. მეორე მხრივ, მანძილები უკუპროპორციულია შესაბამი პარალაქსების. აღენიშნოთ d -ს შესაბამი პარალაქსი p -თი; D -ს პარალაქსი კი უდრის $0'',1$ -ს და(10)-დან მივიღებთ:

$$\frac{I_M}{I_m} = \frac{(0'',1)^2}{p^2} \quad (10')$$

(9) და (10')-ის მარცხენა მხარეები თანასწორია; გაუტოლოთ ერთმანეთს მათი მარჯვენა მხარეები და გავალოგარიტმით, მივიღებთ: $0,4(m-M) = -2 - 2 \lg p$, ანუ

$$M = m + 5 + 5 \lg p \quad (11)$$

(11)—გამოსახავს კავშირს აბსოლუტურ სიდიდეს, ხილულ სიდიდესა და პარალაქსს შორის და წარმოადგენს ასტროფიზიკის ძირითად ფორმულას.

მნათობთა ვარსკვლავიერი სიდიდის ანუ სიკაშკაშის გაზომვას ეწოდება ფოტომეტრია (ფოტო-სინათლე, მეტრია—ვზომავ). პირველად ვარსკვლავიერი სიდიდეების განსაზღვრა ხდებოდა უშუალო დაკვირვებით (ამას ახლაც მიმართავენ ასტრონომიის მოყვარულები), მაგრამ ახლა იხმარება სპეციალური იარაღები—ფოტომეტრები. ამათგან ყველაზე გავრცელებულია „ხელოვნური ვარსკვლავის“ ხე.ზი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: ელნათურის წინ ათავსებენ გაუმჭვირვალე საგანს, რომლის ვიწრო. კუპრუტანაში გადის სინათლე. ეს სინათლე გაივლის ტელესკოპის ოკულარის მახლობლად. დამკვირვებელი ხან ამ სინათლეს აკვირდება და ხან ვარსკვლავს ტელესკოპში. ელნათურის სინათლეს ამცირებენ ნაწილობრივ გაუმჭვირვალე საგნის ჩამოფარებით მანამდე, სანამ ის არ გაუტოლდება ვარსკვლავის სინათლეს. სპეციალური მოწყობილობით გაიზომება ამ დროს ელნათურიდან მიღებული სინათლე ვარ-

სკვლავიერ ერთეულებში და ამრიგად განისაზღვრება მნათობის ვარსკვლავიერი სიდიდე.

უფრო ზუსტად სიკაშკაშის გაზომვა ხდება ელექტროფოტომეტრით. ამ ხელსაწყოს მოქმედება დამყარებულია იმაზე, რომ ზოგიერთ ლითონში (მაგალითად, სელენში და კალიუმში) აღიძვრება ელექტროდენი, როცა მასზე ეცემა სინათლის სხივები. ეს დენი გაიზომება ამპერმეტრით ან ელექტრომეტრით და ამის მიხედვით გამოითვლება მნათობის ვარსკვლავიერი სიდიდე. მაგრამ ეს ხერხი დიდ დროს მოითხოვს, ერთი ვარსკვლავის დაკვირვებისათვის საჭიროა 10—30 წუთამდე. მიუხედავად ამისა, ელექტროფოტომეტრული დაკვირვება ზშირად გამოიყენება დიდი სიზუსტის გამო.

ახლა უფრო მიღებულია ფოტოგრაფიული ფოტომეტრია. ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე ერთდროულად მიიღება რამდენიმე ვარსკვლავის გამოსახულება. ეს გამოსახულებანი არის სხვადასხვა სიდიდის შავი წრეები; რაც უფრო კაშკაშაა ვარსკვლავი, იმდენად უფრო დიდი შავი წრე მიიღება ფირფიტაზე. შემდეგ სპეციალური ფოტომეტრით გაიზომება ამ შავი წრეების ხარისხი ფირფიტის საერთო ფონთან შედარებით და აქედან გამოითვლება მნათობის ვარსკვლავიერი სიდიდე. ამას ეწოდება ფოტოგრაფიული ფოტომეტრია.

თვალთ დაკვირვების დროს მიღებულ ვარსკვლავიერ სიდიდეს ეწოდება ვიზუალური ვარსკვლავიერი სიდიდე; ფოტოგრაფიული დაკვირვებით მიღებულს კი ეწოდება ფოტოგრაფიული ვარსკვლავიერი სიდიდე. ამას გარდა, არჩევენ კიდევ ფოტოვიზუალურს და ბოლომეტრულ სიდიდეებს. ფოტოვიზუალური ეწოდება ისეთ ვარსკვლავიერ სიდიდეს, რომელიც მიიღება ადამიანის თვალის შესაფერი მგრძნობიარობის მქონე ფოტოფირფიტის საშუალებით, ფოტოგრაფიული დაკვირვების დროს. თუ ფოტოფირფიტა (ან სხვა მიმღები აპარატი) ერთნაირად მგრძნობიარეა სპექტრის მთელ უბანზე, ყველა ტალღის სიგრძისათვის და ამას გარდა გათვალისწინებულია სინათლის შთანთქმა ატმოსფეროში, მაშინ მიღებულ ვარსკვლავიერ სიდიდეს ეწოდება ბოლომეტრული. ეს სხვადასხვა ვარსკვლავიერი სიდიდე შეიძლება იყოს როგორც ხილული, ისე აბსოლუტური.

აღმოჩნდა, რომ ვიზუალური (ანუ თვალთ განსაზღვრული) და ფოტოგრაფიული სიდიდეები განსხვავდებიან. თვალი უფრო მგრძნობიარეა წითელი სხივების მიმართ, ხოლო ფოტოგრაფიული ფირფიტა—იისფერის მიმართ. თუ თვალს ორი ვარსკვლავი, ერთი თეთრი და მეორე წითელი ერთნაირი სიდიდის ეჩვენება, ფოტოგრაფიული მეთოდით თეთრი ვარსკვლავი გამოდის უფრო კაშკაშა (ე. ი. ვარსკვლავიერი სიდიდე უფრო მცირე), ხოლო წითელი უფრო სუსტი. ფოტოგრაფიულ და ვიზუალურ (ფოტოგრ.—ვიზუალური) სიდიდეთა ასეთ განსხვავებას ეწოდება ფერის მაჩვენებელი ანუ კოლორ ინდექსი და მას დიდი მნიშვნელო-

ბა აქვს ასტრო-ფიზიკაში, ვინაიდან გამოიკვეა, რომ ვარსკვლავის სხვადასხვა ფერი სხვადასხვა ფიზიკურ ბუნებას შეესაბამება. თვალი მაქსიმალურად მგრძნობიარეა ტალღის სიგრძისთვის 5500Å , ხოლო ჩვეულებრივი ფირფიტა 4500Å -სთვის.

§ 22. მ ზ ე

ა) სიდიდე და ბრუნვა

როგორც ვიცით, მზემდე საშუალო მანძილი უდრის $149\,500\,000$ კილომეტრს. მატარებელი, რომელიც საათში 100 კილომეტრს გადის, ამ მანძილის გავლას მოუნდებოდა 170 წელს. ორბიტის არაწრიულობის გამო დედამიწიდან მზემდე მანძილი „მცირე“ ცვლილებას განიცდის. ზამთარში (1 იანვარს) ის დაახლოებით $2\,500\,000$ კილომეტრით მცირეა და ზაფხულში (1 ივლისს) ამდენივეით მეტია საშუალო მანძილზე.

საშუალო მანძილით და მზის დისკოს ხილული რადიუსით შეიძლება გავიგოთ მზის რადიუსის სიდიდე. მზის რადიუსი $R = AS$ დედამიწიდან ჩანს $\angle ATS$ კუთხით (ნახ. 126).

დაკვირვებით ცნობილია, რომ $\angle ATS = 16'2''$ ნახაზიდან $AS = ST \operatorname{tg}(\angle ATS)$, ანუ მზის რადიუსი $R = 149\,500\,000 \operatorname{tg}(16'2'') = 695\,500$ კილომეტრს.

დედამიწის რადიუსს ($r = 6370$ კმ) ეს სიდიდე აღემატება $109,1$ ჯერ; ხოლო მზის მოცულობა აღემატება დედამიწის მოცულობას $1\,300\,000$ -ჯერ.

მზის მასა, როგორც ვიცით (§ 20 f), დედამიწის მასაზე $332\,000$ -ჯერ მეტია, ხოლო ყველა ცთომილის მასაზე— 745 -ჯერ. სიმძიმის ძალის აჩქარება გამოითვლება ფორმულით $G = \frac{K^2 M}{R^2}$. ჩავსვათ აქ $M = 332\,000m$

და $R = 109r$, სადაც m და r აღნიშნავს დედამიწის მასას და რადიუსს, მივიღებთ:

$$G = \frac{332000}{(109)^2} \frac{K^2 m}{r^2} \approx 28 \frac{K^2 m}{r^2} \quad (1)$$

ამრიგად, სიმძიმის ძალის აჩქარება მზის ზედაპირზე 28 -ჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე. სიმკვრივის გასაგებად მასა უნდა გავყოთ მოცულობაზე,

$\frac{332000}{1300000} \approx \frac{1}{4}$, ე. ი. მზის სიმკვრივე 4 -ჯერ ნაკლებია დედამიწის სიმკვრივეზე.

დედამიწის სიმკვრივე კი უდრის $5,52$ -ს და ამიტომ წყალთან შედარებით მზის სიმკვრივე დაახლოებით იქნება $1,4$.

მზის ლაქებზე (იხ. *ს* საკითხი) დაკვირვებით გამოჩვენებულ იქნა, რომ მზე ბრუნავს ღერძის გარშემო. მზის დისკოს აღმოსავლეთის კიდეზე გამოჩენილი ლაქა 13,5 დღე-ღამეში მიაღწევს დასავლეთის კიდეს, 13,5 დღის განმავლობაში ლაქა არ ჩანს და შემდეგ ისევ გამოჩნდება მზის დისკოს აღმოსავლეთის კიდეზე. ამრიგად, ლაქის ხილული ბრუნვა ხდება 27 დღე-ღამეში, მაგრამ აქ გავლენა აქვს დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობასაც (სიდერული და სინოდური შემობრუნების მსაჯვასად). ლაქების ეს ხილული მოძრაობა გამოწვეულია მზის ბრუნვით თავის ღერძის გარშემო. უფრო ზუსტად მზის ბრუნვა შეისწავლება დოპლერ-ბელოპოლსკის პრინციპით. გამოიკვია, რომ მზის სხვადასხვა წერტილი არათანაბრად ბრუნავს. ეკვატორის წერტილები ბრუნავს 25 დღე-ღამეში. რაც უფრო დაშორებულია ეკვატორიდან წერტილი, იმდენად უფრო ნელა ბრუნავს და პოლუსის მახლობელი წერტილები, როგორც ეს დამტკიცა ბელოპოლსკიმ, ბრუნვას ასრულებს 34 დღე-ღამეში. ასეთი ბრუნვა, ცხადია, მყარ სხეულს არ შეუძლია.

✓*ს*) ფოტოსფერო და ლაქები; ლაქების ბუნება

მზის დისკო ძლიერ კაშკაშაა (500000-ჯერ უფრო კაშკაშა საცეს მთვარეზე) და მასზე ტელესკოპით პირდაპირ შეხედვა არ შეიძლება. ამიტომ მზეზე დაკვირვებისას ხმარობენ ბნელ ოკულარს ან გამოსახულებას ღებულობენ ეკრანზე. მზის დისკოს კიდეს უფრო ნაკლები სიკაშკაშე აქვს, ვიდრე შუაგულს. ეს აიხსნება ორი მიზეზით: 1) კიდიდან წამოსული სხივები გაივლის მზის ატმოსფეროს სქელ ფენას (იხ. *ს* საკითხი), რის გამოც სუსტდება, და აგრეთვე უფრო ზედაფენებიდან მოდის, 2) შუაგულიდან წამოსული სხივები მოდის მზის უფრო ღრმა ფენებიდან და უფრო მეტი ენერჯია აქვს.

მზის მანათობელ ზედაპირს ფოტოსფერო ანუ სინათლის სფერო ეწოდება; იგი მზის ატმოსფეროს ყველაზე უფრო ქვედა ფენაა. აქედან მოდის ის სინათლე და სითბო, რომელსაც ჩვენ ვღებულობთ და რომელიც საკმარისია დედამიწაზე სიცოცხლის შესანარჩუნებლად. თუ მოვიგონებთ მზის დაშორებას, მაშინ გასაგები იქნება, რომ ფოტოსფეროს დიდი ტემპერატურა უნდა ჰქონდეს; ის უდრის 6000°-ს (იხ. *დ* საკითხი). ასე დიდი ტემპერატურის გამო ფოტოსფერო არ შეიძლება იყოს მყარ ან თხიერ მდგომარეობაში; იგი შედგება სხვადასხვა ელემენტის გავარვარებული ატომებისაგან.

ტელესკოპში ადვილი შესამჩნევია, რომ ფოტოსფეროს მარცვლოვანი აგებულება აქვს. ამ მარცვლებს ეწოდება გრანულები, ხოლო თვით აგებულებას გრანულაცია. გრანული ბრინჯის ფორმისაა, რის გამოც ფოტოსფერო მოგვაგონებს ისეთ ზედაპირს, სადაც ბრინჯის მარცვლებია გაფანტული. გრანულის ზომა ცვალებადობს 200 კილომეტრიდან 1000 კილომეტრამდე. ისინი არ არის მყარი აგებულების, ზოგჯერ წარმოი-

შეებიან და კრებიან რამდენიმე წამშიც კი. გრანულებს შორის ჩანს პორები, რომლებიც ფოტოსფეროს უფრო ბნელ ადგილს წარმოადგენს. ზოგჯერ პორები თითქოს გაიწევა და გაჩნდება ბნელი არე, რომელსაც ლაქა ეწოდება.

პირველად მზის ლაქები შეამჩნია გალილეიმ 1609 წელს ტელესკოპის გამოგონებისთანავე¹. ლაქას აქვს ძაბრისებური აგებულება. ცენტრში უფრო შავია და ეწოდება ლაქის ჩრდილი, კიდეები უფრო ნათელია და ეწოდება ნახევარჩრდილი. ჩრდილი 500-ჯერ კაშკაშაა სავსე მთვარეზე და მხოლოდ ფოტოსფეროსთან შედარებით გვეჩვენება ბნელად. ლაქები ხშირად ჯგუფებად ჩნდება, ან ერთი ლაქა გაყოფილია ფოტოსფეროს ნათელი ზოლით. ზოგი ლაქა მალე ისპობა, ზოგი კი ერთ წელზე მეტს ძლებს; საშუალო ხანგრძლიობა ორი თვეა. ლაქებს გარშემო ხშირად თან ახლავს უფრო ნათელი ზოლი, რომელსაც ფაკელი, ანუ ჩირაღდანი ეწოდება. ისინი ფოტოსფეროს უფრო ამოწეული ნაწილი უნდა იყოს და ჩანს აგრეთვე ლაქებს გარეთაც.

ლაქები ყოველთვის ერთნაირი რაოდენობით არ არის მზეზე. ზოგ წელს მათი რიცხვი მაქსიმალურია, შემდეგ თანდათან იწყებს კლებას და მინიმუმს მიაღწევს, რის შემდეგაც ისევ მატულობს ახალ მაქსიმუმამდე. შვებზე აღმოაჩინა ლაქების პერიოდულობა, რაც საშუალოდ უდრის 11,2 წელს. ლაქების რაოდენობას ანგარიშობენ ვოლფის ფორმულით, რომელსაც აქვს სახე:

$$W = K(f + 10g), \quad (2)$$

სადაც K მუდმივია, f ცალკეული ლაქების რიცხვია, ხოლო g —ჯგუფური ლაქები. უკანასკნელი მინიმუმისა და მაქსიმუმის წლები ნაჩვენებია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში. ახალი პერიოდის დაწყებისას (მინიმუმის დროს) ლაქები ჩნდება მზის ეკვატორიდან დაშორებით, ჰელიოგრაფიული

მინიმუმი	მაქსიმუმი
1901,7	1906,4
1913,6	1917,6
1923,6	1928,4
1933,8	1937,4
1944,3	1947,5

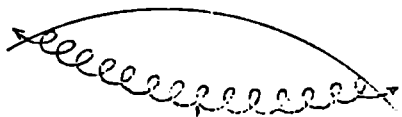
განედის $\pm 35^\circ$ -ზე (ჰელიოგრაფიული განედი—მზის განედი). ამ დროს ძველი პერიოდის ლაქები დარჩენილია ეკვატორის მახლობლად. ჰელიოგრაფიული განედის $\pm 5^\circ$ -ის ფარგლებში და $\pm 40^\circ$ -ის გარეთ ლაქები იშვიათად იყო შემჩნეული.

ლაქები მაგნიტური ბუნებისაა, რაც მტკიცდება სპექტრული ანალიზით. თუ ლაქა არის მზის დისკოს ცენტრში, სპექტრული ზაზები ორდება, ე. ი. ამ შემთხვევაში ძალბაზები სხივის გასწვრივ მოდის (§ 21b). თუ ლაქა არის მზის დისკოს კიდეზე, მაშინ სპექტრული

¹ როგორც ისტორია გადმოგვცემს, ლაქებს მზეზე წინათაც ამჩნევდნენ შეუიარაღებელი თვალით (ჩინელები, რუსები და სხვ.); ეს იქნებოდა განსაკუთრებით დიდი ლაქები.

ხაზები სამად იყოფა; ე. ი. სხივი მოდის მაგნიტური ძალხაზების მართობულად.

ლაქების წარმოშობა, ბიერკენსის აზრით, აიხსნება ელექტრული ნაწილაკების გრიგალისებური მოძრაობით. ეს გრიგალისებური მოძრაობა წარმოებს მზის შიგნით, მაგრამ ზოგჯერ მისი ხვეულის თავებზე ამოიჩრება ფოტოსფეროში და მაშინ ჩვენ ვხედავთ ლაქას: ხვეულის ერთ თავში ბრუნვა იქნება მარცხნიდან მარჯვნივ, მეორეში მარჯვნიდან მარცხნივ და მასში, როგორც სოლენოიდში, წარმოიშვება სხვადასხვა პოლუსის მაგნიტური ძალხაზები. მართლაც, ლაქას ხშირად ვხედავთ დაწვეილებულად და ყველა წვეილში ერთი და იგივე პოლუსი არის წინ. ერთი პერიოდის გავლის შემდეგ პოლუსები იცვლის მდებარეობას; თუ წინათ წინ მიდიოდა ჩრდილო მაგნიტური პოლუსის მქონე ლაქები, ახალ პერიოდში წინ იქნება სამხრეთი პოლუსის ლაქები. ამიტომ ლაქების სრულ პერიოდად შეიძლება ჩაითვალოს 22,5 წელი.

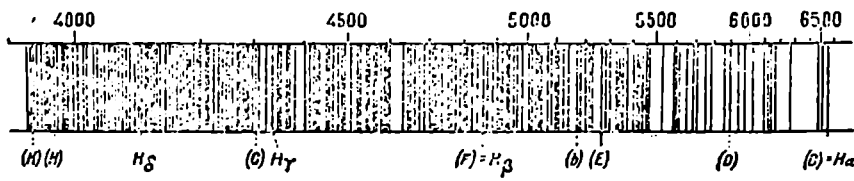


ნახ. 127.

ლაქების გულის ტემპერატურა ბელოპოლსკის განსაზღვრით უდრის 3500°-ს.

c) მზის ატმოსფერო

დიდი მიზიდულობის გამო მზეს შეუძლია შეინარჩუნოს თავის გარშემო ატმოსფერო. ამ ატმოსფეროს შესახებ ჩვენ წარმოდგენას გვაძლევს სპექტრული ანალიზი. მზის სპექტრში აღრიცხულია 20000-ზე მეტი ბნელი ხაზი, რომელიც მისი პირველი გამომკვლევის—ფრაუნგოფერის სახელს ატარებს. ფოტოსფერო ასხივებს უწყვეტი სპექტრის სი-



ნახ. 128. მზის სპექტრი.

ნათლეს. მზის ატმოსფეროში გავლის დროს თითოეული ატომი შთანთქავს თავის შესაფერი ტალღის ენერგიას და ამის შედეგად წარმოიშვება ბნელი ხაზები. რაც უფრო მეტია ატომები, რომელიც გარკვეულ ტალღის ენერგიას შთანთქავს, იმდენად ამ ტალღის სიგრძეზე უფრო ბნელი ხაზი წარმოიშვება. ფრაუნგოფერის ხაზებს გარდა, მზის სპექტრში ვხვდებით აგრეთვე დედამიწის ატმოსფეროსგან გამოწვეულ ხაზებს, რომლებსაც ტელურიული ხაზები ეწოდება. ტელურიული ხაზები უფრო

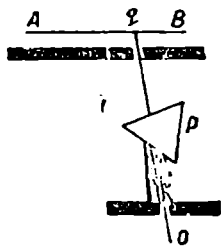
ონტენსიურია, როცა მზე დაბალზეა, რადგან ამ შემთხვევაში მზის სხივები დედამიწის ატმოსფეროს სქელ ფენას გაივლის და უფრო მეტი ენერგია შთაინთქმება. როცა მზე მაღალზეა, ტელურიული ხაზები უფრო მკრთალია. ამ ნიშნებით ისინი ადვილად გამოიცნობა.

მზის სპექტრში აღმოჩენილია 60-ზე მეტი ელემენტის ხაზი. მათგან უფრო ინტენსიურია წყალბადის, ჰელიუმის, ნახშირბადის, აზოტის, ჟანგბადის, კალციუმის, რკინის, ნიკელისა და სხვათა ხაზები. ამ 60 ელემენტს გარდა, მზეში შეიძლება სხვა ელემენტებიც იყოს, მაგრამ მკირე რაოდენობისა, თუ მზის შიგნით ღრმა ძვებარეობის გამო სპექტრში თავიანთ ხაზებს არ იძლევიან. აღსანიშნავია, რომ ჰელიუმი პირველად აღმოაჩინეს მზეზე და შემდეგ დედამიწაზე.

მზის ატმოსფერო იყოფა ოთხ ნაწილად: 1) ფოტოსფერო, 2) შემბრუნებელი ფენა¹, 3) ქრომოსფერო და 4) კორონა ანუ გვირგვინი. შემბრუნებელი ფენა უშუალოდ ფოტოსფეროდან იწყება. მისი სიმაღლე 300 კილომეტრს აღწევს. ეს არის მზის ატმოსფეროს საკმარისად მკვირივი ფენა. ფრაუნგოფერის ხაზები ამ ფენაში წარმოიშვება და სპექტრული ანალიზით სწორედ ამ ფენის შედგენილობას ვგებულობთ. მზის სრული დაბნელების დროს, როცა მთვარის დისკო ფარავს მზის უკანასკნელ სხივს, დაუფარავი რჩება შემბრუნებელი ფენის ზედა ნაწილი და ქრომოსფერო. მზის სპექტრი ჩაქრება და შავ ფონზე უცბად აინთება რამოდენიმე ნათელი ხაზი. ამას ეწოდება ანთების სპექტრი. ნათელი ხაზები გაჩნდება იქ, სადაც მზის სპექტრში ბნელი ხაზები იყო. ეს შემბრუნებელი ფენის ზედა ნაწილის და ქრომოსფეროს ატომების გამოსხივებაა. ანთების სპექტრი გრძელდება 1—2 სეკუნდს.

შემბრუნებელ ფენას ზეგით მოთავსებულია ქრომოსფერო, რომლის სისქე 20000 კილომეტრამდე აღწევს. ის იმდენად გაიშვიათებულია, რომ მზის სპექტრში მისი ხაზები არ არის. მზის სრული დაბნელებისას, როცა მთვარე მთლიანად დაფარავს მზის დისკოს, გამოჩნდება წითელი ფერის უსწორმასწორო ზედაპირი, რომელიც ქრომოსფეროს ნაწილს წარმოადგენს (ქრომოსფერო ნიშნავს წითელ ატმოსფეროს). ამ დროს მას ცეცხლმოდებულ ველს ამსგავსებენ. სრული დაბნელების დროს შეიძლება ქრომოსფეროს სპექტრის მიღება და გამოკვეთულ იქნას მისი შედგენილობა. ის უმთავრესად შედგება წყალბადის, კალციუმისა და ჰელიუმის ატომებისაგან.

ქრომოსფეროში ხშირად ვხვდებით მზის წიაღიდან ამოფრქვეულ გახურებული გაზის მასებს, რასაც პროტუბერანცები ეწოდება. პროტუბერანცები ორგვარია: ღრუბ-



ნახ. 129.

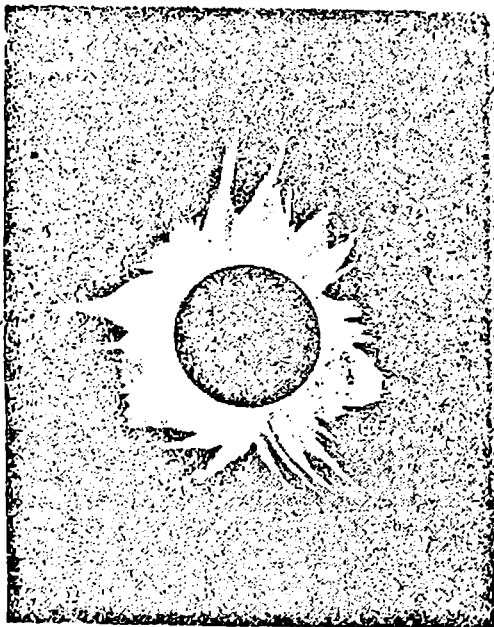
¹ ამ ბოლო დროს ზოგჯერ ფოტოსფეროს და შემბრუნებელ ფენას აერთიანებენ და ჯანიხილავენ როგორც ატმოსფეროს ერთ შემადგენელს ფოტოსფეროს. რედ.

ლისებური ანუ ნელა მოძრავი და ერუპტიული ანუ სწრაფად მოძრავი-
მათი სიმაღლე 10000-დან 500000 კილომეტრამდე აღწევს.

* ახლა ქრომოსფეროსა და პროტუბერანტების შესწავლა ყოველ მოწმენ-
დილ დღეს შეიძლება სპექტროპელიოგრაფის საშუალებით. ამ ხელსაწყოს
აგებულება ისეთია, რომ ტელესკოპის ფოკუსში მიღებული მზის გამოსახუ-
ლებიდან თავის კრილში გაატარებს დისკოს ერთი ქორდის სხივებს. შემდეგ
ეს სხივები გაივლის პრიზმაში და დაიშლება ფერებად. ეს არის აღებული
ქორდის სპექტრი. აქედან აირჩევა ერთი რომელიმე ხაზი და ის აღიბეჭდება
ფოტოფირფიტაზე. ხელსაწყოს ადვილად გადაანაცვლებენ და მასში გა-
ატარებენ სხვა ქორდის სხივებს, რომლის სპექტრიდან იმავე ხაზს აირ-
ჩევენ. ამრიგად მიიღებენ მთელი მზის დისკოს სურათს, ერთ რომელიმე
სპექტრულ ხაზში. 129 ნახაზზე *AB* არის მზის დისკოს გამოსახულება;
დისკო უნდა წარმოვიდგინოთ ნახაზის სიბრტყის მართობულად, მაშინ
AB-ს თითოეული წერტილი გამოსახავს ქორდას. *q* არის ქორდა, რომ-
ლის სხივებიც გაივლის *P* პრიზმაში; *O* არის არჩეული სპექტრული
ხაზი. ამრიგად მიიღება მზის სურათი ერთ რომელიმე სპექტრულ ხაზ-
ში. თუ ეს ხაზი არის წყალბადის, მაშინ მივიღებთ წყალბადის განაწი-

ლების სურათს მზეზე;
კერძოდ, აღიბეჭდება
წყალბადის პროტუბე-
რანტებიც. ასევე მიიღე-
ბა კალციუმის და სხვა
ელემენტების განაწი-
ლების სურათიც.

მზის სრული დაბნე-
ლების დროს აკვირდე-
ბიან აგრეთვე კორონას
ანუ გვირგვინს. იგი
მდებარეობს ქრომოს-
ფეროს ზევით და დიდ
მანძილზე ვრცელდება,
მაგრამ მისი სიმკვრივე
ძლიერ მცირეა. კორო-
ნას აქვს მოვერცხლის-
ფერო სხივოსნური აგე-
ბულება. მისი სპექტრი
გვიჩვენებს, რომ იგი
შედგება როგორც გა-
ზებისაგან, ისე მყარი



ნახ. 130. კორონა.

ნაწილაკებისაგან. კორონას (ანუ გვირგვინის) ფორმა მზის ლაქების
მინიმუმის დროს სწორკუთხოვანია და დაგრძელებულია ეკვატორის

გასწვრივ, ხოლო ლაქების მაქსიმუმის დროს მრგვალი ფორმა აქვს. კორონას მთელი სიკაშკაშე ორჯერ მეტია სავსე მთვარეზე¹.

↑
d) მზის ენერგია

დედამიწა მზიდან ლებულობს სითბოს და სინათლეს, მაგრამ შეიძლება ითქვას, რომ დედამიწაზე არსებული თითქმის ყოველგვარი ენერგია მზის ენერგიას წარმოადგენს (გარდა ატომური ენერგიისა და ზღვის ღელვისა). შეშის წვით მიღებული ენერგია მზის ენერგიაა, ვინაიდან მზის სხივებით იზრდებოდა ხეები. ჰიდროელექტრო სადგურებით მიღებული ელექტროდენი მზის ენერგიაა, ვინაიდან მზე იწვევს აორთქლებასა და წვიმას, რის გამოც მდინარეები არ შრება. მზის სითბოთი იზრდებოდა უძველესი ეპოქის ხმელეთისა და ოკეანის ცხოველები და მცენარეები, რომელთაგან შემდეგ დარჩა ნაუთი და ქვანახშირი და ამჟამად ამ ნივთიერებათა ენერგიაც მზის ენერგიაა აკუმულირებული სახით.

როგორც დაკვირვება გვიჩვენებს, დედამიწაზე მიღებული მზის ენერგია მცირე ცვლილებას განიცდის. საშუალო დაშორების დროს ერთ კვადრატულ სანტიმეტრზე ერთ წუთში მზის სხივების მართობულად მიღებულ ენერგიას ეწოდება მზის მუდმივი. ის უდრის 1,94 მცირე კალორიას. ატმოსფეროს გამკვირვალობის ცვლილების გამო² მზის მუდმივი ირყევა დაახლოებით 2%-ით. მზემდე მანძილის ცვლილების გამო მიღებული ენერგია (სხივების მართობულად) 3—4%-ით მეტია ზამთარში და ამდენივეთი ნაკლებია ზაფხულში.

* მზის მუდმივი იზომება აქტინომეტრის საშუალებით. უმარტივესი აქტინომეტრის სქემა ასეთია. თუნუქის პატარა ცილინდრი წყლით არის სავსე. მისი ერთი ფუძე გაშავებულია, ხოლო მეორე ფუძეზედ სახელურში ჩამაგრებულია თერმომეტრი. პირველად ხელსაწყო დაფარულია ისე, რომ მზის სხივები არ ხვდება. გაზომავენ ამ დროს რას უდრის წყლის ტემპერატურა (ნახ. 131). შემდეგ საფარველს მოაშორებენ და მზის სხივები ეცემა გაშავებულ ფუძეზე მართობულად. რამდენიმე წუთის შემდეგ ხელმეორედ გაზომავენ წყლის ტემპერატურას. იგულისხმება, რომ მთელი შთანთქმული ენერგია მიდის წყლის გათბობაზე. ვთქვათ, ფუძის ფართობი არის P კვ. სანტიმეტრი, მზის სხივების მოქმედების დრო— t წუთი; მზის მუდმივი აღვნიშნოთ X -ით, მაშინ წყლის გათბობაზე დახარჯული ენერგია იქნება PtX მცირე კალორია. მეორე მხრივ, თუ



ნახ.131.

¹ მზის გვირგვინის შესწავლაზე ნაყოფიერად მუშაობს აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი მ. ვაშაქიძე.

² ატმოსფეროს გამკვირვალობა იცვლება, დიდი ვულკანის ამოფრქვევის შედეგად. ატმოსფეროში წყლის ორთქლის რაოდენობით, წლის დროის მიხედვით, ზღვის დონედან სხვადასხვა სიმაღლისათვის და სხვა.

აღნიშნავთ საწყის ტემპერატურას t_1 -ით, საბოლოო ტემპერატურას — t_2 -ით და წყლის მოცულობას — Q კუბ. სანტიმეტრით, მაშინ იგივე ენერგია იქნება $Q(t_2 - t_1)$. ამათი გატოლებით მივიღებთ

$$P\theta x = Q(t_2 - t_1) \quad (3)$$

* აქედან განისაზღვრება მზის მუდმივი X .

* როცა ცნობილია მზის მუდმივი, სტეფან ბოლცმანის კანონის საშუალებით, განისაზღვრება მზის ზედაპირის (ფოტოსფეროს) აბსოლუტური ტემპერატურა. ვთქვათ, ის უდრის T გრადუსს, მაშინ აღნიშნული კანონის თანახმად, მზის ზედაპირის ერთეულიდან გამოსხივებული ენერგია იქნება $E = \sigma T^4$. მზის სრული გამოსხივებისათვის ეს უნდა გავამრავლოთ მზის სფეროს ფართობზე — $4\pi R^2$ -ზე, სადაც R მზის რადიუსია, მივიღებთ $4\pi R^2 \sigma T^4$ -ს.

* მეორე მხრივ, მზის გარშემო, თუ ავიღებთ სფეროს ერთი ასტრონომიული ერთეულის რადიუსით, მაშინ მზის მთელი გამოსხივება ტოლი იქნება ამ სფეროს ფართი რომ გავამრავლოთ მზის მუდმივზე; ე. ი. ის ტოლი იქნება $4\pi a^2 \cdot 1,94$ მცირე კალორიის, სადაც a დედამიწიდან მზემდე მანძილია. გაუტოლოთ ორივე გამოსახულება ერთმანეთს, მივიღებთ

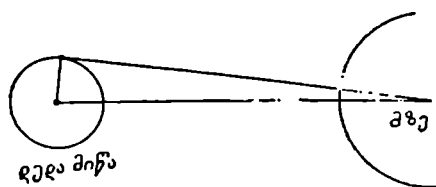
$$R^2 \sigma T^4 = 1,94 a^2 \quad (4)$$

აქედან განისაზღვრება მზის ზედაპირის ტემპერატურა.

* მზის ტემპერატურა განისაზღვრება აგრეთვე ვინის კანონით და პლანკის ფორმულით მზის სპექტრში მაქსიმალური გამოსხივების ტალღის სიგრძით და ენერგიის განაწილების მიხედვით (§ 21c). სამივე ხერხით მზის ზედაპირის ტემპერატურა ერთი და იგივე გამოდის; ის უდრის 6000° -ს. ამას ეწოდება მზის ეფექტური ტემპერატურა, რადგან მიღებულია აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კანონებიდან.

მზის გულის ტემპერატურა, როგორც თეორია გვიჩვენებს, 20 მილიონ გრადუსს უდრის.

* მზის მთელი გამოსხივებიდან დედამიწაზე უმნიშვნელო ნაწილი მოდის. დედამიწის დისკოს კუთხური რადიუსი მზიდან დაინახება მზის პარალაქსის ტოლი კუთხით (ნახ. 132). ხაზობრივი



ნახ. 132.

რადიუსი $r = a \sin \theta, \theta = \frac{a \cdot 8,8}{206265}$. დედამიწის დისკოს ფართი იქნება

$\pi r^2 = \pi \left(\frac{a \cdot 8,8}{206265} \right)^2$ მთელი ცის სფეროს ფართი მზის გარშემო დედამიწის მანძილზე უდრის $4\pi a^2$ -ს. დედამიწაზე მიღებული ენერგია ისე შეეფარდება მზის მთელ გამოსხივებას, როგორც ეს ორი ფართი. ის უდრის

$$\frac{\pi a^2 (8.8)^2}{4\pi a^2 (206265)} \approx \frac{1}{2,2 \cdot 10^5}, \text{ ე. ი. მზე ორ მილიარდზე უფრო მეტს ასხი-}$$

ვებს, ვიდრე დღდამიწა ლებულობს. აქედან ვხედავთ, თუ რა კოლოსალური ენერჯის წყაროა მზე.

როგორ ახერხებს მზე ასე დიდი ენერჯის გამომუშავებას?

ა) ვილსონ-ჰერშელის ძველი თეორიით, მზის ცენტრალური ნაწილი არის მყარი და ცივი და მხოლოდ თხელი ფენა მზის გარშემო არის ცხელი. ამ ჰიპოტეზის მცდარობა აშკარა გახდა ენერჯის მულტიფოკალურობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ, რადგან თხელი ფენის ენერჯია მალე გამოილეოდა.

ბ) რაიმე ნივთიერების წვა არ შეიძლება მზის ენერჯის წყარო იყოს. მაგალითად, მზე რომ იყოს ქვანახშირი, მისი წვით მიღებული ენერჯია იკმარებდა მხოლოდ 1500 წელს.

გ) მეტეორული თეორია მზის ენერჯის წარმოშობას მეტეორების ვარდნით ხსნის. დიდი მიზიდულობის გამო მზეზე ვარდნილი სხეულის სიჩქარე დიდია და მეტეორები დაცემის დროს დიდ ენერჯიას განავითარებს. მაგრამ როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, ეს ენერჯია სრულიად არ იქნება საკმარისი გამოსხივების ასახსნელად.

დ) კონტრაქციული ანუ შეკუმშვის თეორიით მზის დისკო იკუმშება, რის გამოც მისი ტემპერატურა მატულობს და ამის შედეგად გამოსხივების ინტენსივობა ერთი და იგივეა. როგორც მეცნიერება არკვევს, მზის დისკოს არ განუტლია რაიმე შემცირება ისტორიული და გეოლოგიური პერიოდების განმავლობაში და ამიტომ ეს ჰიპოტეზაც არ არის საკმარისი.

ე) რადიოაქტიური თეორიის მიხედვით მზის ნივთიერება შედგება რადიოაქტიური ელემენტებისაგან და ამ ელემენტების გამოსხივება წარმოადგენს მზის ენერჯის ძირითად წყაროს; მაგრამ ეს ენერჯიაც უმნიშვნელო გამოდის მზის გამოსხივებასთან შედარებით.

ვ) მზის ენერჯის წარმოშობის უკანასკნელი თეორია დამყარებულია ნივთიერების გარდაქმნაზე. ამ თეორიის მიხედვით მზეში წარმოებს ატომგულური რეაქციები. დიდი ტემპერატურის გავლენით წყალბადის გული ანუ პროტონი შეიქრება სხვა ელემენტის ატომგულში. ეს ატომი ჯერ გადაიქცევა იზოტოპად (იმევე ელემენტის ატომად, უფრო დიდი ატომური წონით). პროტონის ოთხჯერ შექრის შედეგად აღებული ნივთიერების ატომი გადაიქცევა სხვა ელემენტის ატომად. მაგრამ ახალი ატომი არაა მდგრადი და ადვილად იშლება. მისგან მიიღება ისევე პირველი ელემენტის ატომი და ჰელიუმის ატომგული. ასეთი რეაქციის დროს გამოიყოფა დიდი ენერჯია. ჰელიუმის ატომგულის მასა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ოთხი პროტონის მასა, ე. ი. რეაქციაში მონაწილე მასის ნაწილი

გადაიქცევა ენერგიად. ფარდობითობის თეორიის თანახმად, მასასა და ენერგიას შორის არსებობს დამოკიდებულება

$$E = mc^2, \quad (5)$$

სადაც c სინათლის სიჩქარეა, m —მასა და E —ენერგია. ერთი გრამატომის ენერგიად გარდაქმნა იძლევა სითბოს $6 \cdot 10^8$ დიდ კალორიას.

ენერგიის ეს წყარო სავესებით ხსნის მზის კოლოსალურ გამოსხივებას. მისი მასა ამ თეორიით მცირდება, მაგრამ მაინც საკმარისია $2 \cdot 10^{12}$ წლის განმავლობაში.

ქ) მზესთან დაკავშირებული მოვლენები

სიაბო-სინათლის ყოველდღიურ მოწოდებას გარდა, მზესთან არის დაკავშირებული ზოგიერთი „მეორეხარისხოვანი“ მოვლენებიც.

მზის ჩასვლის შემდეგ დასავლეთით და ამოსვლამდე აღმოსავლეთით ადგილი აქვს მკრთალ ზოლოვან ნაოებას, რომელიც სამხრეთის ქვეყნებში უფრო საგრძნობია (ჩრდ. ნახევარსფეროში). პორიზონტის იმ ადგილიდან, სადაც ჩავიდა (ან უნდა ამოვიდეს) მზე, იწყება ნათელი ზოლი, რომელიც ვრცელდება ზოლიაკალური თანაგარსკვლავედების გასწვრივ. პორიზონტთან ეს ზოლი უფრო ფართოა, ხოლო შემდეგ თანდათან ვიწროვდება. უფრო საგრძნობია მარტში მზის ჩასვლისას და შემოდგომაზე მზის ამოსვლის წინ, როცა ეკლიპტიკა უფრო დიდ კუთხეს ჰქმნის პორიზონტთან. ამას ეწოდება ზოლიაკალური ნათება. ის გამოწვეულია მზის გარშემო არსებული ძლიერ გაიშვიათებული ნივთიერების არსებობით, პლანეტათა შორისეთის მტვერით, რომელსაც მზის გარშემო ლინზის ფორმა აქვს. ნათებას ადგილი აქვს აგრეთვე მზის დიამეტრულად მოპირდაპირე მხარეს და ეწოდება მოპირდაპირე ნათება.¹ ესეც გამოწვეულია გაზით და მტვერით, რომლის ნაწილი შეგროვილია მზის მოპირდაპირე მხარეს დედამიწიდან $1\frac{1}{2}$ მილიონ კილომეტრის მანძილზე ე. წ. ლიბრაციის წერტილში.

ჩრდილოეთის ქვეყნებში ზოგჯერ ადგილი აქვს ჩრდილოეთის ნათებას, რომელსაც, უფრო სწორია, პოლარული ნათება ვუწოდოთ, რადგან მას ადგილი აქვს სამხრეთის პოლუსის მახლობელ ქვეყნებშიც. ნათება ზოლოვანი სახისაა და ზევით თანდათან ფართოვდება. ერთმანეთში გადადის ფერები: მუქი, ნარინჯისფერი, ვარდისფერი და სხვა. ამასთან დროდადრო უცბად აინთება მოქანავე სინათლის სხივები. პოლარული ნათება პირველად შეისწავლა ლომონოსოვმა. მან გამოარკვია, რომ ამ ნათებას ადგილი აქვს 150 კილომეტრს ზევით და ის გამოწვეულია ელექტრონაწილაკების გავლით ატმოსფეროს გაიშვიათებულ ფენებში. ახლა

¹ მოპირდაპირე ნათების არსებობა უკანასკნელ ხანებში ახსნილი იქნა საბჭოთა მეცნიერების ასტაპოიჩისა და აკადემიკოს ფესენკოვის მიერ, როგორც გამოწვეული დედამიწის კულისაგან. თითონ დედამიწის კუდი კი შედგება გაზოვან (უფრო მეტად) და მტვეროვან ნაწილაკებისაგან. რედ.

ცნობილია, რომ მზე გამოასხივებს სხვადასხვა კორპუსკულებს. მათი სიჩქარეა 800—1000 კილომეტრი სეკუნდში და 1—2 დღეში მოაღწევს დედამიწამდე. როგორც ელექტრონაკადი გადაიხრება მაგნიტური ძალხაზებიდან, ისე კორპუსკულების ნაკადიც გადაიხრება დედამიწის მაგნიტური ძალხაზებისგან, რომელიც გეოგრაფიული პოლუსების მახლობლად უფრო ძლიერია. გადახრის გამო ეს კორპუსკულები ეჯახება ატმოსფეროს ზედა ფენებში გაზის გაიშვიათებულ ატომებს და იწვევს პოლარულ ნათებას (გაზის რეკლამების ანალოგიურად). პოლარული ნათება უფრო ძლიერია ლაქების მაქსიმუმის დროს.

ლაქებს გავლენა აქვს აგრეთვე დედამიწის მაგნიტიზმზე. როცა დიდი ლაქა გადადის მზის დისკოზე, მაგნიტური ისარი ძლიერ რყევას განიცდის. ეს მოვლენა ცნობილია მაგნიტური ქარიშხალის სახელით. ის უფრო მეტად მოსალოდნელია, როცა მზე გადის მერიდიანზე, მაგრამ იგვიანებს რამდენიმე საათს. მაგნიტურ ქარიშხალზე გავლენა აქვს ლაქების 11 წლიან პერიოდს, აგრეთვე მზის ბრუნვას თავის ღერძის გარშემო. ლაქები ხელს უშლის აგრეთვე ელექტრო მაგნიტური ტალღების გავრცელებას. როცა მზის დისკოზე დიდი ლაქა გადადის, წყდება ან ფერხდება რადიოგადაცემა.

ლაქების მინიმუმის დროს საშუალო ტემპერატურა დედამიწაზე 0,6-ით მეტია. ამინდზე თვალსაჩინო გავლენა არაა დადგენილი, შესაძლოა ძნელი შესამჩნევი იყოს სირთულის გამო.

კაცობრიობის წინაშე დიდი ხანია დგას მზის სითბური ენერჯის უფრო რაციონალურად გამოყენების საკითხი. ჯერ კიდევ არქიმედმა, როგორც გადმოცემა ამბობს, ჩაზნექილი სარკის გამოყენებით ცეცხლი წაუკიდა მტრის ხომალდებს. რუსმა ასტრონომმა ცერასკიმ პარაბოლური სარკის ფოკუსში მზის სხივებით გააღწო პლატინა; ტემპერატურა ამ წერტილში (ფოკუსში) 3000°-მდე ავიდა. მზის ენერჯით მომუშავე მანქანებს უკვე აგებენ (არის თურქმენეთის სსრ-ში, ეგვიპტეში, კალიფორნიაში და სხვ.), მაგრამ ჯერ-ჯერობით მათი მარგი მოქმედების კოეფიციენტი მცირეა¹.

§ 23. მ თ შ ა რ ი

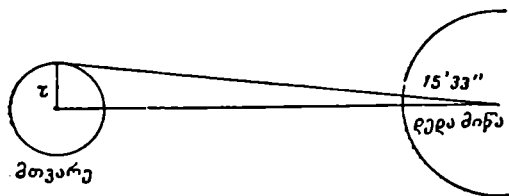
† a) მთვარის სიდიდე და ბრუნვა

მთვარემდე საშუალო მანძილი უდრის 384400 კილომეტრს. მისი დისკოს ხილული რადიუსი ამ მანძილზე დედამიწიდან ჩანს 15'32",6-ს კუთხით (ნახ. 133). ამ მონაცემებით გამოითვლება მთვარის რადიუსი. ის უდრის 1738 კილომეტრს, რაც დედამიწის რადიუსის $\frac{1}{4}$ -ზე ცოტათი

¹ უფრო დაწვრილებით მზის შესახებ იხ. ე. ხარაძე, „მზე“, 1940 წ.

მეტია (უფრო ზუსტად = 0,27). მთვარის მოცულობა დედამიწის მოცულობის $\frac{1}{49}$ -ს შეადგენს. ხოლო მთვარის მასა, როგორც ვნახეთ § 20-ის f საკითხში დედამიწის მასის $\frac{1}{81,5}$ -ს უდრის. მთვარის სიმკვრივე არის 3,3-ს წყალთან შედარებით.

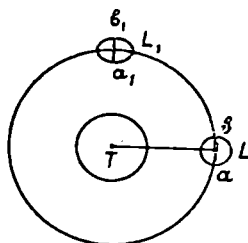
მთვარის ბრუნვის ასახსნელად განვიხილოთ ნახაზი 134. აქ T არის



ნახ. 133.

დედამიწა, L მთვარე. მთვარის ab დიამეტრი რაიმე მომენტში, ეთქვათ, LT -ს მიმართულულების მართობია. ამ დიამეტრმა მიმართულება რომ არ შეიცვალოს მთვარის L_1 მდებარეობაში, მას უნდა ჰქონდეს $a's'$ მდებარეობა. მაგრამ სინამდვი-

ლეში ეს დიამეტრი ისევე მართობი იქნება (დაახლოებით) მთვარე-დედამიწის L_1T მიმართულების. ეს გვიჩვენებს, რომ მთვარე ბრუნავს ღერძის გარშემო სწორედ იმდენად, რამდენადაც მობრუნდება დედამიწის გარშემო. ბრუნვის ასეთი თავისებურობის მიზეზია დედამიწის მიზიდულობა, რომელიც „იკერს“ მთვარეს და აიძულებს მას მუდამ ერთი მხრით იყოს ჩვენსკენ მოქცეული. მთვარის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთა ორბიტის სიბრტყესთან იმავე ხაზზე ხდება, სადაც იკვეთება ორბიტისა და ეკლიპტიკის სიბრტყეები. მთვარის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთხე უდრის $1^{\circ}30'$; ეკლიპტიკასა და ორბიტას შორის კუთხე $5^{\circ}8'$ -ა. მათი ჯამი არის მთვარის ეკვატორის სიბრტყისა და ორბიტის სიბრტყეს შორის კუთხე და ის უდრის $6^{\circ}38'$ -ს.



ნახ. 134.

მთვარის ბრუნვა ღერძის გარშემო ზუსტად თანაბარია, ხოლო მთვარის მოძრაობა დედამიწის გარშემო არათანაბარია ორბიტის ელიფსურობის გამო. ამიტომ პერიგეუმში (დედამიწასთან უახლოეს წერტილში) მთვარე უფრო მეტად მობრუნდება დედამიწის გარშემო, ვიდრე თავის ღერძის გარშემო და ჩვენ შეიძლება დავინახოთ მისი მეორე ნახევარსფეროს ნაწილი დასავლეთის მხრიდან. ასევე აპოგეუმში (დედამიწასთან უშორეს წერტილში) მთვარე უფრო ნელა უვლის დედამიწის გარშემო, ვიდრე ბრუნავს ღერძის გარშემო და ჩვენ დავინახავთ მთვარის მეორე ნახევარის ნაწილს აღმოსავლეთის მხრით. ამის გამო მთვარის ზედაპირზე

რაიმე წერტილი მოგვეჩვენება გადაადგილებულად. ამას ეწოდება ლიბრა-
ცია გრძელზე და მისი უდიდესი მნიშვნელობა უდრის $7^{\circ}45'$ -ს.

მთვარე ეკლიპტიკის სიბრტყის ხან ზევით (ჩრდილოეთით) არის და
ხან ქვევით. პირველ შემთხვევაში ჩვენ უფრო მეტად დავინახავთ მთვა-
რის საშხრეთი პოლუსის მიდამოს, ხოლო მეორე შემთხვევაში ჩრდილო
პოლუსის მიდამოს. ამას ეწოდება ლიბრაცია განედზე; ის უდრის $6^{\circ}30'$ -ს.
ამას გარდა, არსებობს კიდევ პარალაქსური და ფიზიკური ლიბრაცია.
პარალაქსური ლიბრაცია მდგომარეობს იმაში, რომ ამოსვლის დროს
ჩვენ დავინახავთ მთვარის დასავლეთ კიდეც, ხოლო ჩასვლის დროს აღ-
მოსავლეთ კიდეც; ის უდრის 1° -ს. ფიზიკური ლიბრაცია კიდევ უფრო
მცირეა და გამოწვეულია მთვარის ნამდვილი რყევით. ყველა ამ რყევათა
შედგებად ჩვენ ვხედავთ მთვარის ზედაპირის 59% -ს;

ბ) მთვარის ბუნება და ზედაპირი

მთვარის ბუნების დახასიათებისათვის უმთავრესი მნიშვნელობა აქვს
ატმოსფეროს საკითხს. ამის გამოსარკვევად გამოვითვალეთ კრიტიკული
სიჩქარე მთვარის ზედაპირზე. კრიტიკული სიჩქარის (§ 19d) ფორმულა-

ში $v^2 = \frac{2K^2 m}{r}$, ჩავსვათ მთვარის მასა და რადიუსი დედამიწის შესაფერ-
სიდიდეებში გამოსახული, გვექნება

$$v^2 = \frac{2K^2 \cdot \frac{M}{81,5}}{0,27R} \approx \frac{100}{81 \cdot 27} \cdot \frac{2K^2 M}{R} \quad (6)$$

მეორე წილადი აქ გამოსახავს დედამიწის კრიტიკულ სიჩქარის კვად-
რატს. (6)-დან გამოდის, რომ კრიტიკული სიჩქარე მთვარეზე 4,6-ჯერ
ნაკლებია, ვიდრე დედამიწაზე. ამიტომ მთვარის მიზიდულობა არ იქნე-
ბა საკმარისი ატმოსფეროს შესანარჩუნებლად. ამას ადასტურებს სხვა
მოვლენებიც. სპექტრული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მთვარის სინათლე
მზის სინათლის ანარეკლს წარმოადგენს და მასში არავითარი დამატე-
ბითი ხაზები არ არის. მთვარეზე რომ ყოფილიყო ატმოსფერო, მის
სპექტრში წარმოიშვებოდა შთანთქმის ხაზები დედამიწის ატმოსფეროს
ტელურიული ხაზების მსგავსად მზის სპექტრში. ატმოსფეროს უქონ-
ლობას ამტკიცებს აგრეთვე მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა.
ვარსკვლავი უცბად ჰქრება დაფარვის დროს და ასევე უცბად გამოჩ-
ნდება დაფარვის შემდეგ. ატმოსფერო რომ ჰქონოდა მთვარეს, მაშინ
ვარსკვლავის სინათლე თანდათან შემცირდებოდა მთვარის კიდედან
მიახლოების დროს.

უკანასკნელ ხანს საბჭოთა მეცნიერებმა დაამტკიცა, რომ მთვარეზე
არის ძლიერ გაიშვიათებული ატმოსფერო, რომლის წნევა 2000-ჯერ
ნაკლებია დედამიწის ატმოსფეროსთან შედარებით.

რაკი მთვარეზე არ არის ატმოსფერო, არც წყალი შეიძლება იყოს და არც ქარი და წვიმა. ტემპერატურა ძლიერ მკვეთრად იცვლება ატმოსფეროს უქონლობის გამო. „დღისით“, რაც მთვარეზე 15 დღეს გრძელდება, ტემპერატურა 100°-მდე აღის, „ღამით“ კი ის მინუს 150°-მდე ეცემა.

ჩვენსკენ მოქცეული მთვარის ნახევარსფერო კარგად არის შესწავლილი. მისი რელიეფი უსწორმასწორო და მრავალფეროვანია. უბრალო თვალითაც მთვარეზე ჩანს ბნელი ლაქები. ეს არის ჩალრმავებული ვაკე ადგილები, რომლებსაც „ზღვებს“ უწოდებენ; თუმცა წყალი ერთი წვეთიც არ არის. ყველაზე დიდი „ზღვებია“: კრიზისის, სიცივის, ქარიშხლის ოკეანე და სხვა.

საინტერესო წარმონაქმნია მთვარეზე რგოლისებური მთები, რომელსაც კრატერები ანუ ცირკები ეწოდება. ისინი ჰგავს დედამიწაზე არსებულ ვულკანის კრატერებს, მაგრამ მათზე გაცილებით უფრო დიდია. ყველაზე დიდი კრატერის დიამეტრი 200 კილომეტრამდეა და მასში შეიძლება მოთავსებულიყო პატარა სახელმწიფო, მაგალითად, ბელგია. ზოგიერთი დიდი კრატერის ცენტრში შექმნილია პატარა გორაკი. კრატერები მთვარეზე ბევრია; მათგან უფრო დიდებს დარქმეული აქვს ცნობილი ასტრონომების და ფილოსოფოსების სახელი, მაგალითად, კოპერნიკი, ტიჰო, პლატონი და სხვა.

რგოლისებური მთების გარდა მთვარეზე არის აგრეთვე მთაგრეხილები; მათ აქვს დედამიწაზე არსებული მთების სახელი. მაგალითად, მთვარეზე არის ალპები, აპენინები, კავკასია და სხვა. მთვარის მთების სიმაღლე 9 კილომეტრამდე აღწევს.

მთვარეზე ამჩნევენ აგრეთვე ნაპრალებს, რომლის სიგანეა $\frac{1}{2}$ კილომეტრიდან 2—3 კილომეტრამდე. ისინი გადაუვლის მთებს და ზღვებს და ასეულ კილომეტრზე ვრცელდება.

გარდა ამისა, ზოგიერთი დიდი კრატერიდან გამოდის სხივური სისტემა. ამ სხივური ზოლების ნივთიერება ვულკანური წარმოშობის უნდა იყოს.

მთვარის რელიეფის წარმოშობაზე არსებობს ორი ჰიპოთეზა: მეტეორული და ვულკანური. მეტეორული ჰიპოთეზის მიხედვით მთვარის ზედაპირი წარმოშობილია მეტეორების დაცემით. ატმოსფეროს უქონლობის გამო მეტეორები დიდი ძალით დაეცემოდა და ამის შედეგად წარმოიშვებოდა კრატერები და სხვა წარმონაქმნები. ვულკანური ჰიპოთეზის მიხედვით, მთვარე დიდი ხნის წინათ თხიერ მდგომარეობაში იყო. შემდეგ თანდათან გაცივების დროს ის გადაიქცა გიგანტური ძალის ვულკანური მოქმედების არედ და ამის შედეგად წარმოიშვა მთები, კრატერები და სხვ. ამჟამად უფრო მიღებულია ვულკანური ჰიპოთეზა.

ჩვენში გავრცელებულია აზრი, რომ ამინდი დამოკიდებულია მთვარეზე, რომ თითქოს ახალმთვარობის დროს უნდა გაწვიმდეს და სხვა. მაგრამ მეცნიერება არ ადასტურებს მთვარის რაიმე გავლენას ამინდზე.

† a) მერკური და ვენერა

როგორც ვიცით. ცთომილები მოძრაობს მზის გარშემო. ცთომილებ-
ზისა და მათი თანამგზავრების გარდა, მზის გარშემო მოძრაობს აგრე-
თვე ასტეროიდები (ანუ მცირე ცთომილები), კომეტები და მეტეორები.
ყველა ამ ციურ სხეულს მზესთან ერთად ეწოდება მზის სისტემა ანუ
მზის ოჯახი.

ყველაზე ახლოა მზესთან მერკური. მზესთან სიახლოვის გამო მისი
დანახვა, როგორც ვიცით (§ 16a), იშვიათად შეიძლება სალამოს ან
დილით. მერკურის დაშორება მზიდან ასტრონომიულ ერთეულებში
უდრის 0,387-ს; ექსცენტრისტეტი $e=0,206$, რაც ნიშნავს, რომ მისი
ორბიტა საკმაოდ დაგრძელებული ელიფსია. მერკურის რადიუსი დედა-
მიწასთან შედარებით უდრის დაახლოებით $\frac{2}{5}$ -ს, ხოლო მოცულობა

$\frac{3}{50}$ -ს; ე. ი. მოცულობით ის სამჯერ მეტია მთვარეზე. მერკურის მასა

დედამიწის მასის $\frac{1}{25}$ -ს შეადგენს. ამის გამო მისი მიზიდულობა მცი-
რეა და არაა საკმარისი ცოტად თუ ბევრად მნიშვნელოვანი ატმოსფე-
როს შესანარჩუნებლად.

მზის გარშემო მერკური ბრუნავს 88 დღე-ღამეში და ამდენივე დროს
უნდება თავის ლერძის გარშემო ბრუნვას. ეს იმას ნიშნავს, რომ მერ-
კური ერთი მხრით მუდამ მზისკენ არის მიქცეული, როგორც მთვარე
დედამიწისკენ. მზესთან სიახლოვის გამო მერკური ბევრ სითბოს ლე-
ბულობს, რის გამოც იმ მხარეს, რომელიც მზისკენ არის მიქცეული,
ტემპერატურა 400°-ზე მეტია, მეორე მხარეს კი მინუს 150°-ზე დაბალი
უნდა იყოს, რადგან უმნიშვნელო ატმოსფეროს გამო წინა ნახევარის
დიდი სითბო აქ ვერ აღწევს. უდიდესი ელონგაციის დროს (§ 16a) მერ-
კური ტელესკოპში გამოჩნდება (თუ ჩანს) ვიწრო ნამგალის სახით, რო-
გორც ახალი ან ძველი მთვარე. საინტერესოა მერკურის გავლა მზის
დისკოზე, რაც 100 წელში 13-ჯერ ხდება.

ვენერას ძველი ხალხები სილამაზისა და სიყვარულის ღმერთად
თვლიდნენ დიდი თეთრი სიკაშკაშის გამო. ჩვენში ზოგჯერ მას ცისკარს
უწოდებენ, თუმცა იგი ხან გათენების წინ ჩანს და ხან სალამოს; ხან
კი სულაც არ ჩანს, როცა მზესთან ახლოა. უდიდესი სიკაშკაშის დროს
ვენერას ვარსკვლავიერი სიდიდე უდრის—4-ს; ამ დროს მისი დანახვა
შეიძლება დღისითაც, თუ ცა მოწმენდილია. მზის გარშემო შემოვლას
ვენერა უნდება 225 დღე-ღამეს, ე. ი. მისი წელი ჩვენებურ 7,5 თვეს
უდრის. ლერძის გარშემო ბრუნვას კი უნდება (როგორც ფიქრობენ) 30
დღე-ღამეს.

ვენერა ზოგჯერ დედამიწასა და მზეს შორის მოექცევა და გვეჩვენება თითქოს იგი მზის დისკოზე გადის. ასეთი გავლა ხდება საშუალოდ საუკუნეში ორჯერ და მასზე დამყარებულია მზის პარალაქსის განსაზღვრის ერთ-ერთი ხერხი. 1761 წელს ვენერას მზის დისკოზე ერთ-ერთი გავლის დროს ლომონოსოვმა აღმოაჩინა, რომ ამ ცთომილს აქვს ატმოსფერო. როცა ვენერა მიუახლოვდა მზეს, მზის კიდე ბუნდოვანი გახდა. ეს გამოიწვია ცთომილის ატმოსფერომ. თეორიული მოსაზრებაც გვიჩვენებს, რომ ვენერას უნდა ჰქონდეს ატმოსფერო. ვენერას რადიუსი უდრის 6300 კილომეტრს, რაც დედამიწის რადიუსის 98%-ს შეადგენს; მასა კი დედამიწის $\frac{4}{5}$ -ს უდრის. ამრიგად ვენერა ცოტათი ნაკლებია დედამიწა-

ზე. კრიტიკული სიჩქარე, რაც გამოითვლება ფორმულით $v^2 = \frac{K^2 m}{r}$, ვენერასთვის უდრის $10,15 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$. ცთომილმა რომ შეინარჩუნოს ატმოსფერო ასტრონომიული პერიოდების განმავლობაში, გაზის მოლეკულების სიჩქარე კრიტიკული სიჩქარის $\frac{1}{5}$ -ს არ უნდა აღემატებოდეს. ყველაზე მჩატე გაზის — წყალბადის მოლეკულების სიჩქარე უდრის: — 100° -ზე $1,46 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$, 0° -ზე $1,84 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$ და $+100^\circ$ -ზე $2,15 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$. ვენერას საშუალო ტემპერატურა ისეთია, რომ ის შეინარჩუნებს წყალბადს და, ცხადია, ყველა სხვა გაზებსაც.

ვენერას დაშორება მზიდან უდრის 0,723 ასტრონომიულ ერთეულს. ამის გამო ვენერა ორჯერ მეტ სითბოს ღებულობს, ვიდრე დედამიწა და შესაფერი შედგენილობის ატმოსფერო რომ ჰქონდეს, მაშინ მასზე კარგი პირობები იქნება სიცოცხლისათვის. მაგრამ ეს ცთომილი მუდამ დაფარულია სქელი თეთრი ღრუბლებით და მისი ატმოსფეროს ქვედა ფენების შესწავლა არ ხერხდება. ზედა ფენებში კი სპექტრული ანალიზით აღმოაჩინეს ნახშირბადი გაზი და ვერ იპოვეს ჟანგბადისა და წყლის ორთქლის ნიშნები. ამიტომ ფიქრობენ, რომ ვენერაზე არ არის ცოტად თუ ბევრად განვითარებული სიცოცხლე, მაგრამ შესაძლოა იქ იყოს მცენარეულობის რაიმე უდაბლესი ფორმა.

არც მერკურის და არც ვენერას არ ჰყავს თანამგზავრი.

† ბ) მ ა რ ს ი

ვენერას შემდეგ მზის გარშემო მოძრაობს დედამიწა თავისი თანამგზავრი მთვარით. დედამიწის შემდეგ კი მოძრაობს მარსი. მზის გარშემო შემოვლას მარსი უნდება 687 დღე-ღამეს. ღერძის გარშემო ბრუნვას კი ასრულებს 24 საათს 37 წუთს და 23 წამს. ამრიგად მარსის წელი

დაახლოებით უდრის ჩვენს ორ წელს, ხოლო დღე-ღამე თითქმის ტოლია ჩვენი დღე-ღამის. მარსის სინოდური შემობრუნება, ანუ პერიოდი ორ პირისპირდგომას შორის გამოითვლება ფორმულით: $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$

(§ 17a); ის უდრის 2 წელსა და 50 დღე-ღამეს. პირისპირ დგომის დროს მანძილი დედამიწიდან მარსამდე ორბიტის ელიფსურობის გამო სხვადასხვაა; ამათგან უახლოეს მანძილზე როცა არის, ეწოდება დიდი პირისპირდგომა. ამ დროს განსაზღვრავენ მზის პარალაქს (§ 18c).

მარსის მოცულობა უდრის დედამიწის $\frac{1}{6}$ -ს, ხოლო მასა $\frac{1}{9}$ -ს. ამიტომ მარსს არ შეუძლია ჰქონდეს ისე მკვირივი ატმოსფერო, როგორც დედამიწისა. მაგრამ მარსს აქვს ატმოსფერო, რაც მტკიცდება სპექტრული ანალიზით. ამას აგრეთვე არაპირდაპირ ამტკიცებს მარსის პოლუსებზე არსებული თეთრი ლაქები. როცა შესაფერ პოლუსზე იწყება ზამთარი, თეთრი ლაქა ფართოვდება, ხოლო ზაფხულში პატარავდება. ეს გვიჩვენებს, რომ თეთრი ლაქა თოვლის ფენაა; მაგრამ ის გაცილებით უფრო თხელია, ვიდრე დედამიწის პოლუსებზე.

თოვლის არსებობა იმას გვიჩვენებს, რომ მარსის ატმოსფეროში არის ეანგზადი, რაც ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა სიცოცხლისათვის. ამის გამო XIX საუკუნიდან დაწყებული მარსს ინტერესით აკვირდებოდნენ და ცდილობდნენ გაეგოთ არის თუ არა იქ სიცოცხლე. გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებში იტალიელმა ასტრონომმა სკიაპარელმა გამოაქვეყნა მისი დაკვირვებით შედგენილი მარსის რუკა. რუკაზე აღნიშნული იყო წვრილი და ბნელი არხების მთელი სისტემა. ეს არხები შეერთებული იყო ბნელ ადგილებთან, რომელიც ზღვები უნდა ყოფილიყო. ამიტომ იფიქრეს, რომ მარსზე არიან დიდად განვითარებული არსებანი; მათ გაუკეთებიათ საირიგაციო ნაგებობანი და კარგად მოუწყვიათ თავისი ცთომილიო. შემდეგ, როცა უფრო მძლავრი ტელესკოპით გამოიკვლიეს მარსის ზედაპირი, იქ არხების სისტემა ვერ დაინახეს. მათ ადგილას იპოვეს პატარა ლაქების მთელი წყება, სუსტ ტელესკოპში დაკვირვების დროს თვალი მათ აერთებდა და სწორი ხაზის სახით ხედავდა. „ზღვები“ კი მცირე წყლიანი აღმოჩნდა და ქაობიან ადგილებს მოგვეგონებს წყლის სიმცირის გამო. ამრიგად გონიერ არსებათა საკითხი მარსზე უარყოფითად გადაწყდა, მაგრამ სიცოცხლის დაბალ ფორმათა არსებობის საკითხი არ გადაწყვეტილა, იგი მარსის ფიზიკური პირობების უფრო საფუძვლიან შესწავლას მოითხოვს.

მარსის საშუალო დაშორება მზიდან უდრის 1,52 ასტრონომიულ ერთეულს. ამის გამო მარსის ზედაპირის ყოველი კვადრატული ერთეული მზიდან ღებულობს $2\frac{1}{4}$ -ჯერ ნაკლებ სითბოს, ვიდრე დედამიწა (რადგან ინტენსივობა იცვლება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად $1,5^2 : 1^2 = 2\frac{1}{4}$). ამიტომ მარსის ტემპერატურა დაბალია და უდრის

საშუალოდ —53°-ს. ატმოსფეროს წნევა დაახლოებით უდრის სინდიის სეცტის 40 მმ წონას, ე. ი. ისეთია, როგორც 18 კილომეტრის სიმაღლეზე დედამიწის ზედაპირიდან. ეანგბადი შეადგენს 15%-ს დედამიწის ისეთივე წნევის ატმოსფეროსთან შედარებით. ამრიგად სიცოცხლისათვის მარსზე მეტისმეტად მკაცრი პირობებია.

¹/₈ ნაწილი მარსის ზედაპირისა დაფარულია წითელი ლაქებით, ისინი აძლევენ ამ ცთომილს ცეცხლოვან წითელ ფერს, რის გამოც მარსი ძველად ომის ღმერთად ჰყავდათ მიჩნეული. ეს ადგილები მარსზე უნდა იყოს უდაბნო ადგილები. რომლის წითელი ფერი შეიძლება რკინის ეანგეულებისგან წარმოსდგებოდეს.

მარსის ბნელი ლაქები, რომელსაც ზევით „ზღვები“ უწოდეთ, განიცდის ფერისა და ფორმის ცვლილებას. გაზაფხულზე ეს ლაქები ფართოვდება და შავ მომწვანო ფერს ღებულობს, ხოლო ზაფხულში და შემოდგომაზე მცირდება და მოწითალო-ყვითელი ფერის ხდება. ეს მოგვაგონებს ჩვენი ფოთლოვანი ტყეების ფერის ცვლილებას და ამიტომ ფიქრობენ, რომ რაღაც მცენარეულობა უნდა იყოს „ზღვების“ გარშემო. საბჭოთა მეცნიერი გ. ტიხოვი სწავლობდა მარსის ზედაპირზე სინათლის არეკვლის უნარს და აღარებდა მას დედამიწის ზედაპირს. ამ მეცნიერის გამოკვლევებით უდაოდ მტკიცდება, რომ მარსზე არის მცენარეულობის დაბალი ფორმები და შეიძლება იყოს ცხოველთა სამყაროს უდაბლესი ფორმები.

1877 წელს მარსს აღმოუჩინეს ორი პატარა თანამგზავრი, რომელსაც უწოდეს ფობოსი და დეიმოსი, რაც ქართულად არის „შიში“ და „საშინელება“¹. საინტერესოა, რომ ფობოსი მარსის გარშემოვლას უნდება 7 საათსა და 40 წუთს. ეს ნიშნავს, რომ იგი სამჯერ და უფრო მეტი სიჩქარით ბრუნავს მარსის გარშემო, ვიდრე მარსი ლერძის გარშემო. ამიტომ მარსის ერთი დღე-ღამის (24^h.37^m.5) განმავლობაში ეს მთვარე ორჯერ ან სამჯერ ამოვა დასავლეთის მხრიდან.

ჟ) იუპიტერი და სატურნი

იუპიტერი ყველაზე დიდი ცთომილია. მისი რადიუსი დედამიწისას 11-ჯერ აღემატება, ხოლო მოცულობა 1300-ჯერ. პოლუსებთან იგი საგრძნობლად შეკუმშულია. ტელესკოპით იუპიტერზე ჩანს ეკვატორის პარალელური ბნელი-მოწითალო ზოლები და სხვადასხვა ფორმისა და ფერის ლაქები. ეს ზოლები და ლაქები განუწყვეტილად იცვლება; მათგან ზოლები ყოველთვის ჩანს, ხოლო ლაქები ისპობა და ისევ წარმოიშვება. მეჩვიდმეტე საუკუნეში იუპიტერზე აღმოაჩინეს დიდი წითელი ლაქა,

¹ ასეთი სახელი იმიტომ დაარქვეს, რომ ძველი მითოლოგიით ომის ღმერთს ჰყავდა ორი თანამგზავრი—ფობოსი და დეიმოსი.

რომელიც თანდათან იცვლიდა ფერსა და ფორმას და ახლა ძლივს არის შესამჩნევი ძლიერ ტელესკოპში.

მზის გარშემო შემოვლას იუპიტერი ანდომებს 11 წელსა და 315 დღე-ღამეს, ე. ი. დაახლოებით 12 წელს. ლერძის გარშემო კი ბრუნავს 9 საათსა და 50 წუთში. როგორც ბელოპოლსკის გამოკვლევით ჩანს, ეს არის ეკვატორული ნაწილების ბრუნვის სიჩქარე; უფრო დაშორებული წერტილები ბრუნავს 9 საათსა და 55 წუთში. ეს გვიჩვენებს, რომ იუპიტერი არ არის მყარი, არამედ გაზობრივ მდგომარეობაშია. მასით იუპიტერი დედამიწაზე 317-ჯერ მეტია. მიზიდულობის ძალა მის ზედაპირზე 2-3-ჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწაზე. ამიტომ იუპიტერს სქელი ატმოსფერო აქვს. იგი მუდამ ღრუბლებით არის დაფარული და მისი ზედაპირი ტელესკოპში არ ჩანს.

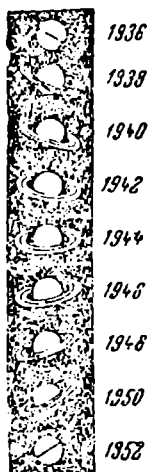
იუპიტერის დაშორება მზიდან უდრის 5,2 ასტრონომიულ ერთეულს. ამიტომ ის მცირე სითბოს ღებულობს. მისი საშუალო ტემპერატურა უდრის -140° -ს. ასეთი მცირე ტემპერატურის გამო იუპიტერი, აგრეთვე სატურნი და სხვა უფრო დაშორებული ცთომილები გამოუსადეგარია სიციოცხლისათვის. იუპიტერის სპექტრში მზის ხაზების გარდა ჩანს მეტანისა და ამონიაკის შთანთქმის ზოლები.

იუპიტერს ჰყავს 12 თანამგზავრი. ამათგან 4 აღმოაჩინა გალილეიმ 1610 წელს და ეწოდება გალილეის თანამგზავრები. იუპიტერის გარშემო თანამგზავრთა მოძრაობის დროს ადგილი აქვს შემდეგ მოვლენებს: 1) თანამგზავრის დაბნელება იუპიტერის ჩრდილით, 2) თანამგზავრის დაფარვა იუპიტერით, 3) თანამგზავრის გავლა იუპიტერის დისკოზე, 4) თანამგზავრის ჩრდილის გავლა იუპიტერის დისკოზე, ანუ მზის დაბნელება იუპიტერისათვის. იუპიტერის თანამგზავრთა დაბნელებაზე დაკვირვებით პირველად მიხვდნენ, რომ სინათლე არ ვრცელდება წამიერად. დაკვირვების დროს თანამგზავრთა დაბნელება იგვიანებდა გამოთვლილი დაბნელების მომენტთან შედარებით და რაც უფრო შორს იყო იუპიტერი დედამიწასთან, იმდენად მეტი იყო დაგვიანება. ეს აიხსნება იმით, რომ სინათლე მეტი მანძილის გავლას მეტ დროს ანდომებდა. ამის მიხედვით გაიზომა პირველად სინათლის სიჩქარე.

იუპიტერის შემდეგ ყველაზე დიდი ცთომილია სატურნი. მისი რადიუსი დედამიწისას დაახლოებით 9-ჯერ აღემატება, ხოლო მოცულობა 760-ჯერ. მასით ის დედამიწაზე 95-ჯერ მეტია. მიზიდულობის ძალა საკმარისია ატმოსფეროს შესანარჩუნებლად. სატურნზე, როგორც იუპიტერზე, ჩანს ეკვატორის პარალელური ზოლები, მაგრამ ისინი უფრო მკრთალია და ნაკლებად ცვალებადი.

მზის გარშემო ბრუნვას სატურნი უნდება 29 $\frac{1}{2}$ წელს. ლერძის გარშემო კი ეკვატორული ნაწილი ბრუნავს 10 საათსა და 15 წუთში, ხოლო ეკვატორიდან დაშორებული ნაწილები უფრო ნელა ბრუნავს. ეს გვიჩვენებს, რომ ეს ცთომილიც გაზობრივ მდგომარეობაშია. სატურნი მზი-

დან დაშორებულია $9 \frac{1}{2}$ ასტრონომიული ერთეულით; მისი საშუალო ტემპერატურა— 150° -ზე ნაკლებია. ფიქრობენ, რომ იუპიტერი და სატურნი არ არის სავესებით გაცივებული და, მზისგან მიღებულ სითბოს გარდა, თავიანთ სითბოსაც გამოჰყოფენ.



ნახ. 135. სატურნის რგოლის ფაზები.

სატურნის სფეროს ეკვატორულ ნაწილზე შემოვლებული აქვს ნათელი რგოლი, რომლის მსგავსი სხვა ციურ მნათობს არა აქვს. მისი განი ცოტათი მეტია ცთომილის რადიუსზე, სისქე კი ძლიერ პატარა აქვს. რგოლი დედამიწიდან სხვადასხვა ფორმით ჩანს. როცა რგოლის სიბრტყე დახრილია, ის ფართოდ ჩანს, ხოლო თუ კიდით არის ჩვენსკენ მოქცეულად, ის სრულიად უჩინარი ხდება. ძლიერ ტელესკოპში რგოლი იყოფა სამ რგოლად. რგოლის აგებულებით დაინტერესდა რუსი მათემატიკოსი სოფიო კოვალევსკაია. მან გამოარკვია, რომ იგი არ არის განუწყვეტელი და შედგება მრავალი პატარა თანამგზავრებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ახლო მოძრაობის გამო ჰქმნიან განუწყვეტელი რგოლის შთაბეჭდილებას. ეს შემდეგ დადასტურდა აგრეთვე სპექტრული ანალიზის საშუალებით. რგოლს გარდა, სატურნს ჰყავს კიდევ ცხრა თანამგზავრი, რომლებიც მოძრაობენ რგოლის შემდეგ.

იუპიტერის ორი თანამგზავრი და სატურნის ერთი თანამგზავრი მთვარეზე უფრო დიდია; დანარჩენი უფრო პატარაა, ხოლო ზოგი უმნიშვნელო სიდიდის არის.

† d) ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი

სატურნი იყო უტელესკოპო ასტრონომიის უკანასკნელი ცთომილი. 1781 წელს ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს ჰერშელმა შემთხვევით აღმოაჩინა ურანი. მზის გარშემო შემოვლას ურანი უნდება 84 წელს, ლერძის გარშემო ბრუნვას კი დაახლოებით 11 საათს. ბრუნვის ლერძითი თქოს წევს ორბიტის სიბრტყეში; ლერძის გარშემო ბრუნვა შებრუნებითაა, ე. ი. მარცხნიდან მარჯვნივ წარმოებს. ურანის რადიუსი დაახლოებით 4-ჯერ მეტია დედამიწის რადიუსზე, ხოლო მოცულობა 70-ჯერ; მასა მეტია 15-ჯერ. მისი დაშორება მზიდან უდრის 19 ასტრონომიულ ერთეულს. სიშორის გამო ურანზე არ ჩანს ლაქები ან სხვა რაიმე წარმონაქმნი. ისიც დაფარული უნდა იყოს ღრუბლებით და ამიტომ ჰგავს იუპიტერსა და სატურნს. სპექტრში ჩანს მეთანისა და ამონიაკის იგივე ზოლები. ურანს ყავს ხუთი თანამგზავრი.

ურანის მოძრაობაში შემჩნეული გადახრებით, როგორც ვიცით, აღმოჩენილ იქნა ნეპტუნი (§ 20c). ნეპტუნი თითქმის ურანის ტყუპს წარ-

მოადგენს. მისი რადიუსი დედამიწის რადიუსზე დაახლოებით 4-ჯერ მეტია; მოცულობა მეტია 60-ჯერ, მასა—17-ჯერ. ნეპტუნის ატმოსფერო უფრო მკერძოა, ვიდრე ურანის; მეთანის გაზის ნაწილი აქ თხიერ მდგომარეობაშია გადასული. ეს ცთომილი მზიდან დაშორებულია 30 ასტრონომიული ერთეულით, მზის გარშემო ბრუნვას ანდომებს 165 წელს, ხოლო ღერძის გარშემო ბრუნვას—15 საათს. ნეპტუნს ჰყავს ერთი თანამგზავრი, რომელიც მოძრაობს შებრუნებული მიმართულებით.

მზის სისტემის უკანასკნელი ცთომილი არის პლუტონი. მზის გარშემო ბრუნვას ის უნდება 249 წელს. მისი სიდიდე კარგად არ არის ცნობილი, მაგრამ ყოველ შემთხვევაში დედამიწაზე ნაკლები უნდა იყოს. პლუტონის ორბიტას ახასიათებს დიდი დახრილობა (17°) და ექსცენტრისიტეტი (0,247). პლუტონის დაშორება მზიდან უდრის 39,5 ანუ დაახლოებით 40 ასტრონომიულ ერთეულს. არის თუ არა ამას იქით სხვა ცთომილები—ჯერ არ არის გამორკვეული.

ე) ასტეროიდები

ყურადღებას იპყრობდა ცარიელი სივრცე მარსსა და იუპიტერს შორის. ბოდე-ტიციუსის წესით (§ 19e) აქ უნდა ყოფილიყო ცთომილი. 1801 წლის პირველ იანვარს პიაციმ მართლაც აღმოაჩინა ცთომილი, რომელსაც ცერერა დაარქვეს¹. მაგრამ $1\frac{1}{2}$ თვის შემდეგ ცერერა დაიკარგა და ასტრონომთა საზრუნავად გადაიქცა მისი მოძებნა. ამასთან დაკავშირებით გაუსმა დაამუშავა სამი დაკვირვებით ცთომილთა ორბიტის გამოთვლის ხერხი, რომელიც ახლა თეორიული ასტრონომიის საფუძველს წარმოადგენს. მალე გაუსის მეთოდით ცერერა ისევ იპოვეს. ის აღმოჩნდა მზიდან 2,7 ასტრონომიულ ერთეულზე, ე. ი. თითქმის ზუსტად იმ მანძილზე, რასაც მოითხოვდა ბოდე-ტიციუსის წესი. ფიქრობდნენ, რომ ამით შეივსო ხარვეზი მარსსა და იუპიტერს შორის, მაგრამ მოულოდნელად 1802 წელს ოლბერსმა აღმოაჩინა პალადა. 1804 წელს აღმოჩენილ იქნა იუნონა, ხოლო 1807 წელს—ვესტა. ცერერას რადიუსი 400 კილომეტრზე ნაკლებია, ხოლო დანარჩენი უფრო პატარაა. სიმკირის გამო ეს ცთომილები ტელესკოპში ჩანს წერტილის სახით, ვარსკვლავის მსგავსად და ამიტომ ეწოდება ასტეროიდები.

თითქმის ორმოცი წლის განმავლობაში სხვა მცირე ცთომილი არ ყოფილა აღმოჩენილი. ასტრონომიის მოყვარული გენკე (ფოსტის მოხელე), 15 წლის განმავლობაში ყოველდღამით ეძებდა მეხუთე ასტეროიდს და ბოლოს 1845 წელს იპოვა იგი. ამის შემდეგ ასტეროიდების აღმოჩენა ხშირი მოვლენა გახდა. ახლა მათი აღმოჩენა ხდება უმთავრესად ფოტოგრაფიული ხერხით. ფოტოფირფიტაზე ვარსკვლავი გამოდის წერტილად, რადგან ტელესკოპი „მისდევს“ ვარსკვლავს (§ 11c); მცირე ცთომილი კი გადაადგილდება ვარსკვლავის მიმართ და ფოტოფირფიტაზე

¹ სიცილიის მფარველი ღმერთის სახელი, სადაც ცხოვრობდა პიაცი.

გვაძლევს ხაზს. ასტეროიდის სახელი დაერქმევა მისი აღმოჩენის ან ორბიტის გამომთვლელის სურვილით. უმთავრესად არქმევენ ქალების სახელს, მაგრამ არის კაცების სახელებიც; მაგალითად, ტროადის გმირთა სახელები—ჰექტორი, აქილევსი და სხვ. საბჭოთა მეცნიერებმა უწოდეს ვლადინელი, პავლოვია, რუსთაველი და სხვ. სულ ახლა ცნობილია 1600-მდე ასტეროიდი.

ასტეროიდები მოძრაობს მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის; საშუალო დაშორება მზიდან უდრის 2,8 ასტრონომიულ ერთეულს. რამდენიმე პატარა ასტეროიდის (ჰერმესი, ეროტი და სხვ.) საშუალო დაშორება უფრო მცირეა, ვიდრე მარსის საშუალო დაშორება. ისინი ზოგჯერ მარსზე უფრო მოუახლოვდება დედამიწას და მაშინ მათი საშუალებით უფრო ზუსტად განისაზღვრება მზის პარალაქსი (§ 18c). ზოგი ასტეროიდის საშუალო დაშორება იუპიტერისაზე მეტია.

ასტეროიდთა ორბიტები სხვადასხვაგვარია; ზოგი თითქმის წრიულია, ზოგი კი დაგრძელებულ ელიფსს წარმოადგენს. სხვადასხვაა აგრეთვე ორბიტის დახრილობა ეკლიპტიკისადმი. მაქსიმალური დიდი ნახევარღერძი, ექსცენტრისიტეტი და დახრილობა აქვს გიდალგოს, რაც უდრის შესაბამისად: $a=5,7$ ასტ. ერ., $e=0,66$, $i=42^{\circ}54'$.

აღსანიშნავია, რომ ორბიტებს შორის არის ცარიელი სივრცეები, სადაც ასტეროიდი არ მოძრაობს. როგორც გამოიჩვენა, ეს არის არაწონასწორობის არეები; იქ რომ ყოფილიყო ასტეროიდი, გამოიღვენებოდა, უმთავრესად იუპიტერის შემფოთების გამო.

§ 25. კომეტები და მათეოკავი

† a) კომეტის აგებულება

კომეტა ანუ კუდიანი ვარსკვლავი მოულოდნელად გამოჩნდებოდა ცაზე და ძველი დროის ცრუმორწმუნე ადამიანებს შიშის ზარს სცემდა. ფიქრობდნენ, რომ იგი წამლავს ჰაერს და ავრცელებს სხვადასხვა სნეულებას. უფრო მეტად კომეტა თითქოს ემტერებოდა შეფეებს, პრინცებს და სხვა დიდ კაცებს. ეკლესიის მსახურნი და ასტროლოგიური მკითხავეები ამით კარგ შემოსავალს ღებულობდნენ, რადგან „საკვირო“ იყო „ცოდვების“ წინასწარ გაგება და მათი მონანიება ლოცვებითა და შე. მოწირულებით. ძველი მეცნიერება კომეტას თვლიდა მიწიურ მოვლენად. 1577 წელს ტიპო ბრაჰემ დაამტკიცა, რომ კომეტა იმყოფება მთვარეს იქით და მაშასადამე არამიწიური წარმოშობისაა.

კომეტა შედგება გულის, თავისა და კულისაგან. გული ყველაზე ნათელი და მკვრივი ნაწილია, მაგრამ სიდიდით მცირეა, მისი დიამეტრი საშუალოდ 1000—1200 კილომეტრს უდრის. ამიტომ ის ჩანს წერტილის სახით, როგორც ვარსკვლავი. გულის გარშემო არის ერთი ან რამდენიმე ნათელი გარსი. გული და გარსი ჰქმნის თავს. კომეტის თავი მოცულობით ძლიერ დიდია. ზოგჯერ ის დედამიწას მილიონჯერ აღემა-

ტება და მზის მოცულობაზეც მეტია. მზესთან მოახლოების დროს კომეტის თავიდან გამოდის კუდი, რომელიც მარაოსავით იშლება მზის საწინააღმდეგო მხარეს. ზოგჯერ კუდი რამდენიმე აქვს. ძველი ხალხები კუდს ამსგავსებდნენ ქალის თმას და ამიტომ ასეთ მნათობს უწოდეს კომეტა, რაც ნიშნავს თმიანს (კომა—თმა). კაშკაშა კომეტის კუდი გრძელია და ზოგჯერ ერთ ასტრონომიულ ერთეულზე, ე. ი. 150 მილიონ კილომეტრზე მეტია.

ასეთი უზარმაზარი მოცულობის მიუხედავად, კომეტის მასა უმნიშვნელო აღმოჩნდა. იყო შემთხვევა, როცა კომეტამ გაიარა იუპიტერის თანამგზავრთა შორის და სრულიად არ შეუცვლია მათი მოძრაობა; კომეტას რომ მნიშვნელოვანი მასა ჰქონოდა, თანამგზავრთა მოძრაობა დაირღვეოდა. საშუალოდ კომეტის მასა დედამიწის მასაზე რამდენიმე ასეულ მილიონჯერ და მილიარდჯერაც კი ნაკლებია. გარსისა და კუდის ნივთიერება ძლიერ მცირე სიმკვრივისაა. ამათგან უფრო მკვრივი ნაწილი 10 მილიარდჯერ უფრო გაიშვიათებულია, ვიდრე ოთახის ჰაერი, ამიტომ კომეტებზე ამბობენ, რომ ეს არის მოძრავე არარაობა. წინათ ეწინოდათ კომეტის დედამიწასთან დაჯახებისა, მაგრამ, ცხადია, ასეთი მცირე სიმკვრივის გამო ეს საშიში არ არის.

კომეტები მოძრაობს პარაბოლურ ორბიტებზე ან ძლიერ დაგრძელებულ ელიფსებზე. სულ გამოთვლილია 500-მდე კომეტის ორბიტა. აქედან ელიფსურია 170, დანარჩენი არის პარაბოლური ან ჰიპერბოლური (უფრო მცირე). არაელიფსური ორბიტები ეკუთვნის ისეთ კომეტებს, რომლებიც ერთხელ შემოიპყრებიან მზის სისტემაში და შემდეგ ისევ მიდიან სამყაროს სივრცეში. ელიფსური ორბიტები ძლიერ დაგრძელებულია—მათი ექსცენტრისიტეტი უახლოვდება ერთს; ამის გამო პერიოდიულში კომეტა ხშირად ასჯერ უფრო ახლოა მზესთან, ვიდრე აფელიუმში. გარემოქცევის პერიოდი ელიფსზე მოძრავე კომეტებისთვის უფრო მეტად ას წელზე ნაკლებია. 100-დან 1000 წლამდე პერიოდი აქვს 47 კომეტას. არის უფრო დიდი პერიოდებიც.

ბ) კომეტის შედგენილობა და კუდების თეორია

ზოგჯერ კომეტა მოქცევა მზესა და დედამიწას შორის და გეგმილდება ანუ გადის მზის დისკოზე. ასეთ შემთხვევაში კომეტა სრულიად არ ჩანს. კომეტას რომ მნიშვნელოვანი განზომილების გული ჰქონოდა, მაშინ ის გამოჩნდებოდა ლაქის სახით. ვორონცოვ-ველიამინოვის გამოკვლევით კომეტის ნამდვილი გული არ აღემატება 25 კილომეტრს. იგი შედგება მყარი ბელტებისგან, რომელთა დიამეტრი 160 მეტრზე ნაკლებია. გულის გარშემო არსებობს მტვერისა და გაზის მკვრივი გარსი. ეს მკვრივი გარსი, ისე როგორც მყარი გული, მზის არეკლილი სინათლით ანათებს და ამიტომ გული გვეჩვენება 1000—1200 კილომეტრის დიამეტრით.

მწესთან მოახლოების დროს კომეტის გულიდან გამოიყოფა ნივთიერება, რომელიც პირველად მზისკენ არის მიმართული, მაგრამ მალე განიზიდება მზის საწინააღმდეგო მხარეს და კუდს ჰქმნის. კომეტის კუდები შეისწავლა რუსმა ასტრონომმა ბრედინინმა, რომელმაც ისინი დაჰყო სამ კლასად. პირველი ტიპის კუდში გამზიდავი ძალა 18-ჯერ ან მის ჯერად რიცხვჯერ (36, 54 და სხვ.) მეტია მიზიდულობის ძალაზე და აქვს თითქმის სწორხაზობრივი მიმართულება. II ტიპის კუდში გამზიდავი ძალა შეადგენს მიზიდულობის ძალის 0,5—2,2 ნაწილს და აქვს მოხრილი ფორმა. III ტიპის კუდში გამზიდავი ძალა შეადგენს 0,0-დან 0,3-მდე მიზიდულობის ძალის და არის ძლიერ მოხრილი და მოკლებრედინინის თეორია დააზუსტა საბჭოთა მეცნიერმა ს. ორლოვმა, რომელმაც 1943 წელს ამ შრომისთვის სტალინური პრემია მიიღო. ორლოვი კომეტების კუდებს ჰყოფს 6 კლასად. ნულოვან კლასში გამზიდავი ძალა 1000-ჯერ მეტია მიზიდულობის ძალაზე, I ტიპის კუდში მეტია 22,3 π -ჯერ, სადაც π მთელი რიცხვია, და სხვ.

გამზიდავი ძალის ბუნების ახსნას ცდილობდა რუსი ფიზიკოსი ლებედევი, მის მიერ აღმოჩენილი სინათლის წნევის საშუალებით. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ სინათლის წნევით შეიძლება აიხსნას II და III ტიპის კუდების წარმოშობა. I ტიპის კუდში გამზიდავი ძალის ბუნებას სინათლის წნევა ვერ ხსნის და იგი ახლაც არ არის გარკვეული.

* სპექტრული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ კომეტის კუდისა და თავის გარსის შედგენილობა. I ტიპის კუდები უმთავრესად შეიცავს მხუთავი გაზისა და აზოტის იონიზირებულ მოლეკულებს (CO^+ და N^+); გარსი კი შედგება საწამლაი გაზის ციანისა და ნახშირბადისაგან (CN , C). II და III ტიპის კუდები უმთავრესად შედგება მტერის ნაწილაკებისაგან. პირველი ტიპის კუდებისა და თავის გარსის ნათება იმით აიხსნება, რომ მათი გაზის მოლეკულები შთანთქავენ მზის ენერჯიას და შემდეგ ისევ გამოასხივებენ. გარდა ამისა, მზიდან გამოტყორცნილი ელექტრული ნაწილაკები ეჯახება გაზის ატომებს და იწვევს ნათებას, როგორც პოლარული ნათების დროს (§ 22f). ორივე ეს არის ცივი ნათება; გაზი არ ხურდება. II და III ტიპის კუდის ნათება აიხსნება მზის არეკლილი სინათლით (როგორც გულის ნათება) მათი შემადგენელი მტერის ნაწილაკების მიერ.

* რატომ უჩნდება კომეტას კუდი მწესთან მიახლოების დროს? თანამედროვე ფიზიკური თეორიის მიხედვით მყარი ნივთიერება, რაც არ უნდა მკვრივი იყოს ის, ყოველთვის შეიცავს თვალისათვის უხილავ ნაპრალესა და პორებს. ჩვეულებრივ პირობებში ამ თავისუფალ ადგილებში თავს იყრის გაზის მოლეკულები. კომეტის გულის ბელტებშიც თავმოყრილია მრავალი ასეთი გაზის მოლეკულა. როცა კომეტა უახლოვდება მზეს, ამ ბელტების ზედაპირი ხურდება; ამის გამო ზედაპირთან ახლო მყოფი გაზის მოლეკულების მოძრაობა დიდდება და ნაწილი გა-

რეთ გამოდის. პირველად ისინი მზისკენ მოძრაობს მიზიდულობის გამო. მაგრამ შემდეგ განიზიდება და ჰქმნის კუდს. გარდა ამისა, კომეტის გული მოძრაობის დროს ეჯახება პატარა ნაწილაკებს; ამის შედეგად წარმოიშვება მტვერი, რომელიც ჰქმნის II და III ტიპის კუდებს. როცა კომეტა შორდება მზეს, მისი კუდის ნივთიერება უმეტესად იკარგება, მაგრამ ეს გულის ბელტებში ჩამალული გაზის უმნიშვნელო ნაწილს წარმოადგენს. ამ ბელტების შიგნიდან გაზი გადმოინაცვლებს მისი ზედაპირის მახლობლად განთავისუფლებულ ადგილებში. მზესთან მეორე მონახლოების დროს კუდის შესაქმნელად გამოიყოფა ეს ახალგადასაცვლებული გაზის მოლეკულები და ა. შ. ამრიგად, კომეტას ნივთიერება თანდათან აკლდება და კუდებიც უფრო მცირე უნდა შეიქმნას, მაგრამ ეს შემცირება ძლიერ ნელა წარმოებს.

ე) ზოგიერთი შესანიშნავი კომეტა

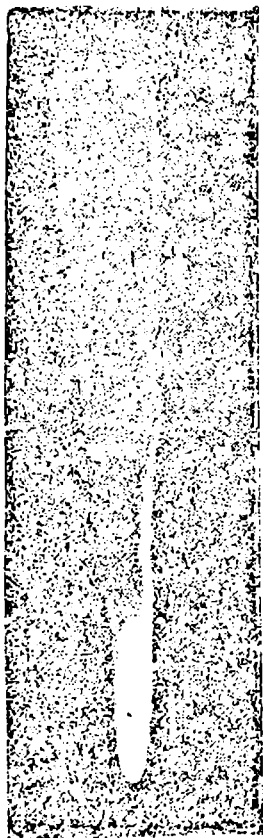
1) ჰალეის კომეტა. სახელი მიეკუთვნა ასტრონომ ჰალეის პატივსაცემად. 1682 წელს ჰალეი აკვირდებოდა კომეტას. შემდეგ მან შეისწავლა ყველა დაკვირვება კომეტებზე, რომელიც იყო ჩატარებული 1337 წლიდან 1698 წლამდე. მან შენიშნა, რომ 1682 წლის მსგავსი კომეტა გამოჩენილა 1607 წელს და 1531 წელს. ჰალეის აზრად მოუვიდა, რომ ეს კომეტები ერთი და იგივე უნდა იყოს, მაგრამ აფერხებდა პერიოდის არატოლობა. პირველიდან მეორე გამოჩენამდე გასული იყო 76 წელი და 2 თვე, მეორედან მესამემდე კი—74 წელი და 10,5 თვე. თავისი დაკვირვების მიხედვით ჰალეიმ გამოთვალა კომეტის ორბიტა. ეს იყო პირველი გამოთვლილი ორბიტა. გამოიჩქვა, რომ პერიოდის სხვადასხვაობა გამოწვეული იყო დიდი ცთომილების, იუპიტერისა და სატურნის შეშფოთებით. ამის შემდეგ ჰალეის კომეტა გამოჩნდა 1759 წელს, 1835 წელს და უკანასკნელად 1910 წლის მაისში; ახლა მოელიან 1986 წელს. ამრიგად, ჰალეის კომეტის პერიოდი საშუალოთ უდრის 76 წელს. უდიდესი დაშორება მზიდან უდრის 35,3 ასტრონომიულ ერთეულს, ხოლო უმცირესი 0,59-ს. 1910 წელს ეს კომეტა იმდენად კაშკაშა იყო, რომ დღისითაც კი ჩანდა, ხოლო კუდის სიგრძე 100°-ზე მეტი იყო; მაგრამ კარგად მოსჩანდა სამხრეთ ნახევარსფეროდან და არა ჩრდილოეთიდან¹.

2) ენკეს კომეტას ახასიათებს ყველაზე პატარა პერიოდი, რაც უდრის 3,3 წელს. ენკემ დაამტკიცა, რომ ამ კომეტის პერიოდი მცირედ

¹ 1910 წლის 15 მაისს „სახალხო გაზეთი“ წერდა: „13 მაისს საღამოს 6 საათიდან თბილისში ჰალეის კომეტა კვლავ გამოჩნდა. კომეტა მთელ 20 წუთს ცხადად მოსჩანდა თავისი გრძელი კუდით და შემდეგ ისევ დაიშალა. ქალაქის მაღლობი ადგილები და სახლის ბანები აუარებელი ცნობისმოყვარე ხალხით აივსო და უცხო სტუმრის ცქერით სტკბებოდა... 4—5 დღეში კომეტა აღარ გამოჩენილა და მისმა ხელახლად გამოჩენამ მდებრიო ხალხში შიში და ცრუმორწმუნეობა კვლავ დაჰბადა“ (ჩვენ შევცვალეთ რამდენიმე სიტყვის მართლწერა. მ. ი.)

იცვლება და ეს ცვლილება არ აიხსნება მიზიდულობის კანონის საფუძველზე. ამიტომ დაუშვეს, რომ მასზე მოქმედობს წინაღობის გარემო, რაც ხან აგვიანებს და ხან აჩქარებს კომეტის მოძრაობას. რუსმა ასტრონომმა ბაკლუნდმა დაწვრილებით შეისწავლა გარემოს გავლენა და დამტკიცა ზემოთ გამოთქმული მოსაზრების სისწორე. ენკეს კომეტა ტელესკოპურია, ე. ი. უბრალო თვალით არ ჩანს.

* 3) შვასმან-ვახმანის კომეტა საინტერესოა თავისი ორბიტით და სიკაშკაშის ცვალებადობით. ორბიტა თითქმის წრიულია; ექს-



ნახ. 136. ჰალეის კომეტა.

ცენტრისიტეტი უდრის 0,14-ს. გარემოქცევის პერიოდი უდრის 16 წელს. ეს კომეტა ძლიერ სუსტია და ტელესკოპშიც ძლივს ჩანს, მაგრამ ზოგჯერ რაღაც მიზეზით უცბად აინთება და სიკაშკაშე მატულობს რამდენიმე ათეულჯერ, რის შემდეგაც ისევ ჩაქრება.

* 4) 1882 წლის II კომეტა ყველაზე კაშკაშა იყო XIX საუკუნეში. მისი პერიოდი არის 760 წელი, ე. ი. კიდევ გამოჩნდება ოცდამეშვიდე საუკუნეში. აღმოჩნდა, რომ ამ კომეტის ორბიტაზე კიდევ მოძრაობს რამდენიმე კომეტა.

5) ბიელის კომეტა. 1826 წელს ბიელიმ აღმოაჩინა ტელესკოპური კომეტა, რომელსაც მისი სახელი ეწოდა. მისი პერიოდი იყო 6 $\frac{1}{2}$ წელი. 1932 წელს ამ კომეტამ პანიკა გამოიწვია მოსახლეობაში, რადგან მას ახლო უნდა გაეგლო დედამიწის ორბიტასთან და ეშინოდათ დედამიწასთან დაჯახების. მაგრამ კომეტამ მშვიდობიანად ჩაიარა. 1839 წელს დაკვირვება ვერ მოახდინეს არახელსაყრელი მდებარეობის გამო. 1845 წელს ბიელის კომეტა მოულოდნელად გაიყო ორ არათანაბარ ნაწილად. ეს იყო პირველი შემთხვევა ციურ სხეულებში. 1852 წელს მანძილი ორივე ნაწილს შორის გადიდებულიყო. 1859 და 1866 წლებში ვერ იპოვეს და ინტერესით მოელოდნენ 1872 წელს, როცა კომეტას ახლო

უნდა გაეგლოს დედამიწასთან. კომეტა ვერც ახლა იპოვეს, მაგრამ იმ დღეებში, როცა მას უნდა გადაეკვეთა დედამიწის ორბიტა, ადგილი ჰქონდა ვარდნილი ვარსკვლავების ანუ მეტეორების (იხ. d) გრანდიოზულ წვიმას. როგორც გამოიკვია ბიელის კომეტა დაიშალა პატარა ნაწილებად და ეს ნაწილები განაგრძობდნენ მოძრაობას კომეტის ორბიტით.

საუკუნეში საშუალოდ გამოჩნდება ხუთი დიდი კომეტა, 50 ისეთი, რომელიც დაინახება უბრალო თვალით და 450 ტელესკოპური კომეტა¹.

ქd) მეტეორები

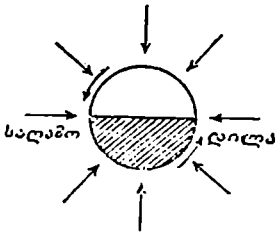
ყოველ მოწმენდილ საღამოს შეიძლება დავინახოთ, რომ ვარსკვლავითიქოს მოწყდა თავის ადგილას და გადაინაცვლა სხვა ვარსკვლავებს შორის. ეს არის ვარდნილი ვარსკვლავის ანუ მეტეორის მოვლენა, მაგრამ მას არაფერი კავშირი არა აქვს ვარსკვლავებთან. მეტეორის მოვლენა გამოწვეულია მცირე ნაწილაკებით, რომლებიც ცურავენ სამყაროს სივრცეში. უმეტესად ისინი გრამზე ნაკლებია და უხილავია, სანამ დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრებოდეს. დიდი სიჩქარით მოძრაობის გამო ატმოსფეროს ზედა ფენებში ხახუნის შედეგად ეს ნაწილაკები გავარვარდება, იშლება მოლეკულებად და იფანტება. ჩვენ ვხედავთ თუ სად აინთო და სად ჩაქრა მეტეორი, ხოლო გვეჩვენება თითქოს ვარსკვლავი მოწყდა და გაფრინდა სხვა ვარსკვლავებთან. მეტეორის გზა ზოგჯერ სწორხაზობრივად წარმოგვიდგება, ზოგჯერ კი სხვადასხვა მრუდს აღწერს. ეს დამოკიდებულია მეტეორის ფორმაზე და ჰაერის ფენების წინააღმდეგობაზე. მეტეორს შეიძლება სხვადასხვა ფერი ჰქონდეს: წითელი, თეთრი, ყვითელი და სხვ. ზოგჯერ მეტეორის გაფრენის გზაზე რჩება ნათელი ზოლი. ყველა ამაზე დაკვირვება საინტერესოა ატმოსფეროს ზედა ფენების შესასწავლად, აგრეთვე თვით მეტეორის შესწავლის მიზნით.

მოძრაობის მიხედვით მეტეორი ორგვარია: სპორადიული და პერიოდული. სპორადიული მეტეორის გამოჩენა ერთეული სახით წარმოებს და კანონზომიერება არ ახასიათებს. პერიოდული მეტეორები კი გარკვეულ დროს გამოჩნდება, წლის ერთსა და იმავე დღეებში. ასეთი მეტეორები მოძრაობს გარკვეულ ორბიტაზე და, როცა ეს ორბიტა კვეთს დედამიწის ორბიტას, მაშინ ვხედავთ მათ. მაგალითად, ბიელის კომეტის ნამსხვრევები მოძრაობს ამ კომეტის ორბიტაზე და ჩვენ ვხედავთ მათ ნოემბრის ბოლოს, როცა დედამიწა გაივლის მათ მოძრაობის გზაზე. თუ მეტეორული სხეულები თანაბრად არის განაწილებული ორბიტაზე, მაშინ ყოველ წელს ამ ჯგუფის დაახლოებით ერთნაირი რაოდენობის მეტეორს დავინახავთ; ასეთია, მაგალითად, პერსეიდები, რომელსაც ადგილი აქვს 10 აგვისტოს მახლობელ დღეებში. თუ განაწილება თავის ორბიტაზე არათანაბარია, მაშინ სხვადასხვა რაოდენობის მეტეორი ჩანს. ასეთია ლეონიდები შუა ნოემბერში, რომელიც ყოველ 33 წელში ძლიერ მეტეორულ „წვიმას“ იძლევა. ერთი ჯგუფის პერიოდულ მეტეორებს მეტეორულ ნაკადს უწოდებენ.

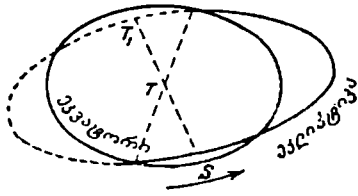
¹ 1942 წ. გ. თეზაძემ აბასთუმნის ობსერვატორიაში აღმოაჩინა 2 კომეტა, რომელთაგან ერთი ატარებს მის სახელს, თუმცა შემდეგ გამოიჩნდა, რომ იგი აგრეთვე დამოუკიდებლად აღმოუჩენია უიპლის.

პერიოდული მეტეორები პარალელური გზით შემოიჭრება დედამიწის ატმოსფეროში, მაგრამ მათი მოძრაობა ჩვენ სხვადასხვა მიმართულებით გვეჩვენება ვარსკვლავიერ ცაზე. თუ დაეხაზავთ მით გზას ვარსკვლავიერ რუკაზე და გაეაგრძელებთ უკან, ისინი გადაიკვეთება ერთ წერტილში, ისე როგორც რკინიგზის ხაზები გვეჩვენება შეერთებული. ამ წერტილს, საიდანაც თითქოს გამოდის აღებული ჯგუფის ყველა მეტეორი, ეწოდება რადიანტი. მეტეორულ ნაკადს იმის მიხედვით არკმევენ სახელს, თუ რომელ თანავარსკვლავედში იმყოფება რადიანტი. მაგალითად, პერსეიდები ეწოდება იმიტომ, რომ მათი რადიანტი პერსეის თანავარსკვლავედშია.

მეტეორების გამოჩენა ყოველთვის ერთნაირად არ არის მოსალოდნელი. წარმოვიდგინოთ, რომ დედამიწის გარშემო ყოველი მიმართულებიდან თანაბრად მოდის მეტეორები (ხახ. 137). მაშინ დილის ნაწილზე



ნახ. 137.

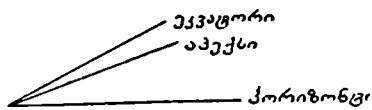


ნახ. 138.

მეტეორები ეცემა დედამიწის ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით, ხოლო სალამოს ნაწილზე მეტეორებმა უნდა დაეწიოს დედამიწის ბრუნვით მოძრაობას. ამის გამო დღე-ღამის განმავლობაში ყველაზე მეტი მეტეორი უნდა გამოჩნდეს შუალამიდან გათენებამდე. წლის განმავლობაში კი, ყველაზე მეტი მეტეორი უნდა გამოჩნდეს შემოდგომაზე. ამის ნათელსაყოფად განვიხილოთ ნახაზი 138, სადაც გამოსახულია ეკვატორის და ეკლიპტიკის წრეები. გაზაფხულის დღეღამსწორობის მახლობელ დღეს მზე იმყოფება γ წერტილის მახლობლად S წერტილში და მისი ხილული მოძრაობის გზა უდიდეს კუთხეს ადგენს ეკვატორს ზევით. დედამიწა მზიდან ამ დროს გამოჩნდება ST მიმართულებით T_1 წერტილში და მისი მოძრაობის მიმართულება ანუ აპექსი ამ დროს ადგენს ეკვატორს ქვევით უდიდეს კუთხეს. პორიზონტის მიმართ, როგორც 139a ნახაზიდან ჩანს, დედამიწის აპექსი გაზაფხულზე ადგენს უმცირესს კუთხეს. ამიტომ გაზაფხულზე დედამიწის შემხვედრი მიმართულებით მოძრავი მეტეორებიდან ჩვენს პორიზონტზე გამოჩნდება მცირე რიცხვი. დანარჩენი დამწვევი მეტეორია, რომელთაგან ბევრი ვერ დაეწევა. შემოდგომაზე კი შებრუნებით, დედამიწის ნამდვილი მოძრაობა ეკვატორს ზევით ადგენს უდიდესს კუთხეს. ამიტომ შემოდგომაზე დედამიწის მოძრაობის აპექსი უდიდესს

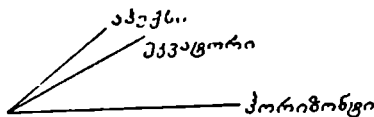
კუთხეს ადგენს ჰორიზონტთან (ნახ. 139b) და ყველაზე მეტი შემხვედრი მეტეორია.

ზოგჯერ ძალიან დიდი მეტეორი გამოჩნდება, თითქოს ცეცხლოვანი ბურთი მოძრაობს ცაზე. ასეთ მეტეორს ეწოდება ბოლიდი. არის ისეთი მეტეორებიც, რომელიც არ ჩანს უბრალო თვალთ და ეწოდება ტელესკოპური.



ქ) მეტეორიტები

თუ მეტეორული სხეული დიდი, მაშინ ის ჰაერში დაშლას ვერ ასწრებს და დედამიწაზე ვარდება. ამ შემთხვევაში მას მეტეორიტი ეწოდება. უძველესი დროიდან იყო ცნობილი, რომ ზოგჯერ ციდან ვარდება ქვები. ასეთ ქვებს საღვთო ქვებად სთვლიდნენ და თაყვანს სცემდნენ; ზოგჯერ იყენებდნენ მათ აგრეთვე სხვადასხვა იარაღის დასამზადებლად, რადგან ისინი ადვილად იქედებოდა ცივ მდგომარეობაში. ოფიციალური მეცნიერება XVIII საუკუნის ბოლომდე უარყოფდა მეტეორიტების ციურ წარმოშობას; მაგალითად, ლავუაზიე ამბობდა: „ქვების ჩამოვარდნა ციდან ფიზიკურად შეუძლებელიაო“. მეტეორიტების არამიწიური წარმოშობა პირველად 1794 წელს დაამტკიცა პეტერბურგელმა მეცნიერმა ხლადნიმ (წარმოშობით ჩეხმა). მქედელმა მედვედევმა ციმბირში იპოვა რკინის ზოდი, რომელიც 655 კგ იწონიდა. მას უნდოდა გამოექედა სხვადასხვა საგანი, მაგრამ იმედი გაუცრუვდა; რკინა ცხელ მდგომარეობაში არ იქედებოდა. მოგზაურობის დროს ამის შესახებ გაიგო აკადემიკოსმა პალასმა და წაიღო ის პეტერბურგში, რისთვისაც ამ მეტეორიტს ეწოდება პალასის რკინა. აი ეს პალასის რკინა გამოიკვლია ხლადნიმ.



ნახ. 129a და 139b

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ წელიწადში დედამიწაზე ვარდება 1000-ზე მეტი მეტეორიტი. აქედან ნახულობენ 4-ს ან 5-ს; დანარჩენი ვარდება შორს დასახლებული ადგილებიდან, ან ზღვებსა და ოკეანეებში. არ ყოფილა შემთხვევა, რომ მეტეორიტი დასცემოდეს ადამიანს, მაგრამ ყოფილა ახლო დაცემის შემთხვევები. ჩვეულებრივად მეტეორიტი მცირე სიდიდისაა,—ერთი კილოგრამი ან რამდენიმე მეტი ან ნაკლები.

როცა დიდი ზომის მეტეორული სხეული სამყაროს სივრციდან შემოიჭრება დედამიწის ატმოსფეროში, მას აქვს ძლიერ დიდი სიჩქარე. ამ დიდი სიჩქარის გამო მის წინა მხარეს ეჯახება ჰაერის ბევრი მოლეკულა. მოლეკულები ვერ ასწრებენ განზე გაწევას, რის გამოც მეტეორის წინა მხარეზე წარმოიქმნება შეკუმშული ჰაერის ფენა, ე. წ. ჰაერის ბალიში. მეტეორული სხეულის სიჩქარე მცირდება ჰაერის ბალიშის გამო; თვით ჰაერის ბალიში კი ხურდება რამდენიმე ათას გრადუსამდე. დამკვირვებელს ეჩვენება, რომ ცაზე მოძრაობს ცეცხლოვანი ბურთი—ბო-

ლიდი, რომელიც ზოგჯერ მზეზე უფრო კაშკაშაა. 60 კილომეტრის სი-
მალიდან ბოლიდის ვარდნას თან ახლავს ქექა-ქუხილისა და ქვემეხის
სროლის მსგავსი ხმაური. 5—20 კილომეტრზე დედამიწის ზედაპირიდან
მეტეორული სხეული კარგავს თავის კოსმოსურ სიჩქარეს; ამას ეწოდება
შეჩერების ზონა. შეჩერების ზონამდე მეტეორული სხეული ჰაერის დი-
დი დაწოლის გამო ტყდება ნაწილებად; ამავე დროს დიდი ტემპერატუ-
რის გამო მისი ზედაპირი გალღევა და თხიერ წვეთების ფორმას ღე-
ბულობს. ბოლოს, დამსხვრეული მეტეორული სხეული ეცემა დედამიწა-
ზე. დავარდნის დროს მეტეორიტს დიდი ტემპერატურა არა აქვს, რად-
გან ვარდნის დროს მხოლოდ მისი ზედაპირი ხურდება, რომელიც შე-
ჩერების ზონის შემდეგ ცივდება.

დიდი მეტეორიტი იშვიათად ვარდება, მაგრამ მაინც გვხვდება.
1947 წელს 12 თებერვალს საბჭოთა კავშირის შორეულ აღმოსავლეთში,
ვლადივასტოკსა და ხაბაროვსკს შორის, სიხოტე-ალინის მთებში ჩამო-
ვარდა ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მეტეორიტი, რომელიც უმთავრესად
რკინისგან შედგებოდა. ჩამოვარდნა მოხდა დღისით და მას ბევრი
აკვირდებოდა. ბოლიდის სიკაშკაშე არ ჩამოუვარდებოდა მზეს; რამდენ-
ჯერმე გაისმა ქექა-ქუხილის მსგავსი ხმაური. საბჭოთა კავშირის მეცნი-
ერებათა აკადემიის ექსპედიციამ ჩამოვარდნის ადგილზე აკრიფა 25 ტონა
მეტეორიტული ნივთიერება; აქედან უდიდესი იწონიდა 500 კილოგრამს
და უმცირესი 0,18 გრამს.

კიდევ უფრო დიდი იყო ტუნგუსის მეტეორიტი, რომელიც ჩამოვარდა
ციბირში 1908 წელს ირკუტსკიდან ჩრდილოეთით 900 კილომეტრზე. და-
ცემის ადგილიდან 60 კილომეტრის დაშორებით (უახლოესი დასახელებუ-
ლი ადგილი) დაინახეს, რომ ცის დიდ ნაწილს უცბად მოედო ცეცხლი
და შემდეგ დაცემის ადგილზე 20 კილომეტრის სიმაღლეზე აიშარათა შავი
კვამლის უზარმაზარი სვეტი. დაცემის ადგილზე 15 კილომეტრის რადი-
უსით მოცელილივით წაიქცა ტაიგის ტყე და დაიწვა. ვარდნის შედეგად
წარმოშობილი ტალღა 100 კილომეტრზე აქცევდა ადამიანს, ხოლო ხმა
ისმოდა 700 კილომეტრზე. ვარდნის დროს წარმოშობილი მიწისძვრა
აღნიშნა ევროპის სეისმურმა სადგურებმა. ჩამოვარდნის ადგილი აღმო-
ჩნდა ქაობიანი და მეტეორიტული ნივთიერება ვერ იპოვეს; ფიქრობენ,
რომ მისი მასა უდრიდა 2000 ტონას. ეს მეტეორიტი დედამიწის შემ-
ხვედრი მიმართულებით მოძრაობდა და დიდი შეფარდებითი სიჩქარე
ჰქონდა, სიხოტე-ალინის მეტეორიტი ეწეოდა დედამიწას.

ყველაზე დიდი მეტეორიტი იპოვეს აფრიკაში, რომელიც 60 ტონამდე
იწონის. ზოგიერთ წინათ ჩამოვარდნილ მეტეორიტს ძაბრისებური ჩა-
ღრმავება ანუ კრატერი გაუკეთებია. მათგან ყველაზე დიდია არიზონის
კრატერი ამერიკაში, რომლის დიამეტრი 1207 მეტრია და სიღრმე 174
მეტრი. მის გარშემო შეგროვილ იქნა 20 ტონა მეტეორიტული ნივთი-
ერება.

მეტეორიტების შესწავლას დიდი მეცნიერული მნიშვნელობა აქვს. ისინი წარმოადგენს ერთადერთ ციურ სხეულებს, რომელთაც შეიძლება უშუალოდ შევეხოთ და შევისწავლოთ. ასეთი შესწავლით გამოირკვეა, რომ მეტეორები ისეთივე ნივთიერებისგან შედგება, როგორც დედამიწაზე გვხვდება. არც ერთი ახალი ელემენტი არ ყოფილა მათში აღმოჩენილი; მხოლოდ ელემენტთა შენაერთები არის სხვანაირი. ეს ფაქტი ადასტურებს დიალექტიკური მატერიალიზმის თვალსაზრისს, რომ „სამყარო თავისი ბუნებით მატერიალურია, რომ სამყაროს მრავალფეროვანი მოვლენანი წარმოადგენს მოძრავი მატერიის სხვადასხვა სახეებს“¹. უფრო მეტად მეტეორიტებში გვხვდება რვა ელემენტი: რკინა, ენგბადი, მაგნიუმი, სილიციუმი, ნიკელი, გოგირდი, კალციუმი და კობალტი.

მეტეორიტებს ყოფენ სამ კლასად: რკინის, რკინა-ქვის და ქვის მეტეორიტებად. რკინის მეტეორიტებში რკინა არის 90%/. რკინა-ქვისაში — 50%/-მდე და ქვისაში 26%/-მდე. ქვის მეტეორიტები ყველაზე მდიდარია ენგბადით, რომელშიც ის 36% უდრის; მაგრამ ეს მაინც ნაკლებია ჩვეულებრივ მიწის ქანებში შემავალ ენგბადის რაოდენობაზე. ძვირფას ლითონებს ოქროსა და ვერცხლს მეტეორიტები მცირე რაოდენობით შეიცავს, საშუალოდ ტონაზე 5 გრამს.

გარეგნულად მეტეორიტების დამახასიათებელი ნიშანია ქერქი, რომელიც უჩნდება მას ვარდნის დროს. ის წარმოადგენს მეტეორული ნივთიერების ფენას, რომელიც გამდნარი იყო უდიდესი ტემპერატურის დროს და შემდეგ გაცივდა. მისი სისქე მილიმეტრის ნაწილებიდან ერთ მილიმეტრამდე აღწევს. ქერქი უფრო მეტად შავი ფერისაა, მაგრამ ნათელი ფერიც გვხვდება. მეტეორიტის ზედაპირზე ზოგჯერ შესამჩნევია მცირე ჩაღრმავებანი, რომელთაც რეგმალიფტები ეწოდება.

რკინის მეტეორიტებს თუ გადავაცილით ქერქს და გადავრეცხავთ სუსტი 10°/-ანი სიმკვავით, გამოჩნდება ურთიერთგადამქრელი ზოლებით დასერილი ზედაპირი; ამას ეწოდება ვიდმანშტეტენის ფიგურები. ქვს მეტეორიტებს სხვადასხვა სიდიდის მარცვლოვანი აგებულება აქვს, ასეთ მარცვლებს ეწოდება ხონდრები.

მეტეორებზე დაკვირვებას და მეტეორიტების პოვნას დიდი მნიშვნელობა აქვს მეცნიერებისათვის. ამ მხრივ დიდი დახმარების გაწევა შეუძლიათ ასტრონომიის მოყვარულებს. სამწუხაროდ ამ მხრივ საქართველო ჩამორჩება; კერძოდ, აქ არც ერთი მეტეორიტი არ არის ნაპოვნი.

უკანასკნელ დროს საბჭოთა გეოლოგმა კვაშამ მეტეორიტში აღმოაჩინა მინერალი ქლორიდი, რომლისგანაც შემდეგ გამოპყო წყალი (რამდენიმე წვეთი).

¹ საკავშირო კომუნისტური პარტიის (ბოლშევიკების) ისტორია. მოკლე კურსი. 1952 წ., გვ. 135.

ა) ვარსკვლავთა სპექტრული კლასიფიკაცია

ვარსკვლავთა სპექტრი ძლიერ სხვადასხვანაირია, მაგრამ მათ შორის არის ერთმანეთის მსგავსი ჯგუფები. ზოგი ჰგავს მზის სპექტრსაც. საერთოდ ეს არის უწყვეტი სპექტრი, ბნელი შთანთქმის ხაზებით. სპექტრის სხვადასხვაობა გამოწვეულია ვარსკვლავების ფიზიკური ბუნების სხვადასხვაობით. ამიტომ მათ შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ვარსკვლავთა პირველი კლასიფიკაცია მოახდინა სეკიმ, რომელმაც დაჰყო ისინი 4 კლასად. I კლასს შეადგენდა თეთრი ვარსკვლავები, II-ს მოყვითალო, III-ს მოწითალო და IV-ს წითელი. ახლა მიღებულია ჰარვარდის ობსერვატორიის კლასიფიკაცია, რომლის მიხედვით ვარსკვლავთა სპექტრი დაყოფილია 10 კლასად; ამათგან 7 კლასი გადადის ერთმანეთში თანმიმდევრობით, ხოლო სამი განშტოებას წარმოადგენს. კლასები აღნიშნულია ლათინური ასოებით და პირველად მათ ჰქონდა ანბანის რიგი, მაგრამ შემდეგ მიზანშეწონილად იქნა ცნობილი სხვა თანმიმდევრობა. ეს კლასებია:

O, B, A, F, G, K, M;

G კლასიდან გამოდის ორი განშტოება, ერთი მხრივ, *R, S* და, მეორე მხრივ, *N*. კლასთა შორის შუალედი დაყოფილია 10 ნაწილად; მეთედის აღმნიშვნელი რიცხვი იწერება კლასის ქვევით მარჯვენა მხარეს. მაგალითად, *O₄* ნიშნავს $\frac{4}{10}$ -ით დაშორებას *O* კლასიდან და $\frac{6}{10}$ -ით დაშორებას *B* კლასიდან. კლასების დახასიათება ასეთია:

O კლასი. ხასიათდება იონიზირებული ჰელიუმის შთანთქმის ხაზებით (*He⁺*); აგრეთვე რამდენიმეჯერ იონიზირებული ჟანგბადის და აზოტის ხაზებით. ზოგჯერ ჩანს აგრეთვე გამოსხივების ნათელი ხაზები; მაშინ მათ უწოდებენ ვოლფა-რაიეს ვარსკვლავებს. ფერი აქვს თეთრი—მოიისფერო. ტემპერატურა 30000°. ტიპური ვარსკვლავია λ ორიონი.

B კლასი. არის ჰელიუმის და წყალბადის ნეიტრალური ხაზები (*He* და *H*) აგრეთვე იონიზირებული ჟანგბადისა (*O⁺*) და აზოტის (*N⁺*) ხაზები. თეთრი ვარსკვლავები; ტიპურია ორიონის მთავარი ვარსკვლავები (ბეტელჰეიზეს გამოკლებით). ტემპერატურა 20000°.

A კლასი. წყალბადის ხაზები ძლიერ ბნელი და ფართო. იონიზირებული ლითონების ხაზები. თეთრი ვარსკვლავები; ტიპურია სირიუსი და ვეგა. ტემპერატურა 12000°.

F კლასი. კალციუმის ინტენსიური ხაზები როგორც იონიზირებული, ისე ნეიტრალური. სხვა ლითონების იონიზირებული ხაზები. თეთრი-მოყვითალო ვარსკვლავები. ტიპურია პროციონი. ტემპერატურა 8000°.

G კლასი. ნეიტრალური ლითონების ხაზები. მოყვითალო ვარსკვლავები. ტიპურია მზე და კაპელა. ტემპერატურა 6000°.

K კლასი. ნეიტრალური მეტალების ხაზები უფრო ძლიერია. აგრეთვე არის ტიტანის ენგას ზოლები (T_1O_2). მოწითალო ვარსკვლავები. ტიპურია არკტური. ტემპერატურა 4000°.

M კლასი. ტიტანის ნაერთთა ფართო ზოლები. წითელი ვარსკვლავები. ტიპურია ბეტელჰეიზე და ანტარესი. ტემპერატურა 3000°.

შემდეგ არის განშტოებული კლასები, რომლებიც შედარებით მცირე რიცხოვანია.

R კლასი. ციანისა და ნახშირენგას ზოლები. ტემპერატურა 3000°.

N კლასი. ციანისა და ნახშირენგას ძლიერი ზოლები. ტემპერატურა 2000°.

S კლასი. ცირკონიუმის ენგას ზოლები.

გარდა ამისა, აღნიშნავენ კიდევ *P* კლასს, რომელიც ნისლეულების სპექტრს წარმოადგენს.

O, *B*, *A*, *F*-ს ეწოდება ადრეული კლასები, ხოლო დანარჩენს — გვიანი კლასები. ვარსკვლავთა ტემპერატურა, როგორც ვიცით, განისაზღვრება სტეფან-ბოლცმანის (როგორც მზის შემთხვევაში, იხ. § 22*d*) და ვინის კანონით ან პლანკის ფორმულით (§ 21*c*). სპექტრული კლასები ახასიათებს ვარსკვლავების ფიზიკურ ბუნებას. შეიძლება ეს კლასები მოკლედ დახასიათდეს აგრეთვე ტემპერატურით ან ფერით.

ფერის მაჩვენებლის ანუ კოლორ ინდექსისათვის (§ 21*d*) საჭიროა შეთანხმება, თუ რა ფერისთვის ჩაითვალოს ის ნულის ტოლად. მიღებულია *A* კლასისთვის ფორტოგრაფიული და ვიზუალური სიდიდე ჩაითვალოს თანატოლად, ე. ი. ფერის მაჩვენებელი *A* კლასისთვის უდრის ნულს. მაშინ *O* კლასის ფერის მაჩვენებელი უდრის—0,3-ს, ხოლო *A*-ს შემდეგი კლასებისთვის დადებითია და ყველაზე წითელი ვარსკვლავისათვის აღწევს +6-ს.

ზოგჯერ აღნიშნავენ აგრეთვე სპექტრის უფრო დეტალურ თავისებურებას, რისთვისაც კლასის წინ ან უკან იწერება შესაფერი ნიშანი. ე-ნიშნავს გამოსხივების (emission) ხაზების არსებობას, გ ნიშნავს გვიანტებს ანუ ბუმბერაზებს, *d*—კარლიკებს ანუ ქონდრის ვარსკვლავებს, *P*—განსაკუთრებულ (particularis) სპექტრს და სხვ. მაგალითად, gK_5 —ნიშნავს K_5 -ის ბუმბერაზ ვარსკვლავს¹.

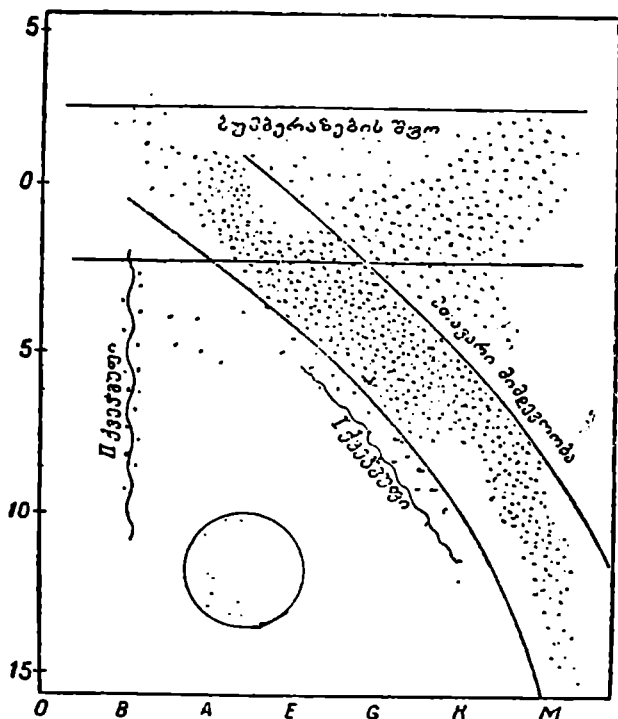
ლ. ბ) რესელის დიაგრამა

თუ ვიცით პარალაქსი *p*, მაშინ ხილული ვარაკვლავიერი *m* სიდიდით შეგვიძლია გამოვთვალოთ აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე *M*, § 21*d*-ს (11) ფორმულით

$$M = m + 5 + 5 \lg p \quad (1)$$

¹ აუცილებელია სპექტრული კლასების თანამიმდევრობის დამაზუსტებელი. ამ მიზნით იგონებენ სხვადასხვა წესს; მაგალითად, ერთი სტუდენტი, რომელიც ალბათ სოცმეჯობრში დამარცხდა, ამბობდა: „მაჯობა ბეეიკომ“. მან შენიშნა, რომ თუ პირველი სიტყვიდან ავიღებთ ბოლო სამ ანბანს, ხოლო მეორედან ყველა თანმიმდევრულს, — გვექნება: ო, ბ, ა, ბ, ე, კ, მ. შემდეგი ის სცვლიდა მეორე „ბ“-ს მისი მონათესავე „ფ“ ბგერით და ამრიგად ლებულობდა სპექტრული კლასების თანამიმდევრობას: *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*.

საინტერესოა დავალაგოთ ვარსკვლავები აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდისა და სპექტრული კლასების მიხედვით. პირველად ეს გააკეთა რესელმა 1913 წელს. ვერტიკალურ ხაზზე გადავზომოთ აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე, ჰორიზონტულზე კი კლასები. (ნახ. 129). მოვიგონოთ, რომ რაც უფრო მცირეა ვარსკვლავიერი სიდიდე, მით უფრო აშკარაა ვარსკვლავი. მცირე აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდის



ნახ. 140. რესელის დიაგრამა.

ვარსკვლავებს აქვთ დიდი სიკაშკაშე და ეწოდება ბუმბერაზები, ანუ გიგანტები; დიდი აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდის ვარსკვლავებს აქვს მცირე სიკაშკაშე და ეწოდება ქონდრის ვარსკვლავები ანუ კარლიკები. მზის აბსოლუტური ვარსკვლავიერი სიდიდე დაახლოებით +5-ს უდრის. რესელის დიაგრამით ირკვევა, რომ ერთი რომელიმე კლასისთვის არ არსებობს ყველა შესაძლებელი სიდიდის ვარსკვლავი. O კლასში არის მხოლოდ ბუმბერაზები. B-შიც ბუმბერაზებია; მაგრამ მათ შორის სიკაშკაშის განსხვავება უფრო მეტია. A კლასში განსხვავება კიდევ უფრო მეტია და ამავე დროს ვარსკვლავები იყოფა ორად, ბუმბერაზებად და არაბუმბერაზებად. შემდეგ განსხვავება იზრდება და საშუალო

სიდიდის ვარსკვლავები აღარ გვხვდება. მაგალითად. M კლასში არის ან ბუმბერაზი, ან ქონდრის ვარსკვლავი. ამრიგად ვარსკვლავები რესელის დიაგრამაზე ადგენს ორ მთავარ შტოს: 1) პორიზონტულს ანუ ბუმბერაზების შტოს და 2) დაღმავალს ანუ ქონდრის ვარსკვლავების შტოს. მზე იმყოფება G კლასის დაღმავალ შტოზე 5 სიდიდზე ოდნავ ზევით.

ეს დიაგრამა არ გამოსახავს ბუმბერაზებისა და ქონდრის ვარსკვლავების რიცხვის ნამდვილ განაწილებას. ჩვენ უფრო დიდ მანძილზე ვხედავთ ბუმბერაზებს, ხოლო ქონდრის ვარსკვლავები დიდ მანძილზე არ გამოჩნდება და ამიტომ დიაგრამაზე არ არის აღნიშნული. სინამდვილეში დაღმავალ შტოზე უფრო მეტი ვარსკვლავი უნდა იყოს და ამიტომ ეწოდება აგრეთვე მთავარი შტო.

ერთი და იმავე კლასის ბუმბერაზისა და ქონდრის ვარსკვლავის სპექტრი თუმცა ერთნაირია, მაგრამ დაკვირვებული ანალიზი მაინც ამჩნევს მათ შორის განსხვავებას. აღმოჩნდა, რომ ერთი და იმავე კლასისთვის ზოგიერთი სპექტრული ხაზის ინტენსივობა იცვლება ვარსკვლავის აბსოლუტური სიკაშკაშის მიხედვით, ხოლო ზოგიერთი ხაზი ერთნაირია ყოველი სიკაშკაშისთვის. შეისწავლეს დამოკიდებულება, თუ როგორ იცვლება ზოგიერთი ხაზის ინტენსივობა აბსოლუტური სიდიდის მიხედვით. შემდეგ, როცა რომელიმე ვარსკვლავის სპექტრში შეამჩნევენ ასეთ ხაზს,—მისი ინტენსივობით გაიგება ვარსკვლავის აბსოლუტური სიდიდე M . აბსოლუტური M და ხილული m სიდიდით კი (1) ფორმულით გამოითვლება ვარსკვლავის პარალაქსი p . ამის ეწოდება სპექტრული პარალაქსი.

რესელის დიაგრამით ცდილობენ ახსნან ვარსკვლავთა ევოლუციის საკითხები. ამის მიხედვით პირველად წარმოიშვება წითელი ბუმბერაზი. მას აქვს დაბალი ტემპერატურა, რის გამოც მისი ზედაპირის თითოეული კვადრატული ერთეული ცოტას გამოასხივებს. მაგრამ ძლიერ დიდი მოცულობის და, მაშასადამე, დიდი ზედაპირული ფართის გამო, საერთო გამოსხივება დიდია. შემდეგ ვარსკვლავი იკუმშება; შეკუმშვის შედეგად ტემპერატურა იზრდება და მისი ზედაპირის თითოეული კვადრატული ერთეული უფრო მეტს გამოასხივებს, მაგრამ ფართი შემცირებულია და საერთო სიკაშკაშე უცვლელი რჩება. ასე მიდის B და O კლასამდე. შეკუმშვა ისევ გრძელდება, მაგრამ გამოსხივების შედეგად მასა საგრძნობლად შემცირებულია და ვარსკვლავი გადადის დაღმავალ შტოზე, ე. ი. თანდათან მცირდება მისი ტემპერატურა და სიკაშკაშე. ასე გრძელდება სანამ ვარსკვლავი არ გადაიქცევა წითელი ქონდრის ვარსკვლავად. ახლა ფიქრობენ, რომ ვარსკვლავთა ევოლუციის ნამდვილი პროცესი უფრო რთული უნდა იყოს, მაგრამ აღნიშნულ თეორიას მაინც აქვს ისტორიული მნიშვნელობა.

რესელის დიაგრამის საინტერესო გამონაკლისს წარმოადგენს თეთ-

რი ქონდრის ვარსკვლავები, რომლებიც $A-F$ კლასს ეკუთვნის და ძლიერ მცირე სიკაშკაშე აქვთ. დიაგრამაზე ისინი იმყოფება წრით შემოვლებულ ადგილზე. ამას გარდა, ორი ქვეჯგუფი აღმოაჩინა კიდევ პარენაგომ და ვორონცოვ-ველიამინოვმა. ამათგან პირველი ქვეჯგუფი დაღმავალი შტოს პარალელურ მიმდევრობას ჰქმნის და მისგან 2 ვარსკვლავიერი სიდიდით არის ქვევით ჩამოწეული. მეორე ქვეჯგუფი კი შედგება თეთრი—მტრედისფერი ვარსკვლავებისაგან და დალაგებულია დიაგრამის მარცხენა მხარეს ვერტიკალურად.

ე) ვარსკვლავთა რადიუსი, მასა და სიკაშკაშე

ვარსკვლავები ტელესკოპში წერტილის სახით ჩანს და არც ერთ მათგანს არ ემჩნევა დისკო. ამიტომ მათი სიდიდის გაგება ძნელია, მაგრამ მეცნიერებას ახლა მიანიჭა გააჩნია რამდენიმე არაპირდაპირი ხერხი ვარსკვლავთა რადიუსის გასაგებად. ერთ-ერთი ასეთი ხერხი დამყარებულია ბნელეზადი ორმაგი ვარსკვლავების სიკაშკაშის ცვალებადობაზე, რასაც ჩვენ შემდეგ თავში განვიხილავთ. გამოიკრევა, რომ ვარსკვლავები თავისი სიდიდით დიდად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ყველაზე დიდი აღმოჩნდა წითელი ბუმბერაზები. ორიონის α -ს, ანუ ბეტელჯეიზს რადიუსი აღემატება მზის რადიუსს 360-ჯერ, ღრიანკალის α -ს, ანუ ანტარესის რადიუსი აღემატება 330-ჯერ. მოცულობით ანტარესი მზეზე მეტი იქნება $(330)^3 = 36000000$ -ჯერ. ანტარესის ცენტრში რომ წარმოვიდგინოთ მზე, მაშინ ამ ვარსკვლავის შიგნით აღმოჩნდებოდა მერკურის, ვენერას, დედამიწისა და მარსის ორბიტები. ზოგი ვარსკვლავი ამათზე უფრო დიდია. ბუმბერაზებში უფრო ნაკლები სიდიდისაა B და O კლასის ვარსკვლავები. დაღმავალ შტოზე ვარსკვლავთა სიდიდე თანდათან კლებულობს კლასების მიხედვით და ყველაზე ნაკლები სიდიდე აქვთ წითელი ქონდრის ვარსკვლავებს; მაგრამ ამაზე უფრო ნაკლები სიდიდისაა თეთრი ქონდრის ვარსკვლავები, რომლებიც რესელის დიაგრამაში გამოჩნდნენ ქვეჯგუფს წარმოადგენს. ერთ-ერთი თეთრი ქონდრის ვარსკვლავია სირიუსის თანამგზავრი (§ 28a), რომლის რადიუსი 30-ჯერ ნაკლებია მზის რადიუსზე. კეიპერის ქონდრის ვარსკვლავის რადიუსი კი 200-ჯერ ნაკლებია მზისაზე. ამ უკიდურესს საზღვრებს შორის თითქმის ყველა სიდიდის ვარსკვლავს ვხვდებით.

ასევე დიდი განსხვავებაა ვარსკვლავებში სიკაშკაშის მხრივაც. სიკაშკაშეთა შესაღარებლად უნდა გამოვითვალოთ აბსოლუტური სიდიდეები (1) ფორმულით $M = m + 5 + 5 \lg p$, რის შემდეგაც სიკაშკაშეთა შეფარდება გამოითვლება § 21d-ს (8') ფორმულით:

$$\frac{I_{\lambda 1}}{I_{\lambda 2}} = (2,512)^{M_2 - M_1} \quad (2)$$

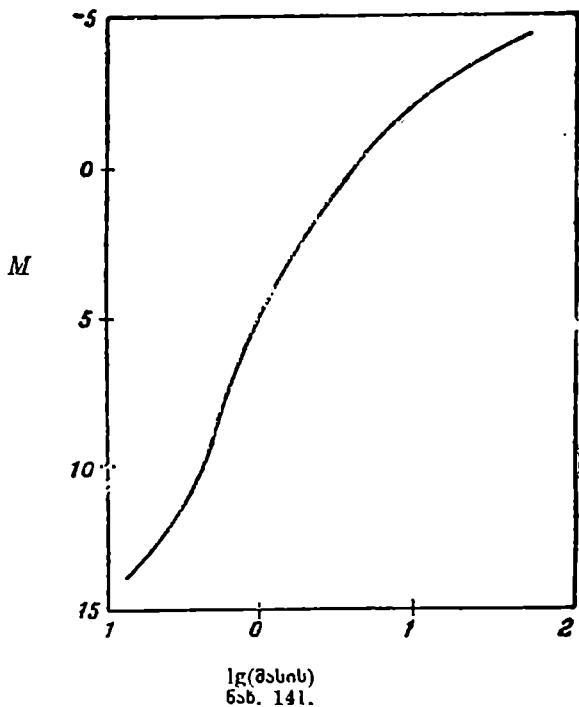
ყველაზე კაშკაშა აღმოჩნდა ოქროს თევზის S ვარსკვლავი, რომელიც მზეზე 320000-ჯერ უფრო კაშკაშაა. რიგელი ანუ ორიონის β მზეზე უფრო

კაშკაშა 20000-ჯერ, სირიუსი 27-ჯერ. მეორე მხრივ არის სუსტი ვარსკვლავები, რომლებიც მზეზე ათიათასჯერ და ასიათასჯერ ნაკლები სიკაშკაშისაა.

ვარსკვლავთა მასებიც სხვადასხვა აღმოჩნდა, მაგრამ ის გაცილებით უფრო მცირე ფარგლებში იცვლება, ვიდრე სიდიდე და სიკაშკაშე. იშვითია ისეთი ვარსკვლავი, რომელიც მზესთან შედარებით 10-ჯერ უფრო მასიურია ან მზის მასის $\frac{1}{4}$ -ზე ნაკლები მასა აქვს.

მასაა და სიკაშკაშეს შორის აღმოჩნდა საინტერესო დამოკიდებულება: რაც უფრო მეტია ვარსკვლავის მასა, იმდენად მეტია მისი სიკაშკაშე. ეს დაახლოებით სამართლიანია უმეტესი ვარსკვლავისთვის, მაგრამ აქვს გამონაკლისებიც. უპირველესად გამონაკლისს წარმოადგენს თეთრი ქონდრის ვარსკვლავები, რომლებსაც აღმოაჩნდათ საშუალო მასა და მცირე სიკაშკაშე. მასა-სიკაშკაშის დამოკიდებულება გრაფიკულად გამოსახულია 141 ნახაზზე.

რადგან ვარსკვლავთა მოცულობა დიდ შუალედში იცვლება, ხოლო მასებით ისინი მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, ცხადია, სიმკვრივე ძლიერ სხვადასხვა უნდა იყოს. ანტარესის საშუალო სიმკვრივე მილიონჯერ ნაკლები გამოდის წყალთან შედარებით, რაც ოთახის ჰაერის სიმკვრივეზე ათასჯერ ნაკლებია. თეთრი ქონდრის ვარსკვლავების სიმკვრივე კი ასიათასჯერ მეტია წყლის სიმკვრივეზე. ერთი ასანთის კოლოფი რომ ავა-



სოთ სირიუსის თანამგზავრის მასით, ის აიწონიდა 15 კაცის ტოლს; კეიპერის ვარსკვლავის ასეთივე მასა დასწონიდა 50 ტონიან 15 ვაგონს. ბუმბერაზების მცირე სიმკვრივე დიდ გაკვირებას არ იწვევს; თეთრი ქონდრის ვარსკვლავების ასეთი დიდი სიმკვრივე კი ძნელი წარმოსადგენია, მაგრამ ატომის თანამედროვე ფიზიკური თეორია მას ადვილად

ხნის. ატომი, როგორც ვიცით, წარმოდგება ატომგულისა და ელექტრონებისაგან. ატომის თითქმის მთელი მასა მოთავსებულია ატომგულში; ელექტრონები კი მოძრაობს მის გარშემო სხვადასხვა ორბიტაზე, რომელიც საკმაო დიდი სიდიდისაა გულთან შედარებით. იონიზაციის დროს თანდათან აკლდება ატომს ელექტრონები და მასთან ორბიტებიც. სრული იონიზაციის დროს რჩება მხოლოდ ატომგულები, რომლებსაც ჩვეულებრივ ატომთან შედარებით ძლიერ მცირე მოცულობა აქვს და ამიტომ შეიძლება ახლოს მივიდნენ ერთმანეთთან. თეთრი ქონდრის ვარსკვლავები, როგორც ჩანს, ასეთი ატომგულებისგან არის შედგენილი.

სპექტრული ანალიზით ირკვევა, რომ ვარსკვლავები ბრუნავს ღერძის გარშემო. ყველაზე ჩქარა ბრუნავს O კლასის ვარსკვლავები; ბრუნვით გამოწვეული სიჩქარე მათ ეკვატორზე უდრის $250 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$, მაშინ როცა

მზის ეკვატორის წერტილთა სიჩქარეა $2 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$.

V თავის სავარჯიშო

1. რა დროში შემოივლის მზის ეკვატორს თვითმფრინავი, რომლის სიჩქარე უდრის 200 კმ/საათში?

ამოხსნა. მზის რადიუსი $R=696000$ კმ. ეკვატორის სიგრძე $C=2\pi R=4373000$ კმ. დრო $t=C:(24 \cdot 200)=2$ წელი და 181 დღე-ღამე.

* 2. როგორი ხილული დიამეტრი უნდა ჰქონდეს მზის ლაქას, რომ ის დედამიწის დიამეტრის ტოლი იყოს?

ამოხსნა. ლაქის რადიუსი $r=at\alpha$, აქ r არის დედამიწის რადიუსი, a —ასტრონომიული ერთეული. გამოდის $\rho=8''$, 8, ე. ი. მზის პარალიქსის ტოლია. დიამეტრი $2\rho=17''$, 6.

* 3. როგორი დიამეტრი უნდა ჰქონდეს მზის ლაქას, რომ ის გამოჩნდეს უბრალო თვალთ გამჭურულ მინაში, თუ ცნობილია, რომ ადამიანს შეუძლია დაინახოს ისეთი საგნები, რომელთა კუთხური სიდიდე $2'$ -ზე ნაკლები არ არის.

ამოხსნა. საჭიროა ლაქის დიამეტრი $d \geq 2': 17''$, 6 = 7-ჯერ დედამიწის დიამეტრზე (იხ. 2 ამოცანა).

4. პოლარული ნათება და მაგნიტური ქარიშხალი როდის იქნებოდა უფრო ძლიერი 1944 წელს თუ 1947 წელს?

პასუხი. 1947 წელს, როცა მზის ლაქების მაქსიმუმი იყო.

* 5. მზის ერთი ფენის ბრუნვის პერიოდი ვარსკვლავების მიმართ უდრის 26 დღე-ღამეს. როგორი იქნება მისი ბრუნვის პერიოდი დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლის მიმართ?

ამოხსნა. გამოითვლება ფორმულით $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$, სადაც $T=26$, $E=365,24$; მივიღებთ $S=28$ დღ.

* 6. სპექტრული ანალიზით მტკიცდება, რომ მზის ეკვატორი ბრუნავს $2\frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$ სიჩქარით. როგორია მზის ბრუნვის ვარსკვლავიერი დრო?

ამოხსნა. კუთხური სიჩქარე ერთ სეკუნდში გაიგება ფორმულით $r\omega = 2$, საიდანაც $\omega = \frac{2}{r}$ შემდეგ პროპორციით: $1^\circ : \omega = t^\circ : 2\pi$; მივიღებთ

$$t^\circ = \frac{2\pi}{\omega} \text{ სეკუნდი} = 25,3 \text{ დღე-ღამე.}$$

* 7. მზე რომ იყოს დაფარული 15 მეტრის სისქის ყინულით, რამდენ ხანში გაადნობდა მას მზის სითბო?

ამოხსნა. მზის მიერ გამოსხივებული სითბური ენერგია უდრის $1,94 \cdot 4\pi a^2$, სადაც $1,94$ მზის მუდმივია, ხოლო a ასტრონომიული ერთეული. მზის ფართის ერთეულიდან ერთ წუთში გამოსხივების მისაღებად ეს უნდა გავყოთ მზის ზედაპირის ფართზე, რაც უდრის $4\pi R^2$. მზის რადიუსი $R = 696000$ კმ, $\lg R = 5,8426$, $\lg a = 8,1747$, $\lg 1,94 = 0,2878$. მზის ფართის ერთეულიდან გამოსხივება აღვნიშნოთ θ -თი.

$\lg \theta = 4,9520$. ყინულის სვეტი, რომლის ფართია 1 კვ. სანტ. და სიმაღლე 15 მეტრი, შეიცავს 1500 კუბ. სანტ. ხვედრითი წონა უდრის $0,917$. ამ სვეტის წონა უნდა გადავამრავლოთ დნობის სითბოზე, რაც უდრის 80 მკირე კალორიას, ე. ი. ამ სვეტისთვის საჭირო იქნება $F = 80 \cdot 1500 \cdot 0,917$ მც. კალორია. $\lg F = 5,0416$. გადნობისთვის საჭირო დრო $t = F : \theta$. $\lg t = 0,0896$, $t = 1,23$ წუთი, $t = 1^m 14^s$.

* 8. აბოტის განსაზღვრით, მზის ენერგიის მაქსიმუმი მოდის ტალღის სიგრძეზე $\lambda = 4700 \text{ \AA}$, განსაზღვრეთ მზის ტემპერატურა ვინის კანონით, თუ ცნობილია, რომ ვინის მუდმივი $c = 0,288$.

ამოხსნა. ანგსტრემში უდრის სანტიმეტრის მემამილიონედს. $4700 \text{ \AA} = 0,000047$ სანტ. ვინის კანონია $\lambda_{\max} = \frac{C}{T}$; აქედან $T = 0,288 : 0,000047 = 6130^\circ$.

* 9. მზის ტემპერატურა რომ გაიზარდოს 1% -ით, რამდენი პროცენტით გაიზარდება მზის მუდმივი?

ამოხსნა. მზის სრული გამოსხივება არის აბს. ტემპ. მეოთხე ხარისხის პროპორციული და ის უდრის ასტრონომიული ერთეულის რადიუსით მთელ სფეროზე მიღებულ ენერგიას, ე. ი. $\sigma T^4 = K 4\pi a^2$, სადაც K მზის მუდმივია, ხოლო a ასტ. ერთეული. ტემპერატურის 1% -ით მომატების შემდეგ $\sigma T^4 \left(1 + \frac{1}{100}\right)^4 = K_1 4\pi a^2$. აქედან $K_1 = K(1,01)^4 = K(1 + 0,04)$, $K_1 - K \approx 0,04K = 4\%$.

* 10. რა განსხვავებაა მთვარეზე ვარსკვლავიერ დროსა და საშუალო მზიურ დროს შორის? რას უდრის იქ დღისა და ღამის სიდიდე?

ამოხსნა. მთვარის ვარსკვლავიერი დღე-ღამე გრძელდება 27,321 ჩვენებურ დღე-ღამეს, ხოლო მთვარის მზიური დღე-ღამე 29,52 ჩვენებურ დღე-ღამეს. ამიტომ იქ ვარსკვლავიერი დროის ერთეული მზიური დროის ერთეულთან შედარებით უდრის $27,321 : 29,53 = 92,5\%$. დღისა და ღამის სიდიდე უდრის $29,53 : 2 = 14,76$ დღე-ღამეს. მაგალითად, მთვარის დისკოს ცენტრისთვის თენდება პირველი მეოთხედის დროს და ღამდება უკანასკნელი მეოთხედის დროს.

11. როგორ ჩანს დედამიწა წარმოსახვითი დამკვირვებლისთვის, რომელიც მთვარის ხილული ნახევარსფეროს ცენტრში იმყოფება? რა გავლენას ახდენს მისთვის ლიბრაცია დედამიწის ხილულ მდებარეობაზე?

ამოხსნა. აღნიშნული დამკვირვებელი დედამიწას დაინახავს თავისი რადიუსის გაგრძელებაზე, ე. ი. ზენიტში, სადაც ის მცირე რყევას განიცდის ლიბრაციის გამო.

12. ამოვა თუ არა დედამიწა მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისთვის?

ამოხსნა. მთვარის ჩვენსკენ მოქცეული ნახევარსფეროსთვის დედამიწა ყოველთვის პორიზონტს ზევითაა, ხოლო მეორე ნახევარსფეროსთვის პორიზონტს ქვევით. ამ ნახევარსფეროების საზღვარზე მყოფი დამკვირვებლისთვის კი დედამიწა ნელ-ნელა ამოდის და ჩადის ლიბრაციის გამო.

* 13. რამდენად ნაკლებია მთვარეზე სიმძიმის ძალის აჩქარება დედამიწასთან შედარებით?

ამოხსნა. დედამიწისთვის სიმძიმის ძალის აჩქარება $g_0 = K^2 \frac{M}{R^2}$, სადაც M დედამიწის მასაა და R რადიუსი. მთვარისთვის აჩქარება $g = k^2 \frac{m}{r^2}$; მთვარის მასა $m = M:81,5$ და რადიუსი $r = 0,273R$. ჩასმის შედეგად მივიღებთ $g = 0,165 g_0$.

14. რამდენად კაშკაშაა „სავსე დედამიწა“ სავსე მთვარეზე, თუ ცნობილია, რომ დედამიწის არეკვლის უნარი 6-ჯერ მეტია მთვარისაზე?

ამოხსნა. მთვარის რადიუსი $r = 0,273R$, აქედან დედამიწის რადიუსი $R = 3,663r$. დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირი მთვარისაზე იქნება $(3,663)^2$ ჯერ მეტი; ხოლო „სავსე დედამიწა“ $(3,663)^2 \cdot 6$ -ჯერ კაშკაშა იქნება სავსე მთვარეზე, ე. ი. 80,54-ჯერ.

* 15. დაკვირვებით იპოვეს, რომ იუპიტერის ხილული რადიუსი უდრის $17,75''$. მანძილი ამ დროს ამ ცთომილამდე იყო $5,431$ ასტ. ერთეული. მზის პარალაქსი უდრის $8'',80$. იპოვეთ იუპიტერის დიამეტრი დედამიწასთან შედარებით.

ამოხსნა. მზის პარალაქსი არის ის კუთხე, რომელიც შექმნილია მზის ცენტრთან დედამიწის რადიუსის ბოლოებზე გატარებული ხაზებით. იუპიტერის მანძილზე დედამიწის რადიუსი გამოჩნდებოდა $\rho = 8'',80:5,431$ კუთხით. ამიტომ იუპიტერის რადიუსი დედამიწისაზე მეტი იქნება $17'',75:\rho = (17'',75 \cdot 5,431):8'',80$; ე. ი. მეტი იქნება $10,95$ -ჯერ.

* 16. რამდენად უფრო ნაკლებად ანათებს მზე სატურნს დედამიწასთან შედარებით?

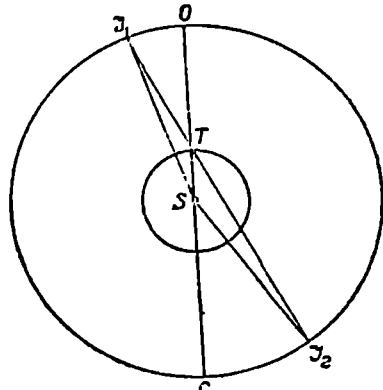
ამოხსნა. სინათლის ენერგია იცვლება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად. ორბიტის ელემენტთა ცხრილიდან ჩანს, რომ სატურნის დაშორება მზიდან უდრის 9,539 ასტ. ეროეულს. ამიტომ მისი განათება ნაკლები იქნება $(9,539)^2 = 91$ -ჯერ.

* 17. რა იქნება მზის მულმივი მარსზე და ვენერაზე, თუ მათი დაშორება მზიდან არის: $a_1 = 1,524$ ასტ. ერთ. და $a_2 = 0,723$ ასტ. ერთეული. ამოხსნა. მზის მულმივი მანძილის კვადრატის უკუპროპორციული იქნება. მარსზე $K_1 = 1,94 : (1,524)^2 = 0,84$ კალ. ვენერაზე $K_2 = 1,94 : (0,723)^2 = 3,71$ კალ.

* 18. რატომ გამოჩნდება დედამიწა ვენერადან უფრო კაშკაშა, ვიდრე ვენერა დედამიწიდან? ყოველთვის ასეა თუ არა? მითითება: რადიუსი და არეკლვის უნარი ერთნაირად მიიღეთ.

ამოხსნა. შიგა შეერთების დროს დედამიწისკენ მოქცეულია ვენერას ბნელი ნახევარსფერო. დედამიწა ამ დროს ვენერასკენ მიქცეულია თავისი განათებული ნახევრით. ამიტომ იმ ნახევარსფერზე, რომელზედაც ვენერა შიდა შეერთებაშია და მას შემდეგაც საკმაოდ დიდხანს, ეს მნათობი დედამიწიდან უფრო ნაკლებად კაშკაშა გამოჩნდება, ვიდრე დედამიწა ვენერადან. გარეშეერთების მახლობელ მდებარეობაში კი ვენერა უფრო კაშკაშა გამოჩნდება, რადგან ის უფრო მეტ სინათლეს ღებულობს მზიდან და განათებული მხარით არის მოქცეული ჩვენსკენ.

* 19. რემერმა შენიშნა, რომ იუპიტერის თანამგზავრთა დაბნელება გამოვლილთან შედარებით იგვიანებს და ეს დაგვიანება მით მეტია, რაც უფრო შორს არის ცთომილი ჩვენგან. თუ ავიღებთ იუპიტერის ორ მდებარეობას, ერთს, როცა ის არის პირისპირდგომის მიმართულეობასთან 30° -ზე, ხოლო მეორეს, როცა ის არის შეერთების მიმართულეობასთან 30° -ზე, მაშინ მეორე შემთხვევაში დაგვიანება დაახლოებით $14^m 25^s$ -ით უფრო მეტი იქნება, ვიდრე პირველ შემთხვევაში. ორბიტები წრეხაზებად მიიღეთ და განსაზღვრეთ სინათლის სიჩქარე ამ მონაცემებით.



ნახ. 142.

ამოხსნა. ნახაზზე $\angle I_1TO = 30^\circ$ და $\angle I_2TS = 30^\circ$, $ST = 1$. $SI_1 = SI_2 = 5,202$.

აღნიშნოთ $\angle SI_1T = x$; $\angle SI_2T = y$. I_1TS სამკუთხედიდან დავწერთ $1 : \sin x = 5,202 : \sin(180^\circ - 30^\circ)$, I_2TS სამკუთხედიდან გვექნება $1 : \sin y =$

$=5,202:\sin 30^\circ$. აქედან ჩანს, რომ $x=y$. გამოთვლით მივიღებთ $x=y=$
 $=5^\circ 31'$. აღვნიშნოთ $I_1 T = \rho_1$, $I_2 T = \rho_2$ ნახაზიდან ჩანს, რომ $\rho_1 =$
 $=\sin(30^\circ - x) : \sin x$, $\rho_2 = \sin(30^\circ + y) : \sin y$; აქედან გამოდის $\rho_1 = 4,310$ ასტ.
 ერთ. $\rho_2 = 6,043$ ასტ. ერთ. სინათლის სიჩქარე $c = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\Delta t}$. აქ $\rho_2 - \rho_1 =$
 $= 1,733$ ასტ. ერთ. $\Delta t = 14^m 25^s$. გამოდის $c = 299500 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.

20. როგორ განვასხვავოთ უკუდო კომეტა ჩვეულებრივი ნისლეული-საგან?

პასუხი. ნისლეული უძრავია ვარსკვლავების მიმართ, კომეტა კი გადაადგილდება.

21. ზუსტად ერთნაირია თუ არა ერთი რომელიმე პერიოდული კომეტის ორბიტა სხვადასხვა შემობრუნების დროს?

პასუხი. არ არის სავსებით ერთნაირი ცთომილთა შემფოთების გამო.

* 22. კომეტა 1882 II-ს აქვს გარემოქცევის პერიოდი $T = 770$ წელი და პერიპელიუმის მანძილი 0,0078. იპოვეთ: 1) დიდი ნახევარღერძი, 2) ექსცენტრისიტეტი, 3) სიჩქარე პერიაპელიუმში, 4) სიჩქარე აფელიუმში.

ამოხსნა. კეპლერის მესამე კანონიდან $T_1^2 : T^2 = a_1^3 : a^3$, აქედან $a_1 = \sqrt[3]{T_1^2} = 84$ ასტ. ერთ. $a_1 - a_1 e_1 = 0,0078a$; $84(1 - e_1) = 0,0078$, $e_1 = 0,999907$. $\lg \frac{1+e_1}{1-e_1} = 4,3325$, $\lg \frac{1-e_1}{1+e_1} = 5,6675$, $a_1 = 84$ ასტ. ერთ. $\lg a_1 = 15,0990$ (სანტიმეტრებში), $\lg k^2 = 8,8239$, $\lg M = 33,2993$ (იხ. IV თავის 43 ამოცანა). პერიპელიუმში $v^2_{max} = k^2 \frac{M(1+e)}{a(1-e)}$, აფელიუმში $v^2_{min} = k^2 M \frac{(1-e)}{a(1+e)}$ (იხ. IV თავის 41 ამოცანა), აქედან გამოდის $v_1 = 477 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, $v_2 = 22 \frac{\text{მ.}}{\text{სექ.}}$.

* 23. საბჭოთა ასტრონომიის ვსენსვიატსკის ჰიპოტეზით, პერიოდული კომეტები შექმნილია იმ ნივთიერებისგან, რომელიც ძლიერი ამოფრქვევის დროს გამოიტყორცნება იუპიტერიდან. როგორი უნდა იყოს ამოფრქვეული ნივთიერების უმცირესი საწყისი სიჩქარე, თუ უგულებელვყოფთ იუპიტერის ატმოსფეროს წინააღმდეგობას?

მითითება. იუპიტერის რადიუსი დედამიწისას აღემატება 11,26-ჯერ, ხოლო მასა—317-ჯერ.

ამოხსნა. ნივთიერების სიჩქარე მეტი უნდა იყოს წრიულ სიჩქარეზე, რაც გამოითვლება ფორმულით $v = \frac{k^2 M}{r}$;

$$\lg k^2 = 8,8239. M = 317 \cdot 6 \cdot 10^{27}, \lg M = 30,2793.$$

$$r = 11,26 \cdot 6371 \cdot 10^5, \lg r = 9,8456. \lg v = 6,6237 \left(\frac{\text{სანტ.}}{\text{სექ.}} \right),$$

$$v = 42 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$$

* 24. ლეონიდების მეტეორულ ნაკადს ადგილი აქვს 14 ნოემბერს. მისი რადიანტის პირდაპირი აღვლენა $\alpha = 10^h$. ლამის რა დროზე დაინახება ისინი?

ამოხსნა. ვარსკვლავიერი დროით კულმინაცია იქნება $S = \alpha = 10^h$ -ზე. ხოლო ამოვა 6^h -ით უფრო ადრე, რადგან ლომი ეკვატორზე მდებარეობს. უნდა გავიგოთ 14 ნოემბერს ვარსკვლავიერი დროით 4^h -ზე, რას უდრის საშუალო დრო. ეს გამოითვლება ფორმულით $T_0 \approx S - S_0$. $S_0 = 12^h + x \cdot 2^h + y \cdot 4^m$. x არის 21 მარტიდან გასული თვეები, y დამატებითი დღეები. $S_0 = 12^h + 7 \cdot 2^h + 24^m = 27^h 36^m$ ანუ $S_0 = 3^h 36^m$ -ს. $T_0 = 4^h - 3^h 36^m = 24^m$. ე. ი. გამოჩნდება შუალამის შემდეგ.

* 25. შეათვალეთ მეტეორული ნაკადის დაახლოებითი სიგანე, თუ ვიცით, რომ ის ჩანს 16 ივლისიდან 22 აგვისტომდე.

ამოხსნა. სიგანე ანუ იმ ფართის დიამეტრი, რომელშიც იმყოფება მეტეორული სხეულები, არ იქნება ნაკლები იმ მანძილის, რასაც გაივლის დედამიწა 16 ივლისიდან 22 აგვისტომდე. დედამიწის სიჩქარე

უდრის $30 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$. დღე-ღამეში არის $24 \cdot 60 \cdot 60$ წამი. დღეები უდრის 37-ს. მანძილი $x = 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 37 = 95\,900\,000$ კმ.

* 26. რა ფარგლებში იცვლება მეტეორის სიჩქარე?

ამოხსნა. მეტეორები მოძრაობს პარაბოლაზე და მათი სიჩქარე დედამიწის მანძილზე უდრის $24 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$ (იხ. IV თავის 43 ამოცანა).

დედამიწის შემხვედრი მეტეორის სიჩქარე იქნება $42 + 30 = 72 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, დამ-

წევის $12 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.

თ ა ვ ი VI

საპარსკვლავო ასტრონომია და კოსმოგონია

§ 27: პარსკვლავთა მდებარეობა და საკუთარი მოძრაობა

ა) ვარსკვლავთა კატალოგები

ვარსკვლავთა მდებარეობის განსაზღვრა უძველესი დროიდან ითვლებოდა ასტრონომიის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანად. ეს არის სფერული და პრაქტიკული ასტრონომიის საგანი; მაგრამ ვარსკვლავთა მდებარეობის ცოდნას ემყარება ასტრონომიის ყველა დარგი.

უბრალო თვალთ ვარსკვლავები ჩანს შეეჭვსე სიდიდემდე. ამათგან მთელ ცაზე პირველი სიდიდის ვარსკვლავი არის 20, მეორე სიდიდის—51, III სიდიდის—200, IV სიდიდის—595, V სიდიდის—1213 და VI სიდიდის—3640, სულ 5719, ე. ი. დაახლოებით 6000. ტელესკოპური ვარსკვლავების რიცხვი სწრაფად იზრდება ვარსკვლავიერ სიდიდესთან ერთად. მეთე სიდიდის ვარსკვლავები წინა სიდიდეების ჩათვლით უდრის 324000-ს, მე-15-ე სიდიდის 32.000.000-ს, მე-20 სიდიდის, რაც თანამედროვე ტელესკოპის საზღვარს წარმოადგენს, უდრის ერთ მილიარდს. რაიმე სიდიდის ვარსკვლავთა რიცხვი დაახლოებით სამჯერ უფრო მეტია¹, ვიდრე მათზე ერთით ნაკლები სიდიდის ვარსკვლავთა რიცხვი; მაგალითად, III სიდიდის არის 200, IV სიდიდის—595.

დაკვირვების დროს ვარსკვლავები უძრავად გვეჩვენება ცაზე მიკრული; მათი გადანაცვლება შეიძლება შევამჩნიოთ წლების განმავლობაში დაკვირვების შედეგად. ამის გამო შეიძლება შევადგინოთ ვარსკვლავთა მდებარეობის სია, ანუ კატალოგი. პირველი ვარსკვლავთა კატალოგი შეადგინა ჰიპარქმა (II საუკ. ჩვენი წელთაღ. წინ); ის შეიცავდა 1000 ვარსკვლავს, მაგრამ არ იყო ზუსტი და შეცდომა ზოგჯერ აღწევდა 1°-ს. XV საუკუნეში ეს კატალოგი გადაახალისა თემურლენგის შვილისშვილმა ულუგბეგმა, რომელიც სამარყანდში ცხოვრობდა (უზბეკეთის სსრ ტერიტორიაზე). მისი შრომა იმ დროისთვის დიდი სიზუსტით იყო შედგენილი. ტელესკოპის გამოყენებით პირველი მნიშვნელოვანი კატალოგი შე-

¹ თეორიულად გამოდის, რომ ეს შეფარდება (იხ. ქვემოთ) ოთხის ტოლი უნდა იყოს, მაგრამ ეს ასე არ არის, სხივის კოსმიური შთანთქმის გამო. რედ.

ადგინა ბრადლეიმ XVIII საუკუნეში; ის შეიცავს 3000-ზე მეტ ვარსკვლავს და ახლაც იხმარება გადამუშავებული სახით.

თანამედროვე ვარსკვლავთა კატალოგები ორგვარია: 1) ზუსტი და 2) მიმოხილვითი. ზუსტი კატალოგები შედარებით მცირე რიცხოვანია, მაგრამ ვარსკვლავთა მდებარეობა განსაზღვრულია დიდი სიზუსტით. ამათგან უფრო გავრცელებულია აუვერსის და ბოსის კატალოგები. მიმოხილვითი კატალოგები შედარებით ბევრ ვარსკვლავს შეიცავს, მაგრამ მათი მდებარეობა უფრო ნაკლები სიზუსტით არის განსაზღვრული. ამათგან უფრო ცნობილია „ბონის მიმოხილვა“. ორივე სახის კატალოგი გადატანილია რუკაზე და ამრიგად შედგენილია შესაბამის ვარსკვლავთა რუკები. კოორდინატებს გარდა, აღინიშნება აგრეთვე ვარსკვლავიერი სიდიდე.

აღნიშნულს გარდა, არსებობს კიდევ სპეციალური სახის კატალოგები, ვარსკვლავთა რაიმე ნიშნის მიხედვით. მაგალითად, სპექტრული კლასების კატალოგი, ცვალებად ვარსკვლავთა კატალოგი. ფერის მაჩვენებელთა¹ კატალოგი და სხვ.

ვარსკვლავთა მდებარეობის ზუსტი განსაზღვრა ზოგიერთ ობსერვატორიის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს. ამათგან XIX საუკუნეში ყველაზე მეტად გაითქვა სახელი პულკოვოს ობსერვატორიამ (ლენინგრადის ახლოს).

დაკვირვებით მიღებული ვარსკვლავის კოორდინატები შესწორებული უნდა იქნას სხვადასხვა შეცდომებისგან. ინსტრუმენტული შეცდომების გამორიცხვით მიღებულ კოორდინატებს ეწოდება დაკვირვებითი ადგილი. თუ ეს შესწორდება რეფრაქციაზე, მაშინ ეწოდება ხილული ადგილი. თუ ამის შემდეგ კიდევ შესწორდება აბერაციაზე, პრეცესიაზე და ნუტაციაზე, ე. ი. მიიყვანება აღებული წლის 1 იანვრის ეკვატორზე, მაშინ მიღებულ კოორდინატებს ეწოდება საშუალო ადგილი. ასტრონომიულ ყოველწლიურებში მოცემულია ვარსკვლავთა ხილული ადგილი.

* b) მანძილი და სიკაშკაშე

მანძილი ჩვენგან ვარსკვლავამდე, როგორც ვიცით, განისაზღვრება წლიური პარალაქსის საშუალებით. 143 ნახაზზე E მნათობის წლიური პარალაქსი იქნება TES კუთხე, სადაც $ST' = a$ არის ასტრონომიული ერთეული ანუ დედამიწის ორბიტის რადიუსი (ორბიტა აქ მიღებულია წრედ), და $\angle TSE = 90^\circ$. წლიური პარალაქსის განსაზღვრის გეომეტრიული ხერხი განხილულია § 18-ის d საკითხში. გეომეტრიული ხერხით პარალაქსის განსაზღვრა ყველაზე უფრო ბუნებრივია, მაგრამ ის გამოყენება მხოლოდ უახლოესი ვარსკვლავებისთვის, ხოლო დაშორებული

¹ ფერის მაჩვენებელთა კატალოგებში უდიდესია ე. ხ ა რ ა ძ ი ს მიერ აბასთუმნის ობსერვატორიაში შედგენილი კატალოგი.

ვარსკვლავებისთვის პარალაქსის კუთხის სიმცირის გამო არ გამოდგება. ამიტომ ცდილობენ არაპირდაპირი მეთოდების გამოყენებას. ერთ-ერთი ასეთი მეთოდია პარალაქსის განსაზღვრა სპექტრის საშუალებით (სპექტრული პარალაქსი), რომელიც ჩვენ უკვე განვიხილეთ (§ 26b); დანარჩენს გავეცნობით შემდეგში (იხ. დინამიკური პარალაქსი § 28 b, ცეფეიდური პარალაქსი § 29 b, ვარსკვლავთაგროვის პარალაქსი § 31 b).

თუ პარალაქსი ცნობილია, მაშინ ვარსკვლავამდე მანძილი $TE = D$ (ნახ. 143) გამოითვლება ფორმულით

$$D = \frac{a}{\sin p} . \quad (1)$$

p -ს სიმცირის გამო ეს ასე დაიწერება

$$D = \frac{a \ 206 \ 265''}{p''} \quad (2)$$

სინათლის წელს გარდა მანძილის ერთეულად სავარსკვლავო ასტრონომიაში მიღებულია აგრეთვე პარსეკი. ერთი პარსეკი ის მანძილია, რომლის პარალაქსი უდრის ერთ სეკუნდს (წამს). ჩავსვათ (2)-ში $p'' = 1''$ -ს, მაშინ მივიღებთ:

$$\text{პარსეკი} = 206 \ 265 \ a \quad (3),$$

ანუ

$$a = \frac{1}{206265} \text{პარსეკს,} \quad (3')$$

ე. ი. ასტრონომიული ერთეული პარსეკზე 206265-ჯერ ნაკლებია. ვარსკვლავებთან შედარებისთვის საჭიროა ვიცოდეთ მზის წლიური პარალაქსი, მაგრამ პირდაპირი გაგებით (გეომეტრიულად) მას აზრი არა აქვს, როგორც ეს ჩანს 143 ნახაზიდან: ამიტომ მზის წლიური პარალაქსი გამოთვლილი უნდა იქნას არაპირდაპირი გზით, როგორც მანძილის უკუპროპორციული სიდიდე.

თუ ვარსკვლავის პარალაქსი უდრის $1''$ -ს, მაშინ მანძილი უდრის 1 პარსეკს. თუ პარალაქსი უდრის p'' -ს, მაშინ მანძილი უდრის $\frac{1}{p}$ პარსეკს. ამის მიხედვით, თუ მზის წლიურ პარალაქსს აღვნიშნავთ π'' -ით, მაშინ მზემდე მანძილი უნდა იყოს $\frac{1}{\pi \odot}$ პარსეკი. მაგრამ (3) ფორმულიდან

ჩანს, რომ ეს მანძილი უდრის $\frac{1}{206265}$ პარსეკს. აქედან მზის პარალაქსი $\pi \odot = 206265''$ -ს, რაც თავის მხრივ უდრის ერთ რადიანს ანუ დაახლოებით $57^{\circ}, 3$ -ს.

სინათლის წელი არის ის მანძილი, რომელსაც გაივლის სინათლე ერთ წელიწადში, ე. ი. $365,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 300\,000$ კილომეტრი, რაც დაახლოებით უდრის $9,46 \cdot 10^{12}$ კილომეტრს. ერთი პარსეკი კი (3)-ის თანხმად უდრის 206265 ასტრონომიულ ერთეულს, რაც დაახლოებით უდრის $30,8 \cdot 10^{12}$ კილომეტრს. ამათი გაყოფით მივიღებთ:

$$1 \text{ პარსეკი} = 3,26 \text{ სინათლის წელს.} \quad (4)$$

თუ ცნობილია წლიური პარალაქსი და ხილული სიდიდე, ვარსკვლავის აბსოლუტური სიდიდე გაიგება ფორმულით.

$$M = m + 5 + 5 \lg p \quad (5)$$

მაგალითად, სირიუსის პარალაქსი არის $0'',379$, ხოლო ხილული სიდიდე უდრის $-1,6$ -ს. (5) ფორმულა გვაძლევს $M = -1,6 + 5 + 5 \lg 0,379$, საიდანაც სირიუსის აბსოლუტური სიდიდე $M = 1,29$.

მზის პარალაქსი, როგორც აღვნიშნეთ უდრის ერთ რადიანს ანუ $206265''$ -ს, მზის ხილული სიდიდე კი უდრის $-26,7$ -ს. ამის მიხედვით მზის აბსოლუტური სიდიდე $M_{\odot} = -26,7 + 5 + 5 \lg 206\,265$, საიდანაც $M_{\odot} = 4,87$.

პოგსონის ფორმულა (§ 21 d):

$$\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = (2,512)^{(m_2 - m_1)} \quad (6)$$

საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ, რამდენჯერ მეტია ერთი მნათობის ხილული სიკაშკაშე მეორეზე. მაგალითად, თუ m_1 და m_2 განსხვავდება ხუთით: $m_2 - m_1 = 5$ -ს, მაშინ $\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = (2,512)^5$, $\lg \left(\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} \right) = 5 \cdot 0,4 = 2$. ანტილოგარითმი იქნება 100, ე. ი. პირველი ვარსკვლავი მეორეზე ასჯერ უფრო კაშკაშაა. ამის მიხედვით 1 სიდიდის ვარსკვლავი მეექვსე სიდიდისაზე ასჯერ უფრო კაშკაშაა. 1 სიდიდის ვარსკვლავი XI სიდიდისაზე ათათასჯერ უფრო კაშკაშაა და სხვ.

თუ ცნობილი იქნება აბსოლუტური სიდიდეები, მაშინ პოგსონის ფორმულა (6), საშუალებას იძლევა გავიგოთ რამდენჯერ მეტია ერთი მნათობის ნამდვილი სიკაშკაშე მეორეზე. სირიუსის აბსოლუტური სიდიდე უდრის $1,29$ -ს, მზის კი $4,87$ -ს; ამის მიხედვით სირიუსის სიკაშკაშის მზის სიკაშკაშესთან შეფარდება, აღნიშნული ფორმულით იქნება

$$\frac{I_b}{I_{\odot}} = (2,512)^{M_{\odot} - M_b},$$

საიდანაც შესაფერი სიდიდეების ჩასმით და გალოგარითმებით მივიღებთ: $\lg \left(\frac{I_b}{I_{\odot}} \right) = 1,432$. ანტილოგარითმებში ვიპოვიან, რომ $\frac{I_b}{I_{\odot}} = 27$, ე. ი.

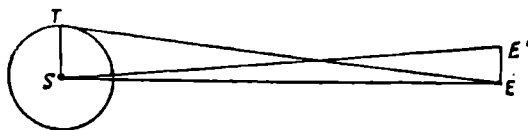
სირიუსი 27-ჯერ უფრო კაშკაშა მზეზე. ასევე გამოითვლება სხვა ვარსკვლავთა შეფარდებითი სიკაშკაშე მზესთან შეფარდებით, რაც უკვე იყო მოხსენებული ზემოთ (§ 26 c).

ვარსკვლავიერ სიდიდეს, როგორც ვიცით, აღნიშნავენ m ასოთი (სიტყვიდან magnitud—სიდიდე), ის ზოგჯერ იწერება ხარისხის მაჩვენებლის სახით; მაგალითად, მეხუთე სიდიდე დაიწერება 5^m. ამ შემთხვევაში m არ უნდა აურიოთ წუთების აღნიშვნაში.

ს) საკუთარი მოძრაობა

როგორც აღვნიშნეთ, ვარსკვლავები ცის სფეროზე უძრავად გვეჩვენება, მაგრამ უძველესი დაკვირვების ახალთან შედარებით გამოირკვა, რომ ზოგი ვარსკვლავი საკმაოდ გადაადგილებულა ძველ მდებარეობასთან შედარებით. ასეთი გადაადგილება ცოტად თუ ბევრად აქვს ყველა ვარსკვლავს. ერთ წელს შესრულებულ ვარსკვლავის გადაადგილებას ვამოსახულს რკალის სეკუნდებში (წამებში) ეწოდება საკუთარი მოძრაობა. ის მცირეა და ჩვეულებრივად წამის მეათედ და მეასედ ნაწილებს უდრის. მხოლოდ რამდენიმე ვარსკვლავს აქვს ერთ წამზე მეტი საკუთარი მოძრაობა. ყველაზე დიდი საკუთარი მოძრაობა აქვს ბარნარდის ვარსკვლავს (გველმჭერის თანავარსკვლავედში), რაც უდრის 10'',30; ვარსკვლავიერი სიდიდე კი არის 9,7, ე. ი. უბრალო თვალით არ ჩანს. კაპტეინის ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობაა 8'',76 (ვარსკვლავიერი სიდიდე 9,2). კაშკაშა ვარსკვლავებიდან დიდი საკუთარი მოძრაობა აქვთ α ცენტრარის 3'',68 (სამხრეთ ნახევარსფეროში) და α მენახირეს ანუ არკტურს 2''.

* ვარსკვლავის მოძრაობა სამყაროს სივრცეში შეიძლება დაგვალთორო მდგენელად: 1) მოძრაობა ხედვის სხივის გასწვრივ და 2) მოძრაობა ხედვის სხივის მართობულად; პირველი—ციის სფეროზე არავითარ კვალს არ ტოვებს, მეორეს გეგმილი კი ცის სფეროზე გვაძლევს საკუთარ მოძრაობას. თუ ცნობილია ვარსკვლავის წლიური პარალაქსი, მაშინ საკუთარი მოძრაობით შეიძლება გავიგოთ მართობული სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობა. 144 ნახაზზე S იყოს მზე, T დედამიწა EE' —ვარსკვლავის წლიური გზა ანუ საკუთარი მოძრაობა, ის აღინიშნება μ ასოთი.



ნახ. 144.

ნახაზზე S იყოს მზე, T დედამიწა EE' —ვარსკვლავის წლიური გზა ანუ საკუთარი მოძრაობა, ის აღინიშნება μ ასოთი.

პარალაქსი $p = TES$, $TS = a$ —ასტრონომიული ერთეულია, $SE = D$ არის მანძილი ვარსკვლავამდე.

$$\text{ნახაზიდან} \quad TS = D \sin p \quad (7)$$

* თუ EE' -ს წარმოვიდგინოთ სწორხაზობრივად, რაც სიმცირის გამო შესაძლებელია, მაშინ

$$\sphericalangle EE' = D \sin \mu \quad (7')$$

(7)-ის (7')-ზე გაყოფით მივიღებთ

$$\frac{EE'}{TS} = \frac{\sin \mu}{\sin \rho} \approx \frac{\mu''}{\rho''}$$

კუთხეების სიმცირის გამო; აქედან:

$$EE' = \frac{\mu'' a}{\rho''} \quad (8)$$

(8) გამოსახავს მართობულ სიჩქარეს ასტრონომიულ ერთეულებში წლის განმავლობაში; რომ გამოვსახოთ ეს სიჩქარე კილომეტრ-სექუნდებში, უნდა გავამრავლოთ ის ასტრონომიული ერთეულის კილომეტრების რიცხვზე და გაყოთ წელიწადში წამების რიცხვზე. მართობულ სიჩქარეს აღვნიშნავთ v_r -ით, მაშინ

$$v_r = \frac{149\,500\,000}{365 \frac{1}{4} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \frac{\mu''}{\rho''} = 4,74 \frac{\mu''}{\rho''} \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}} \quad (8')$$

* სხივურ სიჩქარეს აღვნიშნავთ v_r -ით, ის გაიგება დოპლერ-ბელო-პოლსკის პრინციპით (§ 21 ა). ამ პრინციპის მიხედვით სხივის გასწვრივ მოძრაი მნათობისთვის ტალღის სიგრძე იცვლება და გამოისახება ფორმულით:

$$\lambda' = \lambda + \frac{v_r}{v}, \quad (9)$$

სადაც v არის რხევის სიხშირე. ტალღის სიგრძის შეცვლა $\lambda' - \lambda = \Delta\lambda$ გაიგება იმის მიხედვით, თუ რომელიმე ვარსკვლავის სპექტრში სპექტრული ხაზები რამდენად არის გადაადგილებული მათ ჩვეულებრივ მდებარეობასთან შედარებით. თუ v_r დადებითია, მნათობი გეშორდება, ხოლო თუ უარყოფითია—გვიახლოვდება. სრული სიჩქარე იქნება ამათი გეომეტრიული ჯამი; რიცხობრივად სრული სიჩქარე

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_s^2} \quad (10)$$

ზოგიერთი კაშკაშა ვარსკვლავის სხივური სიჩქარე ასეთია:

სირიუსის —8 კმ/სექ. კაპელას +30 კმ/სექ.

კანოპუსის +30 " აღდებასანის +55 "

α ცენტავრის —22 " ალტაირის —33 "

სუსტი ვარსკვლავებიდან ყველაზე დიდი სხივური სიჩქარე უდრის 240—300 კმ/სექ. ამავე ფარგლებში იცვლება მართობული სიჩქარეც.

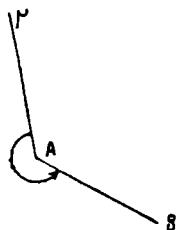
მზეც ერთ-ერთი ვარსკვლავია და ისიც მოძრაობს სამყაროს სივრცეში, ეს ირკვევა ვარსკვლავებზე დაკვირვებით. თუ ვარსკვლავთა მოძრაობას განურჩევლად ჩავთვლით, ე. ი. ყოველი მიმართულებით ერთნაირად შე-

საძლებელია მათი მოძრაობა, მაშინ უფრო მეტი ვარსკვლავი მოგვიახლოვდება იქიდან, საითკენაც მოძრაობს მზე. სხვადასხვა მეთოდით გამოირკვა, რომ მზის მოძრაობის მიმართულება ანუ მისი აპექსი იმყოფება პერკულესის თანავარსკვლავედში, ქნარის თანავარსკვლავედის საზღვართან. სიჩქარე უდრის დაახლოებით 20 კმ/სეკ., უფრო ზუსტად $v \odot = 19,6$ კმ./სეკ., ხოლო აპექსის კოორდინატები ასეთია: $\alpha = 270^\circ$, $\delta = 28^\circ$. მზესთან ერთად ამ მიმართულებით მოძრაობს ცთომილებიც და მას არ აქვს გავლენა მზისა და ცთომილების ურთიერთ მდებარეობაზე.

§ 28. ორმაგი ვარსკვლავები

ა) ვიზუალურად ორმაგი ვარსკვლავები

გულდასმით დაკვირვების დროს ზოგი ვარსკვლავი ორად იყოფა; ასეთ ვარსკვლავს ეწოდება ორმაგი. არის აგრეთვე სამმაგი, ოთხმაგი და სხვა ვარსკვლავებიც. უბრალო თვალისთვის ორმაგი ვარსკვლავის მაგალითს წარმოადგენს დიდი დათვის ζ ვარსკვლავი ანუ მიცარი; მაგრამ ასეთი ვარსკვლავები მცირეა. ტელესკოპში კი საკმაოდ ბევრი ჩანს ორმაგი ვარსკვლავები. ზოგჯერ ორმაგობა გამოწვეულია იმით, რომ ორივე ვარსკვლავი იმყოფება ერთი ხედვის სხივის გასწვრივ, ხოლო სინამდვილეში ძლიერ დაშორებულია ერთმანეთისგან. ასეთებს ეწოდება ოპტიკურად ორმაგი ვარსკვლავები და მეცნიერებისთვის განსაკუთრებულ ინტერესს არ წარმოადგენს. ხშირად კი ორმაგი ვარსკვლავები ფიზიკურად არის დაკავშირებული ერთმანეთთან მიზიდულობის კანონის საფუძველზე. ასეთებს ეწოდება ფიზიკურად ორმაგი ვარსკვლავები და მათ დიდი მნიშვნელობა აქვს მეცნიერებისთვის. თუ ორმაგობა აშკარად ჩანს ტელესკოპში, მაშინ ეწოდება ვიზუალურად ორმაგი ვარსკვლავი.



ნახ. 145.

ორმაგ ვარსკვლავებში უფრო კაშკაშას ეწოდება მთავარი ვარსკვლავი და აღინიშნება A -თი; უფრო სუსტს ეწოდება თანამგზავრი და აღინიშნება B -თი. დაკვირვების დროს ზომავენ მანძილს $\rho = AB$, A და B -ს შორის რკალის სეკუნდებში, აგრეთვე ზომავენ ე. წ. პოზიციურ კუთხეს θ -ს, რომელიც შექმნილია მთავარ ვარსკვლავთან ჩრდილოეთის პოლუსისა და თანამგზავრის მიმართულებებს შორის (ნახ. 145). მ აითვლება პოლუსის მიმართულებიდან საათის ისრის წინააღმდეგ (ე. ი. მარჯვნიდან მარცხნივ). ასეთ დაკვირვებათა საშუალებით განისაზღვრება ხილული ორბიტა, ხოლო შემდეგ კეპლერიტი ანუ ნამდვილი ორბიტა. დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ: 1) თანამგზავრი აღწერს მთავარი ვარსკვლავის გარშემო ელიფსურ ორბიტას, მაგრამ მთავარი ვარსკვლავი არ იმყოფება ხილული ელიფსის ფოკუსში,

2) თანამგზავრის რადიუს გეზრი აღწერს დროის პროპორციულ ფართებს. მტკიცდება, რომ ასეთი მოძრაობის გამომწვევი ძალა არის ნიუტონის მიზიდულობის ძალა (ეს გვიჩვენებს, რომ ნიუტონის მიზიდულობის კანონი ვრცელდება მთელ სამყაროში და ამიტომ ეწოდება მსოფლიო მიზიდულობის კანონი). მთავარი ვარსკვლავი არის ნამდვილი ელიფსის ფოკუსში, მაგრამ ორბიტის სიბრტყე არაა ჩვენი ხედვის სხივის მართობული, რის გამოც ფოკუსის გეგმილი არ ემთხვევა ხილული ელიფსის ფოკუსს.

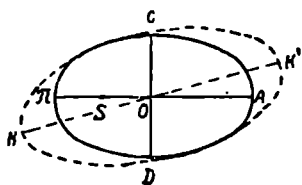
თუ ორი მეექვსე სიდიდის ვარსკვლავი დაშორებულია $40''$ -ზე ნაკლები სიდიდით, მაშინ დიდი ალბათობაა, რომ ისინი ფიზიკურად ორმაგია. ასევე 8 სიდიდის ორი ვარსკვლავი, თუ $16''$ -ზე ნაკლებადაა დაშორებული, მოსალოდნელია, რომ ფიზიკურად ორმაგი იყოს. სულ აღრიცხულია 30000-მდე ვიზუალურად ორმაგი ვარსკვლავი, მაგრამ ტელესკოპის სიმძლავრესთან ერთად მათი რიცხვი მატულობს. მაგალითად, სირიუსი (დიდი ძალის α) ჩანდა ცალმავ ვარსკვლავად, მაგრამ მისი საკუთარი მოძრაობა იყო კლაკნილი. გამოითქვა აზრი, რომ ასეთი მოძრაობა გამოწვეულია დიდი მასის მქონე თანამგზავრის გავლენით და მართლაც, 1862 წელს უფრო ძლიერ ტელესკოპში აღმოჩენილ იქნა სირიუსის თანამგზავრი. ასეთივე შემთხვევა იყო პატარა ძალის α -ს ანუ პროციონის შესახებაც, რომლის ორმაგობა დამტკიცდა 1895 წელს.

* b) ორმაგი ვარსკვლავის ორბიტა. დინამიკური პარალაქსი

ორმაგი ვარსკვლავებისთვის ორბიტის ორიენტაცია წარმოებს არა ეკლიპტიკის სიბრტყის მიმართ, როგორც ცთომილებისათვის, არამედ ხედვის სხივის მართობა სიბრტყის მიმართ. ორბიტის სიბრტყის გადაკვეთას ორმაგი ვარსკვლავის მიმართულების (ანუ ხედვის სხივის) მართობ სიბრტყესთან ეწოდება კვანძთა ხაზი, ხოლო კუთხეს ამ სიბრტყეთა შორის ეწოდება დახრილობა. აღმავალი კვანძი არ გაირჩევა, რადგან გაურკვეველია ორბიტის რომელი ნახევარია ჩვენსკენ და რომელი მეორე მხარეს აღნიშნული მართობი სიბრტყიდან. ორმაგი ვარსკვლავებისთვის არჩევენ ორბიტის შვიდ ელემენტს, სახელდობრ: 1) დიდი ნახევარღერძი რკალის წამებში a ; 2) ექსცენტრისიტეტი e ; 3) სრული ბრუნვის პერიოდი P ; 4) პერიასტრზე (მთავარ ვარსკვლავთან უახლოეს წერტილზე) გადასვლის მომენტი T ; 5) დახრილობა i ; 6) „აღმავალი“ კვანძის გრძედი, რაც ეწოდება პოზიციურ კუთხეს ერთ-ერთი კვანძისას, რომელიც ნაკლებია 180° -ზე; 7) მანძილი კვანძიდან პერიასტრამდე.

ორბიტის ელემენტების გამოთვლის მიზნით ჯერ ააგებენ ხილულ ორბიტას. ამისთვის მთავარი ვარსკვლავის რაიმე N მდებარეობის გარშემო წერტილებით აღნიშნავენ თანამგზავრის მდებარეობას სხვადასხვა პოზიციებში, რაც განისაზღვრება ρ და θ სიდიდეებით. მიღებულ წერტილებზე გაატარებენ ელიფსს, ისე რომ რაც შეიძლება კარგად აკმაყოფი-

ლებდეს ყველა დაკვირვებას. ეს არის ხილული ელიფსი;—მისი ცენტრი O არის ნამდვილი ორბიტის ცენტრის გეგმილი. S არის მთავარი ვარსკვლავის ადგილი, ე. ი. ნამდვილი ელიფსის ფოკუსი. πSOA არის დიდი ნახევარღერძის გეგმილი. დაგეგმილების დროს მონაკვეთთა შეფარდება



ნახ. 146.

არ იცვლება, ამიტომ $\frac{SO}{\pi O} = e$. თუ გა-

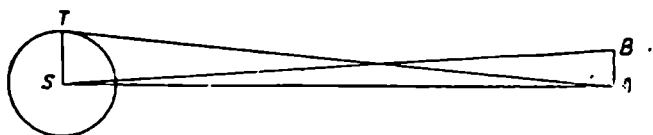
ვატარებთ $A\pi$ -ს პარალელურ რამდენიმე ქორდას და მათი შუაწერტილებით ავაგებთ დიამეტრს,—ეს ხილულ ორბიტაზე იქნება $A\pi$ -ს შეუღლებული დიამეტრი ანუ მცირე ღერძის გეგმილი, რაც აღნიშნულია CD -თი (ნახ.146).

წარმოვიდგინოთ წრე ორბიტის

სიბრტყეზე, რომლის რადიუსი ორბიტის დიდი ნახევარღერძის ტოლია. ამ წრეში ელიფსის მცირე ღერძის პარალელურად გატარებული ქორდები, ისე შეეფარდება ნამდვილი ელიფსის ქორდებს, როგორც $a:b$. ეს

შეფარდება ცნობილია, რადგან $\frac{a}{b} = \frac{a}{a\sqrt{1-e^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$ და e ცნობილია. ამ წრის გეგმილის მისაღებად ხილული ელიფსის სიბრტყეში

CD -ს პარალელური ქორდები უნდა გავამრავლოთ $\frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$ -ზე; ეს იქნება დამხმარე ელიფსი. მისი დიდი ღერძი უდრის აღნიშნული წრის დიამეტრს,



ნახ. 147.

მეტრს, ანუ ნამდვილი ელიფსის დიდ ღერძს, რადგან დაგეგმილების დროს წრის ერთ-ერთი დიამეტრი არ იცვლება. დამხმარე ელიფსის დიდი ღერძის მიმართულება KK' არის კვანძთა ხაზის მიმართულება, KK' -ის ნახევარი უდრის ელიფსის დიდ ნახევარ ღერძს წამებში, ე. ი.

$a'' = \frac{KK'}{2}$. ამრიგად გაიგება ორბიტის ორი ელემენტი a'' და e . პერიოდი P გაიგება დაკვირვებით (უმცირესი პერიოდია n წელი, ჩვეულებრივად კი რამდენიმე ათეულ წელს უდრის). სხვა ელემენტებიც ადვილად გაიგება, მაგრამ ჩვენ მათზე არ შეეჩერდებით.

თუ ცნობილია ორმაგი ვარსკვლავის პარალაქსი, მაშინ მისი ორბიტის დიდი ნახევარღერძის a'' -ს საშუალებით შეიძლება მასების ჯამის გაგება. 147 ნახაზზე $ST=1$ ასტრონომიულ ერთეულს $AB=a$, $\angle TAS=p''$, $\angle BSA=a''$, აღნიშნოთ მანძილი ორმაგ ვარსკვლავამდე $SA=D$, მაშინ-

ნახაზიდან მივიღებთ $1 = D \sin p''$, $a = D \sin a''$, აქედან ორბიტის დიდი ნახევარღერძი ასტრონომიულ ერთეულებში იქნება

$$a = \frac{\sin a''}{\sin p''} = \frac{a''}{p''} \quad (1)$$

აღვნიშნოთ ვარსკვლავთა მასები M_1 და M_2 -ით; მზის და დედამიწის მასა კი M_\odot და m -ით. კეპლერის განზოგადებული მესამე კანონით გვექნება

$$\frac{P^2(M_1 + M_2)}{P_0^2(M_\odot + m)} = \frac{a^3}{a_0^3} \quad (2)$$

აქ P_0 უდრის ერთ წელიწადს, a_0 —ასტრონომიულ ერთეულს $m \approx 0$ და მივიღებთ

$$\frac{M_1 + M_2}{M_\odot} = \frac{a''^3}{p''^3 P^2} \quad (3)$$

ეს გამოსახავს ორმაგი ვარსკვლავის მასათა შეფარდებას მზის მასათან. შეიძლება განისაზღვროს თითოეული კომპონენტის მასაც, რისთვისაც საჭიროა გაიზომოს მანძილი მათი საერთო სიმძიმის ცენტრამდე; მანძილები მასების უკუპროპორციულია და ამრიგად გაიგება შეფარდება $\frac{M_1}{M_2}$. გვეცოდინება რა შეფარდება $\frac{M_1}{M_2}$ და ჯამი $M_1 + M_2$, ადვილად გაიგება M_1 და M_2 ცალ-ცალკე.

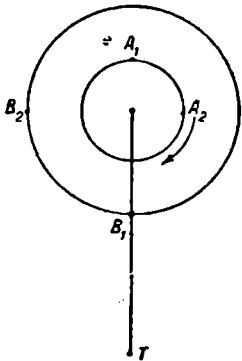
ზოგჯერ შეიძლება დაახლოებით დავეუშვათ $M_1 + M_2 = 2$ ან რაიმე მონახურებით, მაგალითად, მასა—სიკაშკაშის დამოკიდებულებით (§ 26 c) შეიძლება განისაზღვროს მასათა ჯამი, მაშინ (3) ფორმულიდან განისაზღვრება ვარსკვლავის პარალაქსი p'' , რადგან დიდი ნახევარღერძში a'' და პერიოდი P განისაზღვრება ზემოთ აღნიშნული ხერხით. ასე მიღებულ პარალაქსს ეწოდება დინამიკური პარალაქსი.

c) სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავები

ზოგჯერ ვარსკვლავი არ ჩანს ორმაგად, მაგრამ ორმაგობა მტკიცდება სპექტრული ანალიზით. ასეთებს ეწოდება სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავები; ისინი ცნობილია 1500-მდე. პრინციპული განსხვავება არაა ვიზუალურად ორმაგ ვარსკვლავებთან, მაგრამ კომპონენტები უფრო ახლოა და ტელესკოპი ვერ ყოფს. ვთქვათ, ასეთი ორმაგი ვარსკვლავის სიმძიმის ცენტრი არის G წერტილში, ჩვენ კი ვიმყოფებით T წერტილში (ნახ. 148). მთავარი ვარსკვლავი აღწერს უფრო პატარა ორბიტს სიმძიმის ცენტრის გარშემო, ხოლო თანამგზავრი უფრო დიდს. როცა მთავარი ვარსკვლავი არის A_1 წერტილში, ხოლო თანამგზავრი B_1 -ში, ისინი მოძრაობს ხედვის სხივის მართობულად; მათი სპექტრი დამთხვეულია და „ნორმალურია“. დოპლერ-ბელოპოლ-

სკის პრინციპით ისინი არც გვიახლოვდება და არც გეშორდება. A_2, B_2 მდგომარეობაში მთავარი ვარსკვლავი გვიახლოვდება, თანამგზავრი გეშორდება და სპექტრული ხაზები სხვადასხვა მხარეს გადაადგილდება, — მთავარის იისფერისკენ, ხოლო თანამგზავრის წითელი ბოლოსკენ. ანალოგიურად განიხილება სხვა შემთხვევებიც. ჩვენ გვექნება სპექტრული ხაზების პერიოდული გადაადგილება. პერიოდი გვხვდება რამდენიმე საათიდან რამდენიმე წლამდე.

✱ სხივური სიჩქარის ცვალებადობის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს ორბიტის ელემენტები, P, e, ω და T , მაგრამ არ განისაზღვრება დანარჩენი სამი ელემენტი: γ, i და a'' . ამას გარდა შეიძლება განისაზღვროს ზოგიერთი ფუნქცია, რომელშიც შედის განუსაზღვრელი ელემენტები; მაგალითად, $a_1 \sin i$ და $a_2 \sin i$, სადაც $a_1 + a_2 = a$ დიდი ნახევარღერძია. განისაზღვრება აგრეთვე ე. წ. მასების ფუნქცია; $M_1 \sin^2 i$ და $M_2 \sin^2 i$. ზოგჯერ ამ სიდიდეების ცოდნითაც საინტერესო თეორიული დასკვნების გაკეთება შეიძლება.

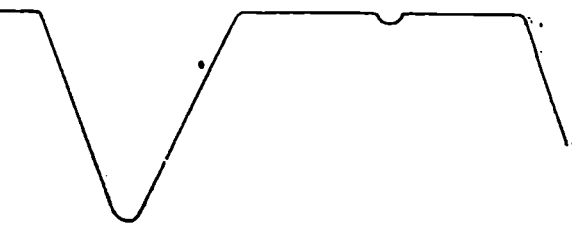


ნახ. 148.

d) ბნელეზადი ორმაგი ვარსკვლავები

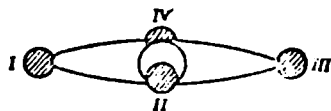
1669 წელს უენიშნეს რომ პერსეის β ანუ ალგოლი იცვლის თავის სიკაშკაშეს. როგორც ჩანს, ეს არაბებმაც იცოდნენ, რადგან არაბულად ალგოლი ნიშნავს «ეშმაკის ვარსკვლავს». სიკაშკაშის ცვლილება წესიერად წარმოებს. მაქსიმუმის დროს ალგოლის ვარსკვლავიერი სიდიდე უდრის 2,2-ს; შემდეგ იწყებს სიკაშკაშე შემცირებას და 5 საათის

განმავლობაში ვარსკვლავიერი სიდიდე ხდება 3,4, ე. ი. სიკაშკაშე კლებულობს $(2,512)^{3,4-2,2} = 3$ -ჯერ. მინიმუმის შემდეგ სიკაშკაშე მატულობს და 5 საათის განმავლობაში ისევ მაქსიმუმს აღწევს. 2 დღესა და 11 საათს სიკაშკაშე უცვლელი რჩება, რის შემდეგაც ისევ იწყება შემცირება და ა. შ. ცვალებადობის სრული პერიოდი უდრის ორ დღესა და 21 საათს, რასაც ასე აღვნიშნავთ: $2^d 21^h$. სიკაშკაშის ასეთი ცვლილების მიზეზი ვერ ახსნეს 100 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში და ბოლოს 1782 წელს ახსნა ის ინგლისელმა გუდრაიკმა, რომელიც დაბადებიდან ყრუ-მუნჯი იყო. გუდრაიკი



ნახ. 149. ალგოლის სიკაშკაშის გრაფიკი.

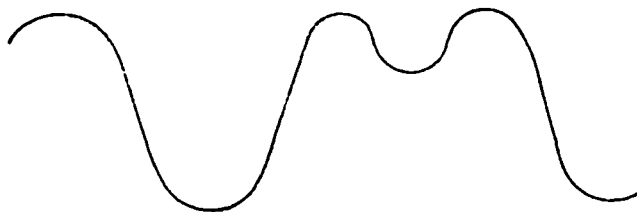
მიხვდა, რომ ეს არის ორმაგი ვარსკვლავი, რომლის ორბიტის სიბრტყე ხედვის სხივის პარალელურია; მთავარი ვარსკვლავი მასში კაშკაშაა, ხოლო თანამგზავრი სუსტია. 150 ნახაზზე I შემთხვევაში ორივე ვარსკვლავის სინათლე ჩანს. II შემთხვევაში ბნელი თანამგზავრი ფარავს მთავარ ვარსკვლავს და ადგილი აქვს სიკაშკაშის მინიმუმს. III შემთხვევაში ისევე მაქსიმუმია, ხოლო IV შემთხვევაში მთავარი ფარავს თანამგზავრს და სიკაშკაშის უმნიშვნელო შემცირება უნდა არსებობდეს. ამას ეწოდება მეორადი მინიმუმი და ის მართლაც შემჩნეულია მგრძნობიარე ფოტომეტრებით. ასეთ ვარსკვლავებს ეწოდება ბნელებადი ორმაგი ვარსკვლავები ანუ ალგოლის ტიპის ცვალებადი ვარსკვლავები; ახლა ისინი ცნობილია 800-



ნახ. 150.

მდე. ზოგ ასეთ ვარსკვლავში მეორადი მინიმუმი უფრო დიდია. ეს გაგამოწვეულია იმით, რომ თანამგზავრ ვარსკვლავსაც საგრძობი სინათლე აქვს. მაგალითად, ქნარის β-ს თანამგზავრი არის დიდი შოკულობის სუსტი ვარსკვლავი; მინიმუმი ადრე იწყება და მეორადი მინიმუმიც საგრძნობია (ნახ. 151). ქნარის β-ს პერიოდი უდრის 12,9 დღე-ღამეს. ამ ტიპის ვარსკვლავებში უდიდესი პერიოდი უდრის 27 დღე-ღამეს.

სპექტრული ანალიზითაც ირკვევა, რომ ბნელებადი ორმაგი ვარსკვლავები მართლაც ორმაგი ვარსკვლავებია. ამიტომ შეიძლება ვთქვათ,



ნახ. 151. ქნარის β-ს სიკაშკაშის ჯგრაფიკა

რომ ალგოლის ტიპის ვარსკვლავები სპექტრულად ორმაგი ვარსკვლავებია, რომელთა ორბიტის სიბრტყე ხედვის სხივის პარალელურია. თუ ასეთ ვარსკვლავში ჩანს ორივე კომპონენტის სპექტრი, მაშინ განისაზღვრება ორბიტის ყველა ელემენტი და მასებიც.

საერთოდ ორმაგ ვარსკვლავთა შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს. მათი საშუალებით წარმოებს ვარსკვლავთა მასების ზუსტი განსაზღვრა; ამათ საფუძველზე აღმოჩენილ იქნა დამოკიდებულება „მასა-სიკაშკაშე“. შემჩნეულია ზოგიერთი სხვა კანონზომიერება ორმაგ ვარსკვლავებში: 1) პერიოდის ზრდასთან ერთად იზრდება ექსცენტრისიტეტი. 2) თუ კომპონენტები მცირედ განსხვავდება სიკაშკაშით,—სპექტრული კლასითაც

მცირედ განსხვავდება. 3) სპექტრულად ორმაგ ვარსკვლავებში უფრო ხშირია ცხელი ვარსკვლავები, ვიდრე ვიზიალურად ორმაგ ვარსკვლავებში.

§ 29. ცვალებადი ვარსკვლავები

a) აღნიშვნები და კლასიფიკაცია

ვარსკვლავთა სიკაშკაშე საერთოდ უცვლელია ისტორიული პერიოდების განმავლობაში, მაგრამ არის ისეთი ვარსკვლავებიც, რომელთა სიკაშკაშე იცვლება. ასეთ ვარსკვლავებს ეწოდება ცვალებადი ვარსკვლავები პირველი ცვალებადი ვარსკვლავი აღმოჩენილი იყო XVI საუკუნის ბოლოს;—ეს იყო Mira ceti, ანუ „ვეშაპის საოცარი“. ამჟამად ცნობილია 8000-ზე მეტი ცვალებადი ვარსკვლავი.

* ცვალებად ვარსკვლავებს თითოეული თანავარსკვლავედში აღნიშნავენ ლათინური ანბანის ბოლო ასოებით: R, S, ... Z; Z-ის შემდეგ იხმარება ორ-ორი ასო RR, RS, ... ZZ, რაც ZZ-ის შემდეგ იწყება თავიდან AA, AB, ..., OZ, თუ რომელიმე თანავარსკვლავედში მეტი ცვალებადია, ვიდრე ასოების ასეთი კომბინაცია გვაძლევს (334), მაშინ დანარჩენი აღნიშვნება V ნიშნით, რომელსაც ქვევით აქვს ცვალებადის რიგითი ნომერი ამ თანავარსკვლავედში, მაგალითად, V 353.

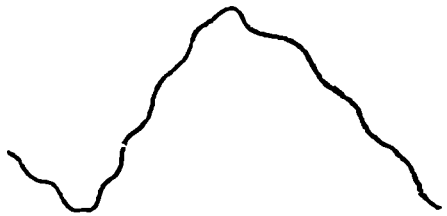
* ცვალებადი ვარსკვლავების სიკაშკაშის მინიმუმის (ან მაქსიმუმის) მომენტს, რომელიმე წლის დასაწყისისთვის აღნიშნავენ იულიუსის დღეებში (§ 9 c), რასაც შემდეგ ნებისმიერი მომენტისთვის უნდა მიემატოს პერიოდი გამრავლებული სრულ პერიოდთა რიცხვზე აღებულ დღემდე. მაგალითად, ალგოლის ანუ პერსეის β-ს მინიმუმის მომენტი 1948 წლის დასაწყისის შემდეგი დროისათვის მოცემულია ფორმულით: $2432552,4293 + 2^d,8673102E$. აქ E აღნიშნავს პერიოდთა რიცხვს 1948 წლის 2 იანვრიდან აღებულ დღემდე. 1948 წლის ნული იანვრისთვის იულიუსის დღეები უდრის 2432551-ს. დღის დასაწყისად ითვლება შუადღე. ამიტომ საწყისი მინიმუმი ამ წელს იყო 2 იანვრის 0,293 ნაწილზე, ე. ი. დაახლოებით საღამოს 7 საათსა და 2 წუთზე. შემდეგისთვის აქედან უნდა გადავთვალოთ მთელი პერიოდები 2,8673102 დღე-ღამე, რამდენიც მოთავსდება აღებულ დღემდე.

ცვალებადი ვარსკვლავები იყოფა ხუთ კლასად: 1) ბნელბადი ცვალებადი ვარსკვლავები; 2) ცეფეიდები; 3) გრძელპერიოდის ცვალებადები; 4) არაწესიერი ცვალებადები და 5) ახალი ვარსკვლავები. ამათგან პირველი კლასი ჩვენ უკვე განვიხილეთ წინა პარაგრაფში როგორც ორმაგი ვარსკვლავები.

b) ცეფეიდები

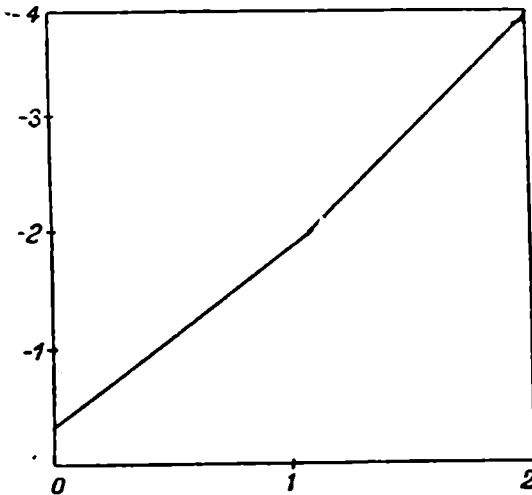
ამ კლასმა სახელი მიიღო ცეფეის მ-დან, რომელიც პირველად შეისწავლეს. ცეფეიდებს აქვს ერთი მაქსიმუმი და ერთი მინიმუმი. მაქსიმუმის შემდეგ სიკაშკაშე ნელა კლებულობს, ხოლო მინიმუმს შემდეგ

2—3-ჯერ ჩქარა მატულობს. შუალედებშიც სიკაშკაშე თანაბრად არ იცვლება და მინიმუმის მიღწევისას უფრო ნელა კლებულობს. სიკაშკაშის ცვლილება $\frac{1}{2}$ -დან 2 ვარსკვლავიერ სიდიდემდე აღწევს. თითოეული ცეფეიდისთვის სიკაშკაშის ცვლილება მაქსიმუმსა და მინიმუმს შორის მუდმივია; მუდმივია აგრეთვე პერიოდიც. პერიოდის მიხედვით ცეფეიდები იყოფა ორ ჯგუფად: 1) მცირე პერიოდისანი, 88^m-დან ერთ დღე-ღამემდე და 2) გრძელ პერიოდისანი 1,5 დღიდან 45 დღე-ღამემდე (იშვიათად 70 დღე-ღამემდე). მეორე ჯგუფს ეწოდება აგრეთვე δ ცეფეის ტიპის ცვალებადები, ხოლო პირველს RR ქნარის ტიპი.



ნახ. 152. ცეფეიდის სიკაშკაშის გრაფიკი.

ცეფეიდები საერთოდ ბუმბერაზებია A, F, G კლასის; მათი აბსოლუტური სიდიდე იცვლება 0-დან—3-მდე. მოკლეპერიოდისანი ცეფეიდები თეთრი ფერისაა A კლასის სპექტრით; გრძელპერიოდისანი ცეფეიდები კი ყვითელი ფერისაა G კლასის სპექტრით. სიკაშკაშესთან ერთად ცეფეიდის ფერიც იცვლება; მინიმუმის დროს ის უფრო ყვითელია, ვიდრე მაქსიმუმის დროს. ტემპერატურა იცვლება 800°-მდე. იცვლება აგრეთვე სხივური სიჩქარე იმავე პერიოდით, როგორც სიკაშკაშე.



ნახ. 153. პერიოდის ლოგარითმი.

ამავე დროს ეს სხივური სიჩქარე ხან მოახლოებას გვიჩვენებს და ხან დაშორებას. დედამიწასთან მოახლოების უდიდესი სიჩქარე შეესაბამება სიკაშკაშის მაქსიმუმს, ხოლო დაშორების უდიდესი სიჩქარე—სიკაშკაშის მინიმუმს.

ეს ამტკიცებს, რომ ცეფეიდები არაა ბნელეზადი ცვალებადები.

ფაქტიურად ცეფეიდი შეიძლება არც გვიანხოვდებოდეს და არც გეშორებოდეს. სხივური სიჩქარის ცვალებადობის ასახსნელად ახლა მიდებულება ე. წ. ედინგტონის პულსაციის თეორია, რომლის მიხედვით ცეფეიდები განიცდის პერიოდულ გაფართოებასა და შეკუმშვას, ფეთქ-

ვას ანუ პულსაციას. ცვლილება აღწევს რადიუსის $\frac{1}{10}$ -ს. შეკუმშვის

დროს ვარსკვლავს აქვს მაქსიმუმი სიკაშკაშე, ხოლო გაფართოების დროს მინიმუმი. თეორიის მიხედვით უდიდესი მოახლოება უნდა ჰქონდეს შეკუმშვის შემდეგ მაქსიმუმსა და მინიმუმს შორის, ხოლო უდიდესი დაშორება გაფართოების შემდეგ. მაგრამ სხივურ სიჩქარეზე დაკვირვება არ ამართლებს ამ თეორიას. უდიდესი ტემპერატურა აქვს შეკუმშვის დროს. ვარსკვლავის ასეთი ცვალებადობის მექანიზმი უცნობია.

* საინტერესო დამოკიდებულება არსებობს სიკაშკაშესა და პერიოდს შორის გრძელპერიოდიან ცვალებადებში. გამოიკვება, რომ რაც დიდია პერიოდი, იმდენად დიდია აბსოლუტური სიკაშკაშე. სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩანს ე. წ. მაგელანის დიდი და პატარა ღრუბლები. მასში იმყოფება ცეფეიდები; ცხადია, ისინი დაახლოებით თანაბარი მანძილით არის ჩვენგან დაშორებული. იქ შენიშნეს პირველად აღნიშნული დამოკიდებულება, რომ პერიოდის ზრდასთან ერთად სიკაშკაშეც იზრდება. მანძილი ზოგიერთ ცეფეიდამდე გაზომეს არაპირდაპირი ხერხით (გეომეტრიული პარალაქსები არაა ცნობილი) და გამოარკვეეს ფუნქციონალური დამოკიდებულების ხასიათი პერიოდსა და აბსოლუტურ სიდიდეს შორის, 153 ნახაზზე მოყვანილია ეს დამოკიდებულება საბჭოთა ასტრონომის ბ. კუკარკინის მიხედვით.

ამ დამოკიდებულების საშუალებით შეიძლება გაგებულ იქნას ისეთი ცეფეიდების პარალაქსი (ანუ მანძილი), რომლის განსაზღვრა სხვა გზით არ ხერხდება. პერიოდის მიხედვით ცნობილი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით (ან გრაფიკით) გაიკვება აბსოლუტური სიდიდე M ; შემდეგ კი გამოითვლება პარალაქსი ფორმულით: $M = m + 5 + 5 \lg p$, სადაც ცნობილი იქნება M და m . ასე განსაზღვრულ პარალაქსებს ეწოდება ცეფეიდური; მათ დიდი მნიშვნელობა აქვს სავარსკვლავეო ასტრონომიაში.

ც) გრძელპერიოდიანი და არაწესიერი ცვალებადი ვარსკვლავები

გრძელპერიოდიანი ცვალებადებისთვის პერიოდი იცვლება 90-დან 700 დღე-ღამემდე; საშუალო პერიოდი უდრის 290 დღე-ღამეს. სიკაშკაშე იზრდება უფრო ჩქარა, ვიდრე კლებულობს (მაქსიმუმს შემდეგ); ამ მხრივ ისინი ჰგავს ცეფეიდებს. სიკაშკაშის მრუდი არ არის მუდმივი; — მაქსიმუმი და მინიმუმი სხვადასხვა სიდიდისაა. პერიოდიც არა მუდმივია. ამ ტიპის ვარსკვლავები წარმოადგენს წითელ ბუმბერაზებს, უმთავრესად M კლასისას. ზოგჯერ მათ სპექტრში შესამჩნევია წყალბადის ნათელი ხაზები.

გრძელპერიოდიანი ცვალებადების ტიპური წარმომადგენელია ვეშაპის საოცარი ვარსკვლავი, ანუ Mira Ceti, რომელიც ვეშაპის თანავარსკვლავედში O ასოთი აღინიშნება. მისი პერიოდი ირყევა 320-დან 370

დღე-ღამემდე; საშუალო პერიოდი უდრის 332 დღე-ღამეს. მაქსიმუმში ვეშაპის საოცარი ჩვეულებრივად მეორე სიდიდისაა, მაგრამ ზოგჯერ უფრო კაშკაშაა და ზოგჯერ უფრო ნაკლებად კაშკაშა. ცვალებადობის მიზეზი უნდა იყოს პულსაცია (შეკუმშვა—გაფართოება), რომელსაც თან ერთვის სხეულის სხვადასხვა მოვლენა ვარსკვლავის ატმოსფეროში.

ზემოთ აღნიშნულს გარდა, არის კიდევ ნახევრად წესიერი და არა-წესიერი ცვალებადი ვარსკვლავები. ნახევრად წესიერი ცვალებადი ვარსკვლავებისთვის სიკაშკაშის მრუდი რამდენიმე პერიოდში ერთნაირია, მაგრამ შემდეგ იცვლება. არაწესიერი ცვალებადის სიკაშკაშე იცვლება სრულიად უწესოდ, თუმცა ეს ცვლილება მცირე ფარგლებში წარმოებს, სახელდობრ, ერთ ვარსკვლავიერ სიდიდემდე. ზოგჯერ გამოირკვა, რომ არაწესიერი ცვალებადი შედგება ორი წესიერი ცვალებადისგან; მაგალითად, ერთი მათგანი ბნელეზადი ვარსკვლავია, მეორე—ცეფეიდი-მათი საერთო სიკაშკაშის ცვლილება კი უწესოდ გვეჩვენება.

✓ d) ახალი ვარსკვლავები

ზოგჯერ ცაზე გამოჩნდება კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელიც მანამდე არ ჩანდა. 1572 წელს ტიჰო ბრაჰემ შენიშნა კასიოპეაში ძლიერ კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელმაც მაქსიმუმის დროს ვენერას სიკაშკაშეს გადააქარბა. ასეთივე ვარსკვლავი უნახავს ჰიპარქს 125 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. 1901 წელს პერსეის თანავარსკვლავედში იპოვეს 2,7 სიდიდის ვარსკვლავი, რომელიც აღმოჩენიდან 27 საათში 0,1 სიდიდეს მიაღწია, ე. ი. ვეგას სიკაშკაშეს გაუტოლდა. ასევე, კაშკაშა ახალ ვარსკვლავებს ჰქონდა ადგილი 1918 წელს არწივის თანავარსკვლავედში, 1925 წელს მხატვარის თანავარსკვლავედში, 1934 წელს ჰერკულესის თანავარსკვლავედში, და სხვ.¹ ზოგჯერ ახალი ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშე არ არის იმდენად თვალსაჩინო, რომ უბრალო თვლით იქნას შემჩნეული; ისინი შეიძლება აღმოჩენილ იქნას ფოტოგრაფიული ხერხით, ხოლო, თუ ხილული სიკაშკაშე მცირეა, მაშინ ახალი ვარსკვლავი შეუმჩნეველად ჩაივლის.

ცის ის ნაწილი, სადაც ახალი ვარსკვლავი გამოჩნდა, გადაღებული ექნება რამდენიმე ხნის წინათ რომელიმე ობსერვატორიას. ყოველთვის ახალის ადგილზე აღმოჩენილა სუსტი ვარსკვლავი. ეს გვიჩვენებს, რომ ახალი ვარსკვლავი მართლა ახალი კი არ არის, არამედ ძველი ვარსკვლავია, რომელსაც მცირე ხილული სიკაშკაშე ჰქონდა, მაგრამ რაღაც გრანდიოზული კატასტროფის შედეგად დიდად მოემატა სიკაშკაშე. ირკვევა, რომ ვარსკვლავიერი სიდიდე ზოგჯერ შემცირდება 10—12-ით, რაც იმას ნიშნავს, რომ სიკაშკაშე მატულობს 10000-დან 60000-მდე.

¹ 1949 წელს ახალი ვარსკვლავი აღმოაჩინა რაისა ბართაიმ აბასთუნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში.

მაქსიმუმის შემდეგ სიკაშკაშე კლებულობს და 3—4 წელში ისევ ძველ სიდიდეს ღებულობს. სიკაშკაშის მატება კი მაქსიმუმამდე, რამდენიმე დღეში და ზოგჯერ რამდენიმე საათში წარმოებს. საინტერესოა თავიდანვე სიკაშკაშის მატებაზე დაკვირვება, მაგრამ წინასწარ არ არის ცნობილი, მრავალი მილიონი ვარსკვლავიდან რომელი „იფიქრებს“ ახალ ვარსკვლავად გადაქცევას.

ზოგიერთი ახალი ვარსკვლავისთვის გაიზომა გეომეტრიული პარალაქსი და შემდეგ გამოთვლილ იქნა აბსოლუტური სიდიდე; მაქსიმუმის დროს აბსოლუტური სიდიდე უდრიდა—7-ს, ე. ი. მზეზე 50000-ჯერ, უფრო კაშკაშა აღმოჩნდა. სიკაშკაშესთან ერთად იცვლება სპექტრიც, მაქსიმუმის წინ ვარსკვლავის სპექტრი ჩვეულებრივია შთანთქმის ბნელი ხაზებით; მაქსიმუმის შემდეგ კი ბნელი ხაზების ადგილზე ჩნდება ფართო ნათელი ზოლები, რომელიც სიკაშკაშის შემცირებასთან ერთად სუსტდება და წარმოიშვება O კლასისათვის დამახასიათებელი გამოსხივების ხაზები. ნათელი ზოლების გაჩენის დროს სხიუერი სიჩქარე გვიჩვენებს მოახლოებას $1000 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ.}}$. ახალი ვარსკვლავის წარმოშობის შესახებ

ფიქრობენ, რომ ზოგიერთი ვარსკვლავის განვითარების გარკვეულ საფეხურზე დგება კატასტროფის მომენტი, როცა ვარსკვლავის შიგნიდან უნდა ხდებოდეს მატერიის გამოყოფა ყოველი მიმართულებით. ამ დროს ვარსკვლავი ფართოდება 300—400 მზის დიამეტრამდე. შემდეგ გამოყოფილი ნივთიერებიდან ახალი ვარსკვლავის გარშემო ჩნდება ნისლოვანი გარსი, რომლის ცენტრშიაც თვით ახალი ვარსკვლავია ნორმალური (ძველი) სიდიდის. ახალი ვარსკვლავიდან მატერიის გამოფრქვევა შეისწავლა ამბარცუმიანმა და გორდელაძემ.

ზოგი ახალი ვარსკვლავი განსაკუთრებით დიდია¹ და მათ ზეახალი ვარსკვლავი ეწოდება. ამათგან ყველაზე კაშკაშა იყო 1572 წელს ტიჰო ბრაჰეს მიერ აღმოჩენილი ახალი ვარსკვლავი.

ზოგი არაწესიერი ცვლებადი ვარსკვლავი სპექტრის მიხედვით ჰგავს ახალ ვარსკვლავებს და მათ ახალის მსგავსი ვარსკვლავები ეწოდება. მათი სიკაშკაშე შედარებით მცირედ იცვლება, დაახლოებით 4 ვარსკვლავიერი სიდიდით.

ახალ ვარსკვლავებთან დაკავშირებით ბურჟუაზიულ მეცნიერებაში გავრცელებული იყო არამეცნიერული ჰიპოტეზა მზის ახალ ვარსკვლავად გადაქცევის შესახებ. მზემ რომ მოიმატოს სიკაშკაშე არა 50000 ჯერ, არამედ 10^6 -თაცკი, დედამიწაზე სიცოცხლის ზოგიერთი ფორმა მოის-

¹ ზოგჯერ ზეახალის სიკაშკაშე მთელ გალაქტიკის სიკაშკაშეს უტოლდება, თუ გაუზიანებელი, რომ გალაქტიკაში 100 მილიარდამდე ვარსკვლავია, მაშინ ზეახალი რალაც უზარმაზარი სიკაშკაშისაა. როგორც ბოლო დროს გამოირკვა, ზეახალის აფეთქების შემდეგ იმ ადგილებში ათასი წლობით გრძელდება ინტენსიური რადიოგამოსხივება. რედ.

პობოდა. ამიტომ „ჰიპოტეზა მზის ახალ ვარსკვლავად გადაქცევის შესახებ დიდად აშინებდა მოსახლეობას. საბჭოთა მეცნიერებმა დაამტკიცეს, რომ ახალ ვარსკვლავებს აქვს განსაკუთრებული ბუნება; კერძოდ გამოიჩინა, რომ ახალ ვარსკვლავებს ძლიერ დიდი მასა ახასიათებს, რაც მზის მასაზე რამდენიმე ათეულჯერ მეტია. ახალის მსგავსი ვარსკვლავების შესწავლის საფუძველზე მოსკოველმა ასტრონომებმა პარენაგომ და კუკარკინმა გამოარკვია, რომ შეიძლება ზოგი ვარსკვლავისთვის ახლავე ვიწინასწარმეტყველოდ გახდებოდა ის ახალ ვარსკვლავად თუ არა. როგორც ირკვევა, შვე სულ სხვა ბუნებისაა და დედამიწას არ მოელის საფრთხე მზის მოულოდნელი აფეთქებისგან.

§ 30. გალაქტიკა

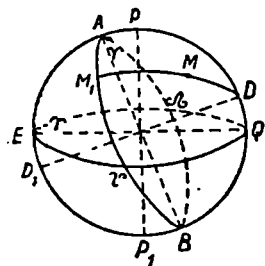
ა) რძის გზა ანუ ირმის ნახტომი. გალაქტიკური კონცენტრაცია

რძის გზა წარმოადგენს მოთეთრო ზოლს, რომელიც მთელ ცას უვლის. ქართულად მას უფრო ხშირად უწოდებენ ირმის ნახტომს. ძველი ბერძნები კი უწოდებდნენ „გალაქსიას“, რაც ნიშნავს რძის წრეს. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ირმის ნახტომი გადის ღრიანკალის, გველმჭერის, შვილდოსანის, არწივის, გედის, ცეფეის, კასიოპეის, პერსეის, მეეტლეს და მარტორქას თანავარსკვლავედებში. ზოგან ის უფრო ფართოა და ზოგან უფრო ვიწრო, ამასთან სხვადასხვა სიკაშკაშე აქვს. ზაფხულში ირმის ნახტომის ნაწილი შვილდოსანისა და გედის თანავარსკვლავედებში უფრო ნათელია, ვიდრე ზამთარში დიდი ძაღლისა და მეეტლეს თანავარსკვლავედებში. ირმის ნახტომის ზოლის შუაზე გატარებულ დიდ წრეს ეწოდება გალაქტიკის წრე, ხოლო მასზე გამავალ სიბრტყეს გალაქტიკის სიბრტყე. გალაქტიკის სიბრტყე ადგენს ეკვატორის სიბრტყესთან 62° -ან კუთხეს. გალაქტიკის ჩრდილო პოლუსი იმყოფება ბერენიკას თმების თანავარსკვლავედში და მისი კოორდინატებია: $\alpha = 12^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = 28^{\circ}$. გალაქტიკის წრეხაზის ეკვატორთან გადაკვეთა აღინიშნება კვანძების ნიშნით (ა და ე). აღმავალი კვანძის ეკვატორული კოორდინატებია: $\alpha = 18^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = 0^{\circ}$ და იმყოფება არწივის თანავარსკვლავედში.

სავარსკვლავეო ასტრონომიაში ძირითად სიბრტყედ მიღებულია გალაქტიკის სიბრტყე; თუმცა ეს სიბრტყე ზუსტად არ არის განსაზღვრული, მაგრამ მას მაინც აქვს უპირატესობა სხვა სიბრტყეებთან შედარებით. ვარსკვლავთა მდებარეობა ამ სიბრტყის მიმართ განისაზღვრება გალაქტიკური კოორდინატებით: გრძელით და განედით. გალაქტიკური განედი ეწოდება რკალურ მანძილს ვარსკვლავიდან გალაქტიკის წრემდე და აღინიშნება b ასოთი. გალაქტიკური გრძელი ეწოდება გალაქტიკის რკალს აღმავალი კვანძიდან განედის წრის გადაკვეთამდე. 154 ნახაზზე.

$b = \sphericalangle MM_1$ და $! = \sphericalangle \Omega AM_1$. ΩAUB გალაქტიკას წრეა, D და D_1 — გალაქტიკის პოლუსები.

იომის ნახტომის სითეთრე გამოწვეულია სუსტი ვარსკვლავებით, რომლებიც ახლოა ერთმანეთთან მიჯრილი და უბრალო თვალთ ცალცალკე არ ჩანს. ჰერშელი, რომელმაც საფუძველი ჩაუყარა სავარსკვლავეო ასტრონომიას, დაინტერესდა, თუ როგორ არის ვარსკვლავები განაწილებული სივრცეში. ყველა ტელესკოპური ვარსკვლავის დათვლა შეუძლებელი აღმოჩნდა და ჰერშელმა შემოიღო სანიშნუო არეების შესწავლის მეთოდი. ეს მეთოდი იმაში მდგომარეობს, რომ აიღება ერთი და იმავე სიდიდის არეები (მაგალითად, 15' დიამეტრით) სხვადასხვა მიმართულებით. ისინი დაშორებულია ერთმანეთისაგან თანაბარი მანძილით და გალაქტიკის სიბრტყის მიმართ ორივე ნახევარსფეროში



ნახ. 154.

სიმეტრიულად მდებარეობენ. გამოიკვია, რომ ვარსკვლავთა სიმკვრივე თანდათან მცირდება გალაქტიკის სიბრტყის დაშორების მიხედვით და ყველაზე ნაკლებია გალაქტიკის პოლუსებში. გალაქტიკის სიბრტყის მახლობლად ვარსკვლავთა შემჭიდროვებას ეწოდება გალაქტიკური კონცენტრაცია; ის უფრო საგრძნობია სუსტი ვარსკვლავებისთვის. ვარსკვლავთა რიცხვი 100 კვადრატულ გრადუსში რაიმე ვარსკვლავიერ სიდიდემდე მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში, ეკლიპტიკის სიბრტყისათვის ($b=0^\circ$) და პოლუსისთვის ($b=90^\circ$).

ვარსკვლავიერი სიდიდე	$b=0^\circ$	$b=90^\circ$	შეფარდება	ვარსკვლავიერი სიდიდე	$b=0^\circ$	$b=90^\circ$	შეფარდება
7-მდე	36	10	3,6	13-მდე	14600	2140	6,8
9-მდე	280	72	3,9	15-მდე	91000	8700	10,4
11-მდე	2080	450	4,8	17-მდე	478000	28800	16,6

19 სიდიდისთვის შეფარდება უდრის 27-ს, ხოლო 21 სიდიდისთვის — 42-ს. ეს გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავები არაა თანაბრად განაწილებული ყოველი მიმართულებით. ამაზე მიგვითითებს აგრეთვე ოლბერსის და ზეელინგერის პარადოქსები, რომლებსაც ადგილი ექნებოდა ვარსკვლავთა უსასრულო რიცხვისა და მათი თანაბრად განაწილების შემთხვევაში.

* ოლბერსის პარადოქსი: თუ ვარსკვლავები უსასრულოდ მრავალია და ისინი თანაბრად არის განაწილებული სივრცეში, მაშინ ცის ფართის ყოველ ერთეულზე უნდა მოდიოდეს უსასრულოდ მრავალი ვარსკვლავი და ცას უნდა ჰქონდეს დამაბრმაველად კაშკაშა სინათლე.

* ზეელინგერის პარადოქსი: თუ ვარსკვლავები უსასრულოდ მრავალია და ისინი თანაბრად არის განაწილებული სივრცეში, მაშინ სივრცის ყოველ წერტილში მიზიდულობის ძალა უნდა იყოს უსასრულოდ დიდი ან გაურკვეველი. ეს პარადოქსები გვაფიქრებინებს, რომ ხილულ ვარსკვლავთა რიცხვი არ არის უსასრულო.

ბ) გალაქტიკა და ადგილობრივი სისტემა

* თანაბარი განაწილების დროს ვარსკვლავთა რიცხვი რაიმე სივრცეში მოცულობის პროპორციულია. წარმოვიდგინოთ კონცენტრული სფეროები დედამიწის გარშემო. დაუშვათ, რომ ვარსკვლავებს ერთნაირი სიკაშკაშე აქვთ, და იმ სფეროს რადიუსი, რომლის საზღვარზეც ჩანს m სიდიდის ვარსკვლავი, აღვნიშნოთ r_m -ით; ამ სფეროში ყველა ვარსკვლავის რიცხვი m სიდიდემდე აღვნიშნოთ $N(m)$ -ით. ასევე $m+1$ სიდიდისთვის მივიღებთ რადიუსს r_{m+1} და ვარსკვლავთა რიცხვს $m+1$ -მდე $N(m+1)$. ნათქვამის თანახმად,

$$\frac{N(m)}{N(m+1)} = \frac{r_m^3}{r_{m+1}^3} \quad (1)$$

m და $m+1$ სიდიდის ვარსკვლავთა სიკაშკაშის შეფარდება პოგსონის ფორმულის თანახმად (§ 21 c), იქნება

$$\frac{l_m}{l_{m+1}} = 2,512 \quad (2)$$

მაგრამ მეორე მხრივ სიკაშკაშეთა შეფარდება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია,

$$\frac{l_m}{l_{m+1}} = \frac{r_{m+1}^2}{r_m^2}; \text{ აქედან } \frac{r_{m+1}}{r_m} = \sqrt{2,512} \quad (3)$$

ჩავსვათ (3) ტოლობა (1)-ში, მივიღებთ:

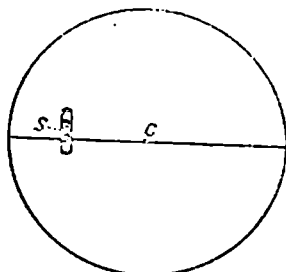
$$\frac{N(m+1)}{N(m)} = 3,98 \approx 4 \quad (4)$$

ეს გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავთა რიცხვის შეფარდება (თუ დაუშვებთ, რომ მათ ერთნაირი საშუალო სიკაშკაშე აქვთ) ორ თანამიმდევარ სიდიდემდე ოთხის ტოლი უნდა იყოს. სინამდვილეში ეს შეფარდება ასეთია: $m=5$ -სთვის უდრის 2,85-ს, $m=10$ -სთვის უდრის 2,61-ს, $m=15$ -სთვის უდრის 2,22-ს, $m=20$ -სთვის უდრის 1,76-ს. ამრიგად, ეს შეფარდება თანდათან უახლოვდება ერთს. ეს იმას ნიშნავს, რომ, თუ ავიღებთ სივრცეს, რომლის საზღვრიდანაც ჩანს რაღაც m სიდიდის ვარსკვლავი, უფრო დიდი სივრცის აღებით ვარსკვლავთა მეტ რიცხვს

ვერ მივიღებთ; ანუ ტელესკოპში ხილულ ვარსკვლავთა სამყარო შემოსაზღვრულია სივრცეში. განსაკუთრებით ეს მოვლენა კარგად იხსნება კოსმიური შთანთქმის ზრდით მანძილის ზრდასთან ერთად. ამ სივრცის იქით ტელესკოპში ჩანს კიდევ ნისლეულები, რომლებიც ძლიერ დიდ ტელესკოპში ხანგრძლივი ექსპოზიციით (ფოტოგრაფიულად) ვარსკვლავებად იშლება, მაგრამ ეს უკვე ვარსკვლავთა სხვა სამყაროს წარმოადგენს. ჩვენს გარშემო ხილულ ვარსკვლავთა სამყაროს ეწოდება გალაქტიკა, ანუ ჩვენი გალაქტიკა.

გალაქტიკის სიბრტყეში ვარსკვლავები საერთოდ ბევრია, მაგრამ განსაკუთრებით შეჯგუფებულია ისინი ორი მიმართულებით. პირველი შეჯგუფება მდებარეობს გალაქტიკური გრძედის 240° -ზე და იგი შედარებით კაშკაშა ვარსკვლავებისგან შედგება, უფრო მეტად 13, 14 სიდიდეებისგან. მეორე შეჯგუფება მდებარეობს გალაქტიკური გრძედის 320° -ზე, რომელიც უფრო სუსტი ვარსკვლავებისგან შედგება. ამ მეორე მიმართულებით იმყოფება გალაქტიკის ცენტრი. გალაქტიკა თავის მხრივ ვარსკვლავთა ქვესისტემებისაგან შედგება. აღნიშნული პირველი მიმართულებით იმყოფება იმ ვარსკვლავთა ქვესისტემის ცენტრი, რომელშიც შედის ჩვენი მზე. მას ეწოდება ადგილობრივი სისტემა.

გალაქტიკას აქვს უზარმაზარი ლინზის ფორმა, რომელიც ვებრტყელებულია და ამის გამო ბადროს მოგვაგონებს. გალაქტიკის დიდი დიამეტრი უდრის 30 000 პარსეკს, ე. ი. დაახლოებით 100 000 სინათლის წელს. მცირე დიამეტრი უდრის 3 000 პარსეკს ანუ დაახლოებით 10 000 სინათლის წელს. მზე იმყოფება ექსცენტრულად, დაახლოებით რადიუსის $2/3$ ნაწილზე ცენტრიდან. ადგილობრივი სისტემის დიდი დიამეტრი უნდა იყოს 1 000 პარსეკი, ხოლო მცირე დიამეტრი 300 პარსეკი. მთელ გალაქტიკაში იმყოფება 150 მილიარდი ვარსკვლავი და მისი მასა 165 მილიარდი მზის მასის ტოლია. გალაქტიკას უნდა ჰქონდეს სპირალური აგებულება.



ნახ. 155.

გალაქტიკას უნდა ჰქონდეს სპირალური აგებულება.

*** c) ვარსკვლავთა მოძრაობა გალაქტიკაში**

მზის აპექსის (§ 27c) გამოსარკვევად კაპტეინმა დაუშვა, რომ ვარსკვლავთა მოძრაობა განუზრჩეველია, მაგრამ მალე შენიშნა—ეს ასე არ არის. აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავთა მოძრაობას ახასიათებს ორი უპირატესი მიმართულება და არა ერთი, როგორც ეს მოსალოდნელი იყო. ამის მიზეზით ცის სფეროზე არის ორი წერტილი, საითაც უპირატესად მოძრაობს ვარსკვლავები. ამ წერტილებს ეწოდება კაპტეინის ხილული ვერტექსები. მისი კორდინატები: I-ის $\alpha = 91^{\circ}$, $\delta = -15^{\circ}$, II-ის $\alpha = 288^{\circ}$,

$\delta = -64^\circ$. ხილული ვერტექსები არ წარმოადგენს ნამდვილ ვერტექსებს, მზის მოძრაობის გამო. მზის მოძრაობაზე შესწორების შემდეგ მიიღება ნამდვილი ვერტექსები; I-სთვის $\alpha = 95^\circ$, $\delta = 10^\circ$, II-სთვის $\alpha = 275^\circ$, $\delta = -10^\circ$. ამ ვერტექსების შემაერთებელ სწორ ხაზზე მოძრავ ვარსკვლავებს ეწოდება კაპტეინის ნაკადები. თითოეული ნაკადი რამდენიმე ათი-ათას ვარსკვლავს შეიცავს. ნაკადის თითოეული ვარსკვლავი მოძრაობს საკუთარი გზით და ამავე დროს გადაადგილდება შესაფერი ვერტექსისაკენ მთელ ნაკადთან ერთად. ამ მხრივ კაპტეინის ორი ნაკადი ჰგავს კოლოების ორ გუნდს, რომლებიც მოძრაობენ რა საწინააღმდეგო მიმართულებით, გაივლიან ერთმანეთს შორის; ამავე დროს გუნდის თითოეული წევრი მოძრაობს თავისი გზით. კაპტეინის ნაკადებში ერთმანეთის მიმართ ვარსკვლავთა საშუალო სიჩქარე უდრის $40 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.

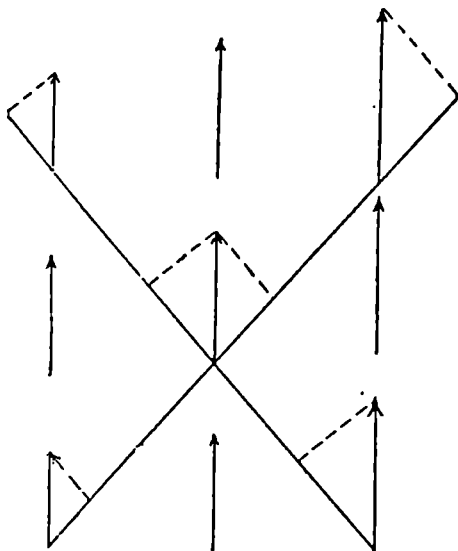
კაპტეინის ნაკადებს გარდა, არსებობს კიდევ მეორეხარისხოვანი ნაკადები. ამათგან უფრო მნიშვნელოვანია დიდი დათვის ვარსკვლავთა ნაკადი, რომელსაც ეკუთვნის დიდი დათვის ხუთი ვარსკვლავი და აგრეთვე 20-მდე სხვა კაშკაშა ვარსკვლავი, მათ შორის სირიუსიც. ასეთი ნაკადი ათამდეა. განსაკუთრებით გამოირჩევა სწრაფად მოძრავი ვარსკვლავები, ანუ მორბენალი ვარსკვლავები, რომელთა სიჩქარე $62 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$ -ზე

მეტია და ზოგჯერ $300 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$ აღემატება.

აღმოჩნდა დამოკიდებულება სპექტრულ კლასსა და ვარსკვლავის სიჩქარეს შორის. ყველაზე ნაკლები სიჩქარე აქვს B კლასის ვარსკვლავებს; შემდეგი კლასის ვარსკვლავების სიჩქარე თანდათან იზრდება, ე. ი. რაც უფრო გვიანი კლასია, მით მეტი სიჩქარე აქვს. მხოლოდ გამონაკლისს წარმოადგენს B-ს წინა კლასი O, რომელსაც უფრო მეტი სიჩქარე აქვს, ვიდრე B-ს და F-საც კი. ამას გარდა, საერთოდ სუსტი ვარსკვლავები უფრო ჩქარა მოძრაობს, ვიდრე კაშკაშა ვარსკვლავები.

თითოეული ვარსკვლავის მოძრაობა უნდა ემორჩილებოდეს მიზიდულობის ძალას, რომელიც წარმოიქმნება გალაქტიკაში შემავალი ყველა სხეულის ურთიერთ მიზიდულობის შედეგად. ფიქრობენ, რომ მთელი გალაქტიკა განიცდის ბრუნვას და ამის გამო თითოეული ვარსკვლავი წრიულად მოძრაობს გალაქტიკის ცენტრის გარშემო. ბრუნვა შეიძლება იყოს ორგვარი: 1) გალაქტიკა შეიძლება ბრუნავდეს როგორც მყარი სხეული, მაშინ ყოველი ვარსკვლავის კუთხური სიჩქარე ერთი და იგივე იქნება. 2) შეიძლება გალაქტიკის ძირითადი მასა შეკუმშული იყოს ცენტრში; მაშინ ვარსკვლავები ისე იმოძრავენ ცენტრის გარშემო, როგორც ცთომილები მზის გარშემო და მათი კუთხური სიჩქარეც სხვადასხვა იქნება. ეს მეორე მოსაზრება უფრო სწორი უნდა იყოს.

* გალაქტიკის ცენტრთან ახლო მყოფი ვარსკვლავების სიჩქარე მეტია, ზოლო დაშორებით ნაკლები. ამ შემთხვევაში სხივური სიჩქარე არ გამოხატავს ნამდვილ სიჩქარეს. 156 ნახაზზე მარჯვნივ, ვთქვათ, არის გალაქტიკის ცენტრი. მარცხნივ, მდებარე ვარსკვლავის ნამდვილი სიჩქარე უფრო ნაკლებია, ვიდრე მარჯვნივ, ე. ი. ცენტრთან უფრო ახლო მდებარე ვარსკვლავის. შუა ვექტორი, ვთქვათ, გამოსახავს მზის სიჩქარეს.



ნახ. 156.

მზისა და ვარსკვლავის შემაერთებელ სწორ ხაზზე ვარსკვლავის სიჩქარის გეგმილი უფრო ნაკლებია, ან უფრო მეტია, ვიდრე მზის სიჩქარის გეგმილი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ვარსკვლავი გეშორდება ან გვიახლოვდება ჩვენ. ზოგიერთი კი უძრავად გვეჩვენება, ვინაიდან სხივური სიჩქარე არა აქვთ.

მორბენალი ვარსკვლავები შეიძლება ძლიერ ნელი ვარსკვლავები იყოს, ან მოძრაობდეს მზის საწინააღმდეგო მხარეს, გალაქტიკის ცენტრის გარშემო; მზე კი შეიძლება „გარბოდეს“ მათ მიმართ. მზის სისტემის სიჩქარე თავის ორბიტაზე გალაქტიკის ცენტრის გარშემო უდრის

$$275 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}.$$

ახლოებით 200 მილიონ წელს. დედამიწა თავის არსებობის განმავლობაში 15-ჯერ მაინც შემოივლიდა გალაქტიკის ცენტრის გარშემო.

* ოორტის მიხედვით ვარსკვლავის სხივური სიჩქარე გამოწვეული გალაქტიკის ბრუნვით გამოისახება ფორმულით:

$$v_r = r A \sin 2(l - l_0) \quad (5)$$

აქ l_0 არის გალაქტიკის ცენტრის გრძედი, l —ვარსკვლავის გრძედი (გალაქტიკური), A —მუდმივია, r —დაშორება მზიდან.

§ 31. ნისლეულები და ვარსკვლავთა ბრუნვები

ა) გალაქტიკური ნისლეულები და გაბნეული მატერია

გალაქტიკის ფარგლებში ვარსკვლავებს გარდა ვხვდებით აგრეთვე გაიშვიათებულ მატერიას, რომელიც ტელესკოპში ბუნდოვანი ფორმით ჩანს. მათ ეწოდება გალაქტიკური ნისლეულები. ფორმის მხრივ გალა-

ქტიკური ნისლეულები ორგვარია: პლანეტარული და დიფუზიური. პლანეტარულ ნისლეულებს აქვს დისკოს ფორმა და ამით ისინი ჰგავს ციომილებს (პლანეტებს). ასეთი ნისლეულის ცენტრში მოთავსებულია O კლასის სუსტი ვარსკვლავი (ნახ. 157). ნისლეული ერთი შეხედვით რგოლს მოგვაგონებს, მაგრამ ეს გვიჩვენებს, რომ მისი ნამდვილი ფორმა სფერულია, რომელიც გარს აკრავს ვარსკვლავს და ამის გამო უფრო მეტი მატერია გვემილდება კიდზე. შეიძლება ასეთი ნისლეული წარმოშობილი იყოს ახალ ვარსკვლავისგან. სულ ასეთი ნისლეული ცნობილია 290-მდე. ისინი დიდი მანძილითაა ჩვენგან დაშორებული, რამდენიმე ასი და ზოგჯერ ათასი პარსეკით.

დიფუზიური ნისლეულები თავის მხრივ იყოფა ორად: ნათელ და ბნელ ნისლეულებად. საერთოდ დიფუზიურ ნისლეულებს არა აქვს გარკვეული ფორმა და დიდი მოცულობით გამოირჩევა. ნათელი ნისლეულის მაგალითია ორიონის ნისლეული; მისი დიამეტრი უდრის 30'-ს, მაგრამ სუსტი ნათება ვრცელდება მთელ ცის შერთხედზე. დაშორება უდრის 280 პარსეკს, ხოლო ნამდვილი დიამეტრი 5 პარსეკს (ანუ 16 სინათლის წელს).

ნათელი ნისლეულის მახლობლად ყოველთვის იმყოფება O ან B კლასის კაშკაშა ვარსკვლავი. ნისლეულის ნათება გამოწვეულია ამ ვარსკვლავის გავლენით; სპექტრი არის ზოგჯერ გამოსხივების და ზოგჯერ შთანთქმის. შთანთქმის სპექტრს იძლევა ის ნისლეული, რომელიც მყარი ნაწილაკებისგან (მტვერისგან) შედგება; ამ შემთხვევაში ნისლეულის ნათება ვარსკვლავის არეკლილი სინათლით აიხსნება. გამოსხივების სპექტრს იძლევა გაზის ატომებისგან შემდგარი ნისლეული. აღსანიშნავია, რომ ზოგჯერ ნისლეულის ნათება უფრო მეტია, ვიდრე ვარსკვლავისა. ეს აიხსნება იმით, რომ გაზის ატომები შთანთქავს თვალისათვის უხილავ ულტრაიისფერ სხივებს და შემდეგ გამოასხივებს ემისიური ხაზების სახით ხილულ სხივებში. ნისლეულების სპექტრში ნაპოვნი იყო ორი მწვანე ხაზი, რომელიც ცნობილ ელემენტს არ ეკუთვნოდა და უწოდეს „ნებულია“ (nebula—ნისლეული). შემდეგ გამოირკვა, რომ ეს ხაზები წარმოსდგება ძლიერ გაიშვიათებული და იონიზირებული ეანგბადისა და აზოტისაგან.



ნახ. 157. პლანეტარული ნისლეული.

ბნელი ნისლეულების მაგალითს წარმოადგენს ბნელი ადგილები ირ-

მის ნახტომში. ისინი შედგება მსხვილი და წვრილი კოსმოსური მტვერის ნაწილაკებისაგან. მსხვილი ნაწილაკები შთანთქავს სინათლეს და აგრეთვე ახდენს ეკრანირებას ნისლეულის უკან მყოფი ვარსკვლავების და ფარავს მათ. წვრილი ნაწილაკები აბნევენ სინათლეს რელეის კანონის თანახმად და იწვევს მათ შესუსტებასა და გაწითლებას. ხარაძის, ვაშაკიძის და მელნიკოვის განსაზღვრით წვრილი ნაწილაკების დიამეტრი უდრის სანტიმეტრის ერთმეასიათასედ¹ ნაწილს. მსხვილი ნაწილაკები უფრო იშვიათია. ამბარკუმიანის და გორდელაძის გამოკვლევით ბნელი ნისლეულები ცალ-ცალკე არის განლაგებული სივრცეში; ხედვის სხივის გასწვრივ ათას პარსეკზე მოდის სამი ასეთი ნისლეული. თითოეული ბნელი ნისლეული ამცირებს სინათლის სხივს 0,3 ვარსკვლავიერი სიდიდით.

გარდა ნისლეულებისა არსებობს აგრეთვე ვარსკვლავთშორისი გარემო ანუ გაბნეული მატერია მტვერისა და ატომების სახით. ერთნაირი კლასის ვარსკვლავები გვეჩვენება იმდენად უფრო წითელი და სუსტი, რამდენად უფრო შორს არის. ამის მიზეზია გაბნეული მატერია. ვარსკვლავთა შორის არსებული მეტისმეტად გაიშვიათებული მტვერის ნაწილაკები შთანთქავს და აბნევენ სინათლეს, როგორც ბნელ ნისლეულებში. გარდა ამისა, ვარსკვლავის სპექტრში ზოგჯერ ჩანს დამატებითი ხაზები; მაგალითად, O კლასის ვარსკვლავში გამოჩნდება კალციუმის ხაზი. ეს გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავთ შორის სივრცეში არის აგრეთვე გაზის ატომები ან ე. წ. გალაქტიკური სუბსტრატი, რომლებიც ედინგტონის აზრით თანაბრადაა განაწილებული და აწარმოებენ თავის შესაფერო ტალღის ენერჯის შთანთქმას. ამას ეწოდება სელექტიური ანუ შერჩევითი შთანთქმა. ორმაგ ვარსკვლავებში კალციუმის ხაზები უძრავია და არ განიცდის პერიოდულ გადაადგილებას, როგორც სხვა სპექტრული ხაზები; ეს ამტკიცებს, რომ კალციუმის ხაზები ვარსკვლავს არ ეკუთვნის. გაბნეული მატერია უფრო სქელია გალაქტიკის სიბრტყის მახლობლად.

ბ) ვარსკვლავთა გროვები

ცის ზოგიერთ ადგილზე ვხვდებით ვარსკვლავთა შეჯგუფებას ანუ ვარსკვლავთა გროვებს. ვარსკვლავთა გროვის ყველასათვის ცნობილ მაგალითს წარმოადგენს კრებული ანუ პლეადები, რომელიც კუროს თანავარსკვლავედში იმყოფება. ზოგიერთი გროვა, რომელიც დიდი მანძილით არის ჩვენგან დაშორებული, ერთი შეხედვით ნისლეულს მოგვაგონებს.

¹ დამტკიცებულია, რომ მტვეროვანი ნაწილაკების დიამეტრების განზომილება, რომელიც შთანთქმას იწვევს ვარსკვლავთშორისეთ სივრცეში გაბნეული სინათლის ტალღის სიგრძის რიგისაა. რედ.

ნისლეულებისა და ვარსკვლავთა გროვის კატალოგი პირველად შეადგინა მესიემ. ის ეძებდა კომეტას და ეშლებოდა ვარსკვლავთა გროვაში და ნისლეულში, რის გამოც გადაწყვიტა ამ უკანასკნელთა მდებარეობა აღენიშნა რუკაზე. მესიეს კატალოგს ახლაც მიუთითებენ ზოგიერთი გროვის ან ნისლეულის აღსანიშნავად; მაგალითად, მესიე 31 (M31) აღნიშნავს ცნობილ ნისლეულს ანდრომედას თანავარსკვლავედში. შემდეგ უფრო ვრცელი ასეთი კატალოგი შეადგინა ჰერშელმა. ვარსკვლავთა გროვები იყოფა ორად: 1) სფერული ვარსკვლავთა გროვები და 2) ღია ანუ გალაქტიკური ვარსკვლავთა გროვები.

სფერული ვარსკვლავთა გროვები ხასიათდება ვარსკვლავთა დიდი კონცენტრაციით. ისინი იშლება ცალკეულ ვარსკვლავებად ძლიერ ტელესკოპში. თითოეული სფერული გროვა შეიცავს 35000-მდე ვარსკვლავს. შთ შორის არის ცეფეიდებიც და მათი საშუალებით გაზომილ იქნა მანძილი სფერულ გროვამდე. ცეფეიდის პერიოდის მიხედვით იპოვება აბსოლუტური სიდიდე M , ხილული სიდიდე m გაიზომება უშუალო დაკვირვებით, რის შემდეგაც ფორმულით $M = m + 5 - 5 \lg p$ გაიგება პარალაქსი და შემდეგ მანძილი. გამოდის, რომ სფერული გროვები დაშორებულია ჩვენგან 7000-დან 70000 პარსეკამდე. როგორც ფიქრობენ, სფერული გროვები იმყოფება გალაქტიკის გარეთ, მის საზღვარზე. ზემოთ აღნიშნული მანძილების განსაზღვრის დროს მხედველობაში არ ყოფილა მიღებული სინათლის შთანთქმა, რის გამოც ნამდვილი მანძილი რამდენადმე უფრო მცირე უნდა იყოს. ამავე მიზეზით გალაქტიკის განზომილებაც ნაკლები იქნება § 30 ბ-ში მოყვანილ სიდიდეზე. სულ ცნობილია ასამდე სფერული გროვა.

გალაქტიკური ვარსკვლავთა გროვები, თავის მხრივ, იყოფა ორად: 1) გაბნეული და 2) „მკერივი“ ანუ კომპაქტური. გაბნეული გალაქტიკური გროვის მაგალითს წარმოადგენს კრებული (პლუადები) და გაიდები აღდებარანის მახლობლად (კუროში). სულ ცნობილია 350-მდე გალაქტიკური ვარსკვლავთა გროვა. თითოეული გალაქტიკური ვარსკვლავთა გროვა 150-მდე ვარსკვლავს შეიცავს და მოცულობით დაახლოებით ერთნაირია. ასეთი გროვის ყველა ვარსკვლავს ერთნაირი სხივური სიჩქარე აქვს; სინამდვილეში ისინი პარალელურად მოძრაობენ და მათი საკუთარი მოძრაობა ერთ წერტილში იკვეთება, რომელსაც გროვის აპექსი ეწოდება.

* თუ ცნობილია გროვის საკუთარი მოძრაობა და სხივური სიჩქარე, შეიძლება გამოთვლილ იქნას პარალაქსი ანუ მანძილი (ნახ 158). ვთქვათ, კუთხური დაშორება გროვისა და მის აპექსს შორის არის φ ; სხივური სიჩქარე აღენიშნოთ v_r -ით. მართობული სიჩქარე v_t იქნება

$$v_t = v_r \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

მეორე მხრივ, § 27 c-ს (8') ფორმულით

$$v_i = 4,74 \frac{\mu}{p} \quad (2)$$

ამ ორი ფორმულის მარჯვენა მხარეების ერთმანეთთან გატოლებით განისაზღვრება პარალაქსი

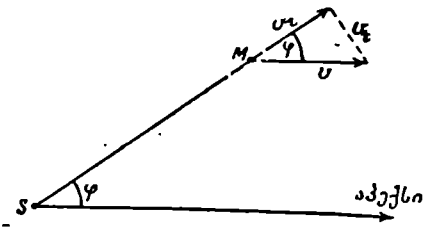
$$p = 4,74 \frac{\mu}{v_r t \epsilon \varphi} \quad (3)$$

* ამას ეწოდება ვარსკვლავთა გროვის პარალაქსი.

* ასეთიზხეობით გამოირკვა, რომ კრებულის დაშორება უდრის 110 პარსეკს, ხოლო მისი დიამეტრი—10 პარსეკს. ასევე განსაზღვრულ იქნა სხვა გროვების მანძილი და განზომილება.

თითოეული ვარსკვლავთა გროვა შეიძლება განვიხილოთ აგრეთვე, როგორც ვარსკვლავთა ნაკადი (§ 30 c).

ვ. ამბარცუმიანმა აღმოაჩინა და შეისწავლა წარმოშობით ერთმანეთთან დაკავშირებული ვარსკვლავთა ჯგუფები, რომელსაც მან ვარსკვლავთა ასოციაციები უწოდა. ამ შრომისთვის მას მიენიჭა სტალინური პრემია 1949 წელს. თითოეულ ასოციაციაში შემავალი ვარსკვლავები ერთი და იმავე ფიზიკური ბუნებისაა და შედარებით მცირე ასაკის ვარსკვლავებს წარმოადგენს, რომლებიც რამდენიმე მილიონი წლის წინათ წარმოშობილა. ეს გვიჩვენებს, რომ ვარსკვლავები და მთელი ასოციაცია წარმოშობილია შედარებით ახლო წარსულში. ზოგიერთი ასეთი ვარსკვლავთა ჯგუფები ახლაც უნდა წარმოიშებოდეს. ეს აღმოჩენა არღვევს ბურეუზაიული იდეალისტი მეცნიერების მტკიცებას, ყველა ვარსკვლავის, ანუ მთელი სამყაროს ერთდროული წარმოშობის შესახებ.

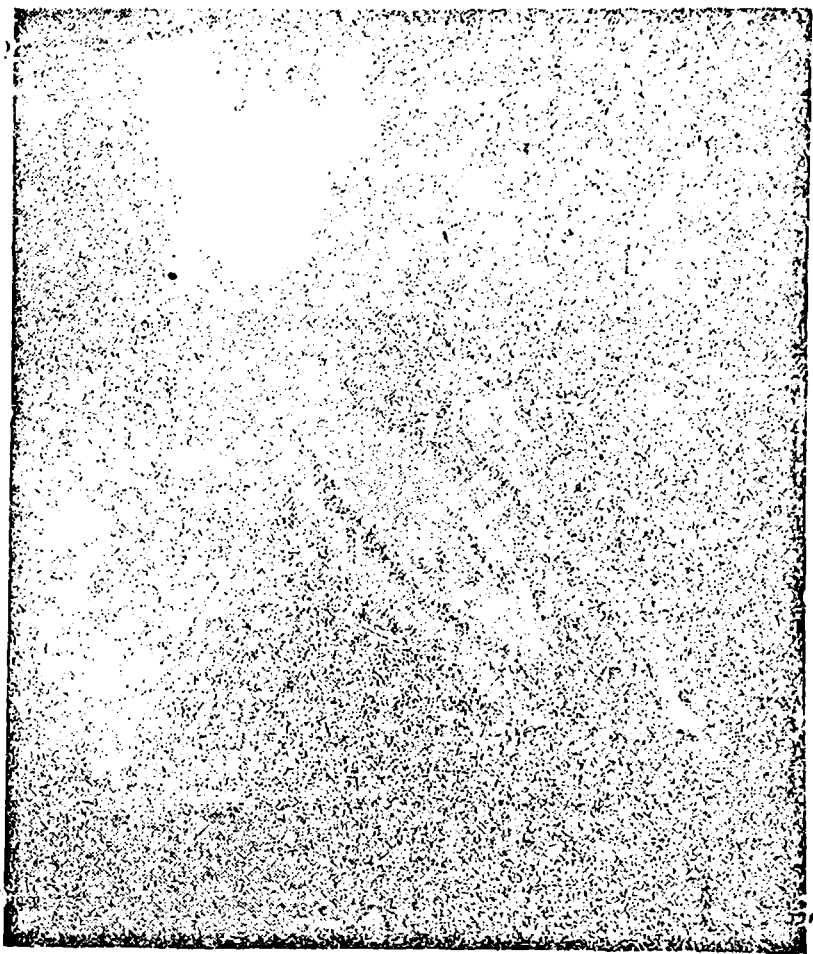


ნახ. 158.

c) გარეგალაქტიკური ნისლეულები

XVIII საუკუნის ბოლოდან აღმოჩენილია მრავალი ნისლეული, რომელიც მდებარეობს ჩვენი გალაქტიკის გარეთ. მათ ეწოდება გარეგალაქტიკური ნისლეულები. ფორმის მიხედვით ისინი იყოფა წესიერ და არაწესიერ ნისლეულებად. არაწესიერი ფორმის ნისლეული მცირეა და სულ 30%-ს შეადგენს. წესიერი ფორმის ნისლეულებიდან 20%-ს არის ელიფსური, ხოლო დანარჩენი სპირალურია. გალაქტიკის სიბრტყესთან მიახლოებისას გარეგალაქტიკური ნისლეულები თანდათან ნაკლებად

ჩანს. ეს აიხსნება შთანთქმავი მატერიის არსებობით, რომელიც გალაქტიკის სიბრტყის მახლობლად უფრო შეშქიდროებულია. ზოგან, თუმცა იშვიათად, გალაქტიკის სიბრტყეშიც მოიპოვება გამჭვირვალე არე და აქ როგორც ფანჯარაში ჩანს გარეგალაქტიკური ნისლეულები. ასეა, მაგალითად, ორიონის თანავარსკვლავედში, სადაც აღმოჩენილია რამ-



ნახ. 159. ანდრომედას ნისლეული.

დენიმე გარეგალაქტიკური ნისლეული. შედარებით დიდი „ფანჯარა“ არის აღმოჩენილი გალაქტიკის ცენტრის მიმართულებით ($\alpha = 17^{\text{h}} 36^{\text{m}}$, $\delta = 59^{\circ}$) და იქ იპოვეს 750 გარეგალაქტიკური ნისლეული. ახლა ფოტოგრაფიული ხერხით აღმოჩენილია ასიათასამდე გარეგალაქტიკური ნისლეული.

ელიფსური ნისლეულები სხვადასხვა ფორმის ელიფსს წარმოადგენს, რომელიც ცენტრში უფრო კაშკაშაა, ხოლო კიდეებში სუსტი. მათ უნდა ჰქონდეს გაბრტყელებული ელიფსოიდის ფორმა. სპირალურ ნისლეულებს ძლიერ შებრტყელებული ფორმა აქვს და მათი ცენტრი უფრო ნათელია, ვიდრე კიდეები. ცენტრიდან გამოდის ორი ან მეტი შტო, რომლებიც სპირალურად ეხვევა ცენტრის გარშემო. შტოები ზოგჯერ ვიწროა და ადვილად გამოიყოფა ერთმანეთისგან, ზოგჯერ კი ფართოა და დაყოფილია რამდენიმე ნაწილად.

ძლიერ ტელეკოპში ფოტოგრაფიული დაკვირვების ხერხით, ხანგრძლივი ექსპოზიციის დროს გარეგალაქტიკური ნისლეულის შტოები იყოფა ცალკეულ ვარსკვლავებად. ამ ვარსკვლავებში ზოგიერთი არის ცეფეიდი და მათი საშუალებით გაიგება მანძილი გარეგალაქტიკურ ნისლეულამდე. ცეფეიდის პერიოდის საშუალებით გაიგება აბსოლუტური სიდიდე M (§ 29, ს), დაკვირვებით უშუალოდ გაიზომება ხილული სიდიდე m და პარალაქსი გაიგება ფორმულით: $M = m + 5 + 5 \lg p$, რის შემდეგაც გაიგება მანძილი D , $D = \frac{1}{p''}$ პარსეკებში. ეს მანძილი მაგელანის ორ ღრუბელს გარდა ძლიერ დიდი აღმოჩნდა—500000 სინათლის წელზე უფრო მეტი. უახლოესი გარეგალაქტიკური ნისლეულების დაშორება ასეთია:

ნისლეული	დაშორება სინათლის წლებში
მაგელანის დიდი ღრუბელი	85000
მაგელანის მცირე ღრუბ.	95000
NGC 6822 ¹	530000
M 31 (ანდრომედაში)	680000
M 32 (ანდრომედაში)	680000
NGC 205	720000
M 33 (ანდრომედაში)	720000
IC 1613	900000

მანძილისა და ხილული სიდიდის მიხედვით გამოითვლება გარეგალაქტიკური ნისლეულების განზომილება. ისინი აღმოჩნდა დაახლოებით ჩვენი გალაქტიკის ტოლი; ამიტომ მათ ეწოდება გალაქტიკები. მაგალითად, ანდრომედას ენობილ ნისლეულს M 31-ს აღმოაჩნდა დიამეტრი 30000 პარსეკი, ე. ი. ისეთი, როგორც ჩვენს გალაქტიკას; მასით კი ცოტათი უფრო მცირეა.

ზოგჯერ გარეგალაქტიკურ ნისლეულთა ჯგუფი ახლოს იმყოფება ერთმანეთთან. ფიქრობენ, რომ ეს ნისლეულები დაკავშირებულია ერთმანეთთან და ჰქმნის დიდ სისტემებს ანუ ზეგალაქტიკებს.

¹ ნისლეულის დასახელებაში მოცემულია კატალოგი და ნომერი. NGC 6822 ნიშნავს—ახალი საერთო კატალოგის 6822 ნომერს, M 31—მესიეს კატალოგის 31 ნომერს და სხვ.

გარეგალაქტიკური ნისლეულების სპექტრი მიიღება რამდენიმე დღე-
ღამის ექსპოზიციით. საერთო სპექტრი ეკუთვნის G კლასს, მაგრამ
სპექტრული ხაზები გადაადგილებულია წითელი ბოლოსკენ; ამას ეწო-
დება წითელი გადაადგილება. დოპლერ-ბელოპოლსკის პრინციპით ეს
ნიშნავს დაშორებას. აღმოჩნდა, რომ სამს გარდა ყველა გარეგალაქტი-
კური ნისლეული გვშორდება ძლიერ დიდი სიჩქარით; სახელდობრ,
თითქმის ყველა სიჩქარე 1000 $\frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}}$ -ზე მეტია. იმავე დროს, რაც უფრო

შორს არის ნისლეული, მით უფრო მეტი სიჩქარით გვშორდება ის.
აქედან ზოგიერთი ბურჟუაზიული მეცნიერი აკეთებს ფიდიესტურ დასკვ-
ნებს. ბელგიელი აბატი ლემეტრი ამბობს, რომ სამყარო ფართოდება
და მიისწრაფვის გაბნევისაკენ; საშუალო სიმკვრივე მცირდება. აქედან
ერთი ნაბიჯია ლემეტრის მიერ სამყაროს ხელმეორედ შექმნის იდეამდე.
ასეთივე დასკვნამდე მიდის ასტროფიზიკოსი მილნი, რომლის აზრით, რაც
მეტია ნისლეულის სიჩქარე, იმდენად შორს წავიდა ის საწყისი ადგილი-
დან; წინათ კი ისინი იყო შეკუმშული. მილნი ფიქრობს ნისლეულთა სი-
ჩქარით და დაშორებით შეიძლება კიდევ იქნას გამოთვლილი სამყაროს
შექმნის მომენტი. ასეთი აზრსა არამეცნიერულია და მიუღებელია დია-
ლექტიკური მატერიალიზმისათვის, რომლის აზრით სამყარო არის უსას-
რულო როგორც დროში, ისე სივრცეში. ენგელსი ამბობს: „სამყაროთა
მარად განმეორებადი ურთიერთმომდევნობა დაუსრულებელ დროში
მხოლოდ ლოგიკური შეესებაა უთვალავ სამყაროთა ერთმანეთის გვერდით
არსებისა დაუსრულებელ სივრცეში“¹.

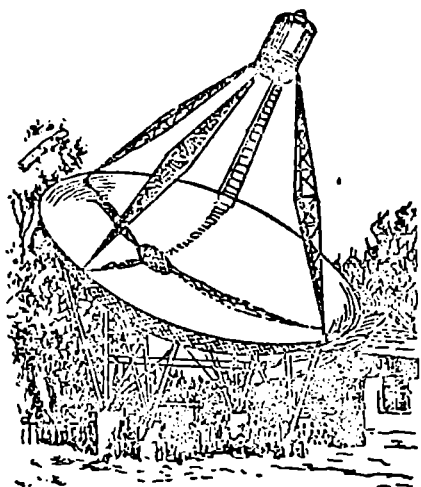
წითელი გადაადგილება დაწვრილებით ჯერ კიდევ არ არის შესწავ-
ლილი, მაგრამ აშკარაა რომ იგი არ გამოსახავს გარეგალაქტიკურ ნის-
ლეულთა ნამდვილ სიჩქარეს. ამ შემთხვევაში სინათლე მოდის რამდენიმე
მილიონი წლის განმავლობაში ისეთ სივრცეში, რომლის ბუნება ჩვენ-
თვის უცნობია. ფარდობითობის თეორია ამტკიცებს, რომ ფიზიკის ჩვე-
ულებრივი კანონები სამართლიანია ე. წ. ინერციულ სისტემაში, როგო-
რადაც დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ ჩვენი მზის სისტემა. გალაქტი-
კის ფარგლებში კიდევ შეიძლება დაახლოებით გამოვიყენოთ ნიუტონის
ფიზიკის კანონები; მაგრამ „დიდი სამყარო“ არა ინერციულია და
იქ ეს კანონები სამართლიანი არ არის. ამიტომ წითელი გადაადგი-
ლება დიდი სამყაროს ახალ თვისებას ამჟღავნებს და არა გარეგალაქ-
ტიკური ნისლეულების დიდი სიჩქარით დაშორებას ყოველი მიმართუ-
ლებით.

დ) რადიო ასტრონომია

რადიოლოკაციის ანალოგიურად ასტრონომებმა სცადეს გაეგზავნათ
რადიო ტალღები მთვარეზე და სხვა ციურ ობიექტებზე. ეს ტალღები

¹ ე. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 27.

აირეკლებოდა და რამდენიმე ხნის შემდეგ მიიღებოდა დედამიწაზე. რადიო ტალღების დაგვიანების მიხედვით, როგორც ცნობილია, შეიძლება ზუსტად განისაზღვროს მანძილი მოკლეულ ობიექტამდე (რომელიც იწვევს ტალღების არეკლვას). ამის შემდეგ თანდათან განვითარდა ახალი დარგი—რადიოასტრონომია, რომლის ერთ-ერთი ამოცანაა ზუსტი მანძი-



ფ. ზ. ნახ. 160. რადიოტელესკოპი.

ლების განსაზღვრა ცთომილებამდემაგრამ უმთავრესი ის არის, რომ ზოგიერთი ციური სხეული, როგორც გამოიკვია „რალაცას ლაპარაკობს“, რომ ისინი გამოასხივებს გარკვეული სიგრძის რადიო ტალღებს. ამ გამოსხივების მოსასმენ იარაღს ეწოდება რადიოტელესკოპი. რადიოტელესკოპი შედგება მოკლეთალღებიანი ძლიერი რადიო მიმღებისგან და უზარმაზარი თეფშის ფორმის ანტენისაგან (ნახ. 160). საკმაოდ რთული მოწყობილობით ანტენა „თეფში“ შეიძლება მიმართულ იქნას ციური ობიექტისაკენ და დამკვირვებელი მიმღებთან ისმენს მის გამოსხივებას.

რადიო გამოსხივება გამოდის უმთავრესად ირმის ნახტომიდან, მაგრამ მისი სხვადასხვა ნაწილი სხვადასხვანაირად გამოასხივებს. ამას გარდა, გამოსხივების ძალაც იცვლება პერიოდულად, როგორც ცვალებადი ვარსკვლავების სიკაშკაშე. გამოიკვია, რომ რადიო გამოსხივების წყარო ორგვარია: 1) გამოსხივების ნაწილი აიხსნება თვალისათვის უხილავი სხეულებით. გამოსხივების ასეთ წყაროს ეწოდება „რადიოვარსკვლავები“. ახლა გამოიკვია, რომ „რადიოვარსკვლავები“ ეს სწრაფათ მოძრავი ელექტრონების გამოსხივებაა მაგნიტურ ველში. 2) რადიო გამოსხივების მეორე ნაწილი წარმოსდგება სავარსკვლავო სივრცეში გაბნეული იონიზირებული გაზისაგან. ამ ორი წყაროს განაწილებას თეორიულად სწავლობდა და სწავლობს საბჭოთა ასტრონომი შკლოვსკი. გაზობრივი რადიო გამოსხივების წყარო უმთავრესად იმყოფება გალაქტიკის სიბრტყის მახლობლად; მაქსიმალური გაზობრივი გამოსხივება აქვს გალაქტიკის ცენტრს. „რადიოვარსკვლავების“ განაწილებას კი არ ახასიათებს თვალსაჩინო უთანაბრობა, —კერძოდ არა აქვთ მათ გალაქტიკური კონცენტრაცია.

ამას გარდა, მცირე რადიო გამოსხივებას იძლევა აგრეთვე ჩვეულებრივი ვარსკვლავებიც, კერძოდ, მზე. მზის რადიო გამოსხივება იყოფა ორ მდგენელად. პირველი მდგენელი შედგება მოკლეთალღიანი გამოს-

ხივებისგან, უმეტესად 10 სანტიმეტრზე ნაკლები ტალღის სიგრძით დახასიათდება თითქმის უცვლელი ინტენსივობით. მეორე მდგენელია ერთმეტრიანი ტალღის სიგრძის გამოსხივება, რომელიც გაცილებით უფრო ინტენსიურია, მაგრამ ზოგჯერ მკვეთრი არაწესიერი ცვალებადობით „შხეფებით“ და „ბიძგებით“ ხასიათდება.

საერთოდ რადიო ასტრონომია სწრაფად ვითარდება და საინტერესო შედეგებს გვიპირდება ციურ სხეულთა ბუნების გამორკვევის საქმეში.

§ 32. კოსმოგონია

1. ა) კანტის ჰიპოთეზა სამყაროს წარმოშობის შესახებ

როგორ წარმოიშვა სამყარო? ადამიანს მუდამ აინტერესებდა ეს საკითხი, მაგრამ ყოველთვის არ. შეეძლო მისი დასმა მეცნიერულ ნიადაგზე. ამიტომ უძველეს დროში ადამიანი კმაყოფილდებოდა რელიგიური მითებით სამყაროს შექმნის შესახებ. შედარებით ახლო წარსულში ამ საკითხს მიუწვდომლად თვლიდნენ მეცნიერებისთვის და მას ღმერთის საიდუმლოდ აცხადებდნენ. ნიუტონმა აღმოაჩინა მიზიდულობის კანონი და მის საფუძველზე ახსნა ცთომილთა მოძრაობა მზის გარშემო, მაგრამ როგორ დაიწყო ეს მოძრაობა მან ვერ გამოარკვია და პირველი ბიძგის შესასრულებლად ღმერთის ყოვლისშემძლებლობას მიმართა. ამ დროს საერთოდ ბატონობდა „შეხედულება ბუნების აბსოლუტურ უცვლელობაზე. ამ შეხედულების თანახმად, რა გზითაც უნდა წარმოშობილიყო ბუნება: ერთხელ მოცემული იგი დარჩა ისე, როგორც იყო, სანამ არსებობს. პლანეტები და მათი თანამგზავრნი, ერთხელ მოძრაობაში მოყვანილნი იდუმალი „პირველი ბიძგით“, განაგრძობდნენ ბრუნვას მათთვის მიკუთვნილ ელიპსებზე მარადისობიდან მარადისობამდე ანდა, ყოველ შემთხვევაში ყველა ნივთთა დასასრულამდე¹“. ეს გაქვევებული შეხედულება ბუნებაზე პირველად გაარღვია არა ბუნების მკვლევარმა, არამედ ფილოსოფოსმა. 1755 წელს გამოქვეყნდა კანტის „ცის ზოგადი ბუნებრივი ისტორია და თეორია“. პირველი ბიძგის საკითხი თავიდან აცილებულ იქნა; დედამიწა და მთელი მზის სისტემა მოგვევლინა როგორც დროის მიმდინარეობაში ქმნილი რამ². ეს წიგნი წარმოადგენდა ცდას მიზიდულობის კანონის საფუძველზე თანამიმდევრული მატერიალისტური თვალსაზრისით ახსნილიყო სამყაროს წარმოშობის საკითხი. წინასიტყვაობაში კანტი ამბობდა: „მომეცით მე მატერია და მისგან შევქმნი სამყაროსო“.

კანტი განიხილავს სამყაროს წარმოშობას განზომილების გარეშე; მისი მსჯელობა ერთნაირად გამოსადეგია როგორც მზის სისტემის, ისე გალაქტიკის წარმოშობის საკითხისათვის. მზის სისტემის წარმოშობა,

¹ ფ. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 11.

² იქვე, გვ. 13—14.

მისი აზრით, ასე მოხდა: მთელი ის სივრცე, სადაც ახლა მზის სისტემა არის მოთავსებული, გავსებული იყო სხვადასხვა სიდიდის ნაწილაკებით, რომელიც ქაოტიურ მდგომარეობაში იმყოფებოდა. პირველად მთელი ეს პატერია იყო უძრავ მდგომარეობაში, მაგრამ უძრავობა გაგრძელდა მხოლოდ ერთი წამის განმავლობაში. უფრო მკვირივმა ნაწილაკებმა, რომლებიც უფრო იშვიათი იყო, მიზიდულობის კანონის საფუძველზე თანდათან დაიწყეს შეგროვება უფრო წვრილი ნაწილაკების. თავის მხრივ მკვირივი ნაწილაკები იკრიბებოდა უფრო მსხვილი ნაწილების გარშემო. ასე თანდათან წარმოიშვა კონდენსაციის ანუ შეჯგუფების წერტილები და ეს პროცესი გრძელდებოდა მილიონი საუკუნოების განმავლობაში. ყველაზე დიდი შეჯგუფება იყო ცენტრალური, რომელიც თანდათან უფრო დიდდებოდა მეზობელი შეჯგუფების მიზიდულობისა და შეერთების შედეგად. ამ ცენტრალური შეჯგუფებიდან შემდეგ წარმოიშვა მზე. დანარჩენი ნაწილაკების მოძრაობა თანდათან ხდებოდა შეთანხმებული; ისინი იწყებენ ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობას ცენტრალური მასის გარშემო, დაახლოებით წრიულა ორბიტით. თავის მხრივ ეს ნაწილაკები იკრიბებოდა ურთიერთმიზიდულობის შედეგად და ქმნიდა ცთომილებს. ანალოგიურად, ცთომილების გარშემო მოძრავი ნაწილაკებისგან; წარმოიშვა თანამგზავრები.

კანტის აზრით, მიზიდულობის ძალის გარდა, ახლო მანძილზე მოქმედობს აგრეთვე გამზიდავი ძალა. ამ ძალის გამო მიზიდულობის ცენტრისაკენ ვარდნის დროს ნაწილაკი გადაიხრება სწორხაზოვანი მოძრაობიდან და შეეული მოძრაობა გარდაიქმნება წრიულ მოძრაობად. ამით აიხსნება ცთომილების მზის გარშემო მოძრაობა და ლერძის გარშემო ბრუნვა.

კანტის მოსაზრება ნაწილობრივ შემცდარი იყო თეორიული მექანიკის თვალსაზრისით. მაგალითად, უძრავ მდგომარეობაში მყოფ ნისლეულს არ შეეძლო შინაგანი ძალებით დაეწყო მოძრაობა. მაგრამ კანტის ჰიპოთეზას მაინც დიდი მნიშვნელობა აქვს მეცნიერებისთვის. მან პირველად შეიტანა კოსმოგონიაში განვითარების იდეა; მისი კოსმიური ნისლეულის თეორია, ანუ ნებულარული თეორია პოპულარული გახდა შეცნიერებაში და შემდეგში სხვადასხვა ვარიაციით გვხვდება. მაგრამ კანტის იდეებს უშუალო შედეგი არ მოჰყოლია იქამდე, ვიდრე ხანგრძლივი წლების შემდეგ ლაპლასი და ჰერშელი მის შინაარსს განავითარებდნენ და ზედმიწევნით დაასაბუთებდნენ¹.

ჰერშელმა აღმოაჩინა მრავალი ნისლეული, რომლებიც თავისი განვითარების სხვადასხვა საფეხურზე იმყოფებოდნენ. ის ამბობდა: როგორც ტყეში ყოფნის დროს სხვადასხვა ასაკის ხეზე დაკვირვებით შეიძლება

¹ ფ. ენგელსი, ბუნების დიალექტიკა, 1950 წ., გვ. 14.

წარმოვიდგინოთ თუ როგორ წარმოიშობა და ვითარდება ხე, ისე ან ნისლეულებზე და ვარსკვლავებზე დაკვირვებით შეიძლება გავეითვალისწინოთ მზის სისტემის წარმოშობა და განვითარება.

b) ლაპლასის კოსმოგონიური ჰიპოთეზა

1796 წელს ლაპლასმა გამოაქვეყნა „სამყაროს სისტემის გადმოცემა“. სადაც მეშვიდე დამატებად მოთავსებული იყო კოსმოგონიური ჰიპოთეზა მზის სისტემის წარმოშობის შესახებ. ლაპლასი განიხილავს სფერულ ნისლეულს ცენტრალური შეკუმშულობით, რომელიც ბრუნავს ღერძის გარშემო მუდმივი კუთხური სიჩქარით. ნისლეულს ჰქონდა ძლიერ დიდი ტემპერატურა და მცირე სიმკვრივე (დიდი მოცულობა). გაცივების შედეგად ნისლეული იკუმშებოდა და მისი ნაწილაკების ბრუნვის კუთხური სიჩქარე იზრდებოდა. ეს უკანასკნელი დებულება გამოდის იქიდან, რომ იზოლირებული სისტემისთვის შიდა ძალების მოძრაობის რაოდენობის მომენტი უცვლელი უნდა იყოს, ე. ი. $\sum mvr = \text{const}$, მაგრამ $v = r\omega$ და $\sum mr^2\omega = \text{const}$. ცხადია, როცა r გაცივების გამო მცირდება, ω უნდა გაიზარდოს, რომ $mr^2\omega$ -ის ნამრავლთა ჯამი მუდმივი დარჩეს. კუთხური სიჩქარის ω -ს გადიდების გამო იზრდება ცენტრგამშორი ძალაც, რაც ყველაზე დიდია ნისლეულის ეკვატორზე. შეკუმშვის გამო ცენტრგამშორი ძალის გადიდება თანდათან გრძელდებოდა და ბოლოს ის გაუტოლდა მიზიდულობის ძალას ნისლეულის ეკვატორზე. ამ დროიდან აქ იწყებს გამოყოფას ნივთიერება სარტყელის ანუ რგოლის სახით. შემდეგ რგოლი უნდა გაწყვეტილიყო და მთელი მისი ნივთიერება ერთად შეჯგუფდებოდა, საიდანაც წარმოიშვებოდა პირველი ცთომილი. ნისლეულის გაცივება და შეკუმშვა ისევე გრძელდებოდა, რის შედეგადაც ანალოგიურად წარმოიშვებოდა მეორე ცთომილი; შემდეგ მესამე ცთომილი და ა. შ.



ნახ. 161.

გამოყოფილ რგოლში ის ნაწილაკები, რომლებიც ცენტრთან უფრო ახლოს იყო, უფრო ჩქარა მოძრაობს. ამიტომ, როცა რგოლიდან ცთომილი წარმოიქმნა, მას უნდა ებრუნა ღერძის გარშემო მარცხნიდან მარჯვნივ, ანუ აღმოსავლეთიდან დასავლეთით. სინამდვილეში ცთომილთა ბრუნვა პირდაპირია, ანუ მარჯვნიდან მარცხნივ წარმოებს. ამის ახსნა შეიძლება მზის (ცენტრალური ნისლეულის) შემაშფოთებელი გავლენით. მზე იზიდავდა ცთომილებს და აიძულებდა მათ მუდამ ერთ მხრივ ყოფილიყო მისკენ მიქცეული, როგორც მთვარე დედამიწისაკენ (ან მერკური მზისაკენ). ეს უკვე იმას ნიშნავს, რომ ცთომილს უნდა ებრუნა ღერძის გარშემო მარჯვნიდან მარცხნივ (§ 23 ა). შემდეგ ცენტრალური ნისლე-

ულის შეკუმშვასთან დაკავშირებით ეს ბრუნვა დაჩქარდებოდა და ახლანდელი სიდიდის ვახდებოდა.

თანამგზავრთა წარმოშობაც ანალოგიურად აიხსნება; ცთომილების ღერძის გარშემო ბრუნვის შედეგად გამოიყოფოდა ნივთიერება ეკვატორული რგოლის სახით და მისგან წარმოიშვებოდა თანამგზავრები. ამის თვალსაჩინო დამამტკიცებელ მოვლენად თვლიდნენ სატურნის რგოლს, რომელიც არ „განწყვეტილა“ და ახლაც ჩანს ამ ცთომილის გარშემო.

ლაპლასი თავის ჰიპოთეზას არ თვლდა დიდად მნიშვნელოვნად, მაგრამ ამ ჰიპოთეზამ აეტორს უფრო მეტად გაუთქვა სახელი, ვიდრე მისმა მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა მათემატიკისა და ციური მექანიკის დარგებში. თავისი ლოგიკურობით და გადმოცემის სიმარტივით ის იზიდავდა მკითხველთა ფართო წრეებს და დამაჯერებლად ხსნიდა იმ დროს მეცნიერებაში მზის სისტემის შესახებ ყველა ცნობილ ფაქტს. მეცხრამეტე საუკუნის პირველი ნახევარი ამ ჰიპოთეზის დიდების მწვერვალი იყო, მაგრამ შემდეგ თანდათან იქნა აღმოჩენილი ისეთი მოვლენები, რომლებიც ნაპრაღს აჩენდა ლაპლასის მსჯელობის მწყობრ სისტემაში. როში, ფაი, პუანკარე და სხვა მეცნიერები აუშჯობესებდნენ ლაპლასის ჰიპოთეზას და დამატებითი მოსაზრებით ცდილობდნენ აეხსნათ ახალ აღმოჩენილი საწინააღმდეგო ფაქტები. პუანკარე ამბობდა: „კოსმოგონიურ სისტემებში უძველესი ეკუთვნის ლაპლასს, მაგრამ მისი სიძველე მტკიცეა და თავის ასაკთან შედარებით მას არც ისე ბევრი ნაოქები აქვს. მიუხედავად საწინააღმდეგოდ გამოთქმული აზრებისა, მიუხედავად ასტრონომთა აღმოჩენებისა, რომლებიც ძლიერ გააკვირვებდა ლაპლასს, — ის ისევ ფეხზე დგას და მაინც სხვაზე უკეთ ხსნის ბევრ მოვლენას“¹. აღსანიშნავია, რომ „ლაპლასი პირველი იყო, რომელმაც სრულიად მკაფიოდ და ყოველგვარი ორაზროვნობის გარეშე გამოიჩინა განგება სამყაროს აგებულობის საკითხებიდან“². ნაპოლეონის შეკითხვაზე: ნიუტონი ღმერთზე ლაპარაკობს, შენ კი არსად არ ახსენებ მის სახელსო, — ლაპლასს უპასუხნია: „მოქალაქე პირველო კონსულო, ამ ჰიპოთეზს არ ვსაპირობდო“.

ლაპლასის ჰიპოთეზის საწინააღმდეგო ფაქტები და მოსაზრებები შეიძლება დაიკოს სამ ჯგუფად: 1) ასტრონომიული, 2) ფიზიკური და 3) მექანიკური. ასტრონომიულ ჯგუფს ეკუთვნის ისეთი ფაქტები ციურ სხეულთა მოძრაობაში, რომლებიც ლაპლასის დროს არ იყო ცნობილი. ასეთია ზოგიერთი თანამგზავრის შებრუნებითი ბრუნვა ცთომილის გარშემო; იუპიტერის სამი თანამგზავრი (VIII, IX, XI), სატურნის ერთი თანამგზავრი (IX), ურანის ოთხი თანამგზავრი და ნეპტუნის ერთი თანამგზავრი შებრუნებული მიმართულებით მოძრაობენ. მარსის ერთი თანამგზავრი სამჯერ უფრო ჩქარა ბრუნავს ცთომილის გარშემო, ვიდრე

¹ В. Г. Фесенков, Космогония солнечной системы, 1944 г., стр. 85.

² ბ. ვორონცოვ-ველიამინოვი, ლაპლასი, 1939 წ., გვ. 84.

ცთომილი ღერძის გარშემო. ასტეროიდების ორბიტები ძლიერ სხვადა-სხვაგვარი აღმოჩნდა, რასაც ლაპლასის ჰიპოთეზა ვერ ხსნის. ასევე საეკვიპოა, რომ მზის ნელი ბრუნვის გამო ნივთიერება გამოყოფილიყო ეკვატორულ ნაწილზე. მზის ეკვატორზე სიჩქარე უდრის $2 \frac{კმ}{სეკ.}$, ხოლო ნივთიერება რომ გამოიყოს, შიგოლევის გამოკვლევით საკირა 300—500 $\frac{კმ}{სეკ.}$ სიჩქარე; ძნელი წარმოსადგენია, რომ მზეს ასეთი ბრუნვითი სიჩქარე ჰქონოდა წინათ.

ფიზიკური ხასიათის სიძნელე ნისლეულის მცირე სიმკვრივიდან გამომდინარეობს. თუ სფერული ნისლეულის რადიუსი მზის სისტემაში უკანასკნელი ცთომილის დაშორებას უდრიდა და ნივთიერება მზის სისტემის ახლანდელ მასას, — როგორც ლაპლასი ფიქრობდა, — მაშინ ნისლეულის სიმკვრივე ძლიერ მცირე იქნებოდა; სახელდობრ, $\frac{1}{19.10^{10}}$ წყალთან შედარებით. ასეთი გაიშვიათებული და მალალი ტემპერატურის მქონე ნისლეულიდან მოლექულები გამოიყოფოდა თითოეულად და გაიფანტებოდნენ. ამიტომ ლაპლასის ეკვატორული სარტყელი არ წარმოიქმნებოდა.

ყველაზე უფრო თვალსაჩინოა მექანიკური ხასიათის სიძნელე. რაც მდგომარეობს მოძრაობის რაოდენობის მომენტის ძლიერ არათანაბარ განაწილებაში. მზის სისტემის მთელი მოძრაობის რაოდენობის მომენტის ანუ სიდიდის $L = \sum mr^2 \omega$ -ს 96% -ზე მეტი მოდის ოთხ დიდ ცთომილზე (იუპიტერი, სატურნი, ურანი და ნეპტუნი). 0,2% მოდის დედამიწის ტიპის ოთხ ცთომილზე (მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი). მზის წილი კი უდრის 3,4% -ს, მაშინ როცა მისი მასა 745-ჯერ აღემატება ყველა ცთომილის მასას. მოძრაობის რაოდენობის მომენტის ასეთი არათანაბარი განაწილება არ აიხსნება იზოლირებული სისტემის შიდა ძალებით, როგორც უნდა ყოფილიყო ნისლეულისგან წარმოშობილი მზე და ცთომილები.

ამას გარდა, აღსანიშნავია, რომ ლაპლასის (და აგრეთვე კანტის) აზრით მზე უფრო გვიან წარმოიშვა, ვიდრე ცთომილები; თანამედროვე ასტრონომია კი იმ დასკვნაზე მიდის, რომ მზე უფრო ხნირია ცთომილებზე.

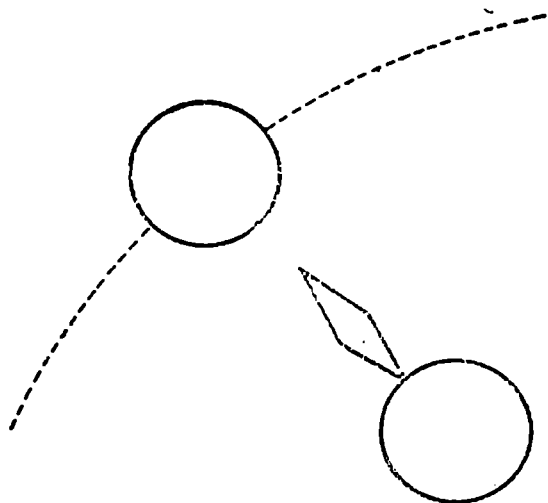
აღნიშნული მიზეზების გამო ლაპლასის ჰიპოთეზამ დაჰკარგა თავისი პირვანდელი დამაჯერებლობა და მეოცე საუკუნეში ახალ გზებს ეძებენ მზის სისტემის წარმოშობის ასახსნელად.

ე) ჯინსის ჰიპოთეზა

მოძრაობის რაოდენობის მომენტის არათანაბარი განაწილება ბუნებრივად აყენებდა კითხვას მზის სისტემაზე გარეშე ძალების მოქმედების შესახებ. მაგრამ ეს ძალები არ უნდა ყოფილიყო მულმივი, არამედ ერთ-

დროული მოქმედებით უნდა გამოეწვია საჭირო დეფორმაცია. ასეთი ერთდროული ძალა შეიძლება ყოფილიყო მზესთან ახლოს მოსული ვარსკვლავის მიზიდულობა. პირველი ასეთი ჰიპოთეზა წამოყენებული იყო ჩვენი საუკუნის დასაწყისში ჩემბერლენისა და მულტონის მიერ. იგი ემყარებოდა სპირალური ნისლეულის ანალოგიაზე, რომელთა განზომილება მაშინ არ იცოდნენ და შეცდომით თვლიდნენ მზის სისტემის თანატოლ ობიექტად. შემდეგ, როცა გამოირკვა სპირალური ნისლეულების ბუნება,—ეს ჰიპოთეზაც დავიწყებულ იქნა.

ჯინსის აზრით, ჩვენი მზე პირველად წარმოადგენდა ცალკეულ ვარსკვლავს, რომლის გარშემოც არაერთი ცთომილი არ მოძრაობდა. ერთ ვარსკვლავს მომენტში მზეს მიუახლოვდა სხვა ვარსკვლავი. ამ ვარსკვლავმა ძლიერ ახლოს გაიარა მზესთან, თითქმის მოხდა დრეკადი დაჯახება. მიზიდულობის შედეგად გამოწვეული მოქცევისა და უკუქცევის ძალების გავლენით მზის გულიდან ვარსკვლავის მხარეს იწყო ნივთიერების ამოფრქვევა. პირველად ამოფრქვევა იყო მცირე, მაგრამ თანდათან მეტი გა-



ნახ. 162.

მოიყოფოდა და მაქსიმალურ დაახლოების დროს ყველაზე მეტი იყო. ვარსკვლავის დაშორებასთან ერთად გამოფრქვევაც მცირდებოდა. ამის გამო მზიდან გამოყოფილ მასას ჰქონდა სიგარის ფორმა. ვარსკვლავის დაშორების შემდეგ „სიგარის“ შუა ადგილიდან წარმოიშვა დიდი ცთომილები: იუპიტერი და სატურნი. „სიგარის“ ბოლოებიდან კი უფრო პატარა ცთომილები, ერთი მხრივ, პლუტონი, მეორე მხრივ, მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი. ცთომილებმა იწყეს მოძრაობა მზის გარ-

შემო იმ სიბრტყეში, რომელშიც მოძრაობდა მოახლოებული ვარსკვლავი.

ცთომილები პირველად მოძრაობდა დაგრძელებულ ელიფსებზე. მზესთან მოახლოების დროს მზის მიზიდულობით მათზე ვითარდება მოქცევა-უტუქცევის ძალები და ეს იწვევდა ცთომილებიდან ნივთიერების გამოყოფას, საიდანაც შემდეგ წარმოიშვა თანამგზავრები.

ჯინსის ჰიპოთეზის მათემატიკური ანალიზი რთულია, მაგრამ შედარებით ადვილად ირკვევა, რომ ვარსკვლავს უნდა გაეწვოდნენ მზესთან ძლიერ ახლოს, რომ მასზე საგრძნობი გავლენა მოეხდინა. ახლო გაეწვოდნენ კი გამოფრქვეულ ნივთიერებას არ ექნებოდა საკმარისი მოძრაობის რაოდენობის მომენტი და მზის სისტემის დიდი განზომილება აუხსნელი რჩება. აუხსნელია აგრეთვე ცთომილთა ბრუნვა ლერძის გარშემო. საბჭოთა მეცნიერების ნატალია რეინის და ნ. ნ. პარიისკის დაწვრილებითი გამოკვლევით აშკარა გახდა, რომ ჯინსის ჰიპოთეზა სრულიად უსაფუძვლოა მექანიკური თვალსაზრისით.

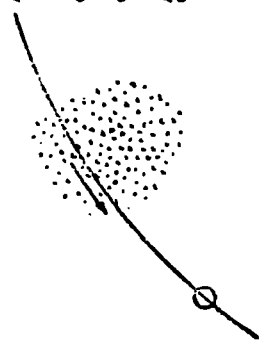
კიდევ უფრო მიუღებელია ჯინსის ჰიპოთეზა იდეოლოგიური თვალსაზრისით. ვარსკვლავების ერთმანეთთან დიდი დაშორების გამო თითქმის შეუძლებელია ორი ვარსკვლავის ისე ახლოს მისვლა, როგორც ჯინსის ჰიპოთეზა გულისხმობს. სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ორმოცდაათი მილიონი ვარსკვლავიდან თავისი არსებობის მთელ მანძილზე, ე. ი. 10^{11} წლის განმავლობაში, მხოლოდ ერთი ასეთი მიახლოება შეიძლება მოხდეს. გამოდის, რომ პრაქტიკულად ცთომილთა სისტემის წარმოშობის ალბათობა ნულს უდრის. კიდევ უფრო მცირეა იმის ალბათობა, რომ რომელიმე ცთომილზე სიცოცხლისათვის საჭირო პირობები შეიქმნას. ამრიგად, ჯინსის ჰიპოთეზა ხელახლა აღადგენს ძველ იდეალისტურ შეხედულებას დედამიწის განსაკუთრებული მდგომარეობის შესახებ. აქედან ერთი ნაბიჯია გონიერი არსების მიერ სამყაროს შექმნის იდეამდე, რაც ფიდეისტური დასკვნაა და მეცნიერების უარყოფას ნიშნავს.

უკანასკნელი დროის ასტრონომიული დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ მზეს გარდა ცთომილები უნდა ჰყავდეს სხვა ვარსკვლავებსაც. თანამედროვე ტელესკოპებში ეს ცთომილები არ ჩანან, მაგრამ არაპირდაპირი გზით აშკარად მტკიცდება მათი არსებობა. ვარსკვლავთა 25% სთვის დადგენილია, რომ მათი საკუთარი მოძრაობა არ არის სწორხაზობრივი, არამედ მცირე კლაკნილი მოძრაობით ხასიათდება. ასეთი კლაკნილი მოძრაობის გამოწვევა შეუძლია იუპიტერის მასის მქონე ცთომილს, რომელიც ვარსკვლავის გარშემო მოძრაობს. თავის დროზე ასეთი კლაკნილი მოძრაობის საფუძველზე იწინასწარმეტყველეს სირიუსის და პროციონის თანამგზავრთა არსებობა და შემდეგ კიდევ აღმოაჩინეს ისინი. ცთომილისაგან გამოწვეული გადახრა უფრო მცირეა და ცთომილებიც სიმცირის გამო ტელესკოპში არ ჩანს. დედამიწის მასის მქონე ცთომი-

ლის მიერ გამოწვეულ გადახრას ვერ შევნიშნავთ, მაგრამ ასეთი ცთომილიც ეყოლება ზოგიერთ ვარსკვლავს. ბუნებრივია, რომ სხვადასხვა ვარსკვლავის ზოგიერთ ცთომილზე შეიძლება იყოს სიცოცხლისათვის საჭირო პირობები. ამრიგად, დაკვირვებითი ფაქტებიც ჯინსის ჰიპოტეზის საწინააღმდეგოდ მეტყველებს.

ღ) შმიდტის ჰიპოთეზა

1944 წელს საბჭოთა მეცნიერმა აკადემიკოსმა ო. შმიდტმა წამოაყენა ახალი ჰიპოთეზა მზის გარშემო ცთომილთა სისტემის წარმოშობის შესახებ. შმიდტის აზრით ცთომილები წარმოშობილია მეტეორული ნაწილაკებიდან, რომლებიც დაცურავს სამყაროს სივრცეში. გალაქტიკაში მეტეორული ნივთიერება საკმაოდ ბევრია; ფიქრობენ, რომ ასეთი ნივთიერების მასა, მთელი გალაქტიკის მასის ერთ მეათასედს შეადგენს, რაც თავისთავად დიდ სიდიდეს წარმოადგენს. უმეტესად მეტეორული ნივთიერება შეგჯუფებულია ნათელ და ბნელ დიფუზიურ ნისლეულებში. ეს ნისლეულები მონაწილეობენ გალაქტიკის ბრუნვაში, ისე როგორც ვარსკვლავები. მზე პირველად იყო ცალკეული ვარსკვლავი. თავისი ორბიტალური მოძრაობის დროს გალაქტიკის ცენტრის გარშემო 6 თუ 7 მილიარდი წლის წინ მზე დაეწია ერთ-ერთ ნისლეულს და გაიარა მასში. მეტეორული ნისლეულის საშუალო დიამეტრი უდრის 10 სინათლის წელს და მზე შეიძლება მასში მოძრაობდა 100 000 წლის განმავლობაში. მიზიდულობის ძალით მზემ დაიჭირა მეტეორული ნაწილაკები და „წარიტაცა“ თავის მოძრაობის გზაზე; მაგრამ შეიძლება მან გაიარა არა ნისლეულის ცენტრში, არამედ კიდეში, რის გამოც ერთ მხარეს უფრო მეტი მეტეორული ნაწილაკი იმყოფებოდა, ვიდრე მეორე მხარეს (ნახ. 163). ეს „დაქერილი“ მეტეორული ნაწილაკები იწყებს მოძრაობას მზის გარშემო; ამავე დროს უმეტესად ნაწილაკები მოძრაობს ერთი მიმართულებით. საწინააღმდეგოდ მოძრაობის დროს დაჯახების შედეგად მეორე მიმართულებით მოძრაობა თანდათან ისობა და ჩნება მხოლოდ ერთი მხრით მიმართული მოძრაობა. მზესთან შედარებით ახლო მოძრაობდა



ნახ. 163.

უფრო მკვირივი ნაწილაკები, ხოლო გაზის მოლეკულები და მტვერის უწყვილესი ნაწილაკები განიზიდებოდა მზის სხივების დაწოლით და უფრო შორს მოძრაობდნენ მზის გარშემო.

მკვირივი ნაწილაკები მოძრაობდნენ სხვადასხვა ორბიტაზე, რომლებიც ერთმანეთთან სხვადასხვა კუთხით იყო დახრილი. ამის გამო ეს ნაწილაკები ჩეჯახებოდნენ ერთმანეთს, იმტვრეოდნენ და ორბიტებიც უფრო წრიულ ფორმას ღებულობდა. მეზობელი ნაწილაკები მიზიდულობის ძა-

ლით ერთდებოდნენ და წარმოიქმნებოდა შეჯგუფების წერტილები. ასეთი შეჯგუფება თანდათან იზრდებოდა და მისგან წარმოიშვა მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი. დიდი ცთომილების წარმოშობაში, მიზიდულობის ძალას გარდა, მნიშვნელოვან როლს თამაშობდა სინათლის წნევა. ამ უკანასკნელი ძალის გამო მჩატე ნაწილაკები განიზიდებოდა უფრო შორს, რის გამოც იუპიტერის, სატურნისა და სხვა უფრო დაშორებული ცთომილების წარმოშობაში ამ მჩატე ნივთიერებამ მიიღო მონაწილეობა.

„დაქერის“ ჰიპოთეზა კარგად ხსნის მოძრაობის რაოდენობის მომენტის არათანაბარ განაწილებას მზის სისტემაში, რადგან ნაწილაკების მომენტი მიიღება გალაქტიკის გარშემო მათი მოძრაობის მომენტის ანგარიშზე¹. ასევე კარგად ხსნის შმიდტის ჰიპოთეზა ცთომილთა ღერძის გარშემო ბრუნვის საკითხს, რასაც ვერ ხსნიდა ვერც ერთი წინა ჰიპოთეზა.

შმიდტის აზრით ცთომილთა ბრუნვითი მოძრაობის წარმოშობაში მნიშვნელობა აქვს არა ცთომილზე დაცემული მეტეორული ნაწილაკების სიჩქარეს, არამედ ამ ნაწილაკების მოძრაობის რაოდენობის მომენტს. რაც უფრო დაშორებულა ნაწილაკი მზიდან, მისი მოძრაობის რაოდენობის მომენტი მეტია. ამიტომ ცთომილზე მზის მხრიდან დაცემული ნაწილაკების მომენტი უფრო მცირეა, ვიდრე საწინააღმდეგო მხრიდან დაცემული ნაწილაკების მომენტი. ამის გამო ცთომილები და თანამგზავრები უნდა ბრუნავდეს მარჯვნიდან მარცხნივ, მაგრამ თანამგზავრებისთვის ზოგჯერ შეიძლება საწინააღმდეგო ბრუნვაც.

ცთომილების მზიდან დაშორებისთვის შმიდტს თეორიულად გამოჰყავს ფორმულა

$$\sqrt{R_n} = a + bn, \quad (1)$$

სადაც a და b მუდმივებია და n რიგითი ნომერი, მაგრამ ეს სიდიდეები სხვადასხვაა ცთომილთა ორი ჯგუფისთვის (იუპიტერის ჯგუფი და დედამიწის ჯგუფი). ეს ფორმულა უფრო სწორად იძლევა ცთომილთა მანძილებს, ვიდრე ბოდე-ტიციუსის ემპირიული ფორმულა.

„დაქერის“ თეორიას შმიდტი ავრცელებდა ორმაგ ვარსკვლავებზე, — რომ ორმაგობა გამოწვეულია მიზიდულობის გამო ვარსკვლავების ურთიერთდაქერის შედეგად. ამ თეორიით მან ახსნა ორმაგ ვარსკვლავთა ზოგიერთი კანონზომიერება.

შმიდტის ჰიპოთეზის შესახებ ორჯერ მოეწყო დისკუსია მოსკოვში. 1948 წელს მის წინააღმდეგ გამოვიდა ნ. მოისევეი (ციური მექანიკის თვალსაზრისით), რომლის აზრით ეს ჰიპოთეზა არაა ახალი, არამედ კანტის ჰიპოთეზის ვარიანტს წარმოადგენს. აგრეთვე აღნიშნა, რომ დაქერის სქემა ორი სხეულის ამოცანაში არ ვარგა, ხოლო სამი სხეულის ამოცანაში ზოგ პირობებში შეიძლება ვარგოდეს. ფესენკოვის აზრით,

¹ ი. შმიდტი, Возникновение планет и их спутников, 1950 წ.

მეტეორული ჰიპოთეზა არ უნდა იყოს სწორი, რადგან ვარსკვლავები არ წარმოიშევა იზოლირებულად, არამედ ჯგუფობრივად. შმიდტის თეორიას იცავდა ხილმი და ლევინი (გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლები). მეორე დისკუსიის დროს 1951 წელს ახალი ჰიპოთეზა აღიარებულ იქნა სიცოცხლისუნარიანად, რომელსაც განვითარება და შემდეგი დამუშავება სჭირდება. ამ მეორე დისკუსიამ საერთოდ მოიწონა შმიდტის მუშაობა ცთომილთა და თანამგზავრთა წარმოშობის ახსნის შესახებ. მაგრამ შმიდტსაც მოუხდა ზოგიერთი პოზიციის დათმობა. ასტროფიზიკის მონაცემებით გამოირკვა, რომ დიფუზიური ნისლეულის სიმკვრივე ძლიერ მცირეა და მასში გავლის დროს მზის მიერ „მოტაცებული“ ნივთიერება საკმარისი იქნებოდა ერთი პატარა ცთომილის—მერკურის ან თუნდაც მარსის წარმოსაქმნელად; დანარჩენისთვის კი ნივთიერება აღარ უოფნიდა. ამის გამო შმიდტმა შეზღუდა თავისი ჰიპოთეზა და გაჰყო ის მთავარ ნაწილად და დაქვემდებარებულ ნაწილად. ახლა იგი პირდაპირ ლებულობს, რომ მზის გარშემო იყო მეტეორული ნაწილაკების გროვა, რომელსაც ჰქონდა ნულისგან განსხვავებული მოძრაობის რაოდენობის მომენტი. ამ პირობიდან გამოსული ის კარგად ხსნის ცთომილთა სისტემის ცნობილ ფაქტებს; ეს მიაჩნია მას ძირითად ამოცანად. თუ საიდან გაჩნდა ეს მეტეორული ნაწილაკები,—ამის შესახებ ახლა შმიდტი გარკვევით არაფერს ამბობს, მაგრამ მაინც ფიქრობს, რომ დაქერის თეორიაზე გვერდის ავლა ძნელად თუ შეიძლება. ამიტომ დაქვემდებარებულ ამოცანად აცხადებს: 1) იმის გამორკვევას, თუ საიდან გაჩნდა მზის გარშემო მეტეორულ ნაწილაკთა გროვა და 2) გამოყვანილ იქნას თეორიიდან გეოფიზიკური შედეგები, რომლებიც ეთანხმება დედამიწის მონაცემებს.

შმიდტის ჰიპოთეზა წარმოადგენს კანტისა და ლაპლასის მატერიალისტური კოსმოგონიის განვითარებას, მაგრამ პრინციპულად განსხვავდება მათგან იმით, რომ მასში განხილულია მექანიკური ენერჯიის გარდაქმნა სხვა ფორმის ენერჯიად. ეს საშუალებას იძლევა უფრო სრულად იქნას ახსნილი მზის სისტემის ცნობილი ფაქტები.

შმიდტის ჰიპოთეზის მეორე განმარტებული ნიშანი ის არის, რომ მისი აზრით ცთომილები და კერძოდ დედამიწა წარმოიშვა არა გავარვარებული ნივთიერებისაგან, როგორც ფიქრობდა კანტი და ლაპლასი, არამედ ცივი ნაწილაკებისგან. ახალ წარმოშობილი „დედამიწა“ იყო ძალიან მცირე და ცივი. მისი მოძრაობის გზაზე დაჰქროდა მრავალი მეტეორული ნაწილაკი, რომელთაგან ზოგი ეცემოდა მასზე. ასე გრძელდებოდა მილიონი წლების განმავლობაში. დედამიწა იზრდებოდა და გახდა თანამედროვე მთვარის ტოლი; მთვარე კი მაშინ ძლიერ პატარა იქნებოდა. ზედა ფენების დაწოლის გამო გათბა დედამიწის გული. მეტეორული ნაწილაკები განაგრძობდნენ ვარდნას დედამიწაზე, რის გამოც იზრდებოდა შიდა ფენების წნევა და ტემპერატურა. დაბოლოს წნევა და-

ტემპერატურა იმდენად დიდი გახდა, რომ დედამიწის შიგნით მოქცეული მინერალები გარდაიქმნა. მათ გამოეყო ჟანგბადი და სხვა გაზები. გამოყოფილი ჟანგბადი პორების საშუალებით ამოდიოდა ზედაპირზე, უერთდებოდა სხვადასხვა ნივთიერებას და იწვევდა წვას. ამის შედეგად დედამიწა გაეარება და გადავიდა ცეცხლოვან თხიერ მდგომარეობაში.

შიდტის ჰიპოთეზაში ჯერ კიდევ ყველაფერი რიგზე არ არის, მაგრამ საბჭოთა მეცნიერების კრიტიკული და კოლექტიური თანამშრომლობის შედეგად მისგან შეიძლება სწორი კოსმოგონიური თეორია მივიღოთ.

* c) ფესენკოვის ჰიპოთეზა

ფესენკოვის აზრით, ყველა წინა კოსმოგონიური თეორია ცალმხრივია; ისინი გამოდიოდნენ მექანიკის კანონებიდან და განიხილავდნენ მხოლოდ მექანიკურ მოძრაობას და ბრუნვას. საჭიროა განვიხილოთ მოძრაობის სხვა ფორმებიც: სითბო, ელექტრული მოვლენები, ქიმიური პროცესები და სხვა, განსაკუთრებით კი ატომის გულეში წარმოებულ პროცესები.

ცთომილთა ატმოსფეროს შესწავლის საფუძველზე ფესენკოვი იმ დასკვნამდე მიდის, რომ მათი საწყისი ტემპერატურა დიდი უნდა ყოფილიყო; კერძოდ, დედამიწისთვის არ უნდა ყოფილიყო ის 1000°-ზე ნაკლები. ამას გარდა, დედამიწის ქერქის ასაკი გაცილებით მცირე უნდა იყოს მზის ასაკზე. ეს გვაფიქრებინებს, რომ დედამიწა რაღაცნაირად გამოყოფილია მზისგან. ამას ადასტურებს აგრეთვე დედამიწისა და მზის ქიმიური შედგენილობა. ის ელემენტები, რომლებიც ბევრია მზეზე, — დედამიწაზეც ხშირად გვხვდება. ასეთია მაგალითად Fe, Mg, Al, Ca, Na, K და სხვ. ხოლო რაც მზეზე იშვიათია დედამიწაზეც იშვიათად გვხვდება. თავდაპირველად მზეს ექნებოდა ბრუნვის ელიფსოიდის ფორმა. ბრუნვის სიჩქარის გაზრდასთან ერთად იზრდებოდა ელიფსოიდის შეკუმშულობა და ის თანდათან მიიღებდა სამღერძა ელიფსოიდის ფორმას. პირველი ათასი წლის განმავლობაში სამღერძა ელიფსოიდი თანდათან მიიღებდა მსხალის მაგვარ ფორმას. რუსმა მათემატიკოსმა ლიაპუნოვმა დაამტკიცა, რომ მსხალის მსგავსი ფორმა არის მდგრადი, მაგრამ დიდი ხნის შემდეგ ის უნდა გაიყოს ორ ნაწილად, რომლებიც იმოძრაებდნენ ერთმანეთის გარშემო დაახლოებით წრიული ორბიტით. იმისათვის, რომ მთავარ მასას — მზეს შეენარჩუნებია წონასწორობა, ის უნდა განთავისუფლებულიყო ზედმეტი მოძრაობის რაოდენობის მომენტისგან, რისთვისაც მცირე მასა — ცთომილი მოწყვეტამდე უნდა განზიდულიყო დიდ მანძილზე. ახლო მანძილზე მოწყვეტის შემდეგ ცთომილი აღმოჩნდებოდა არაწონასწორობის ზონაში და დაიშლებოდა პატარა ნაწილებად. მზის თავდაპირველი წონასწორობა ფესენკოვის აზრით დაირღვეოდა გამოსხივების შედეგად, რაც ატომგულის პროცესებთან არის დაკავშირებული.

ავტორი განიხილავს ცთომილთა წარმოშობას ზოგად ხაზებში; მზის სისტემის ყველა ცნობილი ფაქტის ახსნას თანამედროვე დონეზე ის შეუძლებლად აცხადებს.

ცთომილთა წარმოშობის ახსნის დროს განხილული უნდა იქნას აგრეთვე მზის ან ვარსკვლავის წარმოშობის საკითხიც. ამ მხრივ საყურადღებოა 1947 წელს აღმოჩენილი ნისლეულის ახალი ფორმა, რომელსაც გლობული უწოდეს. გლობული სფერული ფორმის ბნელი ნისლეულია.



მისი განზომილება მცირეა, სიმკვრივე კი დიფუზიურ ნისლეულთან შედარებით დიდია. ჩვეულებრივი ნისლეული სინათლეს ასუსტებს 10⁰/₆-ით, გლობული კი 90⁰/₆-ით. ზოგიერთი მცირე გლობული კი იჭერს სინათლის 99⁰/₆-ს, ე. ი. ისინი თითქმის სრულიად გაუმჭვირვალეა. გლობულები გვხვდება ჯგუფებად. ამ მხრივ დამახასიათებელია სამფურცლა ნისლეული, რომლის ფონზეც ჩანს რამდენიმე გლობული.

ნახ. 164. სამფურცლა ნისლეული.

ეს გლობულები სივრცეში უნდა იყოს აღნიშნულ ნისლეულამდე და მასზე გეგმილდება. გლობულებს განიხილავენ, როგორც ნისლეულიდან ვარსკვლავის წარმოშობის გარკვეულ საფეხურს.

ქ) დარვინის შიპოთეზა მთვარის წარმოშობის შესახებ

გასული საუკუნის ბოლოს ჯორჯ დარვინმა (ჩარლზ დარვინის შვილმა) დაამუშავა მოქცევათა თეორია და გამოიყენა ის მთვარის წარმოშობის საკითხში. დედამიწის ზედაპირზე მთვარის მიერ გამოწვეული მოქცევათა ტალღა მიმართულია მთვარისკენ მდებარე *A* წერტილში და მის საწინააღმდეგო *B* წერტილში (ნახ. 165). ეს მოქცევათა ტალღები ეწინააღმდეგება—დედამიწის ბრუნვას ღერძის გარშემო და მოქმედობს როგორც ზუხრუქი. ამ დამამუხრუქებელ გავლენას ეწოდება მოქცევის ხახუნი. ის ძლიერ მცირეა, მაგრამ წელთა კოლოსალური რიცხვის განმავლობაში



ნახ. 165.

შეიძლება მნიშვნელობა ჰქონდეს. მოქცევის ხახუნის მრავალი საუკუნის განმავლობაში ანელებდა დედამიწის ბრუნვას. ამიტომ დედამიწის ბრუნვა წინათ უფრო ჩქარი იქნებოდა. იყო დრო, როცა ბრუნვა ხდებოდა 23 საათში, 22 საათში და ა. შ. უმცირესი პერიოდი უნდა ყოფილიყო 2—3 საათი. ამავე პერიოდში ბრუნავდა მაშინ დედამიწა და მთვარე საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო. მაშინ მთვარე თითქმის ეხებოდა დედამიწას, სულ იწყებებოდა მისი ცენტრიდან 15 000 კილომეტრზე. ამ ნიადაგზე დარვინი ამტკიცებს, რომ მთვარე გამოიყო დედამიწისგან; წინათ კი ისინი ერთ სხეულს შეადგენდა.

ფიგურათა წონასწორობის თეორია, რომელიც დაამუშავა ლიაპუნოვმა და პუანკარემ, გვიჩვენებს, რომ თხიერი არაკუმშვადი სითხე შეიძლება იყოს წონასწორობაში, თუ მას აქვს: 1) ბრუნვის ელიფსოიდის, კერძოდ, სფეროს ფორმა, 2) სამღერძა ელიფსოიდის ფორმა, 3) განსაკუთრებული მსხალისებური ფორმა. დედამიწას უნდა გაეელო წონასწორობის ეს ფიგურები; ე. ი. პირველად ექნებოდა სფეროს ფორმა და შემდეგ თანდათან ღებულობდა ბრუნვის ელიფსოიდის დაგრძელებულ ფორმებს. მზისგან გამოწვეული მოქცევათა ძალების გავლენით დაგრძელებული ელიფსოიდი გადავიდა მსხალისმაგვარ ფორმაში, რომელიც შემდეგ ამავე ძალის გავლენით გაიყო და წარმოიშვა მთვარე. ეს უნდა ყოფილიყო ოთხი მილიარდი წლის წინ.

მოქცევათა ხახუნის შემდგომი მოქმედების გავლენით თანდათან გადიდდა დედამიწის ღერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდი და აგრეთვე მთვარის. დედამიწის გარშემო ბრუნვის პერიოდი. ამავე დროს გადიდდა მანძილი დედამიწასა და მთვარეს შორის. მოქცევათა ხახუნის ასეთი მოქმედება ახლაც გრძელდება და შემდეგაც გაგრძელდება, სანამ მთვარის დაშორება 1,6-ჯერ მეტი არ გახდება ახლანდელთან შედარებით; დედამიწის გარშემო ბრუნვის პერიოდი კი იქნება 55 დღე-ღამე. მაშინ დედამიწა და მთვარე მიმართული იქნება ერთმანეთისკენ მუდამ ერთი და იმავე მხრით და აღარ იარსებებს მთვარისგან გამოწვეული მოქცევის ხახუნი. დედამიწა—მთვარის „ცხოვრებაში“ ეს იქნება წონასწორობის პერიოდი. მაგრამ შემდეგში მათზე თანდათან მოახდენს გავლენას მზის მიზიდულობით გამოწვეული ხახუნის ძალა. ეს ძალა იმოქმედებს საწინააღმდეგო მიმართულებით, შეამცირებს დღე-ღამის ხანგრძლივობას და თანდათან მიაახლოვებს მთვარეს დედამიწასთან. როცა მთვარე აღმოჩნდება დედამიწის 2,5 რადიუსზე უფრო ახლო, — ის მოექცევა არა-წონასწორობის ზონაში. დედამიწისგან გამოწვეული მოქცევა-შაქუცხვეის ძალები მთვარეს დაშლის; ის დაიფშენება პატარა ნაწილებად, რომლებმაც შეიძლება შექმნას დედამიწის გარშემო სატურნის მსგავსი რგოლი. მაგრამ მანამდე ბევრი დრო გაივლის, — დაახლოებით ეს უნდა მოხდეს 10¹² წლის შემდეგ.

* გ) ვ. ა. ამბარცუმიანის თეორია ვარსკვლავთა ასოციაციების
(არსებობის) შესახებ¹

ამ უკანასკნელ დროს დიდი პოპულარობით სარგებლობს ვ. ამბარცუმიანის თეორია ვარსკვლავთა ასოციაციების შესახებ. ეს თეორია, რომელიც დამუშავებულია ფაქტებს ეყრდნობა, სავსებით გამართლებულია, თუმცა ის ჯერ ბოლომდე დამუშავებული არ არის. ვარსკვლავთა ასოციაციების თეორია დღეისათვის ასე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ: ვარსკვლავები წარმოიშვებოდა და დღესაც წარმოიშვება ჩვენს გალაქტიკაში და საერთოდ სამყაროში ჯგუფებად—ვარსკვლავთა ასოციაციების სახით (ვარსკვლავთა ასოციაცია ამ შემთხვევაში უნდა გვესმოდეს, როგორც რამდენიმე ათეულ ვარსკვლავთა ერთობლიობა, რომელიც ამავე დროს არ შეიძლება გაიგივებულ იქნას ისეთ ობიექტად, როგორცაა ჯერადი ვარსკვლავი და ღია ვარსკვლავთ გროვა, მაგრამ ასოციაცია შეიძლება მათ შეიცავდეს).

ვ. ა. ამბარცუმიანის გაგებით ვარსკვლავთა ასოციაციების ძირითადი მახასიათებლები შემდეგია: 1. უმრავლეს შემთხვევაში ვარსკვლავები ჩნდება ჯერადი ვარსკვლავების სახით (ტრაპეციებისა და ჯაჭვის ტიპისა) და წარმოიშვება ჯგუფებად. 2. O ასოციაცია ძირითადად შედგება O და B კლასის ვარსკვლავებისაგან, ხოლო T ასოციაციებისათვის, რომლებიც შედგება ცვალებად ვარსკვლავებისაგან, დამახასიათებელია ვარსკვლავები კუროს— T ტიპისა. 3. ყოველი ასოციაცია შეიცავს, როგორც თავის გულს ერთ ღია ვარსკვლავთ გროვას. 4. O ასოციაციები არამდგრადია და ფართოდება ან იშლებიან. გაფართოების მონაცემებიდან ვლტებულობთ, რომ ამჟამად არსებული O ასოციაციები წარმოშობილია რამდენიმე მილიონი წლის წინათ. 5. ჩვენს გალაქტიკაში არსებული ვარსკვლავთა უმრავლესობა წარმოშობილია O ასოციაციებში. 6. O ასოციაციაში O და B კლასის ვარსკვლავთა თავმოყრა ცის მცირე უბანზე. სახელდობრ, რამდენიმე კვადრატულ გრადუსზე არ შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც შემთხვევითი მოვლენა, რადგან ამის ალბათობა ძალიან მცირეა, თითქმის ნულთანაა ახლოს. ამიტომ ისინი განიხილება როგორც ფიზიკურად ერთი და ერთად წარმოშობილი ობიექტები (ეს სხვებთან ერთად ერთ-ერთი ძირითადი არგუმენტია O ასოციაციების არსებობისა).

O და T ასოციაციების წარმოშობის მექანიზმის საკითხი, კერძოდ, იმის გამორკვევა, თუ რა ობიექტებია პირველადი, ანუ რა ვარსკვლავმდელი ნივთიერებისაგან წარმოიშვებიან ისინი ჯერ-ჯერობით ღიად არის დატოვებული. ვ. ამბარცუმიანი წინააღმდეგია იმინა, რომ ასოციაციების პირველად ობიექტებად დიფუზიური ნისლეულები ან „გლობულები“ (იხ. ზემოთ) მივიჩნიოთ. ამგვარად, ამ საკითხს ამბარცუმიანი კვლევის ახალ საგნად აცხადებს.

¹ ეს საკითხი დაწერილია რედაქტორის მიერ.

რამდენადაც მზეც ვარსკვლავია, მზის სისტემის წარმოშობის შესწავლისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ასოციაციების აღმოჩენას და მათი წარმოშობის საკითხის შესწავლას. ამიტომ საჭიროა, რომ მომავალში ეს ორი საკითხი კოსმოგონიაში გაერთიანებული სახით განიხილებოდეს, სახელდობრ, ერთი თეორიის სახით. უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს მართლაც ასე იქნება.

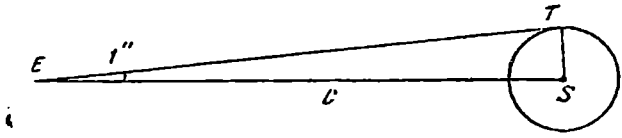
† h) მზისა და დედამიწის ასაკი

ვარსკვლავებისა და მზის საშუალო ასაკის გასაგებად არის რამდენიმე ხერხი: 1) „კინეტიკური ენერჯის“ განაწილება ვარსკვლავებს შორის. გალაქტიკაში დიდ ვარსკვლავებს აქვს შედარებით მცირე სიჩქარე, ხოლო პატარა ვარსკვლავებს—დიდი. ვინაიდან ვარსკვლავთა დაახლოება იშვიათად ხდება, სიჩქარის ასეთი გათანაბრებისთვის გაზთა კინეტიკური თეორიის მიხედვით საჭიროა დიდი დრო (ვარსკვლავებზე გამოიყენება გაზთა კინეტიკური თეორია). 2) მასის გადაქცევა ენერჯიად. თუ ვარსკვლავთა ენერჯის წყარო არის მასის გადაქცევა ენერჯიად, მაშინ ენერჯია $E = c^2 m$, სადაც c სინათლის სიჩქარეა, ხოლო m მასა. 1 გრამ მასას შეესაბამება $9 \cdot 10^{20}$ ერჯი ენერჯია. კაპელა, რომელიც მასით ახლა მზეზე ოთხჯერ მეტია, მზის ტოლი რომ გახდეს საჭირო იქნება $5 \cdot 10^{11}$ წელი. მცირე მასის მქონე ვარსკვლავი უფრო მცირეს ასხივებს და მასასაც უფრო ნელა ჰკარგავს. ორივე მეთოდი ერთმანეთს ეთანხმება; ვარსკვლავთა საშუალო ასაკი მოქცეულია 10^{11} -დან 10^{12} წლებს შორის. მზის ასაკიც ამგვარია, ე. ი. დაახლოებით 10^{12} წელს უდრის.

დედამიწის ქერქის ასაკს არკვევენ ორი გზით: 1) რადიოაქტიური ელემენტების ხერხი. ურანი, რადიუმი, აქტინიუმი და სხვა რადიოაქტიური ელემენტები გამოასხივებს და თანდათან გადაიქცევა ტყვიად. ასეთი გარდაქმნის პროცესი შესწავლილია, გამორკვეულია ყოველ ათას წელში რამდენი პროცენტი გადაიქცევა ტყვიად. ამის გამო, როცა დედამიწის ქერქში ნახულობენ რადიოაქტიური ელემენტების მინერალს, შეიძლება გამოარკვიონ, თუ რამდენი წელი გავიდა ამ ქანის წარმოშობიდან ჩვენს დრომდე. 2) ზღვების სიმლაშის ხერხი. გამორკვეულია, თუ მდინარეებს ყოველდღიურად რამდენი მარტილი ჩააქვს ზღვაში. ზღვების სიმლაშით შეიძლება გაგებულ იქნას, თუ რა რაოდენობის მარტილია იქ ჩატანილი. უკანასკნელი სიდიდის პირველზე გაყოფით მიიღება დედამიწის ქერქის ასაკი. ორივე ხერხით დედამიწის ქერქის ხნოვანება ტოლი გამოდის,—ის უდრის სამ მილიარდ წელს. ერთი მილიარდი წლის წინ დედამიწაზე გაჩნდა სიცოცხლის უმარტივესი ფორმები. დაახლოებით 500000 წელია, რაც წარმოიშვა ადამიანის მსგავსი არსებანი; ხოლო ადამიანის ისტორია (დამწერლობითი) დაიწყო 50 საუკუნის წინ.

VI თავის სავარჯიშო

1. რამდენ კილომეტრს უდრის სინათლის წელი? პარსეკი? რამდენი სინათლის წელია პარსეკში? რამდენი ასტრონომიული ერთეულია პარსეკში?
 ა მო ხ ს ნ ა. სინათლის წელი უდრის $365,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 300\,000$ კმ = $= 9\,467\,000\,000\,000$ კმ. პარსეკი უდრის იმ მანძილს, საიდანაც დედამიწის ორბიტის რადიუსი ერთი სეკუნდის კუთხით გამოჩნდება.
 $D = ST : \sin 1'' = 149\,500\,000 : \sin \left(\frac{1}{206\,265} \right) = 149\,500\,000 \cdot 206\,265 = 30\,830\,000\,000\,000$ კმ. პარსეკი შეიცავს 3,26 სინათლის წელს, რაც



ნახ. 166.

მიიღება გაყოფით. პარსეკი უდრის 206 265 ასტრონომიულ ერთეულს, რაც ცხადია განმარტებიდან.

2. გედის 61 ვარსკვლავის პარალაქსი უდრის 0'',37. რას უდრის მანძილი ამ ვარსკვლავამდე სინათლის წლებში?

ა მო ხ ს ნ ა. მანძილი პარალაქსის უკუპროპორციულია. პარსეკებში მანძილი იქნება $1 : 0,37 = 2,7$; სინათლის წლებში იქნება $2,7 \cdot 3,26 = 8,8$.

* 3. ალტაირის პარალაქსი უდრის 0'',20, ხოლო ვეგას—0'',12. გამოსახეთ მანძილი ამ ვარსკვლავებამდე პარსეკებში, სინათლის წლებში, ასტრონომიულ ერთეულებში და კილომეტრებში.

ა მო ხ ს ნ ა. ალტაირისთვის მანძილი პარსეკებში იქნება $1 : 0,2 = 5$; სინათლის წლებში— $5 \cdot 3,26 = 16,3$. პარსეკი შეიცავს 206265 ასტრონომიულ ერთეულს; ამიტომ ალტაირის მანძილი ასტრონომიულ ერთეულებში იქნება $5 \cdot 206265 = 1\,031\,325$, კილომეტრებში იქნება $5 \cdot 308\,300\,000\,000\,000 = 15,4 \cdot 10^{13}$ კმ. ასევე ვეგასთვის მიიღება: მანძილი პარსეკებში 8,3, სინათლის წლებში 27,2, ასტრონომიულ ერთეულებში $1,7 \cdot 10^6$ და კილომეტრებში $2,56 \cdot 10^{14}$.

* 4. ვეშაპის „საოცარი ვარსკვლავი“ მაქსიმუმი სიკაშკაშის დროს 2,5 სიდიდისაა, ხოლო მინიმუმი სიკაშკაშის დროს 9,2 სიდიდის. რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ის მაქსიმუმის დროს, ვიდრე მინიმუმის დროს?

ა მო ხ ს ნ ა. უნდა გამოვყენოთ პოგსონის ფორმულა $\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = (2,512)^{m_2 - m_1}$ გალოგარითმებით მივიღებთ $\lg \left(\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} \right) = (9,2 - 2,5) 0,4 = 2,67$. ანტილოგარითმებით ვიპოვიოთ, რომ მაქსიმუმის დროს უფრო კაშკაშაა 478,6-ჯერ.

* 5. სირიუსის ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდე უდრის —1,58, ხოლო მისი თანამგზავრის 8,44-ს. რამდენად უფრო კაშკაშაა სირიუს-თავის თანამგზავრზე?

ამოხსნა. თანამგზავრსა და სირიუს შორის მანძილი ძლიერ მცირეა, მათ საერთო დაშორებასთან შედარებით. ამიტომ შეიძლება ეს

მანძილი უგულვებელყოთ. ფორმულა გვაძლევს $\frac{I_6}{I_8} = 2,512^{(8,44-1,58)}$

$\lg\left(\frac{I_6}{I_8}\right) = 10,02 \cdot 0,4 = 4,008$. ანტილოგარითმებით ვიპოვით: 10190-ჯერ კაშკაშაა.

* 6. უდიდესი სიკაშკაშის დროს ვენერას ვარსკვლავიერი სიდიდე უდრის—4,3-ს. რამდენად კაშკაშაა ის ამ დროს სირიუსზე?

ამოხსნა. პოგსონის ფორმულაში ჩაისმება $m_1 = -4,3$ და $m_2 =$

$= -1,58$ (იხ. 4 და 5 ამოცანა). $\lg\left(\frac{I_3}{I_6}\right) = (-1,58 + 4,3) \cdot 0,4 = 1,088$:

ანტილოგარითმებით მივიღებთ 12,25-ჯერ.

* 7. ჩრდილოეთის ცაზე 2000 შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავია. მათი საერთო სიკაშკაშე რამდენჯერ უფრო მეტია სირიუსის სიკაშკაშეზე, რომლის ვარსკვლავიერი სიდიდე უდრის—1,58-ს?

ამოხსნა. ჯერ გავიგოთ სირიუსი რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა ერთ შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავზე. $\frac{I_{-1,58}}{I_6} = (2,512)^{6-(-1,58)}$ აქედან

$\lg\left(\frac{I_{-1,58}}{I_6}\right) = 7,58 \cdot 0,4 = 3,032$; ანტილოგარითმებით ვიპოვით, 1076-ს,

ე. ი. სირიუსი შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავზე 1076-ჯერ კაშკაშაა. 2000 შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავი დაახლოებით ორჯერ უფრო კაშკაშა იქნება სირიუსზე.

* 8. ორმაგი ვარსკვლავი კასტორი (მარჩბივის α) 2,0 და 2,8 სიდიდის ორი ვარსკვლავისგან შედგება. როგორია კასტორის საერთო ვარსკვლავიერი სიდიდე?

ამოხსნა. ჯერ გამოვთვალოთ თითოეული ეს ვარსკვლავი რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავზე (შეექვსეს მაგიერ შეიძლება ავიღოთ სხვა რომელიმე სიდიდე).

$\frac{I_3}{I_6} = (2,512)^{6-2}$; $\frac{I_{2,8}}{I_6} =$

$= (2,512)^{6-2,8}$. გამოდის, რომ პირველი ვარსკვლავის სიკაშკაშე 39,81-ჯერ მეტია შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავზე, ხოლო მეორის—19,05-ჯერ. მთლად კასტორის სიკაშკაშე უდრის 58,86 შეექვსე სიდიდის ვარსკვლავის სიკაშკაშეს.

პოგსონის ფორმულით შეიძლება დაწვეროთ $\frac{I_{კასტ.}}{I_6} = 58,86 =$

$= (2,512)^{6-k}$ აქედან $(6-k) \cdot 0,4 = 1,7$. $0,4 k = 0,6302$; $k = 1,575$.

* 9. გამოთვალეთ ანტარესის აბსოლუტური სიდიდე, თუ ცნობილია, რომ მისი პარალაქსი არის $0'',009$, ხოლო ხილული სიდიდე უდრის $1,22$ -ს.

ამოხსნა. აბსოლუტური სიდიდე გამოითვლება ფორმულით $M = m + 5 + 5 \lg p$. ჩვენს შემთხვევაში $M = 1,22 + 5 + 5 \lg 0,009 = -4,009$.

* 10. რამდენად უფრო სუსტია მზეზე ცენტავრის უახლოესი (proxima Centauri), რომლისთვისაც $p = 0'',76$; $m = 10,5$.

ამოხსნა. ჯერ გავიგოთ უახლოესი ცენტავრის აბსოლუტური სიდიდე. $M = m + 5 + 5 \lg p = 10,5 + 5 + 5 \lg 0'',76$; $M = 14,904$. მზის აბსოლუტური სიდიდე უდრის $4,87$ -ს. პოგსონის ფორმულა გვაძლევს $\frac{I_{\odot}}{I_{\alpha}} =$

$$= (2,512)^{14,004 - 4,87}. \text{ გალოგარითმებით მივიღებთ: } \lg \left(\frac{I_{\odot}}{I_{\alpha}} \right) = 4,0136.$$

ანტილოგარითმებით ვიპოვით, რომ მზე 10310-ჯერ კაშკაშაა უახლოეს ცენტავრზე.

* 11. გამოთვალეთ რამდენჯერ უფრო კაშკაშაა რიგელი მზეზე, თუ ცნობილია, რომ მისი პარალაქსი უდრის $0'',0069$ -ს, ხოლო ხილული სიდიდე $0'',34$ -ს.

ამოხსნა. ჯერ გავიგოთ რიგელის აბსოლუტური სიდიდე ფორმულით $M = m + 5 + 5 \lg p$, $M = 0,34 + 5 + 5 \lg 0,0069 = -5,466$. სიკაშკაშეთა შეფარდებისთვის $\frac{I_{\alpha}}{I_{\odot}} = (2,512)^{14,87 + 5,466}$, აქედან $\lg \left(\frac{I_{\alpha}}{I_{\odot}} \right) =$

$$= 10,336 \cdot 0,4 = 4,1344; \text{ გამოდის, რომ რიგელი } 13620\text{-ჯერ კაშკაშაა მზეზე.}$$

* 12. ჩვენი მზის სისტემა უახლოვდება ვეგას 14 კილომეტრის სიჩქარით წამში. რამდენი ხნის შემდეგ გადიდება ვეგას ხილული სიკაშკაშე $0'',1$ -ით, თუ მისი პარალაქსი $p = 0'',12$.

ამოხსნა. თუ სიკაშკაშე გაიზარდა, ვარსკვლავიერი სიდიდე მოიკლებს; ამიტომ ფორმულა $M = m + 5 + 5 \lg p$ მიიღებს სახეს: ახლა $M = m + 5 + 5 \lg 0'',12$, იმ დროისთვის $M = m - 0,1 + 5 + 5 \lg p_1$. გამოკლებით მივიღებთ $5 \lg p_1 = 0,1 + 5 \lg 0'',12$, აქედან $p_1 = 0'',1257$; მანძილის ფორმულა $D = \frac{r}{\sin p}$, გვაძლევს: საწყისი მანძილი $D = \frac{149\,500\,000}{\sin 0'',12} =$

$$= \frac{149\,500\,000 \cdot 206265}{0,12}. \text{ ასევე საბოლოო მანძილი } D = \frac{149\,500\,000 \cdot 206265}{0,1257}$$

(რადგან $r =$ ასტრ. ერთ.). $D - D_1 = 11\,660\,000\,000\,000$ კმ. ეს უნდა გავყოთ დედამიწის მიერ ერთ წელში გავლილ მანძილზე, ე. ი. $14 \cdot 365,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ -ზე. მივიღებთ, რომ ვეგას სიკაშკაშე გაიზარდება $0'',1$ -ით 26380 წლის შემდეგ.

* 13. ცეფეის ტიპის ცვალებადი ვარსკვლავის აბსოლუტური სიდიდე მაქსიმუმის დროს უდრის $-0,3$. ხილული სიდიდე კი ამ დროს იყო 7-განსაზღვრეთ პარალაქსი.

ამოხსნა. $M = m + 5 + 51g p$, $-0,3 = 7 + 5 + 51g p$, აქედან $1g p = -2,46 = \bar{3},54$, $p = 0'',0035$.

* 14. რამდენი ვარსკვლავიერი სიდიდით შესუსტდება ვარსკვლავი, თუ მანძილი გადიღდა ორჯერ? თუ n -ჯერ გადიღდა?

ამოხსნა. $\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = (2,512)^{m_1 - m_2}$, მეორე მხრივ, სიკაშკაშე იცვლება

მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად. $\frac{I_{m_1}}{I_{m_2}} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$; თუ $D_2 = 2D_1$ -ს

მივიღებთ $(2,512)^{m_2 - m_1} = 4$, აქედან გალოგარიტმებით $(m_2 - m_1) 0,4 = 0,6020$, ე. ი. შესუსტება უდრის $m_2 - m_1 = 1,505$ სიდიდით. თუ მანძილი გადიღდა n -ჯერ $(2,512)^{m_2 - m_1} = n^2$, აქედან $(m_2 - m_1) 0,4 = 21g n$, ე. ი. $m_2 - m_1 = 51g n$.

* 15. რამდენჯერ უნდა გადიღდეს მანძილი, რომ ვარსკვლავიერი სიდიდე გადიღდეს 5-ით? რამდენჯერ შემცირდება მაშინ სიკაშკაშე?

ამოხსნა. უნდა იყოს $m_2 - m_1 = 5$, წინა ამოცანის მიხედვით $m_2 - m_1 = 51g n$, $5 = 51g n$, $1g n = 1$, $n = 10$ -ჯერ. სიკაშკაშის შემცირება გამო-

ითვლება ფორმულით $\frac{I_7}{I_{x+6}} = (2,512)^{(x+6-x)}$; $1g \frac{I_x}{I_{x+5}} = 5 \cdot 0,4 = 2$, ე. ი. სიკაშკაშე შემცირდება ასჯერ.

* 16. ორმაგი ვარსკვლავის საერთო მასა $M_1 + M_2 = 3$ -ს, მზის მასასთან შედარებით. ორბიტის ხილული ნახევარდღერძი $a = 12'',3$; გარემოქცევის პერიოდი $T = 56$ წელს. გამოთვალეთ პარალაქსი.

ამოხსნა. დინამიკური პარალაქსი გამოითვლება ფორმულით $p^3 =$

$$= \frac{a^3 M_{\odot}}{(M_1 + M_2) T^2}, \quad 1g a = 1,0899, \quad 1g T = 1,7482, \quad 1g(M_1 + M_2) = 0,4771$$

$1g p^3 = \bar{1},2962$, გამოდის $p = 0'',58$.

* 17. ვარსკვლავის სპექტრში კალციუმის ხაზი, რომლის ტალღის სიგრძე უდრის 4227 \AA , გადაადგილებული აღმოჩნდა იისფერი ბოლოსკენ $0,70 \text{ \AA}$ -ით. განსაზღვრეთ რა სიჩქარით მოძრაობს ვარსკვლავი სხივის გასწვრივ და ამავე დროს გვიახლოვდება თუ გვშორდება ის.

ამოხსნა. სპექტრული ხაზების გადაადგილებით მნათობის სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით $v = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} c$, $1g(\lambda' - \lambda) = \bar{1},8451$, $1g \lambda = 3,6260$,

$1g c = 5,4771$ (c სინათლის სიჩქარე). გამოდის, რომ $v = 49,68 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$. ვარს-

კვლავი გვიახლოვდება, რადგან გადაადგილება არის იისფერი ბოლოსკენ.

* 18. რამდენად იქნება გადაადგილებული ვარსკვლავის სპექტრში ნატრიუმის D ხაზი, რომლის ტალღის სიგრძე $\lambda = 5896,15 \text{ \AA}$ -ს, თუ ვარსკვლავის სხივური სიჩქარეა $160,9 \frac{\text{კმ}}{\text{სეკ}}$?

ამოხსნა. $\lambda' - \lambda = \frac{\nu\lambda}{c}$ (იხ. 17 ამოცანა). გამოდის $\lambda' - \lambda = 3,16 \text{ \AA}$.

* 19. ჰერკულესის 1934 წლის ახალ ვარსკვლავში ბნელი ხაზები ნორმალური მდგომარეობიდან გადაადგილებული იყო იისფერი ბოლოსკენ. $H\alpha$ ხაზი, რომლის ტალღის სიგრძე $\lambda = 4341 \text{ \AA}$ გადაადგილებული იყო $10,1 \text{ \AA}$ -ით. როგორია ვარსკვლავიდან გამოსროლილი გაზის სიჩქარე, რომელმაც თავისი შთანთქმით გამოიწვია ბნელი ხაზების გაჩენა სპექტრში.

ამოხსნა. $v = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} c$ — ფორმულით მივიღებთ $698 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.

* 20. ვარსკვლავთა გროვის საშუალო საკუთარი მოძრაობა $\mu = 0,03$, სხივური სიჩქარე $v_r = 13,5 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, კუთხე სხივური სიჩქარის მიმართულეზასა და ვერტექს შორის $\varphi = 35^\circ$. გამოვფალოთ გროვის პარალაქსი.

ამოხსნა. გროვის პარალაქსი გამოითვლება ფორმულით $p'' = \frac{4,74 \mu''}{v_r \text{ სექ } \varphi}$; $\lg 4,74 = 0,6758$, $\lg \mu = \bar{2},4771$, $\lg v_r = 1,1309$, $\lg \text{tg } \varphi = \bar{1},8452$. გამოდის, რომ $\lg p'' = \bar{2},1768$, $p'' = 0'',015$.

* 21. ვეგას სხივური სიჩქარე უდრის $v_r = 14 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, საკუთარი მოძრაობა $\mu = 0'',348$ -ს, პარალაქსი $\pi'' = 0'',124$. განსაზღვრეთ ვარსკვლავის სრული სიჩქარე მზის მიმართ.

ამოხსნა. მართობი სიჩქარე $v_z = \frac{4,74 \mu}{p} \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$ გამოდის $v_z = 13,3 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.
 $v = \sqrt{v_z^2 + v_r^2} = \sqrt{(13,3)^2 + (14)^2} = 19,32 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$.

* 22. არკტურის სხივური სიჩქარე $v_r = 22 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, ხოლო მართობული სიჩქარე $v_z = 23 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$. განსაზღვრეთ კუთხე, რომელსაც ადგენს მნათობის მოძრაობის მიმართულეზა ხედვის მიმართულეზასთან.

ამოხსნა. φ კუთხე გამოითვლება: ფორმულით $\text{tg } \varphi = \frac{v_z}{v_r}$, ჩვენს შემთხვევაში $\text{tg } \varphi = \frac{23}{22}$; ანუ $\text{tg}(180 - \varphi) = \frac{23}{22}$; გამოდის $\varphi = 133^\circ 44'$.

* 23. ბეტელჯეიზის სხივური სიჩქარე უდრის $v_r = 21 \frac{\text{კმ.}}{\text{სექ.}}$, საკუთარი მოძრაობა $\mu = 0,032$ -ს, პარალაქსი $p = 0'',012$. განსაზღვრეთ სრული სიჩქარე მზის მიმართ და კუთხე φ , რომელსაც ადგენს ვარსკვლავის მოძრაობის მიმართულეზა ხედვის სხივთან.

$$\begin{aligned} \text{ამოხსნა. } v_i &= \frac{4,74 \mu}{\rho} = \frac{4,74 \cdot 0'',032}{0'',012} = 12,64 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}} \quad \text{ვგრ} = \frac{v_i}{v_r} = \\ &= \frac{12,64}{21}, \text{ აქედან } \varphi = 31'2'' \text{ სრული სიჩქარე } v = \sqrt{v_i^2 + v_r^2} = \\ &= \sqrt{(12,64)^2 + (21)^2} = 24,51 \frac{\text{კმ.}}{\text{სეკ.}} \end{aligned}$$

* 24. გამოთვალეთ მზის სისტემის მოძრაობის რაოდენობის მომენტი, იმ დაშვებით, რომ დედამიწისთვის ის უდრის ერთს. შესაფერო სიდიდეები აიღეთ ორბიტის ელემენტების ცხრილიდან.

ამოხსნა. ცთომილებისთვის შეიძლება დაუშვათ, რომ მათი მასა შეკუმშულია ცენტრში, მაშინ მათი მოძრაობის რაოდენობის მომენტი გამოითვლება ფორმულით $L = \sum m a r^2$. მზისთვის როგორც სფეროსთვის გამოიყენება ფორმულა $I_0 = \frac{2}{5} m a r^2$. დედამიწისთვის $m = 1$, $r = 1$ — ასტრონომიულ ერთეულს;

დღეღამური მოძრაობა $\Omega_3 = 3548'',2$, მივიღოთ $\omega_3 = \frac{\Omega_3}{3548'',2} = 1$. დედამიწისთვის $I_3 = 1$. მერკურისთვის $\Omega_1 = 14732'',4$,

$m = 0,042$, $r = 0,387$, $\omega_1 = \frac{\Omega_1}{\Omega_3} = 4,153$ $I_1 = m_1 \omega_1 r_1^2$, გამოდის რომ

$I_1 = 0,026$. ვენერასთვის $\Omega_2 = 5767'',7$, $r = 0,7233$, $m_2 = 0,818$, $\omega_2 = \frac{\Omega_2}{\Omega_3} = 1,626$, ისეთივე ფორმულით $I_2 = 0,696$, ასევე გამოითვალეთ სხვა ცთომილებისთვის:

მარსისთვის $\Omega_4 = 1886'',5$ $m = 0,108$, $r = 1,524$, $\omega = 0,532$, $I_4 = 0,133$

იუპიტერისთვის $\Omega_5 = 299'',13$ $m = 317,2$ $r = 5,203$ $\omega = 0,0843$, $I_5 = 723,8$

სატურისთვის $\Omega_6 = 120'',46$ $m = 95$, $r = 9,539$ $\omega = 0,0339$ $I_6 = 294,1$

ურანისთვის $\Omega_7 = 42'',27$ $m = 14,72$ $r = 19,191$ $\omega = 0,0119$ $I_7 = 64,55$

ნეპტუნისთვის $\Omega_8 = 21'',53$ $m = 17,2$ $r = 30,071$ $\omega = 0,00607$ $I_8 = 94,34$

მზისთვის $\Omega_0 = \frac{360^\circ}{25} = 51840''$, $m_0 = 332\,000$, $r_0 = 696\,000$ კმ. $= 0,004654$

ასტრ. ერთეულს. $\omega_0 = 14,61$, $I_0 = \frac{2}{5} m_0 r_0^2 \omega_0 = 42,04$.

სულ $L = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 = 1220,685$.

ლილი ცოფილებს და მახასიათებელი სიდიდეები. 1950 წლის 1 იანვრისთვის

ცოფილები	დიდი ნაბეჭდი ლერი d	მსკენტი რისი-ტეტი e	დაბრ-ლობა f	აღმავალი კენის გრძელი Ω	პერიპე-ლოუმის გრძელი π	სიღრუ-ლი პე-რიოდი T	საშუალო დღულაშ-რი მოდ-ობა u	საშუალო გრძელი L	მასა m	რადუსი r
შერკური	0,387	0,206	7° 0'	47° 44'	76° 41'	0,241	14732",4	37° 26	0,042	0,56
ყენურა	0,723	0,007	3 24	76 14	130 54	0,615	5767 ,7	83 ,17	0,818	0,96
დედამიწა	1,000	0,017	—	—	102 5	1,000	8548 ,2	100 ,58	1,700	1,00
მარსი	1,524	0,093	1 51	49 10	335 8	1,881	1336 ,5	144 ,86	0,105	0,53
იუპიტერი	5,203	0,048	1 18	99 57	13 31	1,862	299 ,13	316 ,24	317,18	11,24
სატურნი	9,559	0,056	2 29	113 13	92 4	29,458	120 ,46	158 ,34	94,98	9,45
ურანი	19,191	0,047	0 46	73 44	169 51	84,015	42 ,24	98 ,32	14,72	3,9
ნეპტუნი	30,071	0,009	1 46	131 14	44 10	164,788	21 ,53	194 ,96	17,19	4,2
პლუტონი	39,457	0,249	17 09	109 38	223 31	247,697	14 ,26	105 ,61	?	?

ვეელაზე კაშკაშა ვარსკვლავები

ვ ა რ ს კ ე ლ ა ვ ე ბ ი	პირდაპირი აღწერა	დამრილობა	ვარსკვლავი (ხელ.)	სპექტრი	საკუთარი მოძრაობა	პარალაქი	მანძილი სინათლის წლებში	აბსოლუტური სიდიდე	რაოდენი	მასა (მზის=1)
	α	δ	m		μ	p	წლებში	M	R	(მზის=1)
1. დიდი ძაღლის α, სირიუსი	643 ^m	-16°39'	-1,6	A ₃	1,315	0,976	8,7	1,3	1,8	8,4
2. გენის ხერხემალის α, კანოპუსი	6 22	-52 39	-0,9	F ₀	0,022	0,018	180	-4,6	85	60
3. ცენტავრის α, ტოლმეკი	14 74	-60 38	+0,1	G ₆	3,682	0,756	4,3	+1,7	1,0	1,1
4. კანარის α, შვეა	18 35	+38 44	0,1	A ₁	0,348	0,121	27	0,5	2,2	2,8
5. მენაბირის α, არქტური	14 13	19 27	0,2	K ₆	2,287	0,088	52	0,0	2,6	11
6. მუტალუს α, კახლა	6 13	45 57	0,2	G ₆	0,439	0,063	57	-0,3	12	7,5
7. ორიონის β, რეგული	6 12	-8 15	0,3	B ₃	0,005	0,006	510	-5,8	38	40
8. ბატარა ძაღლის α, პროციონი	7 37	5 21	0,5	F ₄	1,242	0,291	11,2	+2,9	1,8	1,2
9. ერთდანის α, ახერნახი	1 35	-57 35	0,6	B ₃	0,093	0,034	96,	-1,7	—	—
10. თენტავრის β, —	13 53	-60 2	0,9	B ₂	0,089	0,017	190	-3,0	—	—
11. არჩივის α, ალბაირი	19 48	8 44	0,9	A ₆	0,659	0,204	16	+2,5	1,4	1,7
12. ორიონის β, ბეტელჯიზე	6 52	7 24	0,9	M ₂	0,032	0,011	300	-3,9	360	15
13. ჯვარის α	12 23	-62 43	1,0	B ₁	0,016	0,013	250	-2,8	—	—
14. ყუონის α, ალდებარანი	4 38	16 25	1,1	K ₅	0,205	0,051	64	-0,4	40	4
15. კალწულის α, სპიკა	13 23	-10 54	1,2	B ₂	0,051	0,011	300	-2,8	5	11
16. მარჩბივის β, პოლუქსი	7 42	26 9	1,2	G ₂	0,623	0,100	83	1,2	—	—
17. ლოჩაქალის α, ანტარესი	16 26	-26 16	1,2	M ₁	0,032	0,012	270	-3,1	390	50
18. სამზოფთ. თევზ. α, ფომალგატ	22 55	-29 53	1,3	A ₆	0,367	0,141	23	2,2	—	—
19. მისის α, დენიხი	20 40	45 6	1,3	A ₃	0,004	0,004	800	-5,2	35	35
20. ლომის α, რეგული	10 6	12 13	1,3	B ₆	0,224	0,041	80	-0,6	—	—
21. ჯვარის β	12 44	-59 18	1,5	B ₁	0,054	0,010	930	-3,5	—	—

სახელთა კავშირის ქალაქები

ქალაქი	განედი	გრძელი	სართულის ნომერი	ქალაქი	განედი	გრძელი	სართულის ნომერი
1. აღმა-ატა . . .	43°16'	5 ^h 8 ^m	5	41. ეიტომირი . . .	50°16'	1 ^h 54 ^m 7 ^s	2
2. არხანგელსკი . . .	64 33	2 42,1	2	42. რიგა . . .	56 59	1 36,5	2
3. ასტრახანი . . .	46 21	3 12,1	3	43. როსტოვი (დონზე) . . .	47 14	2 38,9	2
4. აშხაბადი . . .	37 56	3 53,6	4	44. სამტრედია . . .	42 10	2 49,5	3
5. ახალციხე . . .	41 38	2 52,0	3	45. სარატოვი . . .	51 32	3 4 3	3
6. ბაქო	40 23	3 19,4	3	46. სევასტოპოლი . . .	44 37	2 14,0	2
7. ბათომი	41 39	2 46,5	3	47. სვერდლოვსკი . . .	56 50	4 2,4	4
8. ბორჯომი	41 50	2 53,5	3	48. სიმფეროპოლი . . .	44 58	2 16,4	2
9. გორი	41 58	2 56,5	3	49. სმოლენსკი	54 47	2 18,2	2
10. გორკი	56 19	2 56,0	3	50. სტალინაბადი . . .	38 34	4 35,6	5
11. დნეპროპეტრ. . .	48 28	2 20,3	2	51. სტალინგრადი . . .	48 42	2 58,1	3
12. ერევანი	40 11	2 58,0	3	52. სტალინირი	42 15	2 56,0	3
13. ვილნიუსი	54 41	1 41,1	2	53. სოხუმი	43 1)	2 44,0	3
14. ვლადივოსტოკი . . .	43 7	8 47,5	9	54. ტალინი	59 26	1 39,0	2
15. ვორონეჟი	51 40	2 36,8	2	55. ტაშკენტი	41 19	4 37,2	5
16. ხესტაფონი	42 8	2 52,0	3	56. ტოშკი	56 29	5 39,8	6
17. ხუგდიდი	42 30	2 47,5	3	57. ტულა	54 10	2 30,5	2
18. თბილისი	41 43	2 59,3	3	58. ულიანოვსკი	54 19	3 13,6	3
19. თელავი	41 55	3 2,0	3	59. უშა	54 43	3 43,8	4
20. ივანოვო	57 0	2 43,9	2	60. ფოთი	42 8	2 46,5	3
21. ირკუტსკი	52 17	6 57,1	7	61. ფრუნზე	42 53	4 58,5	5
22. კალინინი	56 52	2 23,6	2	62. ქლუბორი	43 15	2 44,5	3
23. კალინინგრადი	54 43	1 22,0	2	63. კობულდეთი	41 50	2 47,0	3
24. კაუნასი	54 54	1 35,6	2	64. კუთაისი	42 16	2 50,8	3
25. კიევი	50 27	2 2,0	2	65. ყაზანი	55 47	3 16,5	3
26. კიშინიოვი	47 2	1 55,3	2	66. ცხაკაია	42 16	2 48,0	3
27. კრასნოდარი	45 2	2 35,9	3	67. კიათურა	42 18	2 53,0	3
28. კუბიშევი	53 12	3 20,4	3	68. ხაბაროვსკი	48 28	9 0,2	9
29. ლენინგრადი	59 56	2 1,0	2	69. ხარკოვი	46 35	3 10,5	2
30. ლუვი	49 51	1 36,1	2	70. ჩელიაბინსკი	55 10	4 5,4	4
31. მახარაჟე	41 54	2 48,0	3	71. ჩიტა	52 3	7 34,0	7
32. მახაჩკალა	42 59	3 10,2	3	72. ჩელოვი	51 47	3 40,4	4
33. მიწკი	53 54	1 50,3	2				
34. მოლოტოვი	58 0	3 45,1	4				
35. მოსკოვი	55 45	2 30,3	2				
36. მურმანსკი	68 56	2 12,2	2				
37. ოდესა	46 28	2 3,0	2				
38. ომსკი	55 0	4 53,5	5				
39. ორიოლო	52 58	2 24,3	2				
40. პეტროზავოდსკი	61 47	2 17,6	5				

ხაზღვარგარეთის დიდ კალაქებს (მილიონზე მეტი მცხოვრებით)

კალაქი	განედი	გრძელი	სართულის ნომერი	კალაქი	განედი	გრძელი	სართულის ნომერი
1. ბარსელონა . . .	41°22'	0°8',6	0	24. პარიზი	48 49	0°9',9	0
2. ბერლინი	52 33	0 53,4	1	25. ჯეკინი	39°58'	7 47,0	8
3. ბირმინგემი . . .	53 30	-0 4,0	0	26. რომი	41 54	0 49,9	1
4. ბომბეი	18 55	4 51,6	5	27. რიო-დე-ჟენეირო	-22 54	-2 53,3	21
5. ბუდაპეშტი . . .	47 30	1 16,1	1	28. სანტ-იაგო . . .	-33 27	-4 42,8	19
6. ბუნოს-აირესი	-35 0	-3 52,0	20	29. სან-პაულო . . .	-23 30	-3 9,3	21
7. გლახგო	55 53	-0 17,2	0	30. სეული	37 30	8 32,0	9
8. დეტროიტი . . .	42 0	-5 36,0	18	31. სიდნეი	-33 51	10 4,3	10
9. ვენა	48 16	1 5,4	1	32. ტიანძინი	39 0	7 49,0	8
10. კაირო	30 5	2 5,1	2	33. ტოკიო	35 41	9 18,3	9
11. კალკუტა	22 32	5 53,6	6	34. ფილადელფია . .	40 0	-5 2,0	19
12. კანტონი	23 30	6 54,0	7	35. შანზაი	31 14	8 5,8	8
13. ლონდონი	51 28	0 0	0	36. ჩიკაგო	41 53	-5 30,1	19
14. ლოს-ანჯელოს	43 3	-7 53,0	16	37. ჰამბურგი	53 33	0 39,9	1
15. მადრიდი	40 24	0 14,8	0				
16. მანილა	14 35	8 4,0	8				
17. მელბურნი . . .	-37 50	9 40,0	10				
18. მილანი	45 28	0 36,7	1				
19. მექსიკა	19 26	-6 36,5	17				
20. მუკდენი	41 48	8 13,5	8				
21. ნანკინი	32 0	7 59,0	8				
22. ნიუ-იორკი . . .	40 43	-4 56,0	19				
23. ოსაკა	34 40	9 4,0	9				

სათი—გრადუსებში		დროის წუთები—რკალურ ზომაში					დროის წამები—რკალურ ზომაში						
h	o	m	o	'	m	o	'	s	"	s			
1	15	1	0	15	31	7	45	1	0	15	31	7	45
2	30	2	0	30	32	8	0	2	0	30	32	8	0
3	45	3	0	45	33	8	15	3	0	45	33	8	15
4	60	4	1	0	34	8	30	4	1	0	34	8	30
5	75	5	1	15	35	8	45	5	1	15	35	8	45
6	90	6	1	30	36	9	0	6	1	30	36	9	0
7	105	7	1	45	37	9	15	7	1	45	37	9	15
8	120	8	2	0	38	9	30	8	2	0	38	9	30
9	135	9	2	15	39	9	45	9	2	15	39	9	45
10	150	10	2	30	40	10	0	10	2	30	40	10	0
11	165	11	2	45	41	10	15	11	2	45	41	10	15
12	180	12	3	0	42	10	30	12	3	0	42	10	30
13	195	13	3	15	43	10	45	13	3	15	43	10	45
14	210	14	3	30	44	11	0	14	3	30	44	11	0
15	225	15	3	45	45	11	15	15	3	45	45	11	15
16	240	16	4	0	46	11	30	16	4	0	46	11	30
17	255	17	4	15	47	11	45	17	4	15	47	11	45
18	270	18	4	30	48	12	0	18	4	30	48	12	0
19	285	19	4	45	49	12	15	19	4	45	49	12	15
20	300	20	5	0	50	12	30	20	5	0	50	12	30
21	315	21	5	15	51	12	45	21	5	15	51	12	45
22	330	22	5	30	52	13	0	22	5	30	52	13	0
23	345	23	5	45	53	13	15	23	5	45	53	13	15
24	360	24	6	0	54	13	30	24	6	0	54	13	30
		25	6	15	55	13	45	25	6	15	55	13	45
		26	6	30	56	14	0	26	6	30	56	14	0
		27	6	45	57	14	15	27	6	45	57	14	15
		28	7	0	58	14	30	28	7	0	58	14	30
		29	7	15	59	14	45	29	7	15	59	14	45
		30	7	30	60	15	0	30	7	30	60	15	0

გრადუსული ზომის საათიერ ზომაში გადაყვანა

გრადუსები—საათიერ ზომაში				რკალის წუთები—საათიერ ზომაში				რკალის წამები—საათიერ ზომაში							
°	h	m	s	′	m	s	″	s	″	s					
1	0	4	120	8	0	1	0	4	31	2	4	1	0,07	31	2,07
2	0	8	130	8	40	2	0	8	32	2	8	2	0,13	32	2,13
3	0	12	140	9	20	3	0	12	33	2	12	3	0,20	33	2,20
4	0	16	150	10	0	4	0	16	34	2	16	4	0,27	34	2,27
5	0	20	160	10	40	5	0	20	35	2	20	5	0,33	35	2,33
6	0	24	170	11	20	6	0	24	36	2	24	6	0,40	36	2,40
7	0	28	180	12	0	7	0	28	37	2	28	7	0,47	37	2,47
8	0	32	190	12	40	8	0	32	38	2	32	8	0,53	38	2,53
9	0	36	200	13	20	9	0	36	39	2	36	9	0,60	39	2,60
10	0	40	210	14	0	10	0	40	40	2	40	10	0,67	40	2,67
11	0	44	220	14	40	11	0	44	41	2	44	11	0,73	41	2,73
12	0	48	230	15	20	12	0	48	42	2	48	12	0,80	42	2,80
13	0	52	240	16	0	13	0	52	43	2	52	13	0,87	43	2,87
14	0	56	250	16	40	14	0	56	44	2	56	14	0,93	44	2,93
15	1	0	260	17	20	15	1	0	45	3	0	15	1,00	45	3,00
16	1	4	270	18	0	16	1	4	46	3	4	16	1,07	46	3,07
17	1	8	280	18	40	17	1	8	47	3	8	17	1,13	47	3,13
18	1	12	290	19	20	18	1	12	48	3	12	18	1,20	48	3,20
19	1	16	300	20	0	19	1	16	49	3	16	19	1,27	49	3,27
20	1	20	310	20	40	20	1	20	50	3	20	20	1,33	50	3,33
30	2	0	320	21	20	21	1	24	51	3	24	21	1,40	51	3,40
40	2	20	330	22	0	22	1	28	52	3	28	22	1,47	52	3,47
50	3	20	340	22	40	23	1	32	53	3	32	23	1,53	53	3,53
60	4	0	350	23	20	24	1	36	54	3	36	24	1,60	54	3,60
70	4	40	360	24	0	25	1	40	55	3	40	25	1,67	55	3,67
80	5	20				26	1	44	56	3	44	26	1,73	56	3,73
90	6	0				27	1	48	57	3	48	27	1,80	57	3,80
90	6	0				28	1	52	58	3	52	28	1,87	58	3,87
100	6	40				29	1	56	59	3	56	29	1,93	59	3,93
110	7	20				30	2	0	60	4	0	30	2,00	60	4,00

ნატურალური ტრიგონომეტრიული ფუნქციები

გრადუსი	sin	cos	tg	გრადუსი	sin	cos	tg	გრადუსი	sin	cos	tg
0	.000	1.000	.000	31	.515	.857	.601	61	.875	.485	1,8
1	.017	.999	.017	32	.530	.848	.625	62	.893	.469	1,881
2	.035	.999	.035	33	.545	.839	.649	63	.901	.454	1,963
3	.052	.999	.052	34	.559	.829	.675	64	.899	.438	2,050
4	.070	.998	.070	35	.574	.819	.700	65	.906	.423	2,145
5	.087	.996	.087	36	.588	.809	.727	66	.914	.407	2,246
6	.105	.995	.105	37	.602	.799	.754	67	.920	.391	2,356
7	.122	.993	.123	38	.616	.788	.781	68	.927	.375	2,475
8	.139	.990	.140	39	.629	.777	.810	69	.934	.358	2,605
9	.156	.988	.158	40	.643	.766	.839	70	.940	.342	2,747
10	.174	.985	.176	41	.656	.755	.869	71	.946	.326	2,904
11	.191	.982	.194	42	.669	.743	.900	72	.951	.309	3,078
12	.208	.978	.213	43	.682	.731	.933	73	.956	.292	3,271
13	.225	.974	.231	44	.695	.719	.966	74	.961	.276	3,487
14	.242	.970	.249	45	.707	.707	1.000	75	.966	.259	3,732
15	.259	.966	.268	46	.719	.695	1.035	76	.970	.242	4,011
16	.276	.961	.287	47	.731	.682	1.072	77	.974	.225	4,331
17	.292	.956	.306	48	.743	.669	1.111	78	.978	.208	4,705
18	.309	.951	.325	49	.756	.656	1.150	79	.982	.191	5,145
19	.326	.945	.344	50	.766	.643	1.192	80	.985	.174	5,671
20	.342	.938	.364	51	.777	.629	1.235	81	.988	.156	6,314
21	.358	.934	.384	52	.788	.616	1.280	82	.990	.139	7,115
22	.375	.927	.404	53	.799	.602	1.327	83	.993	.122	8,144
23	.391	.920	.424	54	.809	.588	1.376	84	.995	.105	9,514
24	.407	.913	.445	55	.819	.574	1.428	85	.996	.087	11,43
25	.423	.906	.466	56	.829	.559	1.483	86	.998	.070	14,30
26	.434	.899	.488	57	.838	.545	1.540	87	.999	.052	19,08
27	.454	.891	.510	58	.848	.530	1.600	88	.999	.035	28,64
28	.469	.883	.532	59	.857	.515	1.664	89	.999	.017	57,29
29	.485	.875	.554	60	.866	.500	1.732	90	1.000	.000	∞
30	.500	.866	.577								

ლ ა ნ ა რ ა ე თ ე ბ ე ბ ი

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	000	004	009	013	017	021	053	029	033	037	33	519	520	521	522	524	525	526	528	529	530
11	041	053	049	153	057	061	064	068	072	076	34	531	533	534	535	537	538	539	540	542	543
12	079	083	086	090	093	097	100	104	107	111	35	544	545	547	548	549	550	551	553	554	555
13	114	117	121	124	127	130	134	138	140	143	36	546	548	549	560	561	562	563	565	566	567
14	146	149	152	155	158	161	164	167	170	173	37	568	569	571	572	573	574	575	576	577	579
15	176	176	182	185	188	190	193	196	199	201	38	580	581	582	583	584	585	587	588	589	590
16	204	207	210	212	215	217	220	223	226	228	39	591	592	593	594	595	597	598	599	600	601
17	230	233	236	238	241	243	246	248	250	253	40	602	603	604	605	606	607	609	610	611	612
18	255	258	260	262	265	267	270	272	274	276	41	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622
19	279	281	283	286	288	290	292	294	297	299	42	623	624	625	626	627	629	630	631	632	633
20	301	303	305	307	310	312	314	316	318	320	43	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642
21	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340	44	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652
22	341	344	346	348	350	352	354	356	358	360	45	653	654	655	656	657	659	660	661	662	663
23	362	364	365	367	369	371	373	375	377	378	46	663	664	665	666	667	667	668	669	670	671
24	380	382	384	386	387	389	391	393	394	396	47	672	673	674	676	676	677	678	679	679	680
25	398	400	401	403	405	406	408	410	412	413	48	681	682	683	684	685	686	687	688	688	689
26	415	417	418	420	422	423	425	427	428	430	49	690	691	692	693	694	695	695	696	697	698
27	431	433	435	436	438	439	441	442	444	446	50	699	700	701	702	702	703	704	705	706	707
28	447	449	450	452	453	455	456	458	459	461	51	708	708	709	710	711	712	713	713	714	715
29	462	464	465	467	468	470	471	473	474	476	52	716	717	718	718	719	720	721	722	723	725
30	477	479	480	481	483	484	486	487	489	490	53	724	725	726	727	728	728	729	730	731	732
31	491	493	494	498	497	498	500	501	502	504	54	732	733	734	735	736	736	737	738	739	740
32	505	507	508	509	511	512	513	515	516	517	55	740	741	742	743	744	744	745	746	747	747

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	740	741	742	743	744	745	746	747	747	747	78	893	893	894	894	895	895	895	896	896	897
56	748	749	750	751	752	753	754	754	754	755	79	898	898	899	900	900	901	901	902	902	903
57	756	757	757	759	760	760	761	763	763	763	80	903	904	905	905	906	906	907	907	907	908
58	763	764	765	766	767	768	769	769	770	770	81	908	909	910	910	911	911	912	912	913	913
59	771	772	772	773	774	775	775	777	777	777	82	914	914	915	915	916	916	917	918	918	919
60	778	779	780	780	781	782	783	784	785	785	83	919	920	920	921	921	922	922	923	923	924
61	785	786	787	787	788	789	790	791	792	792	84	924	925	926	926	927	927	928	928	929	929
62	792	793	794	794	795	796	797	798	799	799	85	929	930	930	931	931	932	932	933	933	934
63	799	800	801	801	802	803	804	805	806	806	86	934	935	936	936	937	937	938	938	939	939
64	806	807	808	808	809	810	810	811	812	812	87	940	940	941	941	942	942	943	943	943	944
65	813	814	814	815	816	816	817	818	818	819	88	944	945	945	946	946	947	947	948	948	949
66	820	820	821	822	823	823	824	825	825	825	89	949	950	950	951	951	952	952	953	953	954
67	826	827	827	828	829	830	831	831	832	832	90	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
68	833	833	834	834	835	836	836	837	838	838	91	959	960	960	960	961	961	962	962	963	963
69	839	839	840	841	841	842	843	843	844	844	92	964	964	965	965	966	966	967	967	968	968
70	845	846	846	847	848	848	849	849	850	851	93	968	969	969	970	970	971	971	972	972	973
71	851	852	852	853	854	855	855	856	857	857	94	973	974	974	975	975	976	976	977	977	977
72	857	858	859	859	860	861	861	862	863	863	95	978	978	979	979	980	980	981	981	982	982
73	863	864	865	865	866	867	867	868	869	869	96	982	983	983	984	984	985	985	986	986	986
74	869	870	870	871	872	872	873	873	874	874	97	987	987	988	988	989	989	989	990	990	991
75	875	876	876	877	878	878	879	879	880	880	98	991	992	992	993	993	994	994	994	995	995
76	881	881	882	883	884	884	885	885	886	886	99	996	996	997	997	998	998	998	999	999	1000
77	886	887	888	888	889	890	890	891	892	892											

ძლიერებების პერიოდული სისტემა

პერიოდი	ჯ ა ბ გ დ ე ვ										VIII	O	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		IX			
1	H 1,008												He 4,003
2	Li 6,940	Be 9,02	B 10,82	C 12,010	N 14,008	O 16,000	F 19,00						Ne 20,183
3	Na 22,997	Mg 24,32	Al 26,97	Si 28,06	P 30,98	S 32,06	Cl 35,457						Ar 39,944
4	K 39,096	Ca 40,08	Sc 45,10	Ti 47,90	V 50,95	Cr 52,01	Mn 54,93	Fe 55,85	Co 58,94	Ni 58,69			
5	Cu 63,57	Zn 65,38	Ga 69,72	Ge 72,60	As 74,9	Se 78,96	Br 79,916						Kr 83,7
6	Rb 85,48	Sr 87,63	Y 88,92	Zr 91,22	Nb 92,91	Mo 95,95	Ma 43	Ru 101,7	Rh 102,91	Pd 106,7			
7	Ag 107,89	Cd 112,41	In 114,76	Sn 118,7	Sb 121,76	Te 126,92							Xe 131,3
8	Cs 132,91	Ba 137,36	La 138,92	Hf 178,6	Ta 180,88	W 183,92	Re 186,31	Os 190,2	Jr 198,1	Pt 195,23			
9	Au 197,2	Hg 200,61	Tl 201,99	Pb 207,21	Bi 209,00	Po (210)	Am 85						Rn 222
10	Va 87	Ra 225,97	Ac (227)	Th 232,04	Pa (231)	U 238,04							

ბ რ გ დ ე ვ ჯ ა ბ გ დ ე ვ

Ce 140,13	Pr 140,92	Nd 144,27	60	61	Sm 150,43	Eu 152,0	Gd 156,9	64
Tb 159,2	Dy 162,46	Ho 163,5	67	Er 167,3	Tm 169,4	Yb 173,5	Lu 175,0	71

ზოგიერთი მუდმივი

წრეხაზის უფარდება დიამეტრთან $\pi = 3,14159265$, $\lg \pi = 0,4971499$
 ნატურალური ლოგარითმის ფუძე $e = 2,718281828$, $\lg e = 0,4342945$
 სინათლის სიჩქარე $c = 299776$ კმ./სექ. $\lg c = 5,4767969$
 ასტრონომიული ერთეული $a = 149500000$ კმ. $\lg a = 8,1746412$
 რადიანი $\rho = 57^{\circ}, 29578 = 3437', 7468 = 206264''$, 81
 $\lg \rho'' = 5,3144251$

მიზიდულობის მუდმივი CGS სისტემაში $k^2 = \frac{1}{15000000} = 6,67 \cdot 10^{-8}$

სიმძიმის ძალის აჩქარება ზღვის დონეზე 45° განედზე $g = 980,665$
 ეკვატორის საშუალო დახრილობა $\varepsilon = 23^{\circ} 27' 8'', 26 - 0''$, 4684 t ,

სადაც t 1900 წლიდან გასული წელთა რიცხვია.

სინათლის წელი $= 9,463 \cdot 10^{12}$ კმ. $= 63290$ ასტ. ერთეულს.

პარსეკი $= 30,84 \cdot 10^{12}$ კმ. $= 206265$ ასტ. ერთ. $= 3,256$ სინათლის წელს.

დღე-ღამე $= 24^h = 1440^m = 86400^s$

იულიუსის წელი $= 8766^h = 525960^m = 31557600^s$

ტროპიკული წელი $= 8765^h, 813 = 525948^m, 77 = 31556926^s, 34$

დედამიწის სფეროიდის ელემენტები:

ეკვატორული რადიუსი $a = 6378,245$ კმ.

პოლარული რადიუსი $b = 6356,863$ კმ.

შეკუმშულობა $c = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}$

დედამიწის მასა $5,974 \cdot 10^{27}$ გრ. სიმკვრივე $5,517$

მზის პარალაქსი $\pi_{\odot} = 8'', 80$. მზის მუდმივი $k = 1,94$ მც. კალორია.

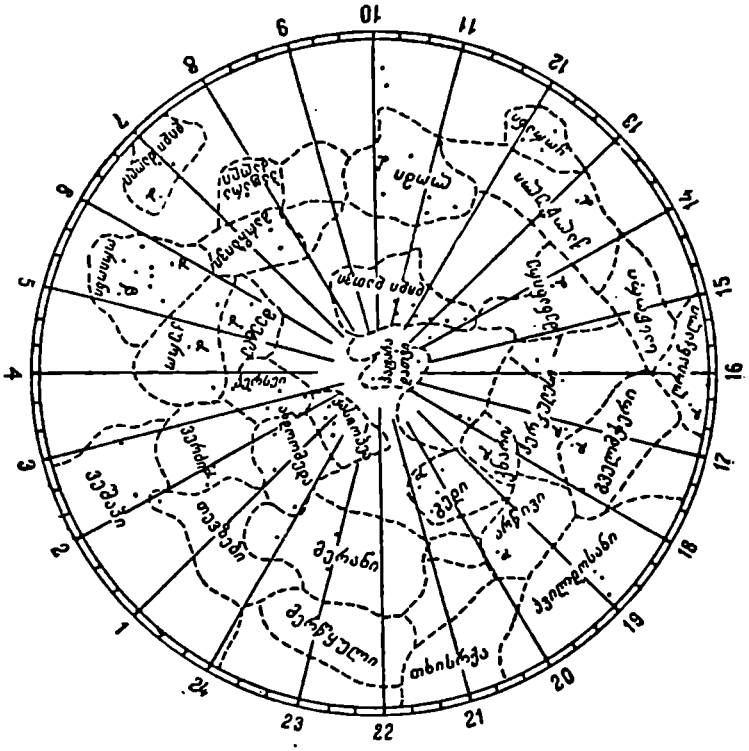
მთვარის საშუალო პარალაქსი $\pi_{\lrcorner} = 57' 2'', 7$, მთვარემდე საშუალო მანძილი $= 384400$ კმ.

თანავარსკვლავედების სახელწოდება ქართულად, რუსულად და ლათინურად

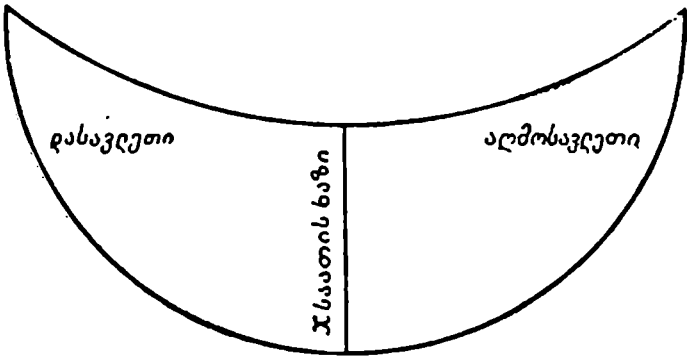
ქართული სახელ.	შემოკლებ.	რუსული სახელ.	შემოკლებ.	ლათინური სახელ.	შემოკლებ.
ანდრომედა არწივი ბადურა ბერენიკას თმები ბუხი	ანო არწ ბად ბთმ ბუხ	Андромеда Орел Сетка Волосы Вероники Муха	Андр Орл Сет ВВе Мух	Andromeda Aquila Reticulum Coma Berenices Musca	And Aql Ret Com Mus
გელი გველი გველმჭერი გემის ხერხემალი დელფინი	გელ გვე გვე გბრ დელ	Лебедь Змей Змееносец Киль Дельфин	Либ Змб Зми КиЛ Дел	Cygnus Serpens Ophiuchus Carina Delphinus	Cyg Ser Oph Car Del
დიდი ღათვი დიდი ძაღლი დრაკო (გველგეშაპი) ერიდანის ვერძი	დდთ დძღ დრა ერი ვერ	Больш. Медведица Большой Пес Дракон Эридан Овен	БМд БПе Дра Эри Овн	Ursa Major Canis Major Draco Eridanus Aries	UMa CMA Dra Eri Ari
ვეშაპი თევზები თხის რქა იალქნები ინდოელი	ვეშ თევ თრქ ილქ ინდ	Кит Рыбы Козерог Парус Индеец	Кит Рыб Коз Пар Инд	Cetus Pisces Capricornus Vela Indus	Ket Psc Cap Vel Ind
ისარი კასიოპეა კვიცი კირჩხიბი კომპასი	ისრ კას კვი კირჩ კომ	Стрела Кассиопея Малый Конь Рак Компас	Стр Кас МКн Рак Ком	Sagitta Cassiopeia Equuleus Cancer Pycnis	Sge Cas Equ Cnc Pyc
კურდღელი კურო ლომი მარტორქა მარჩბივი მგელი	კრდ კურო ლომ მარ მრჩ მგლ	Заяц Телец Лев Единорог Близнецы Волк	Зай Тел Лев Еди Близ Влк	Lepus Taurus Leo Monoceros Gemini Lupus	Lep Tau Leo Mon Gem Lup
მეცტლე მუნახორე მელა მეოანი მერწყული	მეტ მუნ მელ მონ მრწყ	Возничий Волнас Лисичка Пегас Водолей	Воз Вол Лис Пег Вод	Auriga Bootes Vulpecula Pegasus Aquarius	Aur Boo Vul Peg Aqr
მემგზარი ძაღლები მიკროსკოპი მკუთხავი მოქანდაკე მტრედი	მმღ მიკ მკუ მოქ მტრ	Гонимые Псы Микроскоп Наугольник Скульптор Голубь	ГПс Мик Нау Ску Глб	Canes Venatici Microscopium Norma Sculptor Columba	Cvn Mic Nor Scl Col
მფრინავი თევზი მშვილდოსანი მკრელი მხატვარი ორიონი ოქროს თევზი	მთვ მშვ მკრ მხტ ორი ოთვ	Летучая Рыба Стрелец Резец Живописец Орион Золотая рыба	ЛРб Стц Рез Жив Ори ЗРб	Volans Sagittarius Caelum Pictor Orion Dorado	Vol Sgr Cal Pic Ori Dor

თანავარსკვლავედების სახელწოდება ქართულად, რუსულად და ლათინურად

ქართული სახელ.	შემოკ.	რუსული სახელ.	შემოკ	ლათინური სახელ.	შემოკ.
ოქტანტი პატარა დათვი პატარა ლომი პატარა ძაღლი პერსეი	ოქტ პდთ პლმ პძღ პერ	Октянт Малая Медведица Малый Лео Малый Пес Персеи	Окт ММд МЛп МПс Пер	Octans Ursa Minor Leo Minor Canis Minor Perseus	Oct UMi LMI CMi Per
ჟირაფი საათი სამკუთხედი სამოთხის ჩიტი სამსხვერპლო	ჟრფ სათ სმკ სჩუ სხპ	Жираф Часы Треугольник Райская Птица Жертвенник	Жрф Час Тре РПт Жер	Camelopardalis Horologium Triangulum Apus Ara	Cam Hor Tri Aps Ara
სამზრეთის გველი სამზრეთის გვირგვინი სამზრეთის თევზი სამზრეთის სამკუთხედი სასწორი	სგვ სგრ სთვ სკთ სას	Южная Гидра Южная Короиа Южная Рыба Южный Треугсл. Весы	ЮПн ЮКр ЮРბ ЮТр Вес	Hydrus Corona Austrina Piscis Austrinus Triangulum Austr. Libra	Hyi CrA PsA TrA Lib
საქანელა სექსტანტი სუფრის მთა ტელესკოპი ტუკანი	საქ სექ სმთ ტელ ტუკ	Насос Секстант Столовая Гора Телескоп Туكان	Нас Сек СГО Тел Тук	Antlia Sextans Mensa Telescopium Tucana	Ant Sex Men Tel Tuc
ფარგალი ფარი ფარშავანტი ფენიქსი ფილა	ფრგ ფარ ფრშ ფენ ფილ	Циркуль Щит Павлин Феникс Чаша	Цпр Щит Пав Фен Чаш	Circinus Scutum Pavo Phoenix Crater	Cir Sct Pav Phx Crt
ფოცხვერი ქალწული ქამილეონი ქნარი ღრიანკალი	ფოც ქალ ქამ ქნრ ღრკ	Рысь Дева Хамелеон Лира Скорпион	Рыс Дев Хма Лир Ско	Lynx Virgo Chamaeleon Lyra Scorpius	Lyn Vir Cha Lyr Sco
ღუმელი ყორანი ჩრდილოეთის გვირგვინი ცენტავრი ცეფეი	ღუმ ყორ ჩგვ ცენ ცეფ	Печь Ворон Северная Короиа Центавр Цефей	Печ Ври Скр Цен Цеф	Fornax Corvus Corona Borealis Centaurus Cepheus	For Crv CrB Cen Cep
წერო ხელიკი ხომალდის ბოლო ჯვარი ჰერკულესი ჰიდრა	წერ ხელ ხბლ ჯვრ ჰერ ჰიდ	Журавль Ящерица Корма Крест Геркулес Гидра	Жур Ящр Кор Кре Гер Гид	Grus Lacerta Puppis Cruх Hercules Hydra	Gru Lac Pup Cru Her Hya



სქემატური რუკა



"ფარი"

შინაპარსი

წინასიტყვაობა	გვ. 3
-------------------------	-------

თ ა ვ ი I შესავალი

§ 1. ასტრონომიის საგანი და მეთოდი	5
§ 2. მნათობთა ზოგადი დათვალიერება	11
§ 3. სფეროს ზოგიერთი თვისება	21
§ 4. გეოგრაფიული კოორდინატები. კუთხეების სამგვარი ზომა	27
I თავის სავარჯიშო	32

თ ა ვ ი II ხეფრული ასტრონომიის საფუძვლები

§ 5. ასტრონომიული კოორდინატები	37
§ 6. დღედამზერი მოვლენები	44
§ 7. მთვარის მოძრაობა. მზის და მთვარის დაბნელება	52
§ 8. დროის ანგარიში	58
§ 9. კალენდარი	65
§ 10. ასტრონომიული სამკუთხედი	69
II თავის სავარჯიშო	73

თ ა ვ ი III პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები

§ 11. ასტრონომიული იარაღები	94
§ 12. დროის განსაზღვრა	103
§ 13. გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრა	107
§ 14. მნათობის გეოცენტრული კოორდინატების განსაზღვრა	110
§ 15. დედამიწის ფორმა, სიდიდე და ბრუნვა	113
III თავის სავარჯიშო	119

თ ა ვ ი IV ციური მექანიკა

§ 16. გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა	127
§ 17. კეპლერის კანონები. უკუსვლითი მოძრაობა	134
§ 18. დამკვირვებლის მოძრაობით გამოწვეული გადაადგილება	140
§ 19. ორი სხეულის ამოცანა	148
§ 20. სამი და მრავალი სხეულის ამოცანა	161
IV თავის სავარჯიშო	171

თ ა ვ ი V ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა

21.	ასტროფიზიკის მეთოდი	183
22.	მზე	193
23.	მთვარე	203
24.	უღმეულები	207
25.	კომეტები და მეტეორები	214
26.	ვარსკვლავთა ფიზიკური ბუნება	224
	V თავის სავარჯიშო	250

თ ა ვ ი VI ს ა ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა და კ ო ს მ ო გ ო ნ ი ა

27.	ვარსკვლავთა მდებარეობა და საკუთარი მოძრაობა	236
28.	ორმაგი ვარსკვლავები	242
29.	ცვალებადი ვარსკვლავები	248
30.	გლაქტიკა	253
31.	ნიწლეულები და ვარსკვლავთა გროვები	258
32.	კოსმოგონია	267
	VI თავის სავარჯიშო	282
	ცხრილები	288
	ჩრიდლო ნანევარსფეროს ვარსკვლავური რუკა	
	სქემატური რუკა და ფარი	301

გადაეცა წარმოებას 1954 წ. 23/VII. ხელ-
მოწერილია დასახეულად 1954 წ. 29/IX.
ქალაქის ზომა 60×92. წიგნის ანაწყო-
ბის ზომა 6,5×10,5. ტირაჟი 2000. გა-
მომცემლობის შვეკ. № 11. სტამბის შვეკ.
№ 1787. უე15732.

* * *

საგამ.-საად. ფორმათა რაოდენობა 18,47.
სასტამბო ფორმათა რაოდენობა 19.

* * *

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს პოლიგრაფიული მრეწველობის, გამომცემლობათა და წიგნით ვაჭრობის საქმეთა მთავარი სამმართველო, სტამბა № 2. თბილისი, ფურცელაძის ქ. № 5.

Типография № 2 Главного Управления по делам полиграфической промышленности, издательства и книжной торговли Министерства культуры Грузинской ССР. Тбилиси, ул. Пурцеладзе № 5.