

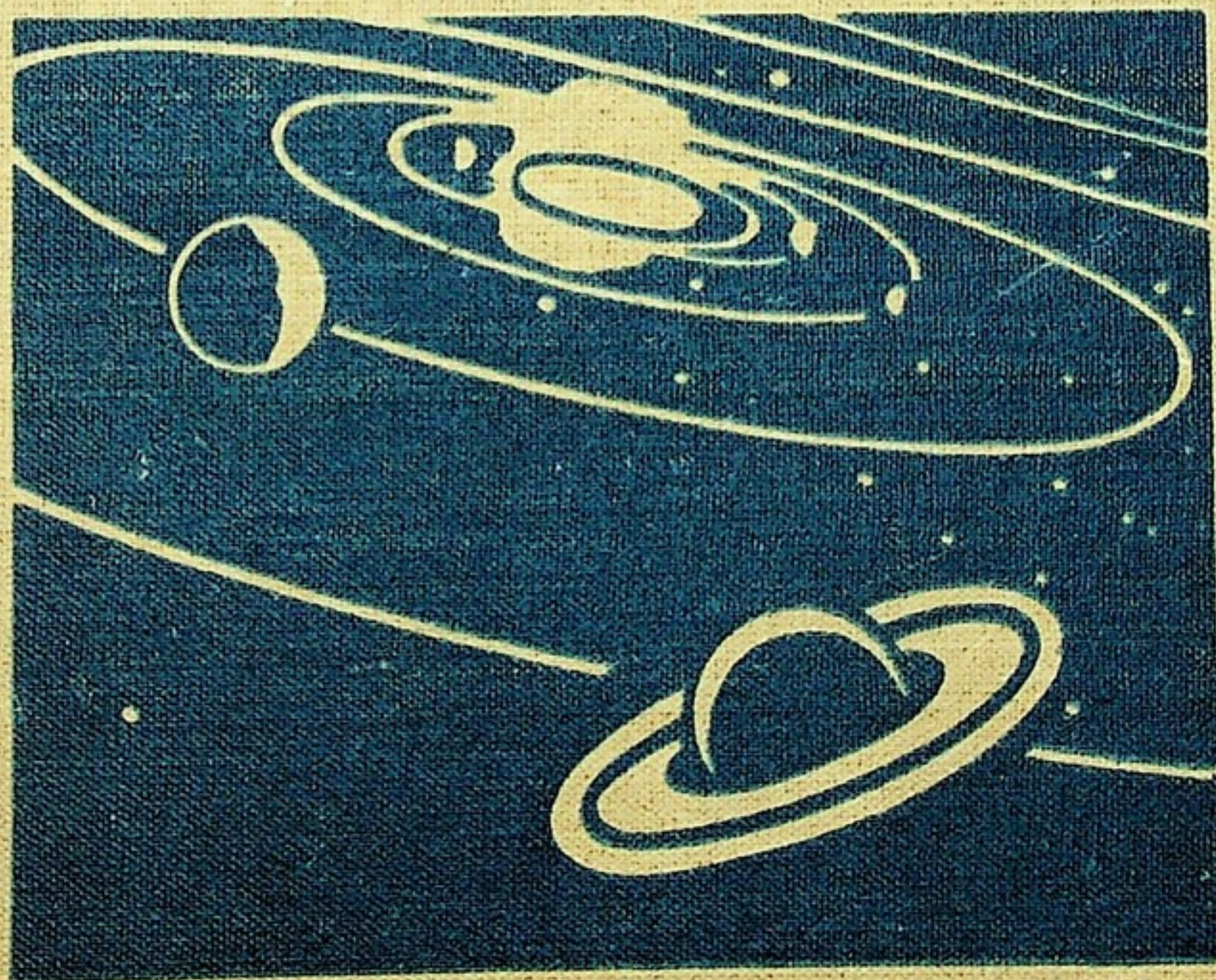
K 19 560  
4

საქართველოს  
ბიბლიოთეკა

ქვეყნი სურამი

# ესტრონომიის საფუძემდებნი

I





მეცნიერი ხარაქი

# ესტრუქტურის საფუძვლები

(ორ ტომად)

I.

(მეორე შესწორებული და შევსებული გამოცემა)

საქართველოს რესპუბლიკის განათლების სამინისტროს მიერ  
დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ სტუდენტებისათვის



თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა  
თბილისი 1991



22.6

52

ხ 259

წიგნი წარმოადგენს ზოგადი ასტრონომიის ვრცელი კურსის 2-ტომიანი სახელმძღვანელოს პირველ ტომს, რომელიც მოიცავს სფერული, პრაქტიკული, და დინამიკური ასტრონომიის საფუძვლებს, დედამიწისა და მთვარის მოძრაობის, აგრეთვე მთვარის ბუნების აღწერას.

მეორე ტომი მიეძღვნება პლანეტური სისტემის სხეულების აღწერას, ასტროფიზიკისა და ვარსკვლავთა ასტრონომიის საფუძვლებს, ვარსკვლავთა სისტემების მიმოხილვას.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია უნივერსიტეტისა და პედაგოგიური ინსტიტუტების მექანიკა-მათემატიკის, ფიზიკისა და ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტების სტუდენტების, ასტრონომიის სპეციალობის სტუდენტების, ასპირანტებისა და ასტრონომიულ ობსერვატორიებში მომუშავე მეცნიერ-თანამშრომლებისათვის.

იგი სამსახურს გაუწევს საშუალო სკოლის ასტრონომიის მასწავლებლებსაც.

წიგნი წარმოადგენს მეორე გამოცემას.

რედაქტორი გ. კვირკველია

რეცენზენტი ლ. საყვარელიძე-დადიანი

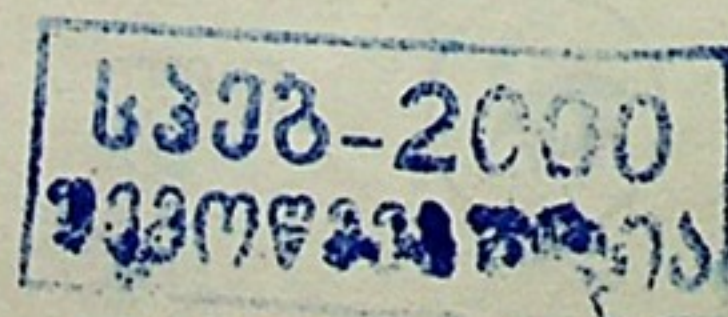
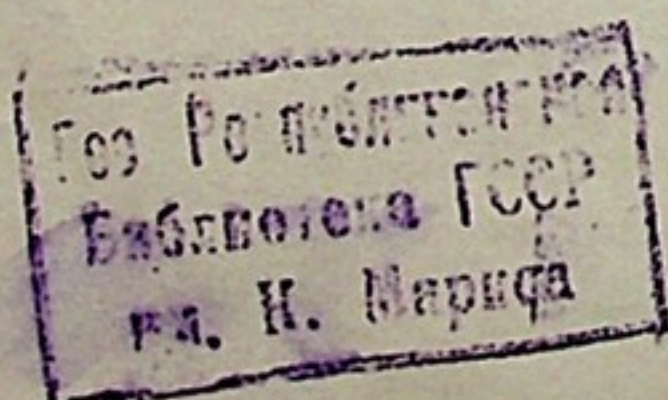
4310020000

x

M 608(06)91

© თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1991

ISBN 5 — 511 — 00368 — 9





## პირველი გამოცემის წინასიტყვაობიდან

„ასტრონომიის საფუძვლები“ ავტორმა ჩაიფიქრა როგორც ვრცელი, ორტომიანი კურსი ზოგადი ასტრონომიისა, რომელიც მოიცავს კლასიკური და თანამედროვე ასტრონომიის რიგი დარგების ელემენტებს.

იგი უნდა მოემსახუროს როგორც ზოგადი ასტრონომიის სახელმძღვანელო უნივერსიტეტისა და პედაგოგიური ინსტიტუტების სტუდენტებს. წიგნი მეტ მასალას მოიცავს, ვიდრე ზოგადი ასტრონომიის კურსის პროგრამები ითვალისწინებს, მაგრამ სტუდენტს არ გაუჭირდება ამ წიგნის მასალა შერჩევით, პროგრამის შესაბამისად გამოიყენოს. ამავე დროს, თუ დაინტერესდება, მას საშუალება ექნება წიგნში მეტი ინფორმაცია მოიპოვოს და ზოგ მოვლენას უფრო ღრმადაც ჩასწვდეს.

ასტრონომიის სპეციალობის სტუდენტთათვის კი ამ წიგნის შინაარსი ზოგადი ასტრონომიის კურსის აუცილებელი მინიმუმის მასალას უახლოვდება.

წიგნი სასარგებლო უნდა იყოს ასტრონომიის დარგის ასპირანტთათვისაც, მეტადრე იმათთვის, ვინც უმაღლეს სასწავლებელს ამთავრებენ არა როგორც ასტრონომები, არამედ როგორც ფიზიკოსები, გეოფიზიკოსები, გამოთვლითი მათემატიკის სპეციალისტები და სხვ. ამ დარგების სპეციალისტთა მიერ ასტრონომიის პროფესიის დაუფლების შემთხვევები ხშირდება, რაც მეცნიერების თანამედროვე განვითარებითაა განპირობებული.

პრაქტიკულ დახმარებას აღმოუჩენს წიგნი ასტრონომიულ ობსერვატორიებში მომუშავე უმცროს მეცნიერ თანამშრომლებს, ლაბორანტებს, დამკვირვებლებს და სხვ.

ავტორი იმედოვნებს, რომ „ასტრონომიის საფუძვლებით“ ისარგებლებენ საშუალო სკოლის მასწავლებლებიც.

წიგნის შედგენისას ავტორი ზემოთ ჩამოთვლილი მიზნებით ხელმძღვანელობდა, ამასთანავე ითვალისწინებდა ასტრონომიული მეცნიერების სპეციფიკას და მისგან გამომდინარე სიძნელეებს, რომელთაც ხვდება საგნის შემსწავლელიცა და მასწავლებელიც. ძირითად ასტრონომიულ ცნებებსა და მოვლენებში ჩაწვდომა მოითხოვს კარგად გვექონდეს განვითარებული სივრცული წარმოდგენები. ამას ხელს შეუწყობდა სათანადო თვალსაჩინოებები და სასწავლო დაკვირვებები კუთხშოში იარაღებითა და ტელესკოპებით, მაგრამ ჯერჯერობით მათი დიდი ნაკლებობაა როგორც საშუალო სკოლაში, ისე პედაგოგიურ ინსტიტუტებში.

ასეთი ვითარების გამო ავტორი ცდილობდა მასალის გადმოცემა განხორციელებინა ისე, რომ სივრცულ წარმოდგენათა წვრთნისათვის ხელშემ-





წყობი ყოფილიყო. ამასთან დაკავშირებით ზოგ შემთხვევაში გვერდი ავუარებთ მასალის დალაგების ტრადიციულ მიმდევრობას, მოვერიდეთ ცნებების მზა ფორმულირებებს, ვცდილობდით, რაც შეიძლება ფართოდ გაგვეშალა მოვლენათა ასტრონომიული, ფიზიკური არსი.

ამავე მიზნით უხვად გამოვიყენეთ ნახაზები. არცთუ იშვიათად ერთი და იმავე მოვლენის საილუსტრაციოდ ორი და სამი ნახაზი გვაქვს მოტანილი. ზოგჯერ ეს ნახაზები უმნიშვნელოდ განსხვავდება ერთიმეორისაგან, მაგრამ თუ მაინც რომელიმე მათგანი, როგორც გვეჩვენებოდა, მკითხველს „სხვა თვალთ“ შეახედვინებს იმავე მოვლენას, არ ვერიდებოდით ასეთის მოტანასაც. ნახაზთაგან ბევრი ტრადიციულია, სტანდარტულად ხმარებული ასტრონომიის კურსებში, ბევრი — ორიგინალური, ზოგიც ამოღებულია სახელმძღვანელოებიდან: G. Abell, „Exploration of the Universe“, D. McLaughlin, „Introduction to Astronomy“ და სხვ.

წინამდებარე პირველი ტომი მოიცავს სფერული და პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტებს, მზისა და მთვარის ხილულ და ნამდვილ მოძრაობებს, დედამიწისა და პლანეტების მზის გარშემო და ხელოვნური თანამგზავრების დედამიწის ირგვლივ მოძრაობას, მზისა და მთვარის დაბნელებებს, დედამიწის — როგორც პლანეტის — თვისებების, მთვარის ბუნების აღწერას.

მეორე ტომში შევა პლანეტებისა და მზის ბუნების აღწერა, ვარსკვლავთა სამყაროსა და მეტაგალაქტიკური სივრცის მიმოხილვა. მასშივე შევა დამატებათა სახით ზოგიერთი სპეციალური საკითხი.

## წინასიტყვაობა მეორე გამოცემისათვის

მეორე გამოცემისათვის მომზადებულ სახელმძღვანელოში შეტანილია ის სიახლენი, რაც მოპოვებულია უკანასკნელი წლების განმავლობაში. გასწორებულია შემჩნეული შეცდომები და გათვალისწინებულია წიგნის მომხმარებელთა შენიშვნები.

ასტრონომიული სიდიდეების რიცხობრივი მნიშვნელობები უმთავრესად დაზუსტებულია ლანდოლტ — ბერნშტაინის (Landolt — Börnstein) ცნობარის „Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology“ უკანასკნელი გამოცემის (1982) მიხედვით.



## ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

«Основы астрономии» автор задумал как двухтомный курс общей астрономии, охватывающий элементы ряда разделов классической и современной астрономии. Книга должна служить в качестве учебника общей астрономии студентам университета и педагогических институтов. Она содержит более обширный материал, чем это предусмотрено программами курса общей астрономии. Но для студента не составит труда использовать материал выборочно, в соответствии с программой. В то же время, при наличии интереса, он сможет почерпнуть из книги более богатую информацию и глубже вникнуть в существо явлений.

Для студентов же астрономической специальности содержание настоящего учебника приближается к материалу необходимого минимума курса общей астрономии.

Книга должна оказаться полезной также и для аспирантов, особенно из числа физиков, геофизиков, специалистов вычислительной математики и др. Все чаще наблюдаются случаи овладения профессией астронома специалистами перечисленных здесь отраслей, что обусловлено особенностями современного развития науки.

Практическую помощь окажет книга работающим в астрономических обсерваториях младшим научным сотрудникам, лаборантам, наблюдателям и др.

Автор надеется, что «Основами астрономии» будут пользоваться и преподаватели астрономии в средней школе.

При составлении настоящего учебника автор руководствовался перечисленными выше целями, учитывая при этом специфику астрономической науки и связанные с ней трудности, с которыми встречаются как изучающие предмет, так и преподающие его. Усвоение основных астрономических понятий и явлений требует хорошего развития пространственных представлений. Этому могло бы способствовать пользование соответствующими наглядными пособиями, угломерными инструментами и телескопами для ведения учебных наблюдений, но их, однако, пока все еще недостает как в средней школе, так и в педагогических институтах.

В силу такого положения автор старался вести само изложение материала таким образом, чтобы оно способствовало тренировке пространственных представлений. В связи с этим, в некоторых случаях, мы избегали изложения материала в традиционной последовательности, стараясь полнее раскрыть астрономическую, физическую суть явлений, не удовлетворяясь готовыми формулировками понятий и правил.

В этих же целях обильно использованы чертежи и рисунки. Нередко для иллюстрации одного и того же явления мы приводим по 2—3 рисун-





УДК 52  
ББК 22.01

ка. Иной раз они мало отличаются друг от друга, но если, тем не менее, какой-либо из них позволяет читателю, как нам казалось, взглянуть на явление с другой точки зрения, мы не отказывались от него. В числе рисунков многие—традиционные, стандартно используемые в астрономических курсах, другие—оригинальные, некоторые же заимствованы из учебников: G. Abell, 'Exploration of the Universe'; D. McLaughlin, 'Introduction to Astronomy' и др.

Первый том содержит элементы сферической и практической астрономии, видимые и истинные движения Солнца и Луны, движения Земли и планет вокруг Солнца, искусственных спутников—вокруг Земли, затмения Солнца и Луны; характеристику Земли как планеты, описание природы Луны.

Во второй том войдут описания природы планет и Солнца, обзор звездного мира и мира галактик. В него же войдут в качестве дополнений некоторые специальные вопросы.

## ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

В подготовленный для второго издания учебник внесены новые данные, накопленные за последние годы. Исправлены замеченные ошибки, учтены замечания пользователей книги.

Численные значения астрономических величин уточнены главным образом по последнему изданию справочника Ландольта-Бернштейна (Landolt-Börnstein) 'Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology'.



## შესავალი

§ 1. **ასტრონომიის საგანი.** ასტრონომია საბუნებისმეტყველო მეცნიერების დარგია, რომელიც შეისწავლის ცის მნათობებს: ვარსკვლავებს, მზეს, მთვარეს, პლანეტებს ანუ ცთომილებს, სამყაროს ყველა სხვა სხეულს; ასტრონომია შეისწავლის ჩამოთვლილი სხეულების მდებარეობასა და მოძრაობას სივრცეში, მათ სიდიდეს, მოყვანილობასა და აგებულებას, ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებს, მათ წარმოშობასა და განვითარებას, ურთიერთკავშირსა და, საერთოდ, მთელი დიდი სამყაროს აგებულებას. მეცნიერების ამ დარგის საერთაშორისო სახელწოდება „ასტრონომია“ წარმოებულია ბერძნული სიტყვებიდან: *αστρον* („ასტრონ“) — ვარსკვლავი და *νομος* („ნომოს“) — კანონი. მოკლედ, ასტრონომია განისაზღვრება როგორც მეცნიერება ცის მნათობების შესახებ. ძველად ქართველები მას ვარსკვლავთმრიცხველობას უწოდებდნენ.

სხეულებს, რომლებიც დავასახელებთ როგორც ასტრონომიის შესწავლის საგანი, ცაზე ვხედავთ, ჩვენგან შორს, „დედამიწის გარეთ“. ამიტომ მათ ვუწოდებთ ცის ან ციურ სხეულებს. ცა უნდა გვესმოდეს როგორც უსასრულო სამყაროს სივრცე ჩვენს ირგვლივ, სადამდეც კი ჩვენი თვალი წვდება. მეცნიერების ერთ-ერთი დიდი მონაპოვარი მისი განვითარების ისტორიაში ის იყო, რომ დედამიწაც ცის ანუ სამყაროს სხეულად იქნა აღიარებული. დედამიწა, ცის მნათობთა მსგავსად, სფეროსებრია, ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ და დიდი სიჩქარით მოძრაობს სივრცეში, თუმცა ვერც მის ბრუნვასა და ვერც სივრცულ მოძრაობას უშუალოდ ვერ აღვიქვამთ. თუ დედამიწის შინაგან აგებულებას შეისწავლის გეოლოგია, მისი მოყვანილობის თავისებურებებს — გეოდეზია, ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებს — გეოფიზიკის სხვადასხვა დარგი, მათ შორის აერონომია და სხვ., ასტრონომია დედამიწას განიხილავს როგორც ერთ მთლიან ციურ სხეულს, სხვა ციურ სხეულებთან დაკავშირებულს წარმოშობით, ერთიანი განვითარებით, საერთო მოძრაობით, საერთო კანონზომიერებებით.

როცა ლაპარაკია ცის სხეულებზე, ჩვეულებრივ, წარმოვიდგენთ მნათობებს, რომლებიც გაფანტულია ცაზე ცალკეული, განმხოლოებული, შედარებით მკვრივი სხეულების სახით. მაგრამ, როგორც ეს ჩვენი საუკუნის აღმოჩენებმა დაადასტურა, ასტრონომიული სამყარო ასეთი სხეულებით როდი ამოიწურება. მნათობებს შორის, ვარსკვლავთშორისეთულ სივრცეში უხვად მოიპოვება ნივთიერების დიდი მასები, მტვრისებრი წვრილი ნაწილაკების ან გაზის „ღრუბლების“ სახით გაბნეული. ეს ნივთიერება მოკლებულია წესიერ ფორმებს, მრავალ შემთხვევაში უხილავიცაა უშუალო დაკვირვებისათვის, თუმცა თავისი მოქმედებით,





ცის სხვა სხეულებთან კავშირით, მასითა და სხვა თვისებებით მისი როლი მუ-  
ტად დიდია ასტრონომიულ სამყაროში. ამჟამად მატერიის ეს სახეობა — ვარსკ-  
ვლავთშორისეთული ნივთიერება — ასტრონომიული და ასტროფიზიკური ერ-  
თობ გ ცხოველებული კვლევის საგანს წარმოადგენს. უეჭველია, რომ სამყაროს  
უსაზღვრო სივრცეებში მატერიალური სხეულები მოიპოვება ისეთი სახეობე-  
ბითაც, რომლებიც ჯერ კიდევ აღმოუჩენელი, უხილავი და უცნობია ჩვენთვის.

**§ 2. ცის სხეულების კლასიფიკაცია.** ცის სხეულების სიმრავლისა და ნაირ-  
სახეობის გამო საჭირო ხდება მათი კლასიფიკაცია — ერთგვარი დაჯგუფება მო-  
ნათესავე ნიშნებით. პირველად მზეზე შევჩერდეთ. თუმცა გარეგნულად იგი  
განსხვავდება მთვარისაგან, უფრო მკვეთრად — ცთომილებისაგან ანუ პლანეტე-  
ბისაგან და მით უფრო — დედამიწისაგან, მაინც ერთად აღებული ეს სხეულე-  
ბი — მზე, დედამიწა, მთვარე, ცთომილები — ერთ ჯგუფს, ერთ სისტემას ანუ  
ოჯახს ქმნიან: მზის სისტემას ანუ პლანეტურ სისტემას. მასში შედიან, მაშა-  
სადამე, მზე როგორც ამ ოჯახის „ბურჯი“, ცთომილები ანუ პლანეტები, რო-  
მელნიც მზის გარშემო სრბოლავენ (მათთან ერთად დედამიწაც), და თანამგზავ-  
რები, რომელნიც ცთომილებს ახლავთ და მათ ირგვლივ მოიქცევიან ისე, რო-  
გორც მთვარე დედამიწის გარს. მანძილები ამ სხეულებს შორის ერთობ დიდია  
და შეუდარებლად მეტი, ვიდრე თვით მათი ზომები. ეს სხეულები ერთმანეთისა-  
გან განსხვავდებიან საკუთარი ზომებით. მზე, მაგალითად, დედამიწასთან შედა-  
რებით გიგანტური სიდიდისაა. მზის სისტემა მოიცავს აგრეთვე კომეტებსა და  
მეტეორებს, რომელნიც აგებულით, ასევე — მოძრაობის ტრაექტორიებით,  
დიდად განსხვავდებიან პლანეტებისაგან. პლანეტური ოჯახის მიერ დაკავებულ  
სივრცეში მოიპოვება აგრეთვე პლანეტათშორისი ნივთიერება — გაზი და  
„მტვერი“.

ჩვენი კლასიფიკაციით მეორე ჯგუფს შეადგენენ ვარსკვლავები, მდებარენი  
ჩვენგან ისეთ მანძილებზე, რომლებიც შეუდარებლად უფრო დიდია, ვიდრე მან-  
ძილი პლანეტებს შორის. პლანეტებისაგან ვარსკვლავები მკვეთრად განსხვავ-  
დებიან არა მარტო მით, რომ გაცილებით უფრო დიდი ზომისა არიან, არამედ  
უმთავრესად მით, რომ მზის მსგავსად თვითმნათი სხეულებია; პლანეტები კი არ  
ანათებენ საკუთარი სინათლით, არამედ აირეკლავენ თავისი ზედაპირიდან მზი-  
სეულ სხივებს. ტელესკოპი გამოავლენს მილიონობით ისეთ ვარსკვლავს, რომ-  
ლებიც უხილავია შეუიარაღებელი თვალისათვის. ოპტიკურად რაც უფრო  
მძლავრი ტელესკოპი გამოიყენება, მით მეტი ვარსკვლავი დაიმზირება, დაიკვირ-  
ვება და შეისწავლება. მრავალ შემთხვევაში ვარსკვლავები ერთიანდებიან ჯე-  
რად სისტემებში და სხვადასხვა სახის გროვებში. ვარსკვლავთ დიდი ერთობლი-  
ობა, რომელშიც მათი რაოდენობა ას მილიარდს აღემატება, ვარსკვლავთშო-  
რისეთულ მატერიასთან ერთად ქმნის ე. წ. გალაქტიკას — ჩვენს გალაქ-  
ტიკას, რომელსაც მზის სისტემა ეკუთვნის.

მაგრამ ჩვენი გალაქტიკა ერთადერთი როდია. კვლევისათვის მისაწვდომ  
სივრცე ი გალაქტიკების რაოდენობა აურაცხელია. მანძილები გალაქტიკებს  
შორის გაცილებით დიდია, ვიდრე თვით ცალკეული გალაქტიკების ზომები. ეს  
მანძილები მილიონობით სინათლის წლებით განისაზღვრება. სინათლის წელი  
ი ის მანძილია, რომელსაც სხივი, გარბის რა წამში დაახლოებით 300000 კმ,  
რთ წელიწადში გაივლის. გალაქტიკების ერთობლიობა ქმნის დიდ მეტაგა-  
ლაქტიკურ სამყაროს. ამასთანავე, ისე როგორც ვარსკვლავები გალაქტიკის



შიგნით, გალაქტიკებიც მეტაგალაქტიკის შიგნით მრავალ შემთხვევაში ერთიანდებიან ჯერად სისტემებსა და გროვებში. სივრცეც გალაქტიკებს შორის სრულიად თავისუფალი როდია გაბნეული ნივთიერებისაგან.

საგულისხმოა, რომ ყველა ჩამოთვლილი სახეობის სხეულთა (პლანეტების, ვარსკვლავების, გალაქტიკების) „ნიმუშების“ დანახვა შეუიარაღებელი თვალითაც შეგვიძლია. კერძოდ, ადვილი დასანახია, მაგრამ, სამწუხაროდ, იშვიათად მიაქცევენ ყურადღებას, ე. წ. ანდრომედას გალაქტიკას, რომელიც ჩვენი მეზობელი გალაქტიკაა; იგი დაშორებულია ჩვენგან თითქმის ორი მილიონი სინათლის წლით და მდებარეობს ანდრომედას თანავარსკვლავედის მიმართულებით. მისი ხილვადობის უკეთესი პირობები გვიან შემოდგომას სადამოობითაა; მოჩანს როგორც მკრთალი ლაქისებრი წაგრძელებული წარმონაქმნი დაახლოებით  $1-2^{\circ}$ -ის სიდიდისა, ე. ი.  $3-4$  ჯერ აღემატება სავსე მთვარის ბადროს დიამეტრს. ტელესკოპი, რა თქმა უნდა, რიცხვით მეტს დაგვანახებს და დეტალური შესწავლის საშუალებასაც გვაძლევს.

აღნიშნულ კლასიფიკაციას ძირითადად საფუძვლად დაედო ცის სხეულების სივრცობრივი განლაგება. კლასიფიკაციისათვის შეგვეძლო სხვა პრინციპის არჩევა, მაგალითად, სხეულების ფიზიკური ბუნების მიხედვით. მაშინ, რა თქმა უნდა, მზე, პლანეტები და კომეტები ერთ ჯგუფში ვერ მოთავსდებოდნენ. მზე უფრო ბუნებრივად ვარსკვლავებთან გაერთიანდებოდა; იგი ჩვეულებრივი ვარსკვლავია, მაგრამ ჩვენთან მისი განსაკუთრებული სიახლოვე (ვარსკვლავებთან შედარებით!) აძლევს მას ვარსკვლავებისაგან ესოდენ განსხვავებულ სახეს, ხილულ სიდიდეს, ბრწყინვალებას, სიმცხუნვარეს. შინაგანი ბუნების მიხედვით კლასიფიკაცია შემდეგ ცალკეულ ჯგუფებს მოგვცემდა: ცთომილები, ცთომილების თანამგზავრები, კომეტები, მეტეორები, ვარსკვლავები, ვარსკვლავთ გროვები, გალაქტიკები, ვარსკვლავთშორისეთული ნივთიერება, რომლის ცალკეულ კონცენტრაციებს ნისლეულებს უწოდებენ.

ხშირად საჭირო ხდება კიდევ უფრო დაწვრილებითი კლასიფიკაცია, რომლის მიხედვით პლანეტები დაიყოფა ქვეჯგუფებად; ვარსკვლავებიც—მრავალნაირი სახის ჯგუფებად, სახელდობრ: ორჯერად ვარსკვლავებად, ჯერად, ცვალებად, არამდგრად, ფეთქებად, ახალ, ზეახალ ვარსკვლავებად და მრავალ სხვა სახეობად. ეს მოწმობს მოვლენების იმ დიდ ნაირფეროვნებას, რომელიც სამყაროშია გამეფებული.

**§ 3. ასტრონომიული კვლევის მეთოდები.** როგორც უკვე აღნიშნულია, ცის მნათობები დედამიწიდან მეტად შორს იმყოფებიან. მაგალითად, მთვარე—დედამიწის უახლოესი, მის მეზობლად მოძრავი მნათობი დაშორებულია ჩვენგან საშუალოდ 384000 კმ-ით, მზე—150000000 კმ-ით, უახლოესი ვარსკვლავები—4-5 სინათლის წლით, უახლოესი გალაქტიკები—2-5 მილიონი სინათლის წლით და ა. შ. მაშასადამე, ასტრონომიული კვლევის საგნები ერთობ შორსაა მკვლევრისაგან. მაგრამ ეს სიშორე არ წარმოადგენს არსებით დაბრკოლებას მათი მეცნიერული კვლევისათვის. ჩვენი დროის ასტრონომია სარგებლობს დაკვირვებისა და კვლევის ისეთი მძლავრი საშუალებებით, იმდენად ზუსტი მათემატიკური და მრავალნაირი ფიზიკური ხერხებით, რომ მრავალ შემთხვევაში მას შეუძლია სრულიად საიმედოდ გაზომოს შორეული მანძილები, განსაზღვროს მზისა და ვარსკვლავების ზედაპირის ტემპერატურა, გაიანგარიშოს მათი ატმოსფეროს სიმკვრივე, გამოარკვიოს ნივთიერების შედგენილობა და წინასწარ გამოითვა-





ლოს კიდევ ზოგიერთი ასტრონომიული მოვლენა, მაგალითად, მზისა და მთვარის დაბნელება, პერიოდული კომეტის გამოჩენა, ახალი, ჯერ უჩინარი პლანეტის აღგომდებარეობა, ზოგი კატეგორიის ვარსკვლავთა ანთება და სხვ.

ასტრონომიული მოვლენების შესწავლის საფუძველსა და საწყისს დაკვირვება ანუ დამზერა წარმოადგენს. ასტრონომიული მეცნიერების თვით ჩასახვაც მაშინ დაიწყო, როცა უძველესი დროის ადამიანი გარემოსა და ცას დააკვირდა, თუმცა მის მიერ წარმოებული დაკვირვება უმარტივესი იყო: უბრალო, შეუიარაღებელი თვალით. ასტრონომიული დაკვირვება მრავალნაირია—მარტივი და რთული, იარაღების გამოყენებით. მეჩვიდმეტე საუკუნიდან ადამიანმა ტელესკოპების გამოყენება დაიწყო და ამან მკვეთრად გაზარდა ასტრონომიულ მოვლენათა დაკვირვების შესაძლებლობანი. ჩვენს დროში ასტრონომი ტელესკოპთან ერთად ხმარობს ფოტოგრაფიულ ფირფიტას, ფოტოელემენტებს, სპექტრულსა და ელექტრონულ ხელსაწყოებს და ყველაზე ნაკლებად—თვალს. თანამედროვე ტელესკოპი მარტო ძლიერი ოპტიკური იარაღი კი არაა, რომლის თავდაპირველი დანიშნულება მკრთალი და შორეული ობიექტების გამოვლინება, გადიდება და გარჩევაა, არამედ მთელი „ლაბორატორიაა“, შეიარაღებული ფიზიკური ხელსაწყოებით, გამოსათვლელი აპარატებითა და სხვ. მისი მეშვეობით მოიპოვება ობიექტური ცნობები ცის სხეულებისა და მოვლენების სხვადასხვა გეომეტრიულ, კინემატიკურ თუ ფიზიკურ მახასიათებლებზე. ოპტიკურ ტელესკოპთან ერთად ახლა რადიოტელესკოპიც გამოიყენება, რომელიც ცის სხეულებიდან წამოსული რადიოგამოსხივების რეგისტრაციის საფუძველზე დამატებით ცნობებს გვაწვდის სამყაროს მოვლენებზე. უკანასკნელ წლებში დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების, კოსმოსური რაკეტების, საპლანეტათშორისო ავტომატური სადგურებისა და თანამგზავრი-ხომალდების გამოყენება ასტრონომიული დაკვირვების მძლავრ, უსაზღვრო პერსპექტივების მქონე ახალ მეთოდად მოველინა მეცნიერებას.

ახლა თვით ადამიანი-მკვლევარი უშუალოდ შეიჭრა კოსმოსურ სივრცეში, მართალია, ჯერ კიდევ მის ახლო ზონაში, მაგრამ იგი უკვე ახდენს დაკვირვებებსა და ექსპერიმენტებს დედამიწის ატმოსფეროს მკვრივი ფენების გარედან, თვისებრივად ახალ გარემოში, რაც ხელს უწყობს უფრო მდიდარი და უფრო ზუსტი ასტრონომიული მონაცემების მოპოვებას. ადამიანი თვითონ მივიდა მთვარეზე, უშუალოდ იკვლევს მას; კოსმოსურმა ხომალდებმა პლანეტებთან თანმიმდევრული მიახლოებისას (ამჟამად ნეპტუნს უახლოვდებიან) აღმოაჩინეს მათი რგოლები, თანამგზავრები, მოქმედი ვულკანები და სხვა.

დაკვირვებათა ასეთ მრავალნაირ მეთოდებთან ერთად, რა თქმა უნდა, ასტრონომიაში გამოიყენება ზუსტი მათემატიკური გამოთვლები, მათემატიკური ანალიზის აპარატი, მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები. დაკვირვებათა შედეგების ანალიზისა და ინტერპრეტაციისათვის მიმართავენ დადგენილ ფიზიკურ კანონებს, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში აღმოჩენილ ზოგად კანონზომიერებებს. თეორიული გაანგარიშებისა თუ ვარაუდის შედეგების შემოწმება კვლავ დაკვირვების საფუძველზე ხდება. ამრიგად, ბუნებრივია, ასტრონომია მიეკუთვნება ზუსტ მეცნიერებათა დარგებს.

**§ 4. ასტრონომია და ცხოვრება.** ცის სხეულების უმაგალითო სიშორე არც იმას ნიშნავს, რომ ასტრონომია საზოგადოების პრაქტიკულ ინტერესებს მოწყვეტილ, განყენებულ მეცნიერებად შეიძლება ჩავთვალოთ. პირიქით, ასტრონომია ძველიაგანვე ადამიანის პრაქტიკულ მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილე-



ბის ნიადაგზე აღმოცენდა. ეს იყო წელიწადის სხვადასხვა სეზონის მოახლოების განსაზღვრა, რაც საჭირო იყო სამიწათმოქმედო სამუშაოებთან დაკავშირებით, ხოლო შესაძლებელი — ცის სხეულების დაკვირვების საფუძველზე; ან კიდევ, შორეულ მოგზაურობაში ადგილმდებარეობისა და მიმართულების განსაზღვრა ანუ გარემოში გაგნება, რაც აგრეთვე მნათობების ცაზე დაკვირვებითაა შესაძლებელი; დაბოლოს — დროის რეგულარული აღრიცხვა, სარიტუალო თარიღების დადგენა, რის საფუძველიც ცის მოვლენების დაკვირვებაშია და სხვ.

ჩვენს დროში ასტრონომიული მეთოდებისა და ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება შორს გასცდა იმ ფარგლებს, რომლებიც დროის აღრიცხვით ან ხმელეთზე, ზღვაში თუ ჰაერში გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრით შემოიფარგლება.

მზის ფიზიკური ბუნების გამოკვლევა ბევრი ისეთი მოვლენის შესწავლას ემსახურება, რომლებიც უშუალო კავშირშია კაცობრიობის ყოველდღიურ საქმიანობასთან. ესენია, მაგალითად, რადიოკავშირი, დედამიწის მაგნეტიზმის მოვლენები, დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე მრავალნაირი პროცესები, ამინდი, მზის ენერგიის ტექნიკური გამოყენება და სხვ.

მეორე მხრივ, ვარსკვლავთ სამყაროში ნივთიერების ფიზიკური მდგომარეობის ისეთ მრავალფეროვან პირობებს ვხვდებით, რომელთა მსგავსის განხორციელება ჩვენს ფიზიკურ ლაბორატორიებში ჯერჯერობით არ ხერხდება.

მაგალითად, მრავლად გვხვდება ისეთი ვარსკვლავი, რომლის ზედაპირული ტემპერატურა  $20000^{\circ}$ -ა და მეტიც. გვხვდება ვარსკვლავები, რომელთა ნივთიერება მრავალ ათასჯერ უფრო მეტად მკვრივია, ვიდრე ტყვია, ან კიდევ, პირიქით, — ზოგიერთის ნივთიერება მრავალ მილიონჯერ უფრო გაიშვიათებულია, ვიდრე დედამიწის ატმოსფერო. სამყაროში გვხვდება ისეთი სიჩქარეები, რომლებიც ახლოა სინათლის სიჩქარესთან, უმძლავრესი მაგნიტური და გრავიტაციული ველების ნივთიერებაზე ზეგავლენის მაგალითები, ძლიერი რენტგენისული გამოსხივება, ფრიად მაღალი ენერგიის პატარებელი კოსმოსური ნაწილაკები და სხვა სპეციფიკური პირობები. მაშასადამე, ზოგიერთი ასტრონომიული დაკვირვებით შეგვიძლია შევისწავლოთ ნივთიერების მდგომარეობა ისეთ ფიზიკურ პირობებში, რომელთა განხორციელება ხელოვნურად ჯერჯერობით მეტისმეტად რთული საქმეა ან სულაც არ ხერხდება. ამგვარად, ასტრონომიული დაკვირვების წარმოებით ვაფართოებთ ფიზიკური ცდის ანუ ექსპერიმენტის პირობებს. ეს კი ხელს უწყობს ნივთიერების აგებულების შემდგომი შესწავლის საქმეს, რაც თანამედროვე თეორიული, პრაქტიკული და ტექნიკური ფიზიკის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს. ეს აახლოებს ასტრონომიას, მეტადრე მის ერთ-ერთ დარგს — ასტროფიზიკას, ფიზიკასთან. კერძოდ, ეს შეეხება თერმობირთვული ენერგიის, კოსმოსური სხივებისა და სხვა პრობლემებს. თანამედროვე ასტროფიზიკის ზოგი მიმართულება უშუალოდ უკავშირდება ბირთვული ფიზიკის პრობლემებსა და ელემენტარული ნაწილაკების თეორიას.

რაც უნდა განყენებულად მოგვეჩვენოს პირველად მეცნიერული კვლევის ესა თუ ის პრობლემა, როგორც ისტორია გვარწმუნებს, დროთა მსვლელობაში მას შეუძლია მოუტანოს კაცობრიობას სრულიად მოულოდნელი, მაგრამ მეტად მნიშვნელოვანი შედეგები. ამის საუკეთესო მაგალითია ის, რომ მეჩვიდმეტე საუკუნეში კვლევა, რომელიც პირველად სრულიად აბსტრაქტულ ასპექტში მიმდინარეობდა, მიიყვანა ასტრონომ-მათემატიკოსები დინამიკის კანონების



აღმოჩენამდე და დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის საფუძვლების ჩამოყალიბებამდე. შემდგომ კი, საზოგადოებისა და მეცნიერების განვითარების მსვლელობაში, ამან შექმნა თანამედროვე ტექნიკის მკვიდრი საძირკველი!

დამახასიათებელია ისიც, რომ ჰელიუმი პირველად მზის ნივთიერების შედგენილობაში იქნა აღმოჩენილი მზის ერთ-ერთი სრული დაბნელების დაკვირვებისას და მხოლოდ ამის შემდგომ—მიღებული ხელოვნურად და ასე ფართოდ გამოყენებული მრეწველობაში, ტექნიკაში. ვარსკვლათშორისეთში გავრცელებული წყალბადის გაზოვანი ნისლეულებისა და მზის კორონის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ ამ სივრცეში მოიპოვება მძლავრი მაგნიტური ველები, რომელნიც თავის შიგნით მოიქცევენ მაღალი ტემპერატურის მქონე პლაზმას. აღნიშნული ველების ეს თვისება გამოიყენება ფიზიკოსების მიერ ელემენტარული ნაწილაკების ამჩქარებლების კონსტრუქციაში. დამახასიათებელია, რომ ატომგულის ენერგიის გამოყოფის მოვლენები პირველად ცის სხეულებში იქნა მიკვლეული ასტრონომიული დაკვირვების შედეგად და მხოლოდ ამის შემდგომ მოახერხა ადამიანმა ამ ენერგიის ხელოვნურად მიღება. მართებულად უწოდებენ ზოგჯერ მზეს ბუნებაში პირველად შესწავლილ ატომურ რეაქტორს.

შეუძლებელია წინასწარ გაითვალისწინო ცოტად თუ ბევრად სრულად ყველა ის პრაქტიკული, ცხოვრებასთან უშუალოდ დაკავშირებული გამოყენება, რაც ასტრონომიულ ცოდნას შეიძლება ჰქონდეს ახლო თუ შორეულ მომავალში. ერთი მაგალითიც შეგვიძლია კიდევ დავიმოწმოთ. სულ უკანასკნელ წლებში, როცა ელექტრონულმა სათვლელმა მანქანებმა შესაძლებლად აქცია გრანდიოზული მასშტაბების გამოთვლების წარმოება, საბჭოთა ასტრონომებმა გამოითვალეს, თუ როგორი ცვლილებები უნდა განეცადა დედამიწის მზის გარსმოქცევის ორბიტის თვისებებს უკანასკნელი 30 მილიონი წლის მანძილზე. ორბიტის რიგ თვისებებზე უშუალოდ დამოკიდებულია დედამიწის სეზონური მოვლენების ხასიათი, ჰავა სხვადასხვა სარტყელში და სხვ. მაშასადამე, აღნიშნული გამოთვლის შედეგებს დიდი ინტერესი უნდა ჰქონდეს გეოლოგიურ პერიოდებში დედამიწის კლიმატის ცვლილებების შესწავლის თვალსაზრისით.

ბოლოს, მთლიანად ასტრონომიული სამყაროს მოვლენებისა და აგებულების შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სწორი, მატერიალისტური მსოფლმხედველობის განვითარებისა და განმტკიცებისათვის.

მატერიალური სამყაროს უსასრულო განვრცობა სივრცეში და ადამიანის სამყოფელის—დედამიწის ადგილი მასში, სამყაროს განვითარების უსასრულობა დროში, ასტრონომიული სამყაროს მოვლენების ნაირნაირობა, ნივთიერების ერთიანობა, ძირითად კანონზომიერებათა უნივერსალობა, ე. ი. მიკროსამყაროსა და მაკროსამყაროში ფუნდამენტურ ობიექტურ კანონზომიერებათა ერთიანი მოქმედება და სხვ., რის მოწმობასა და ილუსტრაციას უხვად ვხვდებით ასტრონომიაში, დიდი ფილოსოფიური და შემეცნებითი მნიშვნელობისაა. ასტრონომია საშუალებას გვაძლევს ექსპერიმენტულად შევამოწმოთ მიკროსამყაროსა და მაკროსამყაროში აღმოჩენილი ფუნდამენტური ობიექტური კანონზომიერებებიდან გამომდინარე ღრმა თეორიული მნიშვნელობის დასკვნები. ასე მოხდა, მაგალითად, როცა ექსპერიმენტულად შემოწმდა მზის დაბნელების მოვლენების შესწავლით აინშტაინისეული ფარდობითობის თეორიის დასკვნები. დამზერითი ასტრონომიის მიერ მოპოვებული უხვი ცნობები დიდ ახალ



თეორიულ პრობლემებს წამოჭრის, მათთან ერთად — კოსმოლოგიურს, სამყაროს წარმოშობა-განვითარების შესახებ. აქ ერთობ დიდი მნიშვნელობა აქვს იმას, რომ კოსმოსის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები ფილოსოფიურად სწორად იქნეს განზოგადებული და ახსნილი.

უკანასკნელ წლებში ადამიანის მიერ მოპოვებულმა გამარჯვებებმა კოსმოსური სივრცის დაუფლებაში კიდევ უფრო მეტად აამაღლა ასტრონომიის როლი და მნიშვნელობა. ასტრონომია წარმოადგენს ერთ-ერთს თანამედროვე ბუნებისმეტყველების იმ დარგებს შორის, რომელთა ფართო განვითარებას მოითხოვს კაცობრიობის ინტერესები, მისი საერთო პროგრესი.

**§ 5. ასტრონომიის ისტორია სულ მოკლე.** ასტრონომიული მეცნიერების ფესვები ღრმა წარსულშია. შეიძლება ითქვას, რომ იგი მაშინ ჩაისახა, როცა უძველესი დროის ადამიანი მისმა ყოველდღიურმა საქმიანობამ, პრაქტიკულმა ინტერესებმა აიძულა დაჰკვირვებოდა გარემოსა და ცას, მნათობებსა და ციურ მოვლენებს. ძველ დროშივე იყო გავრცელებული მეჯოგეობა და მიწის დამუშავება, როგორც საზოგადოების ძირითადი საქმიანობა. ეს ორივე დაკავშირებულია წლიურ სეზონურ მოვლენებთან და თავიდანვე მოითხოვდა დროის ცნობას, დროის აღრიცხვას. დღისა და ღამის ცვლა, მთვარის ფაზები და ცაზე მზის ხილული გზის წლიური პერიოდულობა, თანავარსკვლავედთა მდებარეობის კანონზომიერი ცვლა ის მოვლენები იყო, რომლებიც შენიშნა ადამიანმა, დააკვირდა, ჩაუფიქრდა, სხვა მოვლენებს დაუკავშირა და გამოიყენა კიდევ როგორც დროის აღრიცხვის, რელიგიურ-სარიტუალო თარიღების დადგენის, ხოლო შემდგომ, შორეულ მოგზაურობებში, გარემოში გაგნების საშუალება.

VI საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე აღმოსავლეთის ხალხებში იმ დროის შესაფერისი ასტრონომიული ცოდნა ფართოდ იყო გავრცელებული. ძველი დროის ჩინეთში, ბაბილონსა და ეგვიპტეში იცნობდნენ არა მარტო დროის ძირითად ერთეულებს, რომლებიც დედამიწის წლიური ან მთვარის თვიური მოქცევით განისაზღვრება, არამედ აგრეთვე ისეთ მოვლენებს, როგორიცაა ეკვატორის ეკლიპტიკასთან დახრა ან მზისა და მთვარის დაბნელებათა პერიოდულობა და სხვ.

ორი საუკუნით გვიან ჩამოყალიბდა მოძღვრება დედამიწის სფეროსებრ მოყვანილობაზე, შედგა ვარსკვლავების პირველი ნუსხა — ასტრონომიული ცნობების სისტემატიზაციის მიზნით, და ძველ საბერძნეთში შემუშავდა სამყაროს აგებულების ზოგადი სისტემა.

III საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე განსაზღვრულ იქნა დედამიწის სიდიდე. ერთი საუკუნით გვიან შემუშავდა პლანეტების მოძრაობის თეორია იმ წარმოდგენის საფუძველზე, თითქოს უძრავი დედამიწა სამყაროს ცენტრში ესვენოს. ასეთმა წარმოდგენამ და მასზე დამკვიდრებულმა თეორიამ, რომელიც სრულად ჩვენი წელთაღრიცხვის მეორე საუკუნეში დამუშავდა, მეთექვსმეტე საუკუნემდე გაძლო.

საშუალო საუკუნეებში ასტრონომია, უმთავრესად, ახლო და შუა აღმოსავლეთში, ინდოეთსა და ჩინეთში განიცდიდა განვითარებას. ცნობილია, კერძოდ, რომ XII საუკუნის საქართველოშიც ასტრონომიულმა ცოდნამ განვითარების მაღალ დონეს მიაღწია. სხვადასხვა ქვეყანაში მოეწყო ობსერვატორიები, სადაც ნაირ-ნაირი კუთხმზომი იარაღები და დაყოფილი წრეები გამოიყენებოდა მზის, მთვარისა და ცთომილთა მოძრაობის უფრო ღრმად შესასწავლად. მრავლდებოდა





დაკვირვებები, გროვდებოდა ცოდნა. საზოგადოების ეკონომიური განვითარება, ვაჭრობისა და ზღვაოსნობის გაფართოება, მრეწველობის ჩასახვა ახალ მოთხოვნებს უყენებდა მეცნიერებას და, კერძოდ, ასტრონომიასაც. ეს პროცესი დაგვირგვინდა მეცნიერებაში მთელი რიგი ახალი, რევოლუციური აღმოჩენებით, რომლებიც უკვე იმ ეპოქაში ათავისუფლებდა მეცნიერებას მცდარ წარმოდგენათა გავლენისაგან. 1543 წელს გამოქვეყნდა ნიკოლოზ კოპერნიკის წიგნი „ციური სფეროების გარემოქცევის შესახებ“, რომელშიც უარყოფილ იქნა მოძღვრება სამყაროს ცენტრში უძრავად მდებარე დედამიწაზე და დასაბუთებულ იქნა მზის სისტემის აგებულების სწორი სურათი. გაისმა ციურ სხეულთა აურაცხელობისა და სამყაროს უსასრულობის მტკიცების ხმა (ჯორდანო ბრუნო). ახალი იდეები გზას იკვლევდა სასტიკ ბრძოლაში ძველ წარმოდგენებთან.

XVII საუკუნე დაიწყო ტელესკოპის გამოგონებით. მისი მეშვეობით შესრულებულმა პირველმა ასტრონომიულმა აღმოჩენებმა (გალილეო გალილეი) მტკიცე არგუმენტები მოიტანა კოპერნიკის მოძღვრების სისწორის დასამტკიცებლად, ახალი წარმოდგენების სასარგებლოდ; იგი სამყაროს მატერიალურ ერთიანობას მიუთითებდა, „მიწიერსა“ და „ზეციურს“ შორის იდუმალ განსხვავებას აქარწყლებდა და მკაფიოდ უჩვენებდა დედამიწის ადგილს უსასრულო სამყაროს სივრცეში გაფანტულ სხეულთა შორის. იოჰან კეპლერმა აღმოაჩინა კანონზომიერებანი ცთომილთა მოძრაობაში და ჩამოაყალიბა ცნობილი სამი კანონი. ამის შემდგომ, XVII საუკუნის დამლევს, ისააკ ნიუტონი მიაკვლევს მსოფლიო მიზიდულობის კანონს, რომლის გამოყენება მზის სისტემის სხეულების მოძრაობის შესასწავლად შემდგომ საუკუნეებში უმნიშვნელოვანეს წარმატებებს მოუტანს მეცნიერებას.

ზღვაოსნობისა და კარტოგრაფიის ინტერესებმა მოითხოვა სახელმწიფო ობსერვატორიების დაარსება. შეიქმნა ობსერვატორიები საფრანგეთში, ინგლისში — გრინვიჩისა, რუსეთში — პულკოვოსი, სადაც გაუმჯობესებული ტელესკოპების გამოყენებამ კიდევ უფრო მეტად აამაღლა ასტრონომიულ განსაზღვრათა სიზუსტე და გაამდიდრა ასტრონომიული ცოდნა. განსაზღვრულ იქნა დედამიწა — მზის მანძილის ზუსტი მნიშვნელობა — ეს ძირითადი ერთეული სამყაროს სხეულების სისტემათა მასშტაბების დასადგენად.

XVIII საუკუნის პირველ მეოთხედში ე. ჰალეიმ (ინგლისი) აღმოაჩინა ვარსკვლავთ საკუთარი მოძრაობები, რამაც სრულიად ახალი წარმოდგენა შექმნა ვარსკვლავთ სამყაროზე, როგორც მოძრაობასა და განვითარებაში მყოფ სისტემაზე. იმავე საუკუნის სამოციან წლებში მიხეილ ლომონოსოვმა აღმოაჩინა ატმოსფეროს გარსი პლანეტა ვენერას ირგვლივ და, თუ მანამდე პლანეტები მხოლოდ მოძრაობით იპყრობდნენ ასტრონომების ყურადღებას, ამ აღმოჩენამ საფუძველი ჩაუყარა პლანეტების ფიზიკურ კვლევას.

კანტმა და ლაპლასმა პირველად წამოაყენეს მზის სისტემის წარმოშობის შედარებით დასაბუთებული ჰიპოთეზა. მასში არსებითი იყო იდეა, რომლის თანახმად სამყაროს და, კერძოდ, დედამიწის განვითარება ხდება მატერიის ევოლუციის კანონზომიერებათა მიხედვით. ეს ძირს უთხრიდა მანამდე გაბატონებულ მეტაფიზიკურ, რელიგიურ, ცრუ შეხედულებებს სამყაროს მოვლენებზე.

XIX საუკუნის ოცდაათიან წლებში ვ. სტრუვემ პულკოვოში, ფ. ბესელმა გერმანიაში, თ. ჰენდერსონმა ინგლისში პირველად განსაზღვრეს მანძილები ვარსკვლავებამდე. ამან კიდევ უფრო მეტი შინაარსი მისცა ვარსკვლავთ სამყა-



როს ასტრონომიულ კვლევას, რომელიც გადაიზარდა მზის მომცველი ვარსკვლავთ სისტემის აგებულების შესწავლაში. ხოლო პლანეტური სისტემის კვლევა ტრიუმფალურად დაგვირგვინდა ახალი პლანეტის, ნეპტუნის აღმოჩენით წმინდა თეორიული მოსაზრებებისა და მათემატიკური გამოთვლების საფუძველზე, რამაც კიდევ უფრო ნათლად უჩვენა ასტრონომიული მეცნიერების სიზუსტე და ადამიანის გონების მიერ ბუნების შემეცნების განუზომელი უნარი.

XIX საუკუნის შუა წლებიდან დაიწყო ცის სხეულების ფიზიკური ბუნების სისტემატური კვლევა, დამყარებული სპეციფიკური ფიზიკური მეთოდების გამოყენებაზე. ამას ხელს უწყობდა ექსპერიმენტული ფიზიკის სწრაფი განვითარება, ფოტოგრაფიის გამოგონება და მეცნიერული მიზნებისათვის მისი გამოყენება, სიკაშკაშეთა გამზომი აპარატურის დამუშავება, სპექტრული ანალიზის საფუძვლების ჩამოყალიბება და სხვ. ყოველივე ამან სულ ახალი, ფიზიკური სახე მისცა ასტრონომიის ერთ ნაწილს და ხელი შეუწყო მრავალფეროვანი ასტრონომიული მონაცემების, მახასიათებლებისა და ცნობების მასობრივ დაგროვებას. ასტრონომიის ისტორიაში XIX საუკუნის მეორე ნახევრისა და მეტადრე XX ს. პირველი ნახევრისათვის დამახასიათებელია სწორედ ის, რომ უხვად გროვდებოდა დიდძალი ფაქტობრივი, დაკვირვებითი მასალა, რომლის ინტერპრეტაციამ მოვლენათა შორის ურთიერთკავშირი, ბევრი ახალი ზოგადი კანონზომიერება და სხვა მისთანანი დაადგინა. იქმნებოდა ასიათასობით ვარსკვლავთა კატალოგები, რომელნიც წარმოადგენენ ვარსკვლავთა ძირითადი მახასიათებლების ნუსხებს.

ამასთანავე, ატომური ფიზიკის მიღწევების მეშვეობით შესაძლებელი გახდა თეორიული გამოკვლევების განვითარება, რომლებიც შეეხება მზისა და ვარსკვლავების ატმოსფეროსა და წიაღის აგებულებას, გამოსხივების ენერგიის წყაროებს და სხვ.

ჩვენს საუკუნეში ასტრონომიაში მოხდა ისეთი დიდი მნიშვნელობის აღმოჩენები, როგორიცაა ჩვენი ვარსკვლავთ სისტემის—გალაქტიკის თავისებური სტრუქტურა, მისი ბრუნვა, ვარსკვლავთშორისეთული ნივთიერების თვისებები, მეტაგალაქტიკური მანძილების განმსაზღვრელი პარამეტრები და მრავალი სხვა, რაც მიკვლევულ იქნა თანამედროვე გიგანტური ტელესკოპების მეოხებით.

დიდი რაოდენობით მოპოვებულმა ფაქტებმა იმის ნიადაგიც შექმნა, რომ ახლებურად გაშუქებულიყო ცის სხეულების წარმოშობა-განვითარების საკითხები. დადგინდა მრავალი საინტერესო ფაქტი, რომლებიც მიუთითებს ვარსკვლავებსა და ვარსკვლავთშორისეთულ ნივთიერებათა შორის კავშირს და ამ კავშირში მაგნიტური ველების როლს. აღმოჩნდა, რომ ვარსკვლავთა წარმოშობის პროცესი ამჟამადაც მიმდინარე პროცესია და მათ სამყაროში ხნიერი ვარსკვლავების გვერდით ახლად წარმოშობილებსაც ვხვდებით.

მიმდინარე პერიოდი ასტრონომიის ისტორიაში ხასიათდება ძირითადად ორი გარემოებით. პირველი შეეხება ასტრონომიული დაკვირვებისა და კვლევის მეთოდებს, რომელთა შორის სულ უფრო და უფრო ინერგება უახლესი ფიზიკური და ტექნიკური საშუალებანი—ფოტოეფექტზე დამყარებული ხელსაწყოები, ელექტრონიკა, ოპტიკური გარდამქმნელები, ტელევიზია, გიგანტური ოპტიკური ტელესკოპები და რადიოტელესკოპები, საანგარიშო-ანალიზური და სწრაფმოქმედი ელექტრონული მანქანები და სხვ. ამას უნდა დაემატოს კიდევ უსაზღვრო პერ-



სპექტივების მქონე გარეატმოსფერული დაკვირვებანი ხელოვნური კოსმოსური სხეულებისა და კოსმოსურ ხომალდებში მყოფი ადამიანების მეშვეობით.

მეორე გარემოება ისაა, რომ მოპოვებული ფაქტების სიმრავლე და მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა უფრო ფართოდ და ღრმად შევისწავლოთ სხვადასხვა ობიექტის ურთიერთობა, მოვლენებს შორის კავშირი, ერთიანი კანონზომიერებანი.

ასტრონომიული მეთოდების ნაირნაირობისა და, მეტადრე, გამოსაკვლევი ობიექტების სიმრავლის პირობებში დიდი მნიშვნელობა მოიპოვა საერთაშორისო ასტრონომიულმა თანამშრომლობამ. ჩვენი საუკუნის ოციათი წლების დასაწყისში ჩამოყალიბდა საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირი, რომელიც აერთიანებს მრავალ დარგობრივ სექციას და უზრუნველყოფს საერთაშორისო სამეცნიერო კოოპერაციას, დაკვირვება-გამოკვლევათა კოორდინაციას და ახორციელებს სხვა ისეთ ღონისძიებებს, რომლებიც მოითხოვს სხვადასხვა ქვეყნის ასტრონომთა შეთანხმებულ მონაწილეობას.

თავისი განვითარება განიცადა ასტრონომიამ საბჭოთა კავშირში. ეს გამოიხატა არა მარტო დიდი მნიშვნელობის თეორიული გამოკვლევების შესრულებით და ახალი თეორიების დამუშავებით, არამედ თანამედროვე, დიდი ზომის ტელესკოპებისა და რადიოტელესკოპების შექმნითა და ახალი ობსერვატორიების დაარსებითაც. მათ შორის არის საქართველოს ტერიტორიაზე, აბასთუმნის მახლობლად, მთა ყანობილზე მოწყობილი ობსერვატორია, რომელიც ოცდაათიან წლებში იქნა დაარსებული, როგორც საბჭოთა კავშირში პირველი მთის ასტროფიზიკური ობსერვატორია. ამჟამად ასტრონომიულ დაწესებულებათა ქსელის განვითარების საქმეში მკაფიოდაა გამოხატული მისწრაფება—ამენდეს ახალი ობსერვატორიები, ხოლო ძველი გაიტანონ ქალაქგარეთ, ქალაქის ხელოვნურ განათებას, მტვერს, სამრეწველო ნაგებობების თანამგზავრ ჭვარტლსა და ბოლს მოშორებულ ადგილებში; ხშირად—გარკვეული მეცნიერული მიზნებით—მთიან ადგილებშიც, რომელთა კარგი ატმოსფერული პირობები, როგორიცაა გამჭვირვალობა, სიწყნარე და სხვ., ხელშემწყობია თანამედროვე იარაღებით წარმოებული ასტრონომიული და, კერძოდ, ასტროფიზიკური გამოკვლევების ნაყოფიერებისათვის.

დღეს მთელი დედამიწის ზურგი მოფენილია სამასზე მეტი ასტრონომიული ობსერვატორიით; ამათ გარდა მუშაობას ეწევა სამოცზე მეტი რადიოასტრონომიული ობსერვატორია. მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა ობსერვატორიების მოწყობილობის ახალი დიდი ტელესკოპებით შევსებაზე და აგრეთვე ახალი ტექნიკის ჩანერგვაზე ტელესკოპებთან კომბინაციაში გამოსაყენებლად. მიმდინარეობს აგრეთვე სპეციალური კონსტრუქციის ტელესკოპების დამზადება, რომლებიც ხელოვნური კოსმოსური სხეულების მეშვეობით გააქვთ ატმოსფეროს გარეთ სადაც მნათობების დასაკვირვებლად იდეალური პირობებია. თვით ადამიანი მიიჭრა მთვარეზე, საიდანაც ქანების სინჯები წამოიღო, და მიისწრაფვის ახლო მანძილიდან უშუალოდ გამოიკვლიოს ჩვენი მეზობელი პლანეტები, რომლებსაც შორიდან ათასწლობით აკვირდებოდა.

**§ 6. ასტრონომიის დაყოფა დარგებად.** თანამედროვე ასტრონომია მეტად განვითარებული, მრავალდარგიანი მეცნიერებაა. ჩამოვთვალოთ და მოკლედ დაეახასიათოთ მისი ძირითადი დარგები.

1) ს ფ ე რ უ ლ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა გვასწავლის ცაზე მნათობების მდებარეობას.



რეობის განსაზღვრის მათემატიკურ მეთოდებს, მნათობთა კოორდინატების სხვადასხვა მიზეზით (რეფრაქცია, პრეცესია და სხვ.) გამოწვეულ ცვლილებებს, დროის აღრიცხვას, მზისა და მთვარის დაბნელებათა წინასწარგამოთვლას და სხვ.

2) პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა აღწერს მეთოდებს, რომლებითაც განსაზღვრავენ მნათობთა კოორდინატებს ცაზე, ადგილის გეოგრაფიულ განედს, გრძედსა და ზუსტ დროს, აგრეთვე იმ ხელსაწყოებს, რომელთაც ხმარობენ ამგვარი განსაზღვრისათვის. პრაქტიკული ასტრონომიის სპეციალიზებული ქვედარგებია ს ა ზ დ ვ ა ო ს ნ ო ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა და ა ე რ ო ნ ა ვ ი გ ა ც ი ა, რომლებიც ემსახურებიან ადგილმდებარეობისა და დროის განსაზღვრას ზღვასა და ჰაერში, შესაბამისად.

ვითარდება კ ო ს მ ო ნ ა ვ ი გ ა ც ი ა—კოსმოსურ სივრცეში ხომალდის ასტრონომიული ორიენტირების მეთოდების დამუშავებელი დარგი და მუშავდება მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება ორიენტირებისათვის მთვარის ზედაპირზე და მთვარის ზედაპირიდან.

სფერული ასტრონომია და პრაქტიკული ასტრონომია ერთიანდებიან უფრო ფართო დარგში, რომელიც ცნობილია ა ს ტ რ ო მ ე ტ რ ი ი ს სახელწოდებით.

3) თ ე ო რ ი უ ლ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა შეისწავლის მზის სისტემის სხეულთა ნამდვილ მოძრაობებს, ამ სხეულების ხილულ მდებარეობათა მიხედვით ორბიტების განსაზღვრის მეთოდებს და, პირუკუ, მნათობების ხილულ მდებარეობათა (ეფემერიდების) გამოთვლას ცნობილი ორბიტების ელემენტების მიხედვით. თეორიული ასტრონომია ეყრდნობა კეპლერისეული კანონებისა და ნიუტონისეული მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოყენებას. ეს დარგი მეთოდურად და შინაარსობრივ უფრო მეტად მათემატიკურია.

4) ც ი ს მ ე ქ ა ნ ი კ ა ც მათემატიკური ხასიათის დარგია და შეისწავლის ცთომილების, თანამგზავრებისა და კომეტების მოძრაობას უფრო რთულ პირობებში, როდესაც განიხილება არა უბრალოდ ერთი სხეულის მოძრაობა (მოქცევა) მეორის გარშემო, არამედ ამავე დროს მხედველობაში მიიღება მესამე და სხვა სხეულების მიზიდულობითი გავლენაც. ამ დარგის მეთოდებით შეისწავლიან აგრეთვე მოქცევა-მოქცევათა თეორიის საკითხებს, ცის სხეულების წონასწორობის პირობებს, მათ ფიგურებსა და სხვ. ცის მექანიკის მეთოდები გამოიყენება ვარსკვლავთა სისტემების, ჯერადი ვარსკვლავების კომპონენტთა მოძრაობის შესასწავლად, დაბოლოს,—დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და კოსმოსური რაკეტების მოძრაობის წინასწარ გაანგარიშებისათვის. ამ უკანასკნელი მიმართულებით წარმოებული გამოკვლევანი და მათი შედეგების გამოყენება საფუძველია ახალი დარგის განვითარებისა, რომელსაც ეწოდება ა ს ტ რ ო დ ი ნ ა მ ი კ ა.

5) ა ს ტ რ ო ფ ი ზ ი კ ა, რომელსაც თანამედროვე ასტრონომიაში ერთგვარად ცენტრალური ადგილი უკავია, შეისწავლის ცის სხეულების ფიზიკურ თვისებებს: მათ სიკაშკაშეს, ტემპერატურას, გამოსხივების უნარს, მათი ატმოსფეროების ფიზიკურ მახასიათებლებსა და ქიმიურ შედგენილობასა და, საერთოდ, ყველა იმ მოვლენას, რომლებიც ცის სხეულების ფიზიკურ თვისებებზეა დამოკიდებული ან ამ თვისებებზე. რაიმე ცნობას გვაწვდის. მოკლედ, ასტროფიზიკა ანუ ფ ი ზ ი კ უ რ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა არის მეცნიერება ცის სხეულების ფიზიკური ბუნების შესახებ.

6) როგორც ცალკე დარგი, უნდა იქნეს დასახელებული თ ე ო რ ი უ ლ ი





ასტროფიზიკა. თუმცა იგიც ცის სხეულების ფიზიკურ ბუნებას შეისწავლის, მაგრამ მისი მეთოდები სპეციფიკურია და სულ სხვაა, ვიდრე საერთოდ ასტროფიზიკისა. თეორიული ასტროფიზიკა მეთოდური თვალსაზრისით ეყრდნობა ფიზიკურ თეორიებსა და უმაღლესი მათემატიკის აპარატს; მისი აღმოცენება და განვითარება დაკავშირებულია ატომის აგებულებაზე თანამედროვე თეორიების წარმატებებთან; ამათ საფუძველზე ახსნილ იქნა ისეთი დაკვირვებული ასტრონომიული პროცესები, რომლებიც თავის კვალს ამჩნევს მნათობთა სპექტრებს და მათ თავისებურებებში გამოვლინდება. თეორიული ასტროფიზიკის უშუალო კვლევის ასპარეზია მზისა და ვარსკვლავების ატმოსფერო, მათივე წიაღი, ნისლეულთა ნათების თეორიები, კოსმოსური პლაზმა, ვარსკვლავთა ევოლუცია და სხვ.

7) ვარსკვლავთა ასტრონომია იმ დარგს ეწოდება, რომელშიც ვარსკვლავები ან მათი პარამეტრები განიხილება როგორც სტატისტიკური ერთეულები, რომელთა ერთობლივი შესწავლა და ანალიზი დასკვნებს გვაძლევს გალაქტიკის აგებულებასა და განვითარებაზე. ეს პარამეტრები უმთავრესად ვარსკვლავთა სივრცეში განაწილების, მოძრაობის, სიჩქარეების, მასების, მოქმედი ძალებისა და სხვათა დამახასიათებლებია. ვარსკვლავთა ასტრონომიაში შეისწავლება მათივე სისტემების ზოგადი კანონზომიერებანი. გამოსაყენებელი მონაცემების მასობრიობის გამო შესწავლის მეთოდი უმთავრესად სტატისტიკურია, თუმცა აქაც ხშირად მიმართავენ ასტრომეტრიისა და ასტროფიზიკის მეთოდებსაც. შეიძლება ითქვას, რომ ეს დარგი თითქოს ერთგვარად აგვირგვინებს მთელს თანამედროვე ასტრონომიას, რამდენადაც იგი იყენებს ფაქტობრივ მონაცემთა მთელ იმ ჯამს, რაც ასტრონომიაში მოუპოვებიათ, და თავის საბოლოო მიზნად ისახავს ვარსკვლავთა სისტემების, მთელი ვარსკვლავთა სამყაროს—გალაქტიკის—მთლიანი აგებულების, მასში მიმდინარე საერთო მოვლენებისა და ზოგადი კანონების შესწავლას.

ასე დაიყოფა თანამედროვე ასტრონომია ძირითად დარგებად. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ, ჯერ ერთი, ყოველთვის არ ხერხდება მკვეთრი მიჯნის გავლება დარგებს შორის; ხშირად ორი სხვადასხვა დარგი ერთსა და იმავე მეთოდს მიმართავს, ერთი და იგივე პრობლემა ორი და მეტი დარგის მიერ შეისწავლება. მეორეც, არის პრობლემათა წრე, რომელიც შეიძლება ცალკე დარგად გამოიყოს კიდევ, მაგრამ ამავე დროს სხვა დარგების კომპეტენციადაც ჩაითვალოს. ასეთია, მაგალითად, კოსმოგონია, რომელიც შეისწავლის კოსმოსური სხეულების (ცთომილების, ვარსკვლავების) წარმოშობისა და ევოლუციის და სხვა პრობლემებს. მაგრამ, თუ საკითხს მივუდგებით დინამიკის თვალსაზრისით, ეს შეიძლება იყოს ცის მექანიკის კვლევის საგანი; ასტროფიზიკური თვისებების განხილვის საფუძველზე—ასტროფიზიკის ასპარეზი; ხოლო ზოგად სტატისტიკურ კანონზომიერებათა თვალთახედვით—ვარსკვლავთა ასტრონომიისა.

ისიც აღსანიშნავია, რომ თითქმის ყველა აქ ჩამოთვლილი დარგი თავისთავად იმდენად განვითარებული და მრავალმხრივია, რომ ხშირად გვჭირდება მათი ქვედარგებად დაყოფა. ასე შეიძლება გამოყოფილ იქნეს ასტროფიზიკაში ასტროფოტომეტრია (ცის მნათობთა სიკაშკაშის შემსწავლელი მეცნიერება), ასტროსპექტროსკოპია (მნათობთა შესწავლა სპექტრული ანალიზის საფუძველზე), პელიოფიზიკა (საკუთრივ მზის ფიზიკა) და სხვ. ვარსკვლავთა ასტრონომიაში შეიძლება ცალკე ქვედარგად გამოვიყოთ ვარსკვლავთა სისტემების დინამიკა და სხვ.



უკანასკნელ დროს სულ ახალი დარგიც გაჩნდა: რ ა დ ი ო ა ს ტ რ ო ნ ო -  
მ ი ა.

ასტრონომიული კვლევის რადიოასტრონომიული მეთოდი ემყარება სამყაროს სხეულთა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების იმ ნაწილის რეგისტრაციასა და ანალიზს, რომელიც რადიოტალღების დიაპაზონშია და, მაშასადამე, რადიომიმღებებით მიიღება როგორც „რადიოხმაური“. რადიოასტრონომიის მიერ მოპოვებული ინფორმაცია თვისებრივად ახალია და არსებითად ავსებს იმ ინფორმაციას, რომელსაც ჩვეულებრივი, ოპტიკური მეთოდებით, ე. ი. თვალის, ტელესკოპის, ფოტოფირფიტისა და სხვა მისთანათა გამოყენებით ვღებულობთ. არსებობს ბევრი ისეთი ობიექტი და მოვლენა, რომელთა მახასიათებელი მონაცემების მოპოვება შეუძლებელია ოპტიკური ტელესკოპებით, მაგრამ მისაწვდომია რ ა დ ი ო ტ ე ლ ე ს კ ო პ ე ბ ი თ.

ცის სხეულებს ახასიათებს არა მარტო რადიოგამოსხივება (გრძელტალღიანი), არამედ—ე. წ. რენტგენისული და გამა-გამოსხივებაც (მოკლელტალღიანი). მაგრამ, რამდენადაც ასეთი გამოსხივებისათვის დედამიწის ატმოსფერო გაუმჭვირვალეა, მათი რეგისტრაცია შეიძლება მხოლოდ ატმოსფეროს გარედან, რისთვისაც გამოყენებულ უნდა იქნეს დედამიწის ან მთვარის ხელოვნური თანამგზავრები, საპლანეტათშორისო ავტომატური სადგურები, ორბიტული ან მთვარის ზედაპირზე გამართული დასამზერი სადგურები, ლაბორატორიები და ობსერვატორიები.

უკვე ჩაისახა და კოსმოსურ მიღწევათა ჩვენს ეპოქაში ფართო პერსპექტივები აქვს ახალი დარგების — რ ე ნ ტ გ ე ნ უ ლ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ი ს ა და გამა-ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ი ს განვითარებას. ამასთანავე ყალიბდება ასტრონომიის ერთი ახალი დიდი დარგი, რომელიც მთლიანად ეყრდნობა დაკვირვებებს ატმოსფეროს გარედან. ეს არის გ ა რ ე ა ტ მ ო ს ფ ე რ უ ლ ი ა ს ტ რ ო ნ ო -  
მ ი ა.

წინამდებარე წიგნი გადმოსცემს ასტრონომიის საფუძვლებს, ასტრონომიის ზოგად მასალას და ამდენად იგი მოიცავს ყველა ზემოჩამოთვლილი დარგებისა და ქვედარგების ელემენტებს. თავისი შინაარსით იგი ჩაითვლება ზ ო გ ა დ ი ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ი ს კ უ რ ს ა დ.

**§ 7. ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან.** ზემოთ უკვე დავახასიათეთ ასტრონომიის კავშირი ფიზიკასთან, რომელთანაც მას აერთებს არა მარტო საზიარო მეთოდები, არამედ პრობლემების ნათესაობაც; დავახასიათეთ კავშირი მათემატიკასთანაც, რომლის აპარატი ასტრონომიაში ხშირად გამოიყენება; ზოგ შემთხვევაში ასტრონომიული ამოცანა წყდება როგორც წმინდა მათემატიკური. პრობლემებში, რომლებიც დედამიწის წარმოშობასა და მისი წიაღის აგებულებას შეეხება, ასტრონომია გეოლოგიას უკავშირდება; საკითხებში, რომლებიც შეეხება სპექტრულ ანალიზს, ატომის აგებულებასა და ვარსკვლავის ბუნებას, ფიზიკასთან ერთად, ასტრონომია ქიმიასაც უკავშირდება. მეცნიერულ კვლევაში ახალი ტექნიკური საშუალებების ჩანერგვასთან დაკავშირებით, ასტრონომიას ბევრი საერთო უჩნდება რადიოფიზიკასა და ელექტრონიკასთან. ჩვენს დროში მეცნიერებაში განვითარების ორგვარი, თითქოს ერთიმეორის საწინააღმდეგო ტენდენცია ჩანს. ერთი ისაა, რომ ხდება პრობლემებისა და მეთოდების ერთგვარად სპეციალიზებული განვითარება; მეორე მხრივ კი, რამდენადაც მეცნიერული კვლევის გადრმავებასთან დაკავშირებით უფრო ფართოდ გამოვლინდა მოვლენა-



თა შორის ურთიერთკავშირი, ხშირად ვხვდებით პრობლემის კომპლექსურად კვლევის აუცილებლობას და ამის გამო—ერთი პრობლემა სხვადასხვა, ზოგჯერ არცთუ ერთმანეთთან ძალიან ახლობელი დარგებით გადაიფარება. ეს გარემოება შეიძლება ასტრონომიაშიც, რაც განსაზღვრავს მის აწმყო და მომავალ კავშირს სხვა მეცნიერებებთან.

**§ 8. სამყაროს ზოგადი მიმოხილვა.** ვიდრე შევუდგებოდეთ საგნის სისტემატურ თანმიმდევრულ გადმოცემას ცალკეული მეთოდების, ობიექტებისა და დარგების მიხედვით, წინასწარ ზოგადად მიმოვიხილოთ ერთიანად მთელი ის სამყარო, რომელიც ასტრონომიის თანმიმდევრული შესწავლის საგანს წარმოადგენს. ასეთი წინასწარი მიმოხილვა სასარგებლოა, ჯერ ერთი მით, რომ მაშინვე დაგვანახებს ასტრონომიული კვლევის მთელ ასპარეზს, მეორეც,—თავიდანვე გამოავლენს იმ თავისებურებას, რაც ასტრონომიას ახასიათებს, კერძოდ, სამყაროს უსასრულობისა და მოვლენების უსაზღვრო ნაირნაირობის თვალსაზრისით. დაბოლოს იმაშიც დაგვარწმუნებს, თუ რარიგ რთული საკითხები ყოფილა გარკვეული და რარიგ მრავალი სარწმუნო ცნობა—მოპოვებული იმ შორეული სხეულების მიმართ, რომლებიც ასტრონომიული კვლევის საგანია.

მიმოხილვის საწყისად ჩვენი სამყოფელი პლანეტა—დედამიწა უნდა მივიღოთ. დედამიწა, რომელიც ჩვენი ყოველდღიური ცხოვრების ინტერესთა ჩარჩოებში ერთობ ვრცელ „სამყაროდ“ წარმოგვიდგება, შედარებით მცირე სფეროსებრი სხეულია იმ მნათობებს შორის, რომელნიც მზის სისტემას შეადგენენ. დედამიწის სიდიდე განისაზღვრება მისივე რადიუსით, რომელიც დაახლოებით 6370 კმ სიგრძისაა. დაახლოებით 384000 კმ მანძილზე მისგან იმყოფება მეზობელი კოსმოსური სხეული — მთვარე, რომელიც სიდიდით დედამიწას ჩამოუვარდება: მისი რადიუსი დედამიწის რადიუსის დაახლოებით მეოთხედს შეადგენს. მთვარე სრბოლავს დედამიწის ირგვლივ ელიფსური ორბიტით, ერთ შემოვლას 27.3 დღე-ღამეში ასრულებს და მუდამ თან ახლავს მას, მზის გარშემო მის მოქცევაში. ამიტომ მთვარეს დედამიწის თანამგზავრსაც უწოდებენ. მთვარე დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრია. მას საკუთარი გამოსხივება არა აქვს—ცივი სხეულია და ანათებს მხოლოდ თავისი ზედაპირიდან არეკვლილი მზისეული სხივებით.

დედამიწასთან ერთად მზის გარს სრბოლავს 8 სხვა ცთომილი. მათი ზომები და მზიდან დაშორებაც სხვადასხვაა. უახლოესი მზესთან—მერკური—მოცულობით 17-ჯერ\* ნაკლებია დედამიწაზე, შემდგომი—ვენერა—თითქმის დედამიწის ტოლია. მათი ორბიტები დედამიწის ორბიტის შიგნითაა მოთავსებული, როგორც მზესთან უფრო ახლო სხეულებისა. მარსი დაშორებულია მზეს ერთნახევარჯერ უფრო მეტად, ვიდრე დედამიწა. მოცულობით იგი 7-ჯერ ნაკლებია დედამიწაზე. კიდევ უფრო შორს, დედამიწასთან შედარებით 5-ჯერ უფრო დიდ მანძილზე მზიდან, მზის გარშემო სრბოლავს იუპიტერი—მზის სისტემაში ყველაზე უფრო დიდი ცთომილი, რომელიც მოცულობით 1300-ჯერ აღემატება დედამიწას. იუპიტერი 12 წელიწადს ანდომებს მზის გარშემო ერთხელ შემოვლას. მას თავისი 16 მთვარე-თანამგზავრი ახლავს. იუპიტერს მოსდევს სატურნი—სიდიდით იუპიტერზე მცირე, მაგრამ მეტად საინტერესო მით, რომ უკანასკნელ დრომდე იგი ერთადერთ პლანეტად ითვლებოდა, რომელიც გარემოცული იყო ერთგვარი მეტეოროიდული შედგენილობის რგოლების სისტემით. ახლა ირკვევა, რომ

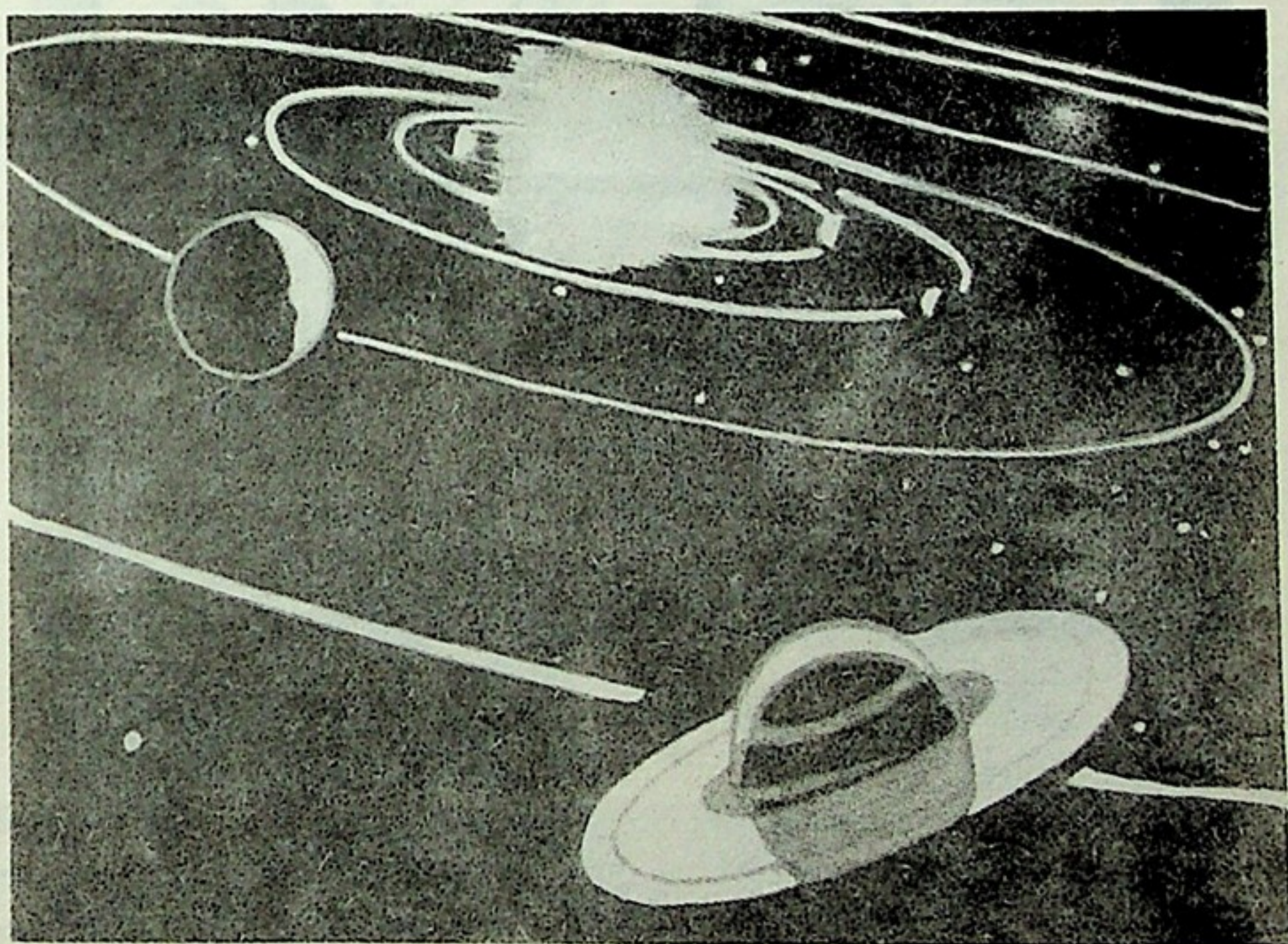
\* რიცხობრივი მონაცემები ამ პარაგრაფში მიახლოებითი და დამრგვალებულია.



ასეთი რგოლები სატურნის მეზობელ პლანეტებს—იუპიტერს და ურანსაც ახლავს. სატურნი დაშორებულია მზეს თითქმის 10-ჯერ მეტად, ვიდრე დედამიწა. მზის გარშემო მოქცევას იგი 30 წელიწადს ანდომებს. დანარჩენი სამი პლანეტა—ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი—თანმიმდევრულად უფრო შორს იმყოფება და მზის გარსმოქცევას მეტ დროს ანდომებს. მაგალითად, პლუტონი, რომელიც თავისი ორბიტით თითქოს მზის სისტემის საზღვარს შემოსწერს, დაშორებულია მზიდან, მზე-დედამიწის მანძილზე 40-ჯერ უფრო მეტად და თითქმის 250 წელიწადს უნდება მზის გარშემო ერთ მოქცევას.

ზედაპირის აგებულებითა და ტემპერატურით, ატმოსფეროს ფიზიკური მდგომარეობითა და ქიმიური შედგენილობით ცთომილები ძალიან განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან. ასე, მაგალითად, ვენერა ატმოსფეროს სქელი გარსითაა გარემოცული. ძალიან გაიშვიათებულია მარსის ატმოსფერო. იუპიტერისა და სატურნის ატმოსფეროში ჭარბადაა მეთანის, ამიაკისა და სხვა ნივთიერებათა დრუბლები.

ჩამოთვლილი დიდი ცთომილების გარდა მზის სისტემაში შედის დღეისათვის ცნობილი 4000-ზე მეტი მცირე ცთომილი, რომლებიც მოთავსებულია და სრბოლავს მზის გარშემო, ძირითადად მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის. მათთან ერთად მზის სისტემაში მრავლადაა კომეტები და აურაცხელი მეტეორიტიული სხეულები. მეტეორიტები ერთდერთი სხეულებია, რომლებიც გარე კოსმოსიდან დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრება, ზედაპირზე ცვივა და ამის წყალობით ფიზიკური და ქიმიური უშუალო ანალიზის ობიექტი ხდება.



ნახ.1

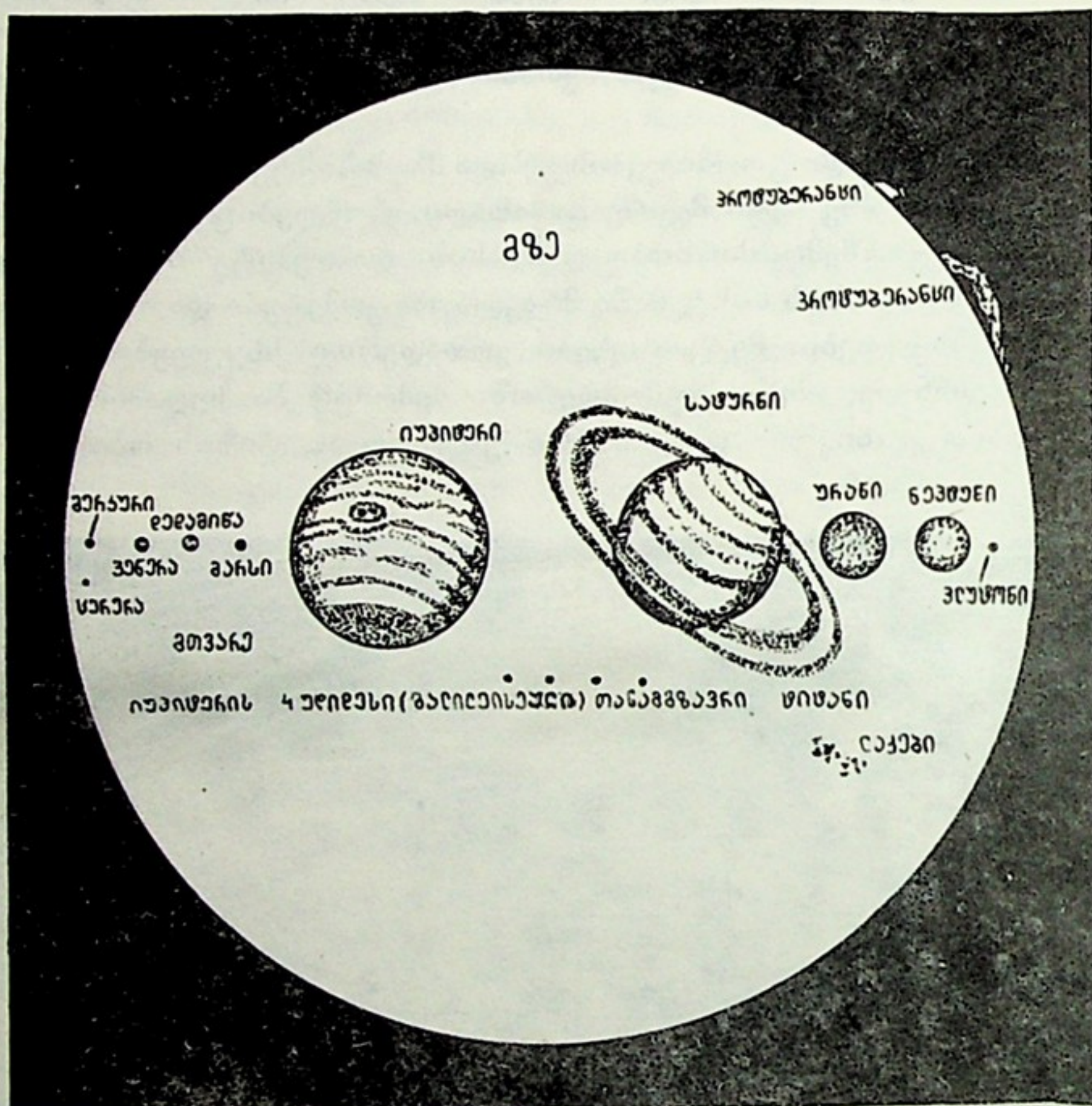
1-ელ ნახაზზე ვხედავთ მზის გარშემო მოძრავი რამდენიმე ცთომილის სურათს. მერკური არ ჩანს, მზის სხივებში „იკარგება“. ჩანს ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი.





მე-2 ნახ. წარმოადგენს მზისა და ცთომილების, აგრეთვე ზოგიერთი თანამგზავრის შედარებით სიდიდეებს.

ცენტრალურ სხეულს მზის სისტემაში თვით მზე წარმოადგენს — გავარდარებული, მნათი გაზოვანი ნივთიერებისაგან შედგენილი უზარმაზარი სფეროსებრი სხეული. მისი დიამეტრი თითქმის მილიონნახევარი კილომეტრია, ხოლო მასა მთელი მზის სისტემის მასის 99 პროცენტს შეადგენს. მზის ზედაპირის ტემპერატურა დაახლოებით ათას გრადუსს ეტოლება. მის წიაღში ტემპერატურა რამდენიმე მილიონ გრადუსს აღწევს. მზე გამოაფრქვევს ვეება ენერგიას — სინათლეს, სითბოს, სხვადასხვაგვარ გამოსხივებას. მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენაში ხშირად ჩანს ისეთი წარმონაქმნები, რომლებსაც განვითარების განსაკუთრებით



ნახ.2

დიდი სიჩქარეები და დიდი მასშტაბის სახეცვლილებები ახასიათებს. ასე, მაგალითად, პროტუბერანცები, რომელნიც მზის მეტად საინტერესო მოვლენების ჯგუფს მიეკუთვნებიან და ერთგვარ ამოფრქვევებს წარმოადგენენ, მრავალ შემთხვევაში ასეულობით ათას და მილიონ კილომეტრზე მეტ სიმაღლეს აღწევენ აღმადენის დიდი სიჩქარით — წამში რამდენიმე ასეულ კილომეტრამდე.

მზის მიერ გამოაფრქვეული სხივური ენერგიის ნაკადი შეგვიძლია გამოვითვალოთ იმ ენერგიის გაზომვით, რომელიც დედამიწის ზედაპირს მოადწევს დროის ყოველ წამში. ეს ენერგია იმდენად უხვია, რომ მზის წიაღში უნდა მიმდინ

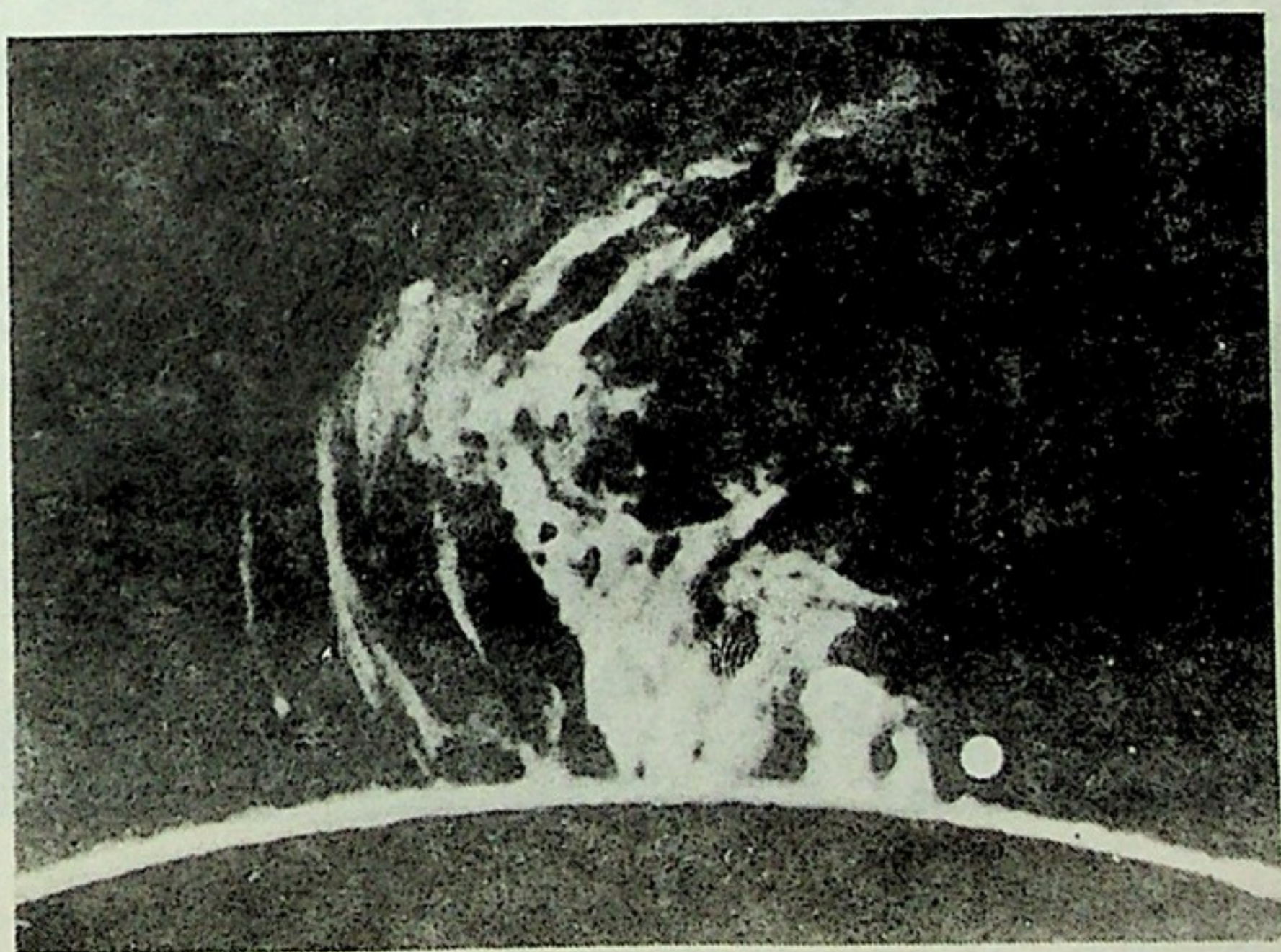


ნარეობდეს პროცესები, რომელთაც შესწევთ უნარი განუწყვეტლივ გამოიმუშაონ ენერგიის ახალ-ახალი მარაგი მილიარდი წლების განმავლობაში; დროის ასეთი ხანგრძლივობით გამოიხატება მზის ევოლუციის გზის ის ნაწილი, რომელზეც მზე დაახლოებით იმ სახისა და იმ ენერგიის მატარებელია, როგორადაც ჩვენს ერაში დაიკვირვება.

მე-3 ნახაზზე გამოსახულია მზის კიდის ნაწილი, სადაც უზარმაზარი პროტუბერანცია აღმართული. მარჯვნივ მოთავსებული თეთრი წრე დედამიწას წარმოადგენს იმავე მასშტაბში და აქ მოთავსებულია შესადარებლად: პროტუბერანციის მიერ დაკავებული სივრცე მრავალჯერ აღემატება დედამიწას!

მზე მილიონობით წლების მანძილზე განსაკუთრებული სიუხვით, შეუსუსტებლად გამოაფრქვევს ენერგიას. მაშასადამე, მისი ენერგიის აღდგენა-შევსებაც ერთობ სწრაფად და დიდი ინტენსივობით უნდა ხდებოდეს. როგორც ჩვენი საუკუნის მეცნიერებამ უჩვენა, მზის ენერგიის თითქმის უშრეტი წყარო ატომგულურ პროცესებშია, რომელთა მსვლელობაში ხდება წყალბადის გარდაქმნა ჰელიუმად. წყალბადის რაოდენობა მზის შიგნით, მართალია, შემოსაზღვრულია, მაგრამ მაინც იმდენია, რომ, თუ მზე ასევე ინტენსიურად განაგრძობს გამოსხივებას, მას მაინც არ შეეცვლება საგრძნობლად სახე და ბუნება მილიარდი წლების განმავლობაში.

როგორც გამოსხივების თვისებებით, ისე საერთო ბუნებით მზეს მილიარდობით სხვა ვარსკვლავი ემსგავსება. მზე ერთ-ერთი ჩვეულებრივი ვარსკვლავია, მაგრამ, თუ მათგან ასე მკვეთრად გამოიყოფა ხილული სიდიდით, სიკაშკაშითა



ნახ.3

და მცხუნვარებით, მხოლოდ იმის გამო, რომ იგი შეუდარებლად უფრო ახლოა, ვიდრე სხვა ვარსკვლავები.

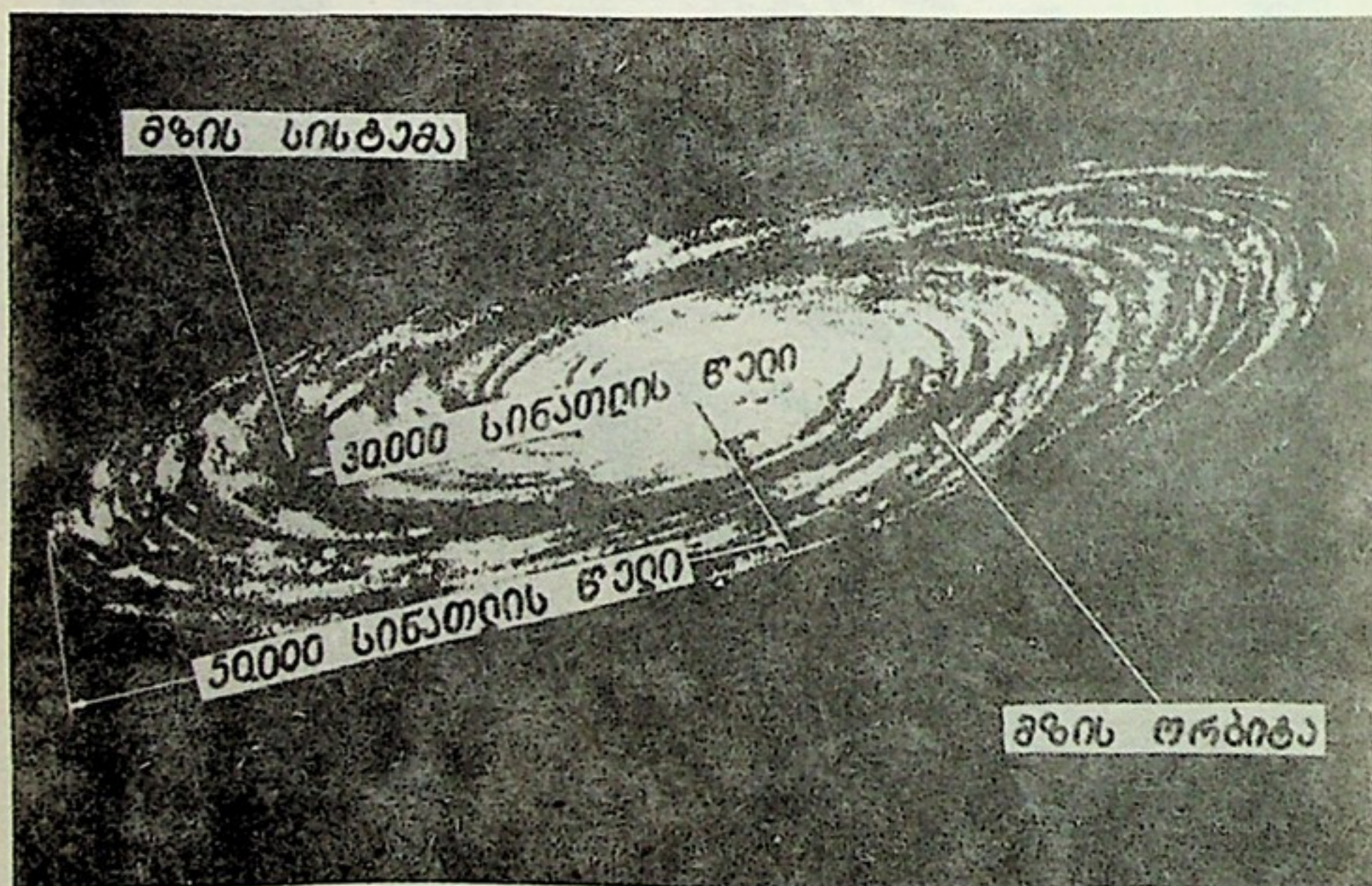
მზე, მთელი თავისი ოჯახით—პლანეტებით გარემოცული, განმხოლოებულია სამყაროს სივრცეში. სინათლის სხივი, რომელსაც შეუძლია ერთ წამში გა-





ირბინოს დედამიწის თითქმის 8-ჯერ აღებული გარშემოწერილობის სიგრძის ტოლი მანძილი, ერთ წამზე ცოტა მეტს ანდომებს მთვარე-დედამიწის მანძილის დაფარვას; 8 წუთს უნდება მზე-დედამიწის მანძილის გარბენას; 5 საათი ესაჭიროება იმისათვის, რომ ცთომილთა სისტემის სივრცის რადიუსი დაფაროს, სხვა სიტყვებით—დაფაროს მანძილი მზიდან პლუტონამდე. მაგრამ ეს უმნიშვნელო მანძილებია იმ „სიცარიელესთან“ შედარებით, რომელიც ჩვენი ცთომილთა სისტემის გარშემოა. ამ სიცარიელის მიღმა მზეს როგორც ერთ-ერთ ვარსკვლავს ვარსკვლავთა დიდ ოჯახში თავისი ახლო მეზობლებიც ჰყავს. მაგრამ ეს „სიახლოვე“ ისეთია, რომ მათ შორის მანძილის დაფარვისათვის სინათლის სხივს არათუ საათები, დღეებიც არ ჰყოფნის. უახლოესი ვარსკვლავიდან (ე. წ.  $\alpha$  ცენტავრისა) ჩვენამდე სივრცეს სხივი მხოლოდ 4 წელიწადსა და 4 თვეში „გადმოლახავს“. ამიტომ ამბობენ, რომ მანძილი უახლოეს ვარსკვლავამდე 4.3 სინათლის წელიაო. კილომეტრებში ეს მანძილი ერთობ დიდი რიცხვით გამოისახება: 40000 მილიარდით.

ჩვენს ყოველდღიურ საქმიანობაში, პრაქტიკულ გამოცდილებაში არასდროს არ გვხვდება ამის ოდნავადაც მსგავსი მანძილები. მხოლოდ სამყაროს შესწავლისას შეგვხვდება გაცილებით უფრო დიდი მანძილებიცა და რიცხვებიც. მრავალი ვარსკვლავი ასეულობითა და ათასეულობით სინათლის წლით არის დაშორებული ჩვენგან. მაშასადამე, ვუძიებთ რა ვარსკვლავებით მოჭედულ ცას, ზოგ ვარსკვლავს ისეთ მდგომარეობაში ვხედავთ, როგორც ასეული წლის წინ იყვნენ, ზოგს კი ისეთში, როგორც—ათასეული წლის წინ.



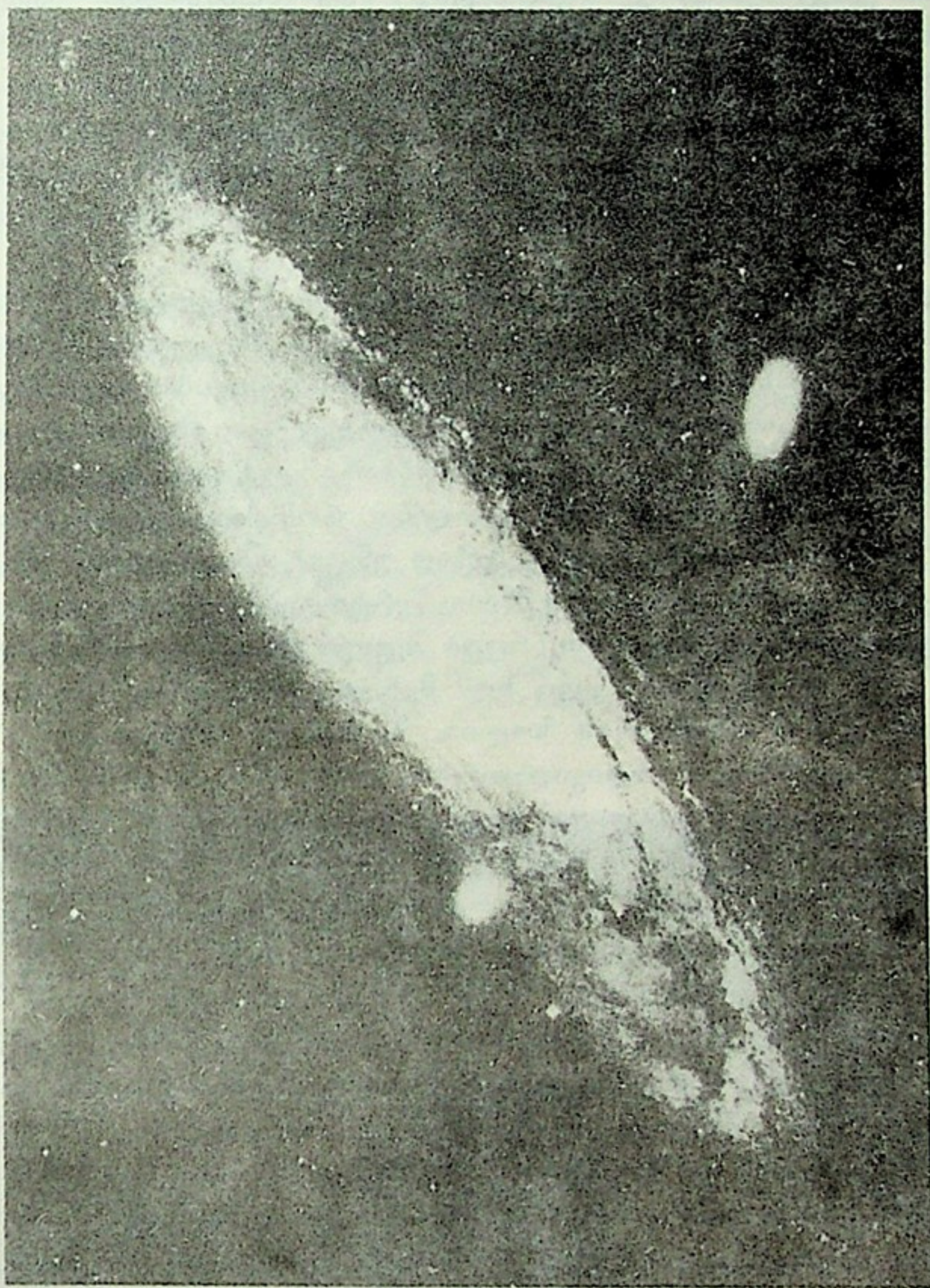
ნახ.4

თვით ჩვენს გალაქტიკას, ვარსკვლავთა იმ დიდ კრებულს, რომელიც ერთ-ერთ მთლიან გალაქტიკურ სისტემას ქმნის, რომლის წევრი ჩვენი მზეც არის, უკავია სივრცე, რომლის განივი 100000 სინათლის წელია (ნახ. 4).

მაგრამ დღესდღეობით ასტრონომიულად შესწავლილი სივრცე ჩვენი გალაქტიკით არ ამოიწურება. თუ გალაქტიკასაც გარემოიცავს დიდი „სიცარი-



ელე“, იმის იქით მაინც კვლავ გვხვდება ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი ვარსკვლავთ  
კრებულები, რომელთაც გარეშე გალაქტიკებს ვუწოდებთ და, რომელნიც აურაც-  
ხელი რაოდენობით არიან გაფანტულნი ვეება სივრცეში, როგორც კუნძულები  
უნაპირო ოკეანეში. ამ ობიექტებიდან, რომელთა ზომები ჩვენი გალაქტიკის რი-  
გისაა, სინათლის სხივი ჩვენამდე მილიონობით და ასეული მილიონობით წლის  
შემდეგ მოადწევს. როცა დღეს რომელიმე შორეულ გალაქტიკაში რაიმე ცვლი-



ნახ.5

ლებას ანუ პროცესის განვითარებას ვხედავთ და ვაკვირდებით, სინამდვილეში  
მოწმენი ვართ მოვლენისა, რომელიც მომხდარა მილიონობით წლის წინათ. შემ-  
დგომში დავრწმუნდებით, რომ ასტრონომიული კვლევის საგნების ასეთი თვისე-  
ბა, პირველი შეხედვით მოულოდნელი და „უცნაური“, სრულიადაც არ ასუსტებს  
და არ ამცირებს ამ კვლევის მნიშვნელობას და მისი შედეგების სანდოობას.

მე-5 ნახაზზე წარმოდგენილია ჩვენი გალაქტიკის მეზობელი გალაქტიკა  
ე. წ. ანდრომედას თანავარსკვლავედის მიმართულებით. ამ „მეზობლის“ დაშო-  
რება 2000000 სინათლის წლამდეა.





მსოფლიოს ობსერვატორიებში ამჟამად მომუშავე უდიდესი ტელესკოპები სივრცეში შედგენენ რამდენიმე მილიარდი სინათლის წლის სიღრმემდე. მაშასადამე, გამოკვლევისათვის მისაწვდომი ასტრონომიული სამყარო ჩვენს დროში წარმოადგენს სფერულ სივრცეს, რომლის რადიუსი რამდენიმე მილიარდი სინათლის წელია. ამ ვეება მოცულობის სივრცეში ანუ, როგორც უწოდებენ, მიტაგალაქტიკურ სივრცეში, რამდენიმე ათეული მილიარდი გალაქტიკაა, რომელთაგან უდიდესნი ემსგავსებიან ჩვენს გალაქტიკას ან ჩვენს მეზობელ—ანდრომედას გალაქტიკას. თითოეული გალაქტიკა მოიცავს 150-მდე მილიარდ ვარსკვლავს, რომელთაგან ბევრი ჩვენს მზესე დიდია, ბევრიც—მცირე, მაგრამ ყოველი მათგანის მასა საშუალოდ მზის მასის ტოლია. ამ სივრცეში დაახლოებით ათიათას მილიარდჯერ აღებული მილიარდი ვარსკვლავია. ეს წარმოადგენს უზარმაზარი მასის მქონე მატერიის ერთობლიობას და მაინც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ამ სამყაროში „სიცარიელე“ მეტია!

ეს ძნელი წარმოსადგენია. თუ დავაკვირდებით ვარსკვლავთა სიმრავლეს უმთვარო ღამეში შეუიარაღებელი, უბრალო თვალით, მთელ ცაზე (ნახევარსფეროზე) 3 000-მდე ვარსკვლავს გავარჩევთ. საკმარისია მოვიმარჯვოთ მცირე ზომის ტოგრაცი, რომ დავინახოთ ათეული ათასი ვარსკვლავი. ახლა თუ დიდ ფოტოგრაფიულ ტელესკოპს მივმართავთ, მგრძნობიარე ფოტოფირფიტებზე ვარსკვლავთა ისეთ აუარება გამონასახებს მივიღებთ, რომ მათი ფოტოგრაფია, ცის ზოგიერთი უბნისათვის მაინც, უფრო მეტად უწყვეტ ნათელ ფონს ემსგავსება, ვიდრე ცალკეული, განმხოლოებული მნათი წერტილების ერთობლიობას. ასეთსავე შთაბეჭდილებას ვღებულობთ, როცა შევყურებთ ცაზე ირმის ნახტომის ზოლს ანუ ე. წ. რძიან გზას. ესეც ხომ მეტად „შემჭიდროებული“, აურაცხელი ვარსკვლავების თავმოყრის ზოლია. მაგრამ ეს „შემჭიდროება“ შედარებითია. ამ ადგილებშიც კი ინდივიდუალური ვარსკვლავები ერთმანეთს დაშორებულნი არიან რამდენიმე სინათლის წლის მანძილებით. ზოგჯერ ვარსკვლავთა სიხშირეს სივრცეში ანუ მათ სივრცულ სიმკვრივეს ადარებენ ისეთი წვიმის სიხშირეს, რომელშიც თითოეული წვეთი დაშორებულია თავის მეზობელ წვეთს 60-მდე კმ-ით. საერთოდ, ვარსკვლავიერი ნივთიერების ყოველ ერთ კუბურ სანტიმეტრზე ერთ საშუალო გალაქტიკაში  $10^{22}$  სმ<sup>3</sup> „სიცარიელე“ მოდის. ახლა თუ მთელ მეტაგალაქტიკურ სივრცეს განვიხილავთ, ფარდობა ვარსკვლავიერი ნივთიერებით დაკავებული სივრცისა ცარიელ სივრცესთან იქ უფრო დაბალია. ვარსკვლავიერი ნივთიერების ყოველ ერთ კუბურ სანტიმეტრზე  $10^{28}$  სმ<sup>3</sup> ცარიელი მოცულობა მოდის! თუ მხედველობაში მივიღებთ იმას, რომ თითოეული ვარსკვლავის სიმკვრივე საშუალოდ დაახლოებით წყლის სიმკვრივისაა, მარტივი გაანგარიშებით ადვილად დავრწმუნდებით, რომ მთელი მეტაგალაქტიკური სამყარო საშუალოდ უფრო მეტად გაიშვიათებულია, ვიდრე ვაკუუმი, რომელიც ჩვენს ფიზიკურ ლაბორატორიებში მიიღება!

როცა ზემოთ სიცარიელეზე ვლაპარაკობდით, ამ სიტყვას ბრჭყალებში ვათავსებდით იმიტომ, რომ სამყაროს სივრცის ეს სიცარიელე მხოლოდ პირობითია; ჯერ ერთი, სივრცეში ვრცელდება ელექტრომაგნიტური ტალღები, სივრცეში სუფევს გრავიტაციული და მაგნიტური ველი; მეორეც, — ვარსკვლავთშორისეთში, ასევე მეტაგალაქტიკურ სივრცეში, გალაქტიკებს შორის, როგორც ადრეც შევნიშნეთ, გაბნეულია დიდი რაოდენობის გაზი, პლაზმა და მტვერი. გაზის რაოდენობა ერთი გალაქტიკის შიგნით ცოტა ნაკლებია, ვიდრე ამავე გა-



ლაქტიკაში მოქცეული ვარსკვლავების მთელი ნივთიერება, ხოლო მტვრის რაოდენობა გაზთან შედარებით 100-ჯერ ნაკლებია. ვარსკვლავთშორისეთში ერთ კუბურ სანტიმეტრზე საშუალოდ ამ გაზის მხოლოდ ერთი-ორი ატომი მოდის მაშინ, როდესაც დედამიწაზე ზღვის დონესთან ჰაერის ერთ სმ<sup>3</sup> მოცულობაში  $3 \cdot 10^{17}$  მოლეკულაა. მიუხედავად ასეთი გაიშვიათებულობისა, ვარსკვლავთშორისეთის გაზის ატომები თავიანთ მოძრაობაში ერთიმეორეს ეჯახებიან, რასაც გარკვეული ფიზიკური მოვლენები მოსდევს, რომლებიც დედამიწიდან დაიკვირვება. ამას ვერ ვიტყვით თვით ვარსკვლავებზე. მათთვის ერთიმეორესთან დაჯახების ალბათობა უაღრესად მცირეა, თითქმის ნულის ტოლია.

მე-ნ ნახაზზე წარმოდგენილია ვარსკვლავთშორისი ნივთიერების (გაზი და კოსმოსური მტვერი) „დრუბელი“ სივრცეში ორიონის თანავარსკვლავედის მიმართულებით; ასე მოჩანს იგი მძლავრ ტელესკოპში. თავისებური ფორმის გამო ვარსკვლავთშორისი ნივთიერების ამ ერთობლიობას „ცხენისთავს“ უწოდებენ. მისი განივი რამდენიმე სინათლის წელია!

გალაქტიკის სივრცეში გაფანტული აურაცხელი ვარსკვლავების ერთობლიობა მკვლევარს მახასიათებელთა და მოვლენათა უსაზღვრო მრავალფეროვნებას გადაუშლის თვალწინ. მართლაც, ვარსკვლავთა სხვადასხვა ხილული სიკაშკაშე მარტო მანძილების სხვაობით როდი აიხსნება, დიდი სხვადასხვაობაა მათ ჭეშმარიტ ბრწყინვალებაში. მზის მანძილზე რომ შეიძლებოდეს მკრთალი ვარსკვლავების მოახლოება, აურება მათგანი მზეს როდი ჩამოუვარდებოდა სიკაშკაშით, ბევრიც მრავალჯერ გადააჭარბებდა.

მაგალითად, ვარსკვლავი სირიუსი თითქმის 20-ჯერ უფრო მეტად ბრწყინვალეა, ვიდრე მზე. რიგელი — კაშკაშა ვარსკვლავი ორიონის თანავარსკვლავედში — მზესთან შედარებით 23000-ჯერ უფრო მეტად ბრწყინვალეა. მეორე მხრივ,



ნახ.6

ისეთ ვარსკვლავებსაც ვიცნობთ, რომლებიც დიდად ჩამოუვარდებიან მზეს ბრწყინვალებით. მაგალითად, ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავი (მზის შემდეგ) ე. წ. პროქსიმა (ცენტავრის  $\alpha$ -ს ერთ-ერთი მდგენელი) 10-15 ათასჯერ ნაკლებად





ბრწყინვალეა, ვიდრე მზე. ხოლო ე. წ. „ვოლფის 1055“-ის ჯერადი სისტემის ერთ-ერთი მდგენელი (თანამგზავრი) 600000-ჯერ ნაკლებ ბრწყინვალეა. ეს ვარსკვლავი ახლოა ჩვენთან—სულ მხოლოდ 20-მდე სინათლის წლის მანძილზე და მაინც იმდენად მკრთალია, რომ მხოლოდ შედარებით ძლიერ ტელესკოპებში დაინახება, მე-18 ვარსკვლავიერი სიდიდის მნათობის სახით. იგი მზის მანძილზე რომ ყოფილიყო ჩვენგან, მთვარეზე უფრო მეტად ვერ გაგვინათებდა და მაშინ დღე მთვარიან ღამეს დაემსგავსებოდა. სიტბოსაც იმაზე მეტს ვერ მივიღებდით, რამდენსაც გვაწვდის რამდენიმე კილომეტრით ჩვენგან დაშორებული ჩვეულებრივი ბუხრის ცეცხლი!

ასევე დიდ ფარგლებში იცვლება ვარსკვლავთა ზომებიც. ე ვარსკვლავი მეტელის თანავარსკვლავედში მოცულობით 20 მილიარდჯერ მეტია მზეზე, ხოლო „ვოლფის 457“ ვარსკვლავის მოცულობა მზის მოცულობის ერთ 27 მემილიონედს შეადგენს. შესაბამისად განსხვავდება ერთიმეორისაგან ვარსკვლავთა გამომსხივებელი ზედაპირების ფართობები. სწორედ ეს განაპირობებს ბრწყინვალეათა დიდ სხვადასხვაობას, თუმცა, ცხადია ამ მხრივ დიდ როლს ასრულებს ტემპერატურათა სხვადასხვაობაც. ჩვენი მზის ზედაპირული ტემპერატურა  $6000^{\circ}$ -ია, მაგრამ ცნობილია გაცილებით უფრო ცხელი ვარსკვლავები — ზედაპირული ტემპერატურით  $50000^{\circ}$ -მდე და უფრო „ცივი“, რომელთა ტემპერატურა  $3000^{\circ}$ -ია.

ვარსკვლავთა მასებიც სხვადასხვაა, თუმცა ბრწყინვალეებასა და მოცულობასთან შედარებით ეს სხვადასხვაობა უფრო მცირე ფარგლებშია. ყველაზე უფრო „მძიმე“ ვარსკვლავის მასა რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება მზისას; ყველაზე ნაკლებ მასიურისა დაახლოებით 10-ჯერ ჩამოუვარდება მზეს. თეორიული გაანგარიშების საფუძველზე მიღებულია დასკვნა, რომ, თუ კოსმოსური სხეულის მასა მზის მასის 4—5 პროცენტს მაინც არ შეადგენს, ეს სხეული აღარ შეიძლება იყოს ვარსკვლავი; ე. ი. მას არ ექნება ის ფიზიკური მახასიათებლები, რაც ვარსკვლავის კუთვნილებაა; შეიძლება იგი იყოს, ვთქვათ, ცთომილი. ჩვენი მზის სისტემის უდიდესი ცთომილის—იუპიტერის—მასა მზის მასის მხოლოდ ერთ მეათასედს შეადგენს. ჯერჯერობით ასტრონომებს ვერ აღმოუჩენიათ ან, უკეთესია ვთქვათ, ვერ დაუნახავთ რომელიმე სხვა ვარსკვლავის კუთვნილი პლანეტები. ჩვენი დროის გიგანტური ოპტიკური ტელესკოპებიც უძლურია შენიშნოს ის მკრთალი სინათლე, რომელსაც არეკლავს, ვთქვათ, იუპიტერის სიდიდის პლანეტა, მოთავსებული თუნდაც უახლოესი ვარსკვლავის მიზიდულობის სფეროში, იმავე მანძილზე თავისი ვარსკვლავიდან, რა მანძილზეც იუპიტერია მზესთან.

რამდენადაც ვარსკვლავთა მოცულობა, როგორც ვნახეთ, მასასთან შედარებით უფრო ფართო ფარგლებში იცვლება, ადვილად მივხვდებით, რომ დიდია მათი სიმკვრივეების სხვადასხვაობა. მართლაც, ცნობილია ისეთი ე. წ. ზეგიგანტი ვარსკვლავები, რომელთა საშუალო სიმკვრივე ასეულ ან ასჯერ ჩამოუვარდება მზისას, ე. ი. ნაკლებია, ვიდრე ჰაერის სიმკვრივე დედამიწის ზედაპირთან. მეორე მხრივ, სხვა ვარსკვლავები მზესთან შედარებით ერთობ დიდი სიმკვრივის მქონეა; ისინი, როგორც ამბობენ, ზემკვრივნი არიან. დღესდღეობით ჩვენს მიწიერ ფიზიკურ ლაბორატორიებში არ იქმნება ისე ზეგაიშვიათებული ვაკუუმი, როგორსაც, მაგალითად, ვარსკვლავის ცეფევის VV-ს საშუალო სიმკვრივე წარმოადგენს, და არც ისე ზემკვრივი ნივთიერება, როგორიცაა, მაგალითად, ვარსკვლავის „ვოლფის 457“ წიაღი; მის 1 კგ სმ-ის მოცულობაში ტონობით ნივთიერე-



ბაჟ დაწნეხილი. მაგრამ ასტრონომს გააჩნია საშუალება ამგვარი ვარსკვლავების გამოსხივების ანალიზით შეისწავლოს მოვლენების მსვლელობა და ნივთიერების ქცევა იმ განსაკუთრებულ პირობებში და ამით ფიზიკოსის ექსპერიმენტის საშუალებანი გააფართოოს და გაადრძაოს, როგორც ეს ადრეც აღვნიშნეთ.

ასე დიდია ფიზიკურ მახასიათებელთა ის სხვადასხვაობა, რომელთაც ვარსკვლავთა სამყაროში ვხვდებით. არანაკლებ გრანდიოზულია ზოგი კატეგორიის ვარსკვლავში განვითარებული მოვლენათა ცვლილებებიც. ასეთებია ცვალებადი, არამდგრადი, ახალი და ზეახალი ვარსკვლავები, რომლებიც გარეგნულად სხვებისაგან მით გამოირჩევიან, რომ სიკაშკაშეს იცვლიან, არსებითად კი ძლიერსა და ღრმა ფიზიკურ ცვლილებებს განიცდიან. მაგალითად, ე. წ. ზეახალი ვარსკვლავის „ანთების“ პროცესში მისი ბრწყინვალეობა მოკლე დროის განმავლობაში ასეულ მილიონჯერ იზრდება, ხდება ტემპერატურის ძლიერი მომატება, წიაღიდან მატერიის დიდი მასების ამოფრქვევა უდიდესი სიჩქარით: წამში 6000-მდე კმ-ით. ენერგიაც იმდენი გამოიყოფა, სულ რამდენიმე დღე-ღამეში, რამდენსაც მზე ასიათასობით წელიწადში გამოასხივებს.

ყველა ვარსკვლავი განუწყვეტელ მოძრაობაშია: ბრუნავს საკუთარი ღერძის გარშემო, მიილტვის სივრცეში, მონაწილეობს ვარსკვლავთა გროვის საერთო გადაინაცვლებაში და სხვ. ინდივიდუალური ვარსკვლავების სივრცული მოძრაობის სიჩქარე საშუალოდ 20 კილომეტრამდეა წამში, თუმცა არის მრავალი შემთხვევა, როცა ეს სიჩქარე 3—5 ასეულ კმ-ს აღწევს წამში. ამასთანავე ვარსკვლავები მონაწილეობენ მთელი გალაქტიკის ერთიან ბრუნვაშიც. ამ ბრუნვის სიჩქარე და კანონზომიერება ისეთია, რომ გალაქტიკის ცენტრიდან დაახლოებით იმ მანძილზე, როგორზეც მზეა, ვარსკვლავები მოძრაობენ სიჩქარით 250-მდე კმ/წმ და მთლიანი წრე გალაქტიკური ცენტრის ირგვლივ 200-მდე მილიონ წელიწადში უნდა შემოწერონ.

თვით გალაქტიკები არა მარტო ბრუნვითს მოძრაობას ასრულებენ, არამედ განუწყვეტლივ გადაინაცვლებენ კიდევ მეტაგალაქტიკურ სივრცეში სხვადასხვა მიმართულებით და ამ გადაინაცვლების სიჩქარე მრავალ შემთხვევაში წამში ათათასეული კილომეტრებით განისაზღვრება.

მიუხედავად ასტრონომიული სამყაროს ობიექტებისა და მოვლენების დიდი სხვადასხვაობისა, რაც უკვე არაერთხელ აღვნიშნეთ, ამ ვეება სამყაროს ყველა ნაწილში ერთნაირად მეფობენ თანამედროვე ბუნებისმეტყველების ძირითადი კანონზომიერებანი და ბუნების უნივერსალური ძალები: მატერიის ერთიანობა, ნივთიერებისა და ენერგიის შენახვის კანონი, ელექტრომაგნიტური ენერგიის გამოსხივებისა და გავრცელების კანონები, მაგნიტური ძალები, გრავიტაციული ველი... თუმცა ის, რაც გრავიტაციულ თეორიას წარმოადგენს, ჩაისახა და განვითარდა მზის სისტემის სხეულების—ცთომილების მოძრაობათა საგულდაგულო შესწავლის ნიადაგზე, ბევრი არ დასჭირვებია იმის ცხადყოფას, რომ გრავიტაციული მოქმედების კანონზომიერებანი ვარსკვლავთ სამყაროზე და გალაქტიკების სამყაროზეც ვრცელდება. ახლა-თითქმის ყველა ასტრონომიული პრობლემა, რომლის ამოხსნა დაკავშირებულია გრავიტაციული მოქმედების გათვალისწინებასთან, სავსებით ამოიხსნება ნიუტონის მიზიდულობის კანონით. მართალია, ვხვდებით ზოგიერთ გამონაკლისსაც, როგორიცაა მზის უახლოესი პლანეტის — მერკურის — ორბიტის ელემენტების ცვლილებანი ან სინათლის სხივის გამრუდება დიდი მასის მქონე სხეულების გრავიტაციულ ველ-





ში, მაგრამ ეს საქმის არსს სრულიადაც არ ცვლის. ნიუტონის თეორიის მიხედვით წარსულშიც ხერხდებოდა და, ამის ბრწყინვალე მაგალითები კარგადაა ცნობილი. მომავალშიც მოხერხდება სათანადო კოსმოსური მოვლენების წინასწარ გამოთვლა. მაშასადამე, ნიუტონის თეორია ახლოა ჭეშმარიტებასთან და, თუ ზემოთ ჩამოთვლილი ორი გამონაკლისის ასახსნელად მეცნიერება მიმართავს აინშტაინის თეორიას, ეს მხოლოდ იმას ნიშნავს, რომ ასტრონომიული სამყაროს შესწავლის გადრმავეებასთან ერთად გადადგმულია კიდევ ერთი, ჭეშმარიტებასთან კიდევ უფრო ახლო მიმყვანი ნაბიჯი.

თითქმის ყველა ის ცნობა, რომელიც მოიპოვება ასტრონომიული სამყაროს შესახებ, ემყარება ციური მნათობების გამოსხივების შესწავლას. ეს გამოსხივება მოიცავს როგორც ხილულ სინათლეს, ასევე თვალთ უხილავ ენერგიას, რომელიც ცნობილია რენტგენისული, ულტრაიისფერი, ინფრაწითელი, რადიო და სხვაგვარი გამოსხივების სახით.

როგორიც უნდა იყოს პირობები ვარსკვლავის წიაღში და მის ატმოსფეროში ვარსკვლავი ყოველთვის მატარებელია მისი ძირითადი და უცილობელი თვისებისა, რაც მის გამოსხივებაში მდგომარეობს. როგორც ვთქვით, ამ გამოსხივების მეშვეობით, მისი ფოტომეტრული, სპექტრული და მრავალნაირი სხვა ანალიზით მივაკვლევთ ვარსკვლავის ბუნების საიდუმლოებებს, შევისწავლით კოსმოსური ნივთიერების თვისებებს.

ყველა კოსმოსური ობიექტი არ გამოასხივებს უთუოდ ხილულ სინათლეს, ზოგი მხოლოდ რადიოგამოსხივების წყაროა. ასეთებია, როგორც ზემოთაც შევნიშნეთ, ვარსკვლავთშორისეთული ნივთიერების მასები და, შეიძლება, დიდი რაოდენობით ვარსკვლავებიც, ბნელი ვარსკვლავები ან ისეთები, რომელნიც ინფრაწითელ სხივებს გამოაფრქვევენ. ასეთი ობიექტები არ დაინახება. მათი ფიქსირება შეიძლება, თუ ისინი ჰფარავენ მათ უკან მდებარე მნათობებს, ან თუ საკუთარი დიდი მასის გამო რაიმე შესამჩნევ გრავიტაციულ შეშფოთებას იწვევენ სხვა ხილული მნათობების მოძრაობაში. ისიც უნდა შევნიშნოთ, რომ ვარსკვლავთა წრიული ორბიტები გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ სავსებით აიხსნება ვარსკვლავზე მოქმედი იმ გრავიტაციული ძალით, რომელიც განპირობებულია გალაქტიკაში არსებული ყველა მნათი ვარსკვლავის, გაზისა და მტვრის ღრუბლების მასებით, როგორც ეს ამ დროისათვისაა შეფასებული.

ჩვენი საუკუნის 60-იან წლებში აღმოჩენილია ახალი ობიექტები—ე. წ. კ ვ აზ ა რ ე ბ ი და პ უ ლ ს ა რ ე ბ ი, რომელნიც განცვიფრებას იწვევენ თავიანთი ექსტრემალური ფიზიკური თვისებებით: გამოსხივების ენერგიის უდიდესი ძალით, უდიდესი სიმკვრივითა და მასით, ღერძული ბრუნვის სიჩქარით და სხვ.

ჩვენ მიერ შესწავლილი ასტრონომიული სამყაროს თავისებურებანი არ იქნება სრულად დახასიათებული, თუ არ შევაჩერებთ ყურადღებას კიდევ ერთ საკითხზე—დროის სკალის საკითხზე. მრავალ შემთხვევაში კოსმოსში ვაკვირდებით ისეთ მოვლენებს, რომლებიც სწრაფად მიმდინარეობს დროში. ასეთებია, მაგალითად, პროტუბერანციების ამოფრქვევა მზის ზედაპირზე და მათი განვითარება-სახეცვლილება (რაც წუთებში შეიმჩნევა), ცვალებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის, ანთებადი ვარსკვლავის სიკაშკაშის ცვლილება, რომელსაც აგრეთვე წუთებში ან წამებშიც კი შევნიშნავთ. ამათ გვერდით და უფრო ხშირად ასტრონომიაში საქმე გვაქვს დროის ერთობ ხანგრძლივ მონაკვეთებთან.

როცა საკითხი შეეხება კაცობრიობის ისტორიას, ჩვეულებრივ მივმართავთ საუკუნეებს ან ათასწლებს; თუ გლაპარაკობთ გეოლოგიურ პრობლემებზე, საქმე



გვაქვს ასეულ მილიონ წლებთან, ხოლო თუ მსჯელობა ვარსკვლავთა ხნოვანებაზე ან მათი ევოლუციის დროზე, ესენი განისაზღვრება მილიარდობით წლებით. მაგრამ, ჩვენი დროის ასტროფიზიკოსი ხშირად დიდ სამყაროში მიკროკოსმოსის მოვლენებსაც განიხილავს. ეს ხდება, მაგალითად, მაშინ, როცა ასტრონომი მნათობის სპექტრის ანალიზს ახდენს; სპექტრის თავისებურებებს ქმნიან ნივთიერების ატომები—მიკრონაწილაკები, რომელთა სამყაროში სივრცეც და დროის მონაკვეთებიც ერთობ მცირეა. ასე, მაგალითად, წყალბადის ატომში ელექტრონის მოქცევის პერიოდის ხანგრძლივობა სულ არის წამის მემილიარდედის მემილიონედი ნაწილი:  $1 : 10^{15}$  ანუ  $10^{-15}$  წმ (იხ. ქვემოთ). აი დროის რა ფართო სკალაა ასტრონომის წინაშე, როცა იგი განიხილავს და შეისწავლის მიკროკოსმოსისა და მაკროკოსმოსის მოვლენებს.

ჩვენი დროის ასტრონომიაში ყველაზე დიდ საოცრებას წარმოადგენს და ყველაზე დიდ ინტერესს აღძრავს სივრცისა და დროის მასშტაბები, მოვლენების უსაზღვრო ნაირნაირობა და ის ფაქტიც, რომ ადამიანის გონება ასე წარმატებით მიაკვლევს უსასრულო სამყაროს უშორესი და ურთულესი მოვლენების საიდუმლოებებს.

ამ შესავლის შემდეგ უნდა შევუდგეთ ასტრონომიის მეთოდებსა და მონაცემების თანმიმდევრულ, სისტემატურ შესწავლას. უნდა ვაღიაროთ, რომ თუ ცოდნისა და ცნობების ის ერთობლიობა, რომელიც დღესათვის ასტრონომიულ მეცნიერებაში დაუგროვებიათ, სამყაროს აგებულების წარმტაც სურათს გვიხატავს და ადამიანის გონების ყოვლისშემძლეობასაც მოწმობს, ის გზები, მეთოდები და საშუალებანი, რომლებმაც ამ მწვერვალებამდე მიიყვანა ადამიანი, ყოველთვის როდია ადვილსავალი, ასე მიშხიდველი და წარმტაცი. მაგრამ უცილობელია მათი შესწავლა მოთმინებითა და გულმოდგინებით.



თ ა ვ ი

## წინასწარი და დაშვარე ცნობები

§ 9. დიდი და მცირე რიცხვების ჩაწერის შესახებ. ასტრონომიის შესწავლისას გარდაუვლად გვექნება საქმე ძალიან დიდ და ძალიან მცირე რიცხვებთან. მაგალითად, გალაქტიკის სისტემაში დაახლოებით 150000000000 ვარსკვლავია. მეორე მხრივ, წყალბადის ატომის მასა არის 0.0000000000000000000000002 ნაწილი გრამისა. ასეთი რიცხვების ჩვეულებრივი წესით სრულად წერა და ამოკითხვა მოუხერხებელია. საქმეს ამარტივებს შემოკლებული სისტემა, რომელიც ეყარება ათის ხარისხებს. ამ სისტემის მიხედვით:

$1=10^0$	$1=10^0$
$10=10^1$	$0.1=10^{-1}$
$100=10^2$	$0.01=10^{-2}$
$1000=10^3$	$0.001=10^{-3}$
. . . . .	. . . . .
$1000000=10^6$	$0.000001=10^{-6}$
$1000000000=10^9$	$0.000000001=10^{-9}$

როგორც ადვილი მისახვედრია, ამ სისტემაში ხარისხის მაჩვენებელი გვიჩვენებს, თუ რამდენი ნული იწერება აღებულ რიცხვში ერთიანის მარჯვნივ, თუ საქმე შეეხება 1-ზე დიდ რიცხვებს. თუკი მხედველობაში 1-ზე მცირე რიცხვებია (წილადები), მაშინ ხარისხის მაჩვენებელი უარყოფითია და გვიჩვენებს, რომელი ადგილი უკავია ერთიანს წერტილის (მძიმის) მარჯვნივ.

ასეთი სისტემის გამოყენებით ზემოთ მოყვანილი ძალიან დიდი და ძალიან მცირე რიცხვები გაცილებით უფრო მარტივად და ეკონომიურად ჩაიწერება: გალაქტიკის სისტემაში  $1.5 \cdot 10^{11}$  ვარსკვლავია, წყალბადის ატომის მასა არის  $2 \cdot 10^{-24}$  გრამი. ამოკითხვაც მარტივდება და რიცხვებიც ასე გამოითქმის, შესაბამისად: „ერთნახევარჯერ ათი მეთერთმეტე ხარისხში ვარსკვლავია“, „ორჯერ ათი მინუს ოცდამეოთხე ხარისხში—გრამი“\*.

მოვიყვანოთ ამ სისტემის გამოყენების რამდენიმე მაგალითი:

$200=2 \cdot 10^2$	$0.02=2 \cdot 10^{-2}$
$250=2.5 \cdot 10^2$	$0.025=25 \cdot 10^{-3}=2.5 \cdot 10^{-2}$
$435000=4.35 \cdot 10^5$	$0.00043=43 \cdot 10^{-5}=4.3 \cdot 10^{-4}$

\* გაიხსენეთ ახლა „შესავალში“ მოტანილი ცნობები: 1) მეტაგალაქტიკის აღებულ სივრცეში  $10^{22}$  ვარსკვლავია (გვ. 26); 2) წყალბადის ატომში ელექტრონის გარემოქცევის პერიოდი  $10^{-15}$  წამია (გვ. 31).



მზის დიამეტრი 1390000 კმ-ია; წყალბადის ატომის დიამეტრი სანტიმეტრის 0.0000000106-ია. რიცხვები ასე ჩაიწერება, შესაბამისად:  $1.39 \cdot 10^6$  კმ და  $1.06 \cdot 10^{-8}$  სმ.

ეს სისტემა ძალიან მოხერხებულია სახელდახელო, სწრაფი არითმეტიკული გაანგარიშებისათვის, კერძოდ, გამრავლება-გაყოფისათვის. იმის ნაცვლად, რომ გავამრავლოთ (გავყოთ) დიდი რიცხვები, საკმარისია შევკრიბოთ (გამოვაკლოთ) ხარისხის მაჩვენებლები. აი ამის მაგალითები:

$$10^4 \cdot 10^2 = 10^{4+2} = 10^6$$

$$3 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^3 = 1.2 \cdot 10^4$$

$$\frac{10^6}{10} = 10^{6-1} = 10^5$$

$$\frac{6 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{10}$$

თუ ჩავთვლით, რომ გალაქტიკაში  $1.5 \cdot 10^{11}$  ვარსკვლავია, ხოლო თითოეული ვარსკვლავის საშუალო მასა  $2 \cdot 10^{27}$  ტონაა, მაშინ შევაფასებთ გალაქტიკის საერთო მასას (ვარსკვლავთშორისეთის ნივთიერების გამორიცხვით); იგი იქნება  $3 \cdot 10^{38}$  ტონა.

**§ 10. ძირითადი ერთეულები.** ასტრონომიას, როგორც ყოველ ფიზიკურ მეცნიერებას, ხშირად საქმე აქვს ფიზიკური ობიექტების რაოდენობრივ გაზომვებთან, სიდიდეების შეფასებასთან. ასეთებია ასტრონომიაში მნათობთა მანძილები, ზომები, მასები, სიმკვრივეები, ტემპერატურა, მოძრაობის სიჩქარეები, მოვლენების ხანგრძლივობა და სხვ. ეს სიდიდეები, ტემპერატურის გარდა, გამოიხატება სამი ძირითადი ერთეულით: სიგრძის, მასისა და დროის ერთეულებით. ეს ერთეულებია, შესაბამისად, სანტიმეტრი, გრამი და წამი. სანტიმეტრი შეასწავლია 1 მეტრისა, რომელიც თავის მხრივ განსაზღვრულია როგორც მეათედილიონედი დედამიწის მერიდიანის რკალისა პოლუსიდან ეკვატორამდე. გრამად მიჩნეულია 1 კუბური სანტიმეტრის მოცულობის სუფთა წყლის მასა (წონა) ცელსიუსის სკალით  $4^{\circ}$  ტემპერატურაზე. 1000 გრამი 1 კილოგრამს შეადგენს. წამი არის 1900 წლის ეპოქის შესაბამისი ე. წ. ტროპიკული წლის (იხ. ქვევით) შემდეგი

ნაწილი:  $1:31556925.975$  ან ნაკლები სიზუსტით:  $\frac{1}{3.16} \cdot 10^{-7}$ .

ასტრონომიაში გვესაჭიროება და მოსახერხებელია ვიხმაროთ სიგრძის ძალიან დიდი და ძალიან მცირე ერთეულები; პირველ შემთხვევაში, სახელდობრ, — ასტრონომიული ერთეული ანუ საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე, რაც ეტოლება  $1.496 \cdot 10^{13}$  სმ-ს, ან სინათლის წელი ანუ მანძილი, რომელსაც სინათლის სხივი ერთ წელიწადში გაირბენს, რაც ტოლია  $9.46 \cdot 10^{17}$  სმ; მეორე მხრივ, — ძალიან მცირე სიგრძეებისათვის, რომლებიც ელექტრომაგნიტურ (სინათლის) ტალღებს ახასიათებს — ანგსტრემი, ტოლია  $10^{-8}$  სმ-ისა. მას აღნიშნავენ A სიმბოლოთი.



კუთხურ ერთეულად ცნობილია რკალის სეკუნდი (წამი), მინუტი (წუთი) ან გრადუსი. წრეხაზს შეადგენს  $360 \cdot 60 \cdot 60 = 1296000 = 1.296 \cdot 10^6$  ანუ დაახლოებით  $1.3 \cdot 10^6$  სეკუნდი რკალისა.

ხშირად კუთხის საზომ ერთეულად ხმარობენ რადიანს, ე. ი. ისეთ ცენტრალურ კუთხეს, რომლის რკალის სიგრძე შესაბამისი წრეწირის რადიუსის ტოლია. წრეწირში  $2\pi$  ასეთი რკალია. ამავე დროს გრადუსი ისეთი ცენტრალური კუთხეა, რომლის შესაბამისი რკალის სიგრძე წრეწირის  $\frac{1}{360}$ -ს შეადგენს.

ამიტომ  $360^\circ = 2\pi$  რადიანით გამოიხატება. აქედან  $1$  რადიანი  $= \frac{360^\circ}{2\pi} =$

$$= 57^\circ.29578 = 57^\circ 17' 44''.8 = 3437'.747 = 206264''.8.$$

თუ კუთხის სიდიდის გამოხატველ გრადუსებს, მინუტებსა და სეკუნდებს აღვნიშნავთ შესაბამისად  $\alpha^\circ$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  ნიშნებით, ხოლო რადიანების რიცხვს  $\alpha$ -თი, მაშინ

$$\alpha = \frac{\alpha^\circ}{57^\circ.29578} = \frac{\alpha'}{3437'.747} = \frac{\alpha''}{206264''.8}.$$

მაგალითად,

$$\frac{90^\circ}{57^\circ.2958} = 1.570796 \text{ რადიანი.}$$

$180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ -ის კუთხეები შეიცავს, შესაბამისად,  $\pi$ ,  $\frac{\pi}{2}$ ,  $\frac{\pi}{3}$ ,  $\frac{\pi}{4}$ ,  $\frac{\pi}{6}$  რადიანს.

რიცხვი  $206264.8$  ანუ, დაახლოებით,  $206265$ , კარგად უნდა გვახსოვდეს; იგი ხშირად შეგვხვდება. მისი შებრუნებული სიდიდე  $\frac{1}{206265}$  არის  $1''$ -ის

ტოლი კუთხის შესაბამისი რკალის სიგრძე, ამ რკალის რადიუსით გამოხატული, ე. ი.  $1''$ -ის ტოლი კუთხის სინუსის ხაზის სიგრძის ტოლი (კუთხისათვის, რომელიც შემოწერილია  $1$ -ის ტოლად მიჩნეული რადიუსით):  $\sin 1'' = \frac{1}{206265}$ .

რადიანებში გამოსახული კუთხე  $206265$ -ზე უნდა გავამრავლოთ, რათა გამოვსახოთ სეკუნდებში.

აქვეა აღსანიშნავი, რომ სამყაროს სხეულების ტემპერატურის განსაზღვრა ისევე ხშირი და ჩვეულებრივია, ამავე დროს ამ პარამეტრს ისევე დიდი როლი აქვს ასტრონომიაში, როგორც მანძილებს, მასის მნიშვნელობებს და სხვ. ასტრონომიაში იხმარება ე. წ. ცელსიუსის ტემპერატურული სკალა, რომლისთვისაც წყლის გაყინვის ტემპერატურას შეესაბამება  $0^\circ$ , ხოლო დუდილისას —  $+100^\circ$ . მაგრამ, ამასთან ერთად ძალიან ხშირად მიმართავენ აგრეთვე ე. წ. კელვინისეულ ანუ აბსოლუტურ ტემპერატურულ სკალას. ამ სკალის  $0^\circ$  მოთავსებულია  $273^\circ$ -ით უფრო დაბლა, ვიდრე წყლის გაყინვის ტემპერატურაა. მაშასადამე, წყლის გაყინვის ტემპერატურა ამ სკალით  $273^\circ$ -ია, ხოლო დუდილისა —  $+373^\circ$ . თერმოდინამიკის კანონების მიხედვით კელვინის სკალით  $0^\circ$  უმცირესი ტემპერატურაა, რომელიც კი შეიძლება არსებობდეს ბუნებაში. ეს ეგრეთ წოდებული აბსოლუტური ნულია. ამ ტემპერატურაზე გაზის ატომებში უნდა შეწყდეს მოძრაობა.



ვარსკვლავთშორისეთული სივრცის ტემპერატურა ახლოა აბსოლუტურ ნულთან. ვარსკვლავთშორისეთული მტვრის ტემპერატურა სულ რამდენიმე გრადუსით მეტია აბსოლუტურ ნულზე. ცელსიუსისა და კელვინის სკალების აღსანიშნავი სიმბოლოებია, შესაბამისად,  $C$  და  $K$ . შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$0^{\circ}C = 273^{\circ}K; \quad +100^{\circ}C = 373^{\circ}K; \quad 0^{\circ}K = -273^{\circ}C.$$

ყურადღება უნდა მივაქციოთ შემდეგსაც:

$$1 \text{ კილომეტრი} = 10^3 \text{ მეტრს} = 10^5 \text{ სანტიმეტრს} = 10^6 \text{ მილიმეტრს},$$

$$\frac{1}{1} \text{ მ} = \frac{10^2}{1} \text{ სმ} = \frac{10^3}{1} \text{ მმ},$$

$$\frac{1}{1} \text{ სმ} = \frac{10}{1} \text{ მმ}.$$

$$1 \text{ მეტრი} = 10^{-3} \text{ კილომეტრს},$$

$$1 \text{ სმ} = 10^{-5} \text{ კმ} = 10^{-2} \text{ მ},$$

$$1 \text{ მმ} = 10^{-6} \text{ კმ} = 10^{-3} \text{ მ} = 10^{-1} \text{ სმ}.$$

$$1 \text{ ტონა} = 10^6 \text{ გრამს},$$

$$10^{-6} \text{ ტნ} = 1 \text{ გრ}.$$

ხშირად საჭიროა მანძილის გამოხატვა მნათობამდე დედამიწის რადიუსის მეშვეობით. მაგალითად, მანძილი მთვარემდე არის დაახლოებით 384 000 კმ. რაკი დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია, ჩავწეროთ: მანძილი მთვარემდე =  $60R_{\oplus}$ . რა თქმა უნდა, ეს დაახლოებითი შეფასებაა, მაგრამ სახელდახელო გამოთვლებში მოხერხებულად გამოიყენება.  $\oplus$  ნიშნით აღნიშნავენ დედამიწას,  $R_{\oplus}$ -ით — დედამიწის რადიუსს.

მზის რადიუსი 109-ჯერ აღემატება  $R_{\oplus}$ -ს. ამიტომ მზის მოცულობის ფარდობა დედამიწის მოცულობასთან იქნება:  $109^3$ . შეგვიძლია ჩავწეროთ:  $V_{\odot} = 109^3 V_{\oplus}$ , სადაც ნიშანი  $\odot$  მზეს აღნიშნავს.

აი როგორ უნდა გამოვითვალოთ სწრაფად, სახელდახელოდ, მიახლოებითი ანგარიშისათვის ერთ წელიწადში მოთავსებული წამების რაოდენობა:

$$60 \cdot 60 = 3.6 \cdot 10^3; \text{ მისი გამრავლებით } 24\text{-ზე გვექნება:}$$

$$86.4 \cdot 10^3 = 8.6 \cdot 10^4;$$

ახლა ეს გავამრავლოთ დღეთა რიცხვზე წელიწადში:  $8.6 \cdot 10^4 \cdot 3.7 \cdot 10^2 = 31.8 \cdot 10^6 = 3.2 \cdot 10^7$ , მაშასადამე, წელიწადში  $3 \cdot 10^7$  წამია (ოცდაათი მილიონი) (შეადარეთ ზუსტ მნიშვნელობას).

ვთქვათ, დაგვჭირდა ვარსკვლავის მთელი ზედაპირის გამოსხივების რაოდენობის შეფასება, როცა ვიცით მისი გამოსხივების უნარი ერთი კვადრატული სანტიმეტრიდან. ვიცით ისიც, რომ აღებული ვარსკვლავის რადიუსი ათასჯერ აღემატება მზისას. ამისათვის პირველ რიგში აუცილებელია კვადრატული სანტიმეტრების რაოდენობის დათვლა ვარსკვლავის მთელ ზედაპირზე; უზარმაზარ რიცხვთან გვექნება საქმე, მაგრამ ამოცანას ადვილად გადავწყვეტთ, თუ ასე მოვიქცევით:

$$\text{ვარსკვლავის რადიუსი} = 10^3 \cdot R_{\odot} = 10^3 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ კმ} = 10^3 \cdot 7 \cdot 10^{10} \text{ სმ} = 7 \cdot 10^{13} \text{ სმ}.$$

$$\text{სფეროს ზედაპირი} = 4\pi R^2.$$

$$\text{ვარსკვლავის ზედ.} = 4\pi \cdot 7^2 \cdot 10^{26} \text{ სმ}^2 = 615 \cdot 10^{26} \text{ სმ}^2 = 6 \cdot 10^{28} \text{ სმ}^2.$$

მაგალითების სახით აქ მოყვანილი სავარჯიშოები ელემენტარულია, მაგრამ ასტრონომიაში პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად საჭიროა ასეთი ანგარიშები გაწაფვა.



§ 11. **ჯერადი და წილადი ერთეულები.** ასტრონომიაში ფართო ხმარებაშია მეტრის ჯერადი და წილადი ერთეულები:

მეგაპარსეკი	$10^6$ პს	კილომეტრი	$10^3$ მ
კილოპარსეკი	$10^3$ პს	მიკრონი	$10^{-6}$ მ = $10^{-3}$ მმ
პარსეკი	$3.086 \cdot 10^{16}$ მ = $= 3.086 \cdot 10^{13}$ კმ	ანგსტრემი	$1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ მ = $10^{-8}$ სმ

საერთოდ ჯერადი და წილადი ერთეულებისათვის, როგორ ფიზიკურ ერთეულებსაც არ უნდა შეეხებოდეს ეს, მიღებულია გარკვეული პრეფიქსები ანუ წინსართები, რომლებიც აქ მოთავსებულ ცხრილშია.

წინსართი	ათის ხარისხის მაჩვენებელი	სიგრძე მეტრებით	
ტერა	12	$10^{12}$ მეტრი	ტერამეტრი
გიგა	9	$10^9$ „	გიგამეტრი
მეგა	6	$10^6$ „	მეგამეტრი
კილო	3	$10^3$ „	კილომეტრი
ჰექტო	2	$10^2$ „	ჰექტომეტრი
დეკა	1	$10$ „	დეკამეტრი
დეცი	-1	მეტრის მეათედი	დეციმეტრი
სანტი	-2	„ მეასედი	სანტიმეტრი
მილი	-3	„ მეათასედი	მილიმეტრი
მიკრო	-6	„ მემილიონედი	მიკრონი
ნანო	-9	„ მემილიარდედი	ნანომეტრი
პიკო	-12	„ მეტრილიონედი	პიკომეტრი

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: მაგალითად, წინსართი „გიგა“ წარმოსდგება ბერძნული სიტყვისაგან γίγας — გიგანტური; წინსართი „ნანო“ — ბერძნული სიტყვისაგან νανος — ჯუჯა.

§ 12. **სფეროს გეომეტრია.** ასტრონომიულ ობიექტებსა და მოვლენებს ცაზე ვხედავთ; ცის თაღს ანუ ცამრგვალს ვაკვირდებით. ცის სხეულების დაკვირვებისა და შესწავლისათვის უპირველეს ყოვლისა უნდა განვსაზღვროთ მათი მდებარეობა ცის თაღზე. ამ მიზნით ცის ზედაპირი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც სფეროს ზედაპირი, რომელსაც სფეროს ცენტრიდან ვაკვირდებით. ამასთან დაკავშირებით ხშირად დაგვჭირდება ცის სფეროზე წერტილების, მიმართულებების, მოძრაობის განხილვა. ამიტომ სასარგებლოა, წინასწარ განვიხილოთ სფეროს თვისებები ანუ სფეროს გეომეტრია.

სფეროს ძირითადი თვისება ისაა, რომ მისი ზედაპირის ყოველი წერტილი ერთი და იმავე მანძილითაა დაშორებული სფეროს ცენტრს. ეს მანძილი სფეროს რადიუსია.

სფეროს ცენტრზე გამავალი ყოველი სიბრტყე გადაკვეთს სფეროს ზედაპირს წრეწირზე, რომლის ცენტრი სფეროს ცენტრს თანხვდება. ასეთ წრეწირს დიდ წრეწირს უწოდებენ.

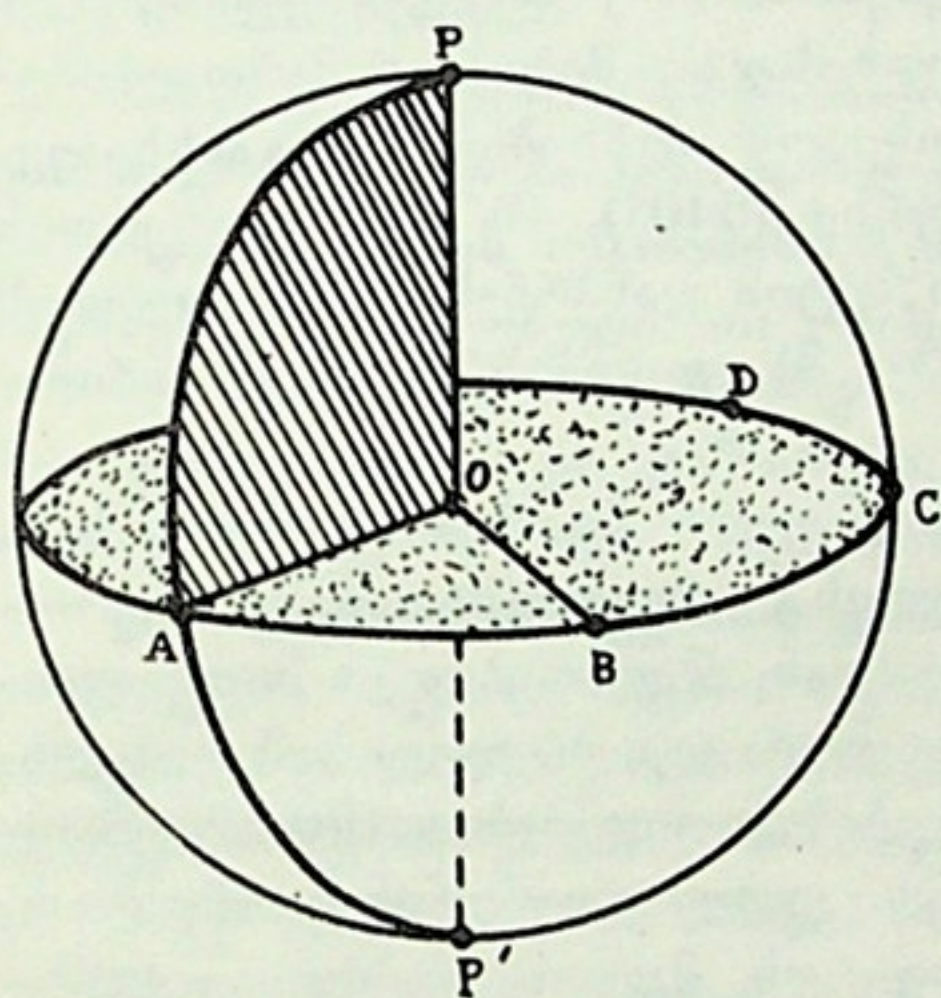
მე-7 ნახაზზე ნაჩვენებია სფერო და მასზე გამავალი დიდი  $ABCD$  წრეწირი.  $POP'$  იყოს  $ABCD$  დიდი წრეწირის სიბრტყის მართობულად აღებული სფეროს დიამეტრი. მაშინ ამ დიამეტრის  $P$  და  $P'$  ბოლოები აღნიშნული დიდი წრეწირის პოლუსებია.  $OA$  და  $OB$  იყოს სფეროს ანუ დიდი წრეწირის რადიუსები, რომლებიც შეესაბამება დიდ წრეწირზე მდებარე  $A$  და  $B$  ორ წერტილს.

აღვნიშნოთ სფეროს რადიუსი  $R$ -ით ( $OA=OB=R$ ),  $AB$  რკალის სიგრძე  $s$ -ით, ხოლო კუთხე  $O$ -თან, რომელიც მოიცავს  $AB$  რკალით,  $\Theta$ -თი და ვიგულისხმოთ, რომ ეს უკანასკნელი გამოიხატება რადიანებით. მაშინ  $s=R\Theta$ , ხოლო, თუ სფეროს რადიუსს ერთის ტოლად ჩავთვლით,  $s=\Theta$ .

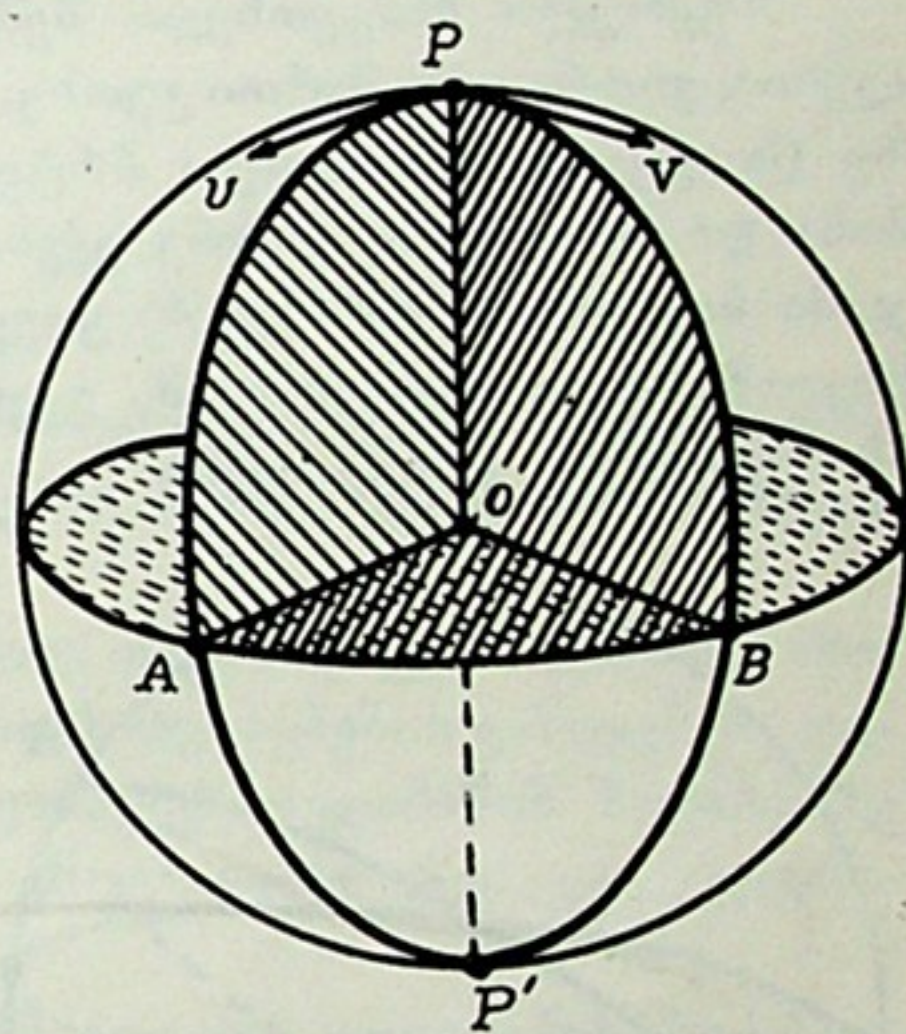


ამგვარად, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ერთეულოვანი რადიუსის სფეროზე აღებული დიდი წრეწირის რკალის სიგრძე ეტოლება რადიანებით გამოხატულ იმ კუთხეს, რომელიც სფეროს ცენტრშია და მოიცავს ამ რკალით.

დიდი წრეწირის რკალის  $AB$  სიგრძეს ხშირად უწოდებენ კუთხურ მანძილს  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის. ხაზგასასმელია, რომ სფეროს ზედაპირზე აღებულ ორ წერტილს შორის კუთხური მანძილი გამოიხატება ამ ორ წერტილზე გატარებული ერთადერთი დიდი წრეწირის რკალით და არავითარი სხვა მრუდით, თუმცა ბევრი მრუდის გავლება შეიძლება ორ წერტილს შორის. დიდი წრეწირის რკალი უმოკლესი მანძილია სფეროს ზედაპირზე მოთავსებულ ორ წერტილს შორის და ისეთივე როლს ასრულებს როგორც წრფე—სიბრტყეზე. სფეროს ზედაპირზე აღებულ ორ წერტილს შორის მხოლოდ ერთადერთი დიდი წრეწირის გავლება შეიძლება, თუ ეს ორი წერტილი სფეროს ერთი დიამეტრის ბოლოებში არ მდებარეობს. ხოლო, თუ ასეა, მათზე გაივლება დიდი წრეწირების უსასრულო რიცხვი.



ნახ. 7



ნახ. 8

გავავლოთ ახლა სიბრტყე  $POP'$  დიამეტრზე ისე, რომ  $A$  წერტილზეც გადიოდეს. ეს სიბრტყე სფეროს ზედაპირს კვლავ დიდ წრეწირზე გადაკვეთს. ჩვენს ნახაზზე შესაბამისი დიდი წრეწირის ნახევარია გამოსახული:  $PAP'$ .

რამდენადაც  $OP$  მართობულია  $ABCD$  წრეწირის სიბრტყისა, იგი მართობული უნდა იყოს აგრეთვე ამ სიბრტყეში მოთავსებული ყველა წრეწირისა. ამიტომ  $POA$  კუთხე მართი კუთხეა. მაშასადამე,  $\overset{\frown}{AP} = 90^\circ$  ანუ  $\overset{\frown}{AP} = \frac{\pi}{2}$ .

ამგვარად, დიდი წრეწირის პოლუსის კუთხური მანძილი ამ წრეწირის ნებისმიერ წერტილებამდე არის  $90^\circ$ .

განვიხილოთ მე-8 ნახაზი, რომელზეც გავლებულია ორი დიდი წრეწირი  $PAP'$  და  $PBP'$ . მათ საერთო დიამეტრი აქვთ:  $POP'$ .  $PU$  იყოს  $PA$  რკალის მხები  $P$  წერტილში, ხოლო  $PV$  —  $PB$  რკალის მხები იმავე წერტილში. მაშინ  $UPV$  კუთხე არის სფეროზე აღებული კუთხე (წვეროთი  $P$  წერტილში) ორ  $PA$  და  $PB$  დიდ წრეწირს შორის.

იმის ნახვაც ადვილია, რომ  $UPV$  და  $AOB$  ბრტყელი კუთხეები თანატო-



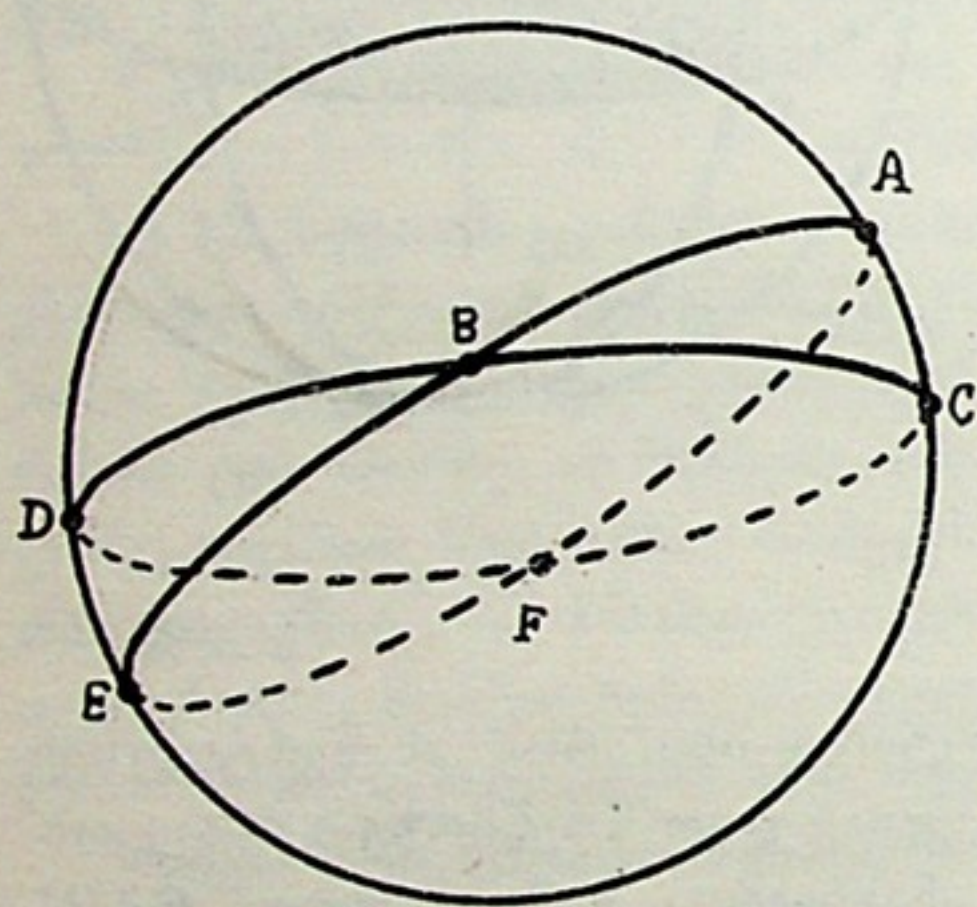


ლია. ხოლო სფერული კუთხე  $P$  წერტილში ეკვივალენტურია (ანუ მას სიდიდე და მნიშვნელობა აქვს) დიდი წრეწირის რკალისა, რომლისთვისაც  $P$  პოლუსია, ხოლო რკალის დასაწყისი და ბოლო იმ დიდი წრეწირებით განისაზღვრება, რომლებიც სფერული კუთხის გვერდებს ქმნის. კუთხე ორ დიდ წრეწირს შორის გამოისახება კუთხური მანძილით ამ წრეწირთა პოლუსებს შორის.

სფეროს ზედაპირის ნაწილი, რომელიც სამი დიდი წრეწირის რკალით შემოისაზღვრება, სფერულ სამკუთხედს შეადგენს. მე-9 ნახაზზე ასეთ სამკუთხედს  $ABC$  წარმოადგენს. მისი ელემენტებია სამი სფერული კუთხე  $A, B, C$  და სამი გვერდი  $AB, BC, AC$ .

ამ განსაზღვრაში იგულისხმება ერთი პირობის დაცვა: ყოველი გვერდი — რკალი  $180^\circ$ -ზე ნაკლები უნდა იყოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, როგორც ნახაზზე ჩანს, სხვა რომელიმე ფართობიც შეიძლება შემოისაზღვრებოდეს სამი დიდი წრეწირის  $BC, AC$  და  $BEFA$  რკალით, მაგრამ ეს სფერული სამკუთხედი როდი იქნება, რამდენადაც  $BEFA$  რკალი  $180^\circ$ -ზე მეტია.

სფერული სამკუთხედი შემდეგი თვისებებისაა: 1) ყოველი კუთხე ნაკლებია, ვიდრე ორი მართი კუთხე; 2) სამივე კუთხის ჯამი მეტია ორ მართ კუთხეზე (შიაქციეთ ყურადღება ბრტყელი სამკუთხედის თვისებისაგან განსხვავებას) და ნაკლებია, ვიდრე ექვსი მართი კუთხე ( $540^\circ$ ); 3) სამივე გვერდის ჯამი ნაკლებია  $360^\circ$ -ზე; 4) ყოველი გვერდი მეტია დანარჩენი ორი გვერდის სხვაობაზე და ნაკლებია ამ გვერდების ჯამზე; 5) უდიდესი გვერდის პირდაპირ უდიდესი კუთხე ძევს.



ნახ. 9

რაც უფრო მცირეა სფერული სამკუთხედის გვერდები (სათანადო სფეროს რადიუსთან შედარებით), მით უფრო უახლოვდება იგი ბრტყელ სამკუთხედს. კუთხეების გადიდებისას  $180^\circ$ -მდე სამკუთხედი უახლოვდება ნახევარსფეროს.

სფეროს მკვეთი სიბრტყე, რომელიც ცენტრზე არ გაივლის, მის ზედაპირთან გადაკვეთით მცირე წრეწირს მოგვცემს. მე-10 ნახაზზე  $CDE$  მცირე წრეწირია;  $P$  მისთვისაც პოლუსია. დიდი წრეწირის რკალი  $PC$  წარმოადგენს მცირე წრეწირის ( $CDE$ ) კუთხურ რადიუსს.

განვიხილოთ მცირე წრეწირის  $CD$  რკალი. აღვნიშნოთ  $r$ -ით მცირე წრეწირის რადიუსი:  $O'C = O'D = r$ . გამოვიყენოთ ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება:  $s = R\theta$ . მაშინ:

$$\overset{\smile}{|CD|} = r \cdot \overset{\angle}{CO'D},$$

$$\overset{\smile}{|AB|} = R \cdot \overset{\angle}{AOB}.$$

აღვილი სანახავია, რომ  $CO'D$  და  $AOB$  კუთხეები თანატოლია. ამიტომ დაიწერება:



$$\frac{\overset{\frown}{CD}}{\overset{\frown}{AB}} = \frac{r}{R}$$

მაგრამ

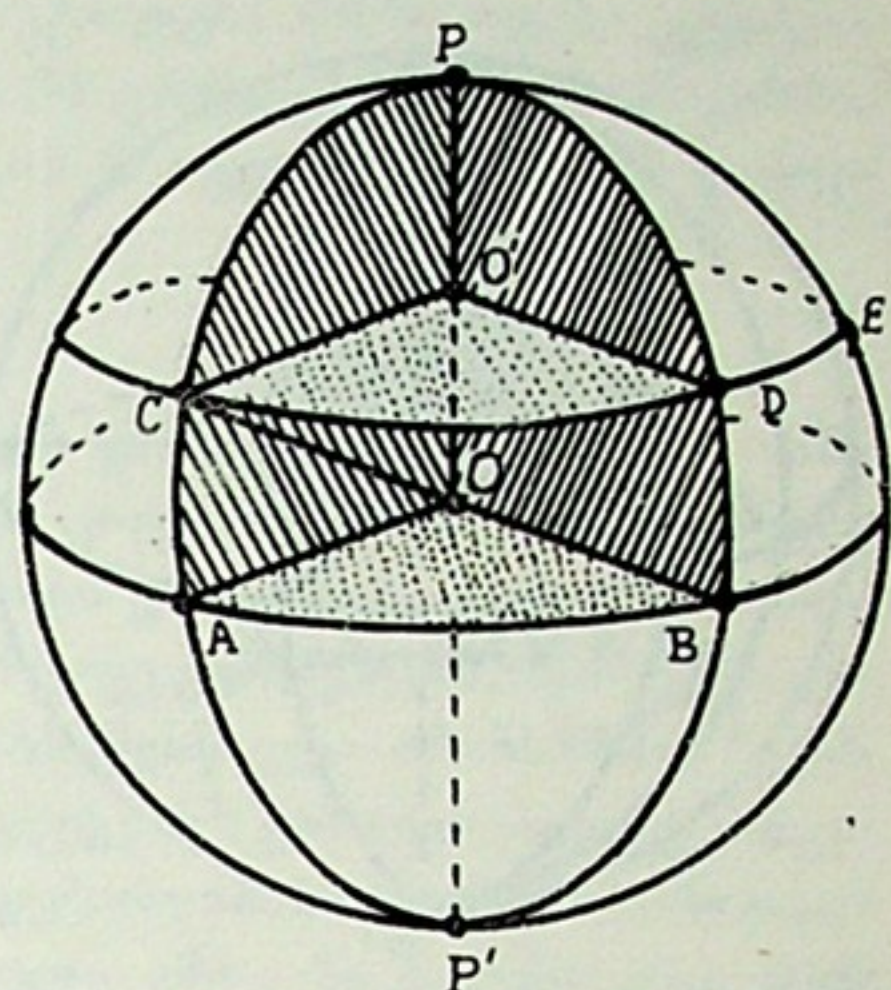
$$\frac{r}{R} = \sin \overset{\frown}{COO'} = \sin \overset{\frown}{CP}.$$

მაშასადამე,

$$\frac{\overset{\frown}{CD}}{\overset{\frown}{AB}} = \sin \overset{\frown}{CP} = \cos \overset{\frown}{AC}$$

და ამიტომ

$$|CD| = |AB| \cos \overset{\frown}{AC}.$$



ნახ. 10

მაშასადამე, მცირე წრეწირის რკალის სიგრძე ეტოლება მისი პარალელური დიდი წრეწირის შესაბამისი რკალის სიგრძეს, გამრავლებულს იმ კუთხის კოსინუსზე, რომლითაც მცირე წრეწირი დაშორებულია დიდი წრეწირიდან. რაც უფრო დიდია ეს დაშორება, მით ნაკლებია მცირე წრეწირის რკალის სიგრძე; პოლუსთან იგი ნულს უახლოვდება.

**§ 13. დედამიწის სფერო.** დედამიწა მთლიანად, თავისი მოყვანილობის გამო, განიხილება როგორც სფერო. სფეროს გეომეტრიის თვისებების გამოყენება დედამიწის მიმართ მოხერხებულ საშუალებას გვაძლევს დედამიწის ზედაპირზე პუნქტების მდებარეობათა განსაზღვრისათვის. ეს კარგადაა ცნობილი გეოგრაფიული კოორდინატების სახით.

მე-11 ნახაზზე გამოსახული სფერო წარმოადგენს დედამიწის სფეროს.  $POP'$  იყოს ის დიამეტრი, რომლის ირგვლივ დედამიწა ბრუნავს; ვუწოდოთ მას პოლარული დიამეტრი ანუ პოლარული ღერძი; ხოლო  $P$  და  $P'$  წერტილებს, შესაბამისად, ჩრდილოეთის პოლუსს და სამხრეთის პოლუსს. დიდი წრეწირი  $ABCD$  დედამიწის ეკვატორია.

$F$  იყოს დედამიწის ზედაპირის რომელიმე წერტილი. დედამიწის პოლუსებსა და ამ წერტილზე გამავალი დიდი წრეწირი  $PFBP'$  მერიდიანია. ამგვარად, მერიდიანი გაივლება სფეროს ყოველ წერტილზე, მაგრამ, საერთაშორისო შეთანხმებით, მერიდიანი, რომელიც გადის ერთ გარკვეულ წერტილზე ან ობსერვატორიაზე (უფრო ზუსტად—ერთი გარკვეული უძრავად დაყენებული ტელესკოპის ცენტრზე), მიჩნეულია საწყის ან ნულოვან მერიდიანად. ასეთად აღიარებულია გრინვიჩის მერიდიანი—მერიდიანი, გამავალი გრინვიჩის (ინგლისში) ობსერვატორიაზე. ჩვენს ნახაზზე ამ მერიდიანს წარმოადგენს  $PGAP'$ . ხშირად, მეტადრე ზოგიერთ სპეციალურ ამოცანებში, საწყის მერიდიანად ითვლება სსრკ-ის ტერიტორიაზე, პულკოვოს ობსერვატორიაზე (ლენინგრადთან) გამავალი მერიდიანი.

საწყისი მერიდიანის მიმართ ყოველი სხვა მერიდიანის მდებარეობა აღვილად განისაზღვრება. ასე, მერიდიანის  $PFBP'$  მდებარეობას განსაზღვრავს ეკვატორული  $AB$  რკალი, რომელიც იგივეა, რაც ორივე მერიდიანს შორის პოლუს-







აღებული პარალელის კუთხური რადიუსი და ეტოლება ( $90^\circ - \varphi$ )-ს. ეკვატორული რკალი  $BC$  არის ორი პუნქტის ( $K$  და  $F$ ) გრძედებს შორის სხვაობა; აღვნიშნოთ იგი  $\Delta\lambda$ -თი. ზემოთ განმარტებულის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$FK = \Delta\lambda \cdot \cos \varphi.$$

§ 14. სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულები. სფერული სამკუთხედის გვერდებსა და კუთხეებს შორის დამოკიდებულებანი გამოიყვანება სფერულ ტრიგონომეტრიაში. ამ უკანასკნელს დიდი გამოყენება აქვს ასტრონომიის, კერძოდ, — სფერული ასტრონომიისა და აგრეთვე გეოდეზიის, მათემატიკური გეოგრაფიის მრავალი საკითხისა და ამოცანის შესწავლა-ამოხსნაში. ჩვენს კურსშიც შევხვდებით მისი ფორმულებისა და შედეგების გამოყენების აუცილებლობას; ყოველ შემთხვევაში მნათობის ცაზე მდებარეობასა და მოძრაობასთან დაკავშირებული ბევრი ძირითადი ასტრონომიული ამოცანა წყდება ისე, რომ ჯერ ამ მნათობებისა და ამა თუ იმ დიდი წრეწირების რკალების მიხედვით აიგება ცის სფერული სამკუთხედი და მერე მის ამოხსნაზე დაიყვანება აღებული ასტრონომიული ამოცანა. ამიტომ, პირველ რიგში უნდა შეგვეძლოს სფერული სამკუთხედის ამოხსნა, რაც იმას ნიშნავს, რომ უნდა შეგვეძლოს სფერული სამკუთხედის რამდენიმე ელემენტის მოცემული მნიშვნელობების მიხედვით უცნობი ელემენტების მნიშვნელობათა პოვნა.

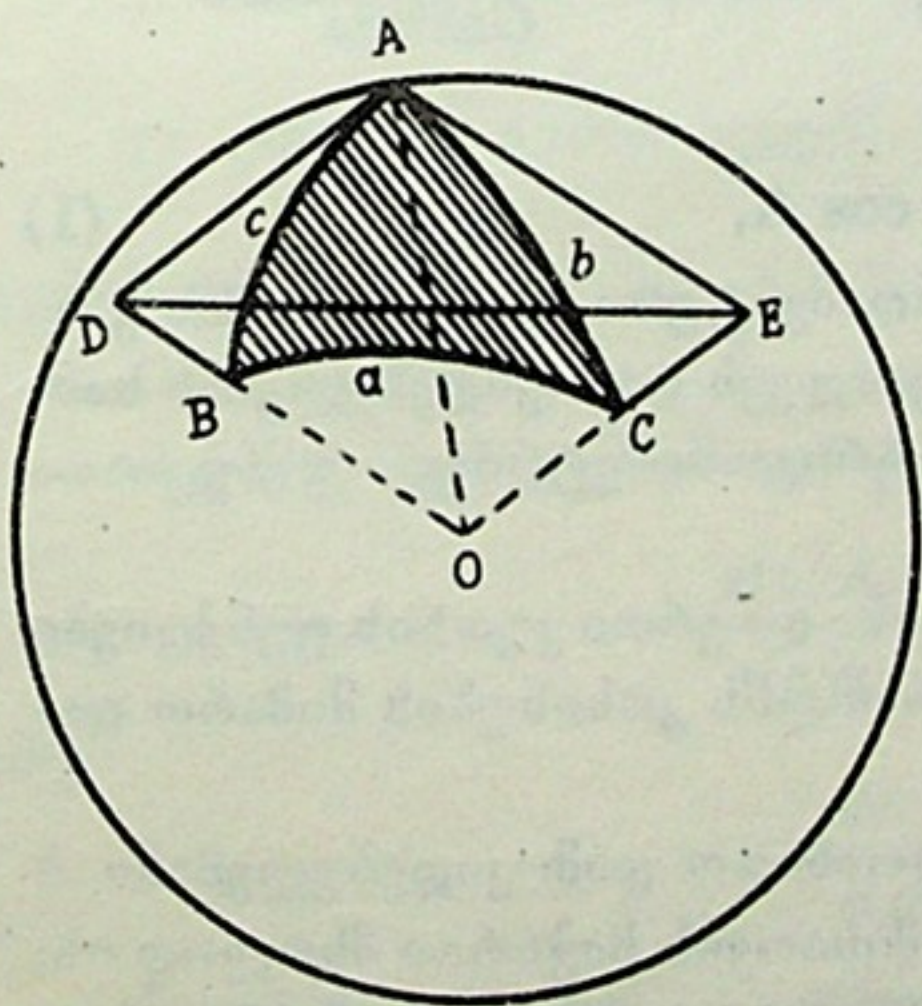
გამოვიყვანოთ სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულების რამდენიმე ჯგუფი.

წარმოვიდგინოთ სფეროზე  $ABC$  სამკუთხედი (მე-13 ნახაზი). აღვნიშნოთ მისი გვერდები მცირე ასოებით —  $a, b, c$ ; ასეა მიღებული: — კუთხეები დიდი ასოებით აღვნიშნება, ხოლო მათ პირდაპირ მდებარე გვერდები — იმავე, მაგრამ მცირე ასოებით.

დავაკვირდეთ ნახაზს.  $A$  წერტილში გავლებულია  $c$  და  $b$  გვერდების  $AD$  და  $AE$  მხეხები.  $A$  სფერული კუთხე არსებითად განისაზღვრება ამ მხეხებს შორის მოქცეული  $DAE$  ბრტყელი კუთხით.  $OB$  და  $OC$  რადიუსები გაგრძელებულია სფეროს გარეთ,  $AD$  და  $AE$  მხეხების გადაკვეთამდე. ეს გადაკვეთა ხდება, შესაბამისად,  $D$  და  $E$  წერტილებში.  $DE$  წრფე აერთებს  $D$  და  $E$  წერტილებს.

ამგვარად, მივიღეთ ბრტყელი სამკუთხედი  $ADE$ , რომელშიც  $DAE$  კუთხე იგივეა, რაც  $A$  (ბრტყელ სამკუთხედს უნდა ვხედავდეთ სფეროს ზემოთ სივრცეში, იგი მხოლოდ  $A$  წერტილში შეეხება სფეროს ზედაპირს და მთელი თავისი ფართობით მის ზემოდან არის მოთავსებული. ასევე კარგად უნდა ვხედავდეთ  $BD$  და  $CE$  მონაკვეთებს, როგორც სფეროს რადიუსების გაგრძელებებს, რომლებიც სფეროს ზედაპირის ზემოთ არიან).

ნახაზზე შეგვიძლია შევნიშნოთ სხვა ბრტყელი სამკუთხედებიც, მაგალითად,  $ODE$  სამკუთხედი, რომელიც ნაწი-



ნახ. 13





ლობრივ სფეროს შიგნით, ნაწილობრივ მის ზეგითაა და რომლის  $DOE$  კუთხე მოიჭიმება დიდი წრეწირის  $BC$  რკალით და, მაშასადამე, გამოხატავს სფერული სამკუთხედის  $a$  გვერდს:  $OAD$  სამკუთხედი, რომლის  $DAO$  კუთხე  $90^\circ$ -ს ეტოლება, ხოლო  $DOA$  კუთხე, მოიჭიმება რა  $AB$  რკალით,  $c$  გვერდის ეკვივალენტურია;  $OEA$  სამკუთხედი  $OAE$  მართი კუთხით და  $b$  გვერდის ეკვივალენტური  $AOE$  კუთხით.

ახლა მივმართოთ ბრტყელი ტრიგონომეტრიიდან კარგად ცნობილ დამოკიდებულებებს და დავწეროთ ისინი განხილული ბრტყელი სამკუთხედების მიმართ.

$ADE$  სამკუთხედისათვის:

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

$ODE$  სამკუთხედისათვის (რომელსაც პირველ სამკუთხედთან საერთო  $DE$  გვერდი აქვს):

$$DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2OD \cdot OE \cos a.$$

ორივე დამოკიდებულების საფუძველზე დავწეროთ:

$$2OD \cdot OE \cos a = (OD^2 - AD^2) + (OE^2 - AE^2) + 2AD \cdot AE \cos A.$$

მაგრამ, რადგანაც მართკუთხა  $OAD$  და  $OAE$  სამკუთხედებში:

$$OD^2 - AD^2 = OA^2,$$

$$OE^2 - AE^2 = OA^2,$$

მიღებული დამოკიდებულება ასე გადაიწერება:

$$OD \cdot OE \cos a = OA^2 + AD \cdot AE \cos A$$

ანუ

$$\cos a = \frac{OA}{OD} \cdot \frac{OA}{OE} + \frac{AD}{OD} \cdot \frac{AE}{OE} \cos A.$$

ახლა ადვილად იმასაც შევნიშნავთ, რომ

$$\frac{OA}{OD} = \cos c, \quad \frac{OA}{OE} = \cos b, \quad \frac{AD}{OD} = \sin c, \quad \frac{AE}{OE} = \sin b$$

და ამიტომ საბოლოოდ გვექნება:

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

ეს არის სფერული ტრიგონომეტრიის ფუნდამენტური ფორმულა. მას კოსინუსის ფორმულა სწოდებენ. იგი გვაძლევს დამოკიდებულებას სამკუთხედის სამი გვერდისა და ერთი კუთხის ტრიგონომეტრიულ ფუნქციათა შორის.

ამ ფორმულაში სამკუთხედის სამივე გვერდისა და ერთი კუთხის ფუნქციები შედის; ეს კუთხე იმ გვერდის პირდაპირ ძევს, რომლის კოსინუსის მიმართ დაწერილია ეს დამოკიდებულება.

სრულიად ანალოგიურად გამოიყვანება სათანადო დამოკიდებულებანი  $b$  გვერდისა და  $c$  გვერდის კოსინუსების მიმართ. ამისათვის საჭიროა მხოლოდ ის, რომ მსჯელობა დავიწყოთ, შესაბამისად,  $B$  და  $C$  წერტილებში მხებების გავლებით. მაშინ ფორმულებში გვექნება  $B$  და  $C$  კუთხე, შესაბამისად.



ანგვარად, სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულების  
ჯგუფი ასე დაიწერება:

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B, \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C.\end{aligned}\quad (1a)$$

ამ ფორმულებს გამოვიყენებთ იმ შემთხვევებში, თუ მოცემულია ორი გვერ-  
დისა და მათ შორის მდებარე კუთხის მნიშვნელობანი ან, თუ მოცემულია სამივე  
გვერდის მნიშვნელობები და საძიებელია ერთ-ერთი კუთხე. ამ უკანასკნელ  
შემთხვევაში ფორმულა ასე გადაიწერება:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}$$

(ანალოგიურად დაიწერება გამოსახულებანი  $\cos B$  და  $\cos C$ -ს მიმართ).

თუ უკანასკნელი დამოკიდებულებიდან ამოვალთ და ელემენტარულ გარდა-  
ქმნებს მოვახდენთ, ადვილად მივიღებთ მნიშვნელოვანი ფორმულების კიდევ  
ერთ ჯგუფს.

მართლაც, უკანასკნელი ტოლობა ავიყვანოთ კვადრატში, გამოვაკლოთ მი-  
სი ორივე ნაწილი 1-ს და მცირეოდენი გარდაქმნა შევასრულოთ:

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

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

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

უკანასკნელი ტოლობის ორივე ნაწილი გავყოთ  $\sin^2 a$ -ზე:

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

(1a) ჯგუფის მეორე ფორმულის მიხედვით, სრულიად ანალოგიურად, დავწერთ:

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

და ასეთსავე გამოსახულებას (1a) ჯგუფის მესამე სტრიქონიდან, ფარ-  
დობისათვის  $\frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$ .

ამ დამოკიდებულებებიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

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

ანუ

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

ეს გამოსახავს დამოკიდებულებას სფერული სამკუთხედის გვერდებსა და  
პირდაპირ მდებარე კუთხეების სინუსებს შორის. მას სინუსების  
ფორმულა ს უწოდებენ და, პირველი ძირითადი ფორმულის მსგავსად,



ძალიან ხშირი გამოყენება აქვს. ფორმულები გამოყვანილია იმ ვარაუდით, რომ სამკუთხედის გვერდები და კუთხეები თითოეული,  $180^\circ$ -ზე ნაკლებია.

ერთგვარი სიფრთხილეა საჭირო ამგვარი ფორმულების გამოყენებისას. მართლაც, თუ მოცემულია  $a$ ,  $b$  და  $B$ , (2) ფორმულიდან გვექნება:

$$\sin A = \frac{\sin a}{\sin b} \sin B$$

და მივიღებთ პასუხს  $\sin A$ -თვის. მაგრამ აქედან უნდა განვსაზღვროთ  $A$  და ეს შეიძლება იყოს როგორც  $90^\circ$ -ზე ნაკლები, ვთქვათ,  $A_0$ , ისე მასზე მეტი ანუ  $180^\circ - A_0$ . ამ ორივე განსხვავებულ შემთხვევაში  $\sin A$ -ს ერთი მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ, აუცილებელია მივმართოთ კიდევ რაღაც სხვა მონაცემებს, გეომეტრიულს ან ფიზიკურ მოსაზრება-მსჯელობას, რათა დავადგინოთ, თუ რომელ კვადრანტში მდებარეობს საძიებელი კუთხე.

გამოვიყვანოთ კიდევ სხვა სასარგებლო დამოკიდებულებანი. (1ა) ჯგუფის მესამე ფორმულა ისე გადავწეროთ, რომ მასში  $\cos a$ -ს მნიშვნელობა შევიტანოთ იმავე ჯგუფის პირველი სტრიქონის მიხედვით; გვექნება:

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

გავხსნათ ფრჩხილები და გადავიტანოთ მარჯვენა ნაწილის პირველი წევრი მარცხენაში:

$$\cos c - \cos^2 b \cos c = \cos c(1 - \cos^2 b) = \cos b \sin b \sin c \cos A + \sin b \sin a \cos C.$$

შევკვეცოთ  $\sin b$ -ზე და გადავაჯგუფოთ წევრები:

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

ეს არის დამოკიდებულება სფერული სამკუთხედის ხუთ ელემენტს — სამ გვერდსა და ორ კუთხეს — შორის.

უბრალოდ დაიწერება რამდენიმე ანალოგიური დამოკიდებულება და გვექნება ფორმულების შემდეგი ჯგუფი.

$$\begin{aligned} \sin a \cos B &= \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A, \\ \sin a \cos C &= \sin b \cos c - \cos b \sin c \cos A, \\ \sin b \cos A &= \sin c \cos a - \cos c \sin a \cos B, \\ \sin b \cos C &= \sin a \cos c - \cos a \sin c \cos B, \\ \sin c \cos A &= \sin b \cos a - \cos b \sin a \cos C, \\ \sin c \cos B &= \sin a \cos b - \cos a \sin b \cos C. \end{aligned} \quad (3a)$$

აღვილად გამოიყვანება დამოკიდებულება კვლავ ხუთ ელემენტს შორის, მაგრამ ამჯერად — სამი კუთხისა და ორი გვერდის ფუნქციათა შორის:

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

და ამის ანალოგიური სხვა ხუთი ფორმულა.

გამოყვანის გარეშე დავწეროთ ფორმულები, რომლებიც ერთგვარად ემსგავსება (1ა) ჯგუფს, მაგრამ გამოსახავს დამოკიდებულებას სფერული სამკუთხედის სამ კუთხესა და ერთ გვერდს შორის:

$$\left. \begin{aligned} \cos A &= -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a, \\ \cos B &= -\cos A \cos C + \sin A \sin C \cos b, \\ \cos C &= -\cos A \cos B + \sin A \sin B \cos c. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

44 დაბოლოს მოვიყვანოთ კიდევ ერთ ფორმულას, რომელსაც უფრო ხშირი



გამოყენება აქვს ელემენტარული პრაქტიკული ასტრონომიული ამოცანების ამოსახსნელად.

დავუშვათ, რომ (3ა) ჯგუფის მე-3 ფორმულაში  $B=90^\circ$ , მაშინ  $\cos B=0$  და ფორმულა მარტივდება:

$$\sin b \cos A = \sin c \cos a.$$

ამ ფორმულის ორივე ნაწილი გავყოთ  $\sin a$ -ზე და  $\frac{\sin b}{\sin a}$  ფარდობა შევ-

ცვალოთ (2)-ის საფუძველზე  $\frac{\sin B}{\sin A}$  ფარდობით, გვექნება:

$$\operatorname{ctg} A \sin B = \sin c \operatorname{ctg} a.$$

მაგრამ, რაკი  $B=90^\circ$ .

$$\operatorname{tg} a = \sin c \operatorname{tg} A.$$

მართკუთხა სფერული სამკუთხედისათვის რამდენიმე სხვა დამოკიდებულებაც არის ცნობილი. მათი გამოყვანა ძირითადი ფორმულებიდან, რომლებშიც სათანადოდ უნდა შევიტანოთ  $90^\circ$ -ის ტოლი კუთხეების ტრიგონომეტრიული ფუნქციების მნიშვნელობანი, მარტივია.

ასევე გამოიყვანება და იხმარება ფორმულები მართკუთხა სფერული სამკუთხედებისათვის, რომლებშიც რომელიმე გვერდი წარმოადგენს  $90^\circ$ -ის ტოლ რკალს.

სფერულ ტრიგონომეტრიაში გამოიყვანება სხვა ფორმულებიც, რომელთაც საჭიროებისდა მიხედვით სხვადასხვა სახე მიეცემა—არიტმომეტრული გამოთვლისათვის თუ ლოგარითმულისათვის, ჩვეულებრივი შემთხვევისათვის თუ ერთობ მცირე კუთხეებისა და გვერდებისათვის, მართკუთხა თუ მართგვერდა სამკუთხედებისათვის და სხვ.

**§ 15. ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია.** ასტრონომიულ დამზერათა მსვლელობაში და სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანის გადასაწყვეტად ხშირად გამოიყენება ცხრილები, რომლებშიც წარმოდგენილია რომელიმე სიდიდის (მაგალითად, მნათობის კოორდინატის, მზის დისკოს ხილული დიამეტრის და სხვ.) ცვლილება ამა თუ იმ არგუმენტზე (მაგალითად, დროზე) დამოკიდებულებით\*. ცხრილებში მოცემულია გარკვეული მომენტებისათვის (მაგალითად, წელიწადის ყოველი დღე-ღამის დასაწყისი მომენტებისათვის, რომლებიც ცხრილის არგუმენტების მნიშვნელობებს წარმოადგენს) მათზე დამოკიდებული ცვლადი სიდიდის (ანუ, როგორც ამბობენ, ფუნქციის) მნიშვნელობები. მაგრამ აღებული კონკრეტული ამოცანისათვის შეიძლება გვესაჭიროებოდეს ფუნქციის მნიშვნელობის ცოდნა რაღაც შუალედი მომენტისათვის, რაც ცხრილში არაა მოცემული. არსებობს ხერხები, რომლებითაც ეს მნიშვნელობა გამოითვლება იმავე ცხრილის მონაცემებით. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ ხდება ფუნქციის ინტერპოლაცია ანუ ინტერპოლირება.

თუ ფუნქცია არგუმენტის ცვლილების პროპორციულად იცვლება, მას წრფივი ფუნქცია ეწოდება, სათანადო ინტერპოლაციაც წრფივია და სულ მარტივად ხორციელდება, კერძოდ, გრაფიკული წესითაც: ცხრილში მოცე-

\*იხ. ასტრონომიული კალენდარი (წელიწდეული).



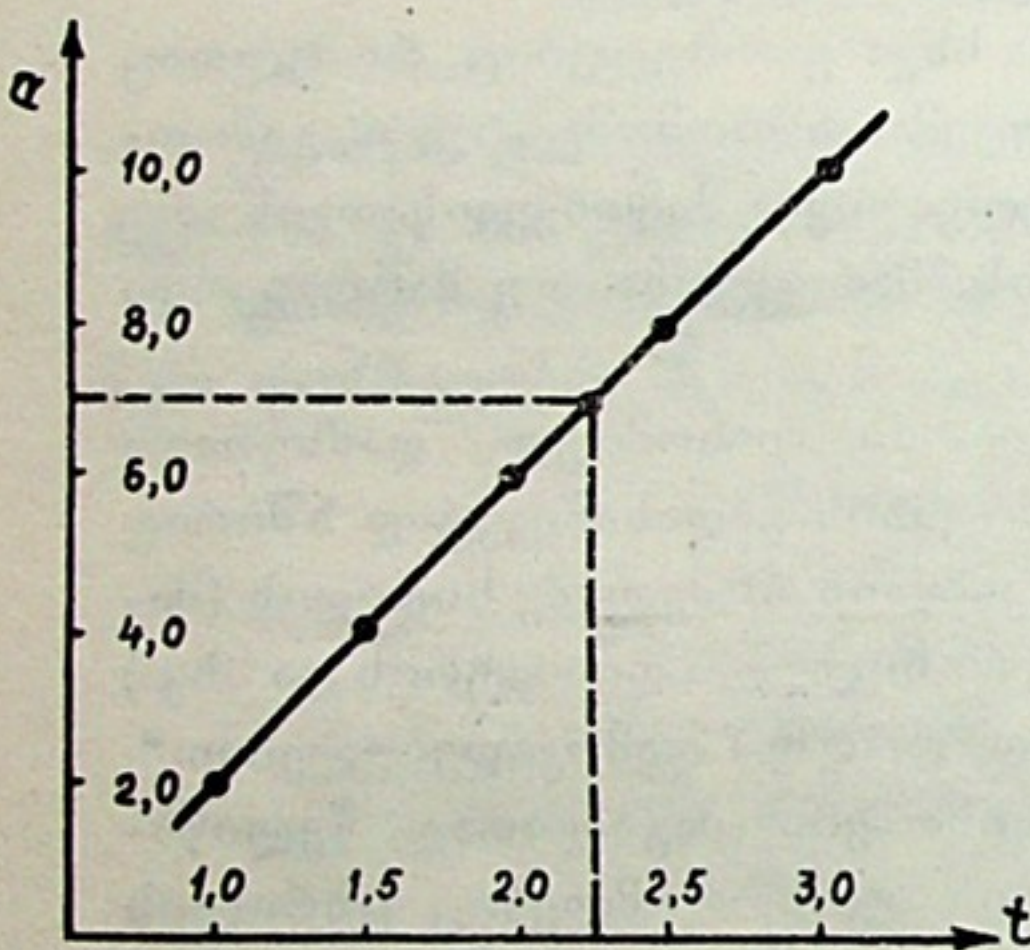
მული ორი არგუმენტის მიხედვით, რომელთა მნიშვნელობები განიხილება როგორც აბსცისები, აიგება გრაფიკი. თუ ფუნქცია წრფივია, ეს გრაფიკი წრფეს წარმოადგენს, ხოლო არგუმენტის საჭირო მნიშვნელობის შესაბამისი მნიშვნელობა ფუნქციისა ამ წრფეზე აითვლება როგორც ორდინატი. მაგალითად, გვაქვს ცხრილი რომელშიც მოცემულია  $t$ -ს მნიშვნელობათა შესაბამისი მნიშვნელობები  $a$  ფუნქციისა \*.

$t$	$a$	$n$
1.0	2	2
1.5	4	2
2.0	6	2
2.5	8	2
3.0	10	2

ვთქვათ, საძიებელია  $a$ -ს მნიშვნელობა  $t=2.25$ -თვის. გრაფიკი შეგვიძლია ავაგოთ არგუმენტების 1.0 და 3.0 მიხედვით (ნახ.14). აბსცისის მნიშვნელობისათვის 2.25 მოვძებნოთ შესაბამისი ორდინატი. ვნახავთ, რომ იგი 7-ის ტოლია. შეიძლება ისეთი შემთხვევაც შეგვხვდეს, როცა საჭიროა ვიცოდეთ ფუნქციის მნიშვნელობა არგუმენტის ისეთი მნიშვნელობისათვის, რომელიც ცხრილში არ თავსდება; ჩვენს მაგალითში ასეთი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს, ვთქვათ, 3.25. მაშინ, რაკი ფუნქციის სახე გარკვეულია და მარტივი, შეგვიძლია მისი გამომსახველი ხაზი გავაგრძელოთ და მოვძებნოთ სათანადო ორდინატი გაგრძელებულ გრაფიკზე. ამ შემთხვევაში ვიტყვით, რომ მოვახდინეთ ფუნქციის ექსტრაპოლაცია.

ექსტრაპოლაციას შეძლებისამებრ უნდა ვერიდოთ, თუ არა ვართ დარწმუნებული, რომ ფუნქციის სახე უცვლელი რჩება. მრავალ შემთხვევაში ფუნქცია არათანაბრად იცვლება,  $n$  სხვაობები (იხ. ცხრილი) მუდმივი არაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფუნქცია არაა წრფივი, და მისი გრაფიკი წრფის მონაკვეთით ვერ გამოისახება. ამიტომ არამცთუ ექსტრაპოლაცია კარგავს სანდოობას, არამედ ინტერპოლაციაც შესამჩნევად რთულდება და განსაკუთრებულ მიდგომას მოითხოვს.

ვთქვათ, გვაქვს  $x_1, x_2, \dots, x_6$  არგუმენტებისა და  $y_1, y_2, \dots, y_6$  სათანადო. ფუნქციის მნიშვნელობათა წყება და ფუნქციის მეზობელ მნიშვნელობათა შორის სხვაობების მნიშვნელობები



ნახ. 14

(ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მესამე სვეტი). შევადგინოთ მეზობელ სხვაობათა შორის სხვაობები ანუ მეორე სხვაობები (ცხრილის მეოთხე სვეტი) და ასევე — მესამე და მეოთხე სხვაობები.

\* ცხრილის მესამე სვეტში  $n$  წარმოადგენს ფუნქციის მნიშვნელობათა სხვაობებს არგუმენტის ყოველ „ბიჯზე“ როგორც ვხედავთ, ამ მაგალითში ეს სხვაობები არ იცვლება ( $n=2$ ), რაც იმას ნიშნავს, რომ ფუნქცია წრფივია.



არგუმენტი	ფუნქცია	პირველი სხვაობები	მეორე სხვაობები	მესამე სხვაობები	მეოთხე სხვაობები
$x_1$	$y_1$	$a(1 + \frac{1}{2})$			
$x_2$	$y_2$	$a(2 + \frac{1}{2})$	$b_2$	$c(2 + \frac{1}{2})$	
$x_3$	$y_3$	$a(3 + \frac{1}{2})$	$b_3$	$c(3 + \frac{1}{2})$	$d_3$
$x_4$	$y_4$	$a(4 + \frac{1}{2})$	$b_4$	$c(4 + \frac{1}{2})$	$d_4$
$x_5$	$y_5$	$a(5 + \frac{1}{2})$	$b_5$		
$x_6$	$y_6$				

ნიშნავი, რომელიც  $a$ ,  $b$  და სხვა სხვაობებს ახლავს, უჩვენებს ცხრილის რომელ სტრიქონშია მოთავსებული აღებული სხვაობა.  $\frac{1}{2}$  ნიშნავი იმის მაჩვენებელია, რომ სხვაობა მოთავსებულია ცხრილის სტრიქონსა და სტრიქონს შუა.

სხვადასხვა საინტერპოლაციო ფორმულებს შორის ხშირად იხმარება ე. წ. სტირლინგის ფორმულა, რომლითაც გამოითვლიან  $y$  ფუნქციის მნიშვნელობას არგუმენტის ნებისმიერი  $i + \theta$  მნიშვნელობისათვის (აქ  $i$  წარმოადგენს სტრიქონს, რომელშიც საძიებელი ფუნქციის შესაბამის არგუმენტის მნიშვნელობასთან ცხრილში მოცემული უახლოესი მნიშვნელობა იმყოფება, ხოლო  $\theta$  არგუმენტთა შორის შუალედის ის ნაწილია, რომლითაც საძიებელი ფუნქციის შესაბამისი არგუმენტი განსხვავდება სტრიქონში მოცემული არგუმენტის მნიშვნელობისაგან).

$x_{i+\theta}$  არგუმენტის შესაბამისი  $y$  ფუნქციის მნიშვნელობის გამოსათვლელად სტირლინგის ფორმულა ასე იწერება (იგი და სხვა საინტერპოლაციო ფორმულები სათანადო კურსებში გამოჰყავთ):

$$y_{i+\theta} = y_i + \theta a_i + \frac{\theta^2}{1.2} b_i + \frac{\theta(\theta+1)(\theta-1)}{1.2.3} c_i + \frac{\theta^2(\theta+1)(\theta-1)}{1.2.3.4} d_i + \dots$$

ამ ფორმულით საძიებელი სიდიდის გამოსათვლელად  $b_i$  და  $d_i$  უშუალოდ ცხრილიდან ამოიღება, ხოლო  $a_i$  და სხვა კენტი სხვაობები გამოითვლება როგორც იმავე სვეტის ორი მეზობელი სხვაობის საშუალო არითმეტიკული:

$$a_i = \frac{a(i - \frac{1}{2}) + a(i + \frac{1}{2})}{2};$$

$$c_i = \frac{c(i - \frac{1}{2}) + c(i + \frac{1}{2})}{2} \text{ და ა. შ.}$$





აღწერილი ხერხი უფრო გასაგები გახდება, თუ აქვე, მაგალითზე გამოვიყენებთ მას.

1982 წლის ასტრონომიული კალენდრის 39-ე გვერდზე მოცემულია მზის დახრილობის მნიშვნელობები აპრილის თვის ყოველი რიცხვის 0 სთ ეფემ. დრ.

ვთქვათ, ჩვენი ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს მზის დახრილობის მნიშვნელობის ცოდნას 6 აპრილის 6 საათისათვის (ეს შეიძლება დაგვჭირდეს თუნდაც ისეთი ამოცანისათვის, როცა უნდა ვიცოდეთ მზის სიმაღლე ჰორიზონტიდან გარკვეულ მომენტში).

ამოვიწეროთ კალენდრიდან მზის დახრილობის მნიშვნელობები 6 აპრილის რამდენიმე წინა და მომდევნო დღეებისათვის და შევადგინოთ სათანადო სხვაობები.

$t$	$y=\delta$	$a$	$b$	$c$	$d$
1982 წლის					
აპრილის					
4	5°28'57"	22'53"			
5	5 51 50	22 46	-7"	+1"	
6	6 14 36	22 40	-6	0	-1"
7	6 37 16	22 34	-6		
8	6 59 50				

ჩვენს მაგალითში არგუმენტებს შორის ინტერვალი 24 საათია, საძიებელი მომენტი 6 საათისათვის ამ ინტერვალის  $\frac{1}{4}$ -ს წარმოადგენს, მაშასადამე,

$$\theta=0.25. \quad y_i=6^{\circ}14'36''$$

$$a_i=\frac{22'46''+22'40''}{2}=22'43''; \quad b_i=-6''; \quad c_i=0''.5; \quad d_i=-1''.$$

$$y_{i+\theta}=6^{\circ}14'36''+0.25 \cdot (22'43'') + 0.031 \cdot (-6'') - 0.039 \cdot (0''.5) - 0.002 \cdot (-1'').$$

$$\left( \frac{\theta^2}{1.2}=0.03125; \quad \frac{\theta(\theta+1)(\theta-1)}{1.2 \cdot 3}=-0.0391; \quad \frac{\theta^2(\theta+1)(\theta-1)}{1.2 \cdot 3 \cdot 4}=-0.0024 \right)$$

მაშასადამე:

$$y_{i+\theta}=6^{\circ}14'36''+5'40''.8-0''.2=6^{\circ}20'16''.6.$$

როგორც ვხედავთ, სტირლინგის ფორმულაში მეოთხე და მეხუთე წევრები გამოყენებული აღარაა. საძიებელი მომენტისათვის (6 აპრილს, 6 სთ) მზის დახრილობა ტოლია  $+6^{\circ}20'16''.6$ -ისა.

ხშირად ინტერპოლაცია გვესაჭიროება ცხრილში მოცემულ არგუმენტებს შორის ინტერვალის შუაზე ანუ  $\theta=0.5$ -თვის. მაშინ ფორმულა მარტივდება და ასეთ სახეს იღებს:

$$y_{i+\frac{1}{2}}=\frac{1}{2}(y_i+y_{i+1})-\frac{1}{8}\frac{b_i-b_{i+1}}{2}.$$



სხვა სიტყვებით, საძიებელი მნიშვნელობა ფუნქციისა ეტოლება ცხრილში მოცემული ორი მეზობელი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულს მინუს მეორე სხვაობათა საშუალოს ერთი მერვედი.

**§16. დამზერის ცდომილებათა შესახებ.** ასტრონომიული მოვლენების დამზერა როდია უბრალოდ პასიური ჭვრეტა. იგი, — ინსტრუმენტების მეშვეობით წარმოებული, — ყოველთვის დაკავშირებულია რაიმე სიდიდეების (მაგ., კუთხეების, დროის შუალედების) ზუსტ გაზომვებთან. მაგრამ ნებისმიერი ფიზიკური სიდიდის გაზომვას ყოველთვის თან სდევს გაზომვის ცდომილება. დასამზერი ან გამზომი იარაღისა და ხელსაწყო კონსტრუქცია და დამზადების ტექნოლოგია უნდა ითვალისწინებდეს ყველა შესაძლო საშუალებას იმისათვის, რომ ეს გარდუვალი ცდომილებები რაც შეიძლება მცირე იყოს. დამზერის მეთოდის ან ანალიზით უნდა იყოს დამუშავებული. მაშინ საზრუნავად ისღა დარჩენილა, რომ შევძლოთ ამ გარდუვალი, თუნდაც შემცირებული ცდომილების შეფასება, რათა ვიცოდეთ, თუ რა ფარგლებშია მოსალოდნელი გაზომილი სიდიდის გადახრა მისი ჭეშმარიტი მნიშვნელობიდან.

ცდომილებები შეიძლება იყოს სისტემატური, დაკავშირებული სათანადო იარაღის თავისებურებასთან ან სხვა მიზეზთან, და შემთხვევითი, რომელთა მიზეზები სხვადასხვაა, „შემთხვევითია“, უცნობი და აუხსნელი. მაგრამ, თუ ერთსა და იმავე სიდიდის გაზომვას მრავალჯერ ჩავატარებთ და ყველა ამ გაზომვას გავითვალისწინებთ ერთად, გაზომვის საბოლოო შედეგი ნაკლებად იქნება დამძიმებული ცდომილებით და უკანასკნელის სიდიდეც შეფასდება.

ვთქვათ, რაიმე კუთხის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა არის  $a$ . მის გასაგებად ვატარებთ  $n$  რაოდენობის გაზომვას, რის შედეგადაც ვღებულობთ განაზომთა რიგს:  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . აღვნიშნოთ ზუსტი ცდომილებები შესაბამისად:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , მაშინ შეიძლება დავწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} a - a_1 &= \varepsilon_1 \\ a - a_2 &= \varepsilon_2 \\ &\dots \dots \dots \\ a - a_n &= \varepsilon_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

შევკრიბოთ (1) წევრობრივ, მივიღებთ:

$$na = \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad \text{საიდანაც} \quad a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

აღვნიშნოთ:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i; \quad \varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|;$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}; \quad \sigma_{\bar{a}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$





$\bar{a}$  — ს ეწოდება განაზომთა საშუალო არითმეტიკული,  $\varepsilon$  არის საშუალო არითმეტიკულის ზუსტი საშუალო არითმეტიკული ცდომილება,  $\sigma$  — ერთი გაზომვის ზუსტი საშუალო კვადრატული ცდომილება,  $\sigma_a$  კი — საშუალო არითმეტიკულის ზუსტი საშუალო კვადრატული ცდომილება.

სამივე ზემოთ ჩამოთვლილი ცდომილების პრაქტიკულად განსაზღვრა შეუძლებელია, ვინაიდან არ ვიცით საძიებელი სიდიდის ზუსტი მნიშვნელობა. მათ მხოლოდ თეორიული მნიშვნელობა აქვთ და არ გამოდგებიან გაზომვის სიზუსტის შესაფასებლად.

მრავალგზის ჩატარებული გაზომვებიდან დადგინდა, რომ განაზომი სიდიდის უაღბათესი მნიშვნელობა არის განაზომთა საშუალო არითმეტიკული. განაზომთა საშუალო არითმეტიკულს ვღებულობთ საძიებელი სიდიდის ზუსტ მნიშვნელობად და ვითვლით სხვაობებს:  $a_1 - \bar{a}$ ,  $a_2 - \bar{a}$ , ...,  $a_n - \bar{a}$ ; ვითვლით აგრეთვე

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i - \bar{a}| \quad \text{და} \quad S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2},$$

აქ  $\bar{\varepsilon}$  არის ერთი გაზომვის საშუალო არითმეტიკული ცდომილება, ხოლო  $S$  ერთი გაზომვის უაღბათესი საშუალო კვადრატული ცდომილება. მას შემდეგ, რაც  $S$ -ის მნიშვნელობა მივიღეთ, გამოწმებთ  $a_i - \bar{a}$  სხვაობების სანდოობას. თუ რომელიმე სხვაობა  $|a_i - \bar{a}| > 3S$ , მაშინ შესაბამის განაზომს უკუვაგდებთ, როგორც უხეშ განაზომს და ხელახლა ვითვლით  $S$ -ს. ბოლოს გამოვითვლით სიდიდეს

$$S_a = \pm \frac{S}{\sqrt{n}},$$

$S_a$ -ს ეწოდება საშუალო არითმეტიკულის უაღბათესი საშუალო კვადრატული ცდომილება.

ამრიგად, ჩვენ გვაქვს ერთი გაზომვის საშუალო არითმეტიკული ცდომილება  $\bar{\varepsilon}$ , ერთი გაზომვის უაღბათესი საშუალო კვადრატული ცდომილება  $S$  და საშუალო არითმეტიკულის უაღბათესი საშუალო კვადრატული ცდომილება  $S_a$ . დადგენილია, რომ ამ ცდომილებებიდან გაზომვის სიზუსტის შეფასების კრიტერიუმად უფრო მიზანშეწონილია მივიღოთ  $S$  და  $S_a$  ცდომილებები.

მაშასადამე, გაზომვის შედეგი ასე ჩაიწერება:

$$a = \bar{a} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

თუ ყველა განაზომი ერთნაირი სიზუსტისაა, მათ ტოლზუსტი გაზომვები ეწოდებათ.

მაგალითად, გავზომეთ ერთი და იგივე კუთხე 10-ჯერ და მივიღეთ განაზომთა გარკვეული რიგი. განაზომთა მათემატიკური დამუშავება სქემატურად მოიცემა ასე:



ტოლზუსტი გაზომვების მათემატიკური დამუშავების სქემა

№	$a_i$	$a_i - \bar{a}$	$(a_i - \bar{a})^2$	გამოთვლების შედეგი
1	10°27'	+2'	4	$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = 10^\circ 25'$ $S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} = \pm 1'.3$ $S_{\bar{a}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} = \pm 0'.4$ $a = \bar{a} \pm \frac{S}{\sqrt{n}} = 10^\circ 25' \pm 0'.4$
2	10 23	-2	4	
3	10 25	0	0	
4	10 25	0	0	
5	10 26	+1	1	
6	10 23	-2	4	
7	10 24	-1	1	
8	10 25	0	0	
9	10 26	+1	1	
10	10 26	+1	1	

კონტროლი

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a}) + \bar{a} \\ &= 10^\circ 25' \quad \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a}) \approx 0. \end{aligned}$$

ვინაიდან  $|a_i - \bar{a}|_{\max} = 2'$ , ხოლო  $|3S| = 3'.9$ , ამიტომ ყველა გადახრა სანდოა და ტოლზუსტი გაზომვათა მათემატიკური დამუშავებაც დამთავრებულია.

როდესაც  $n$  საკმაოდ დიდი რიცხვია, მაშინ სამართლიანია შემდეგი თანაფარდობანი:

$$\tilde{\epsilon} = 0.798S, \quad S = 1.253\tilde{\epsilon} \quad \text{და} \quad S_p = 0.675S$$

აქ  $S_p$  ალბათი ცდომილებაა. ალბათი ცდომილება არის ცდომილებათა რიგში იმ ცდომილების რიცხვითი სიდიდე, რომელზეც მეტი და ნაკლები მნიშვნელობების მქონე ცდომილებები ტოლი რაოდენობითაა.

მაგალითად, გვაქვს ცდომილებების რიგი:

1.0; 1.2; 2.0; 2.3; 2.5; 2.8; 3.4; 3.5; 4.3

ალბათი ცდომილება  $S_p = \pm 2.5$ .

თუ ცდომილებათა რიგში ცდომილებათა რაოდენობა ლუწია, მაშინ ალბათი ცდომილება არის შუა ორი წევრის საშუალო არითმეტიკული.

პრაქტიკაში ყოველთვის ტოლზუსტ დაკვირვებებთან ან გაზომვებთან როდი გვაქვს საქმე. ხშირად მოცემული ობიექტის პარამეტრის მნიშვნელობები განისაზღვრება სხვადასხვა დამკვირვებლის მიერ გაზომვათა განსხვავებული რაოდენობით. ამ შემთხვევაში მიღებულ მნიშვნელობებს ექნებათ სხვადასხვა საშუალო კვადრატული ცდომილება, ე. ი. საქმე გვექნება არატოლზუსტ გაზომვათა დამუშავებასთან.

ვთქვათ, გვინდა განვსაზღვროთ რომელიმე ვარსკვლავის პარალაქსი, როცა ცნობილია მისი მნიშვნელობები  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$  განსაზღვრული სხვადასხვა დამკვირვებლის მიერ. დავუშვათ, რომ პარალაქსის ეს მნიშვნელობები წარმოადგენენ საშუალო არითმეტიკულებს, როცა დაკვირვებათა რიცხვი შესაბამისად  $m_1, m_2, \dots, m_n$ -ის ტოლია. რადგანაც ერთი დაკვირვების საშუალო კვადრატული





ცდომილება ყველა დამკვირვებლისათვის ერთი და იგივეა (იგი აღვნიშნოთ  $\sigma$ -თი), ამიტომ პარალაქსის ამ მნიშვნელობათა საშუალო კვადრატული ცდომილებებისათვის შესაბამისად გვექნება:

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{m_1}}, \quad \sigma_2 = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{m_2}}, \quad \dots, \quad \sigma_n = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{m_n}}.$$

შევარჩიოთ  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$  ცდომილებებიდან აბსოლუტური სიდიდით ყველაზე დიდი ცდომილება და აღვნიშნოთ იგი  $\sigma_0$ -ით. აღვნიშნოთ აგრეთვე:

$$Q_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}, \quad Q_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2}, \quad \dots, \quad Q_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2}.$$

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ -ს უწოდებენ განაზომ  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$  სიდიდეების წონებს. ვინაიდან  $\sigma_0 = \sigma_k$ , ამიტომ  $Q_k = 1$ , მაშასადამე,  $\pi_k$  პარალაქსის გაზომვის წონა იქნება ერთის ტოლი,  $\sigma_0$  კი — ერთეულოვანი წონის საშუალო კვადრატული ცდომილება. ყველა დანარჩენი ვარსკვლავის პარალაქსის წონა — ერთით მეტი რიცხვით გამოისახება:

არატოლზუსტი გაზომვების დამუშავების პროცესი თანმიმდევრობით ასე წარმოებს: პარალაქსის თითოეულ მნიშვნელობას ვამრავლებთ შესაბამის წონაზე. ვღებულობთ  $Q_1\pi_1, Q_2\pi_2, \dots, Q_n\pi_n$  ნამრავლებს, ვითვლით საშუალო არითმე-

$$\text{ტიკულს } \bar{\pi} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_k \pi_k}{\sum_{k=1}^n Q_k}, \quad \bar{\pi}\text{-ს აწონილი საშუალო ეწოდება. შემდეგ ვითვ-}$$

ლით სხვაობებს  $\pi_1 - \bar{\pi}, \pi_2 - \bar{\pi}, \dots, \pi_n - \bar{\pi}$ , შემდეგ კი

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n Q_k (\pi_k - \bar{\pi})^2},$$

თუ რომელიმე სხვაობა  $|\pi_k - \bar{\pi}| > 3S$ , ასეთ პარალაქსს უკუვაგდებთ და ხელმეორედ ვითვლით  $\bar{\pi}$  და  $S$ -ს. საბოლოო შედეგი ჩაიწერება ასე:

$$\pi = \bar{\pi} \pm \sigma_{\bar{\pi}}, \quad \text{სადაც } \sigma_{\bar{\pi}} = \pm \frac{S}{\sqrt{\sum_{k=1}^n Q_k}}.$$

მაგალითად, გამოვითვალოთ 10 სხვადასხვა დამკვირვებლის მიერ გაზომილი ვარსკვლავის საშუალო პარალაქსი, მოცემული  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$  პარალაქსებისა და შესაბამისი ცდომილებების  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ -ის საშუალებით. აქ  $\sigma_0 = \pm 0''.008$  (იგულისხმება რომ პარალაქსებს შორის სისტემატური განსხვავება არ არსებობს).



არატოლზუსტი გაზომვების დამუშავების სქემა

№	$\pi_k$	$\sigma_k$	$\frac{\sigma_0^2}{\sigma_k^2} = Q_k$	$Q_k \pi_k$	$\pi_k - \tilde{\pi}$	$(\pi_k - \tilde{\pi})^2$	$Q_k (\pi_k - \tilde{\pi})^2$
1	0".251	$\pm 0".007$	1.3	0".33	-0".03	0.0009	0.001
2	0.288	0.004	4.0	1.2	0.01	0.0001	0.0004
3	0.273	0.007	1.3	0.35	-0.01	0.0001	0.0001
4	0.297	0.005	2.6	0.77	+0.02	0.0004	0.001
5	0.285	0.007	1.3	0.37	0.00	0.0000	0.0000
6	0.250	0.005	2.6	0.65	-0.03	0.0009	0.002
7	0.303	0.004	4.0	1.2	+0.02	0.0004	0.002
8	0.275	0.005	2.6	0.72	0.00	0.0000	0.0000
9	0.266	0.004	4.0	1.1	-0.01	0.0001	0.0004
10	0.255	0.008	1.0	0.26	-0.02	0.0004	0.0004
			$\sum_1^n Q_k =$ =24.7	$\sum_1^n Q_k \pi_k =$ =7".0			$\sum_1^n Q_k (\pi_k - \tilde{\pi})^2 =$ =0.007

გამოთვლების შედეგი:

$$\tilde{\pi} = \frac{\sum_1^n Q_k \pi_k}{\sum_1^n Q_k} = 0".28; \quad S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n Q_k (\pi_k - \tilde{\pi})^2} = \pm 0".03;$$

$$\sigma_{\tilde{\pi}} = \pm \frac{S}{\sqrt{\sum_1^n Q_k}} = \pm 0".007; \quad \pi = \tilde{\pi} \pm \frac{S}{\sqrt{\sum_1^n Q_k}} = 0".28 \pm 0".01$$

ვინაიდან  $|\pi_k - \tilde{\pi}|_{\max} = 0".03$ , ხოლო  $3S = 0".09$ , ამიტომ ყველა გადახრა სამართლიანია და არატოლზუსტი გაზომვების დამუშავებაც დამთავრებულია.

§ 17. კორელაციის შესახებ. ზოგჯერ კავშირი ორ სიდიდეს შორის როდი გამოიხატება ზუსტი ფუნქციური დამოკიდებულებით: მათ შორის მხოლოდ მიახლოებითი, გარკვეული ალბათობით განხორციელებული დამოკიდებულებაა, რომელსაც კორელაციურ დამოკიდებულებას უწოდებენ. წრფივი დამოკიდებულების კორელაციის კოეფიციენტი უწვენებს იმას, თუ როგორი ალბათობითაა დაკავშირებული ერთიმეორესთან ორი ცვლადი სიდიდე  $x$  და  $y$  და გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$r = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$$





სადაც  $\bar{x}$  და  $\bar{y}$  —  $x$  და  $y$  სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობებს აღნიშნავენ, ხოლო  $\sigma_x$  და  $\sigma_y$  — ე. წ. დისპერსიებს, რომელთათვის შემდეგი გამოსახულებები გვაქვს:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2; \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2.$$

$r$ -ის განსაზღვრის ცდომილებისათვის გვაქვს:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{n},$$

სადაც  $n$  აღებული სიდიდის განსაზღვრათა რიცხვია. თუ  $n$  რამდენიმე ათეულია (30—40) და  $r > 0.5$ , მაშინ შეგვიძლია ვირწმუნოთ, რომ  $x$  და  $y$  სიდიდეთა შორის არსებობს კორელაციური დამოკიდებულება ანუ, უბრალოდ, კორელაცია. თუ  $r$  ახლოა 1-თან, მაშინ ამბობენ, რომ კორელაცია მჭიდროა და ცდომილება  $\sigma_r$  ძალიან მცირეა და არცაა მაშინ საჭირო გაზომვათა რაოდენობა  $n$  დიდი იყოს: ერთი სიდიდე სარწმუნოდ განისაზღვრება მეორის მიხედვით. თუ  $0.3 < r < 0.5$ , მაშინ ვიტყვით, რომ განსახილველ სიდიდეთა შორის კორელაცია სუსტია; ამ პირობაშიც  $\sigma_r$  საკმაოდ მცირე (ანუ  $n$  — დიდი) უნდა იყოს. თუ  $r < 0.3$ , კორელაცია არ არსებობს.



თ ა ვ ი II

**ცა. ცის სფერო. მთავარი წერტილები და  
წრეწირები ცის სფეროზე**

§ 18. **ჰორიზონტი.** ასტრონომიული ობიექტებისა და მოვლენების შესწავლა-კვლევის საფუძველსა და პირველსაწყისს დაკვირვება ანუ დამზერა წარმოადგენს. ასტრონომიული მეცნიერების ჩასახვა და ისტორია მაშინ დაიწყო, როცა ადამიანი გარემოსა და ცას დააკვირდა.

ჩვენც გარემოს დაკვირვებით დავიწყეთ ასტრონომიის შესწავლა. ამისათვის უკეთესია გავიდეთ გაშლილ ადგილას—ტრიალ მინდორზე, რათა ხელს არ გვიშლიდეს ახლო ამართული მაღალი ნაგებობანი ან მთები. თუმცა, მაღალი შენობის სახურავიც გამოგვადგება, როგორც ადგილი ამგვარი დაკვირვებისათვის.

ვთქვათ, დღეა; შემოვავლოთ თვალი არე-მარეს, გავიხედოთ სადამდეც თვალი მიგვიწვდება, დავაკვირდეთ გარემოს.

რას დავინახავთ? რა იქნება ის მთავარი, რასაც შევნიშნავთ? დედამიწის ზედაპირის ნაწილს, რომელსაც ჩვენს გარშემო შორ მანძილზე ვხედავთ, წრის მოყვანილობა აქვს; ყოველ მხარეს, ჩვენს ირგვლივ, ყველა მიმართულებით დედამიწის ზედაპირი ერთნაირად შორსაა გაჭიმული. შორს ვხედავთ თითქოს მის ნაპირს ანუ კიდე, წრეწირივით შემოვლებულს. ამ წრეწირის შუაში ჩვენ ვიმყოფებით, უფრო ზუსტად: მის ცენტრში მოთავსებულია ჩვენი ანუ დამკვირვებლის თვალი.

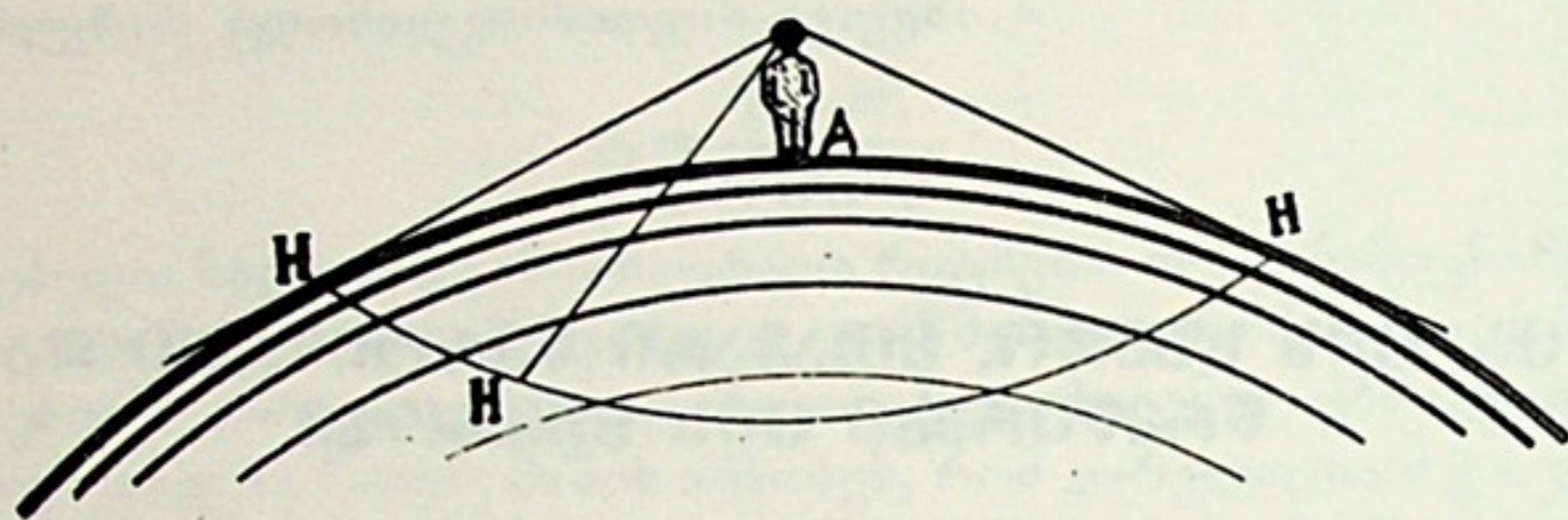
ჩვენს ზემოდან გაშლილია ცა, უზარმაზარი გუმბათივით გადმოფარებული. ამ გუმბათის ანუ ნახევარსფეროს კიდეები თითქოს დედამიწის ზედაპირის შემოსაზღვრელ წრეწირს ებჯინება. აქ თითქოს ცისა და დედამიწის მიჯნაა.

წრეწირს, სადაც თითქოს დედამიწა თავდება და ცა იწყება, ხილული ჰორიზონტის წრეწირს ან, მოკლედ, ხილულ ჰორიზონტს უწოდებენ, ეს წრეწირი ის საზღვარია, სადამდეც დამკვირვებლის თვალი წვდება დედამიწის ზედაპირს. ჰორიზონტი წრიულია იმის გამო, რომ დედამიწას სფეროს მოყვანილობა აქვს.

მე-15 ნახაზზე გამოსახულია დედამიწის სფეროს ნაწილი. A წერტილში დამკვირვებელი იმყოფება. მას თვალი უწვდება მის გარშემო HHH წრეწირამდე. ეს მისი ხილული ჰორიზონტია. როგორც ვხედავთ, აქ სრულიად არაა დედამიწის კიდე ანუ ნაპირი, როგორც ეს მხოლოდ ეჩვენება დამკვირვებელს. ხილული ჰორიზონტი წრეწირია. ამავე დროს ის წარმოადგენს ფუძის პარალელურ კვეთას კონუსისა, რომლის წვერო დამკვირვებლის თვალშია, ხოლო მსახველი თვალდან დედამიწის სფეროსადმი გავლებული მხების მონაკვეთია.



§ 19. ცა. ცის სფერო. არც ცის საზღვარია აქ. ცა მთლიანად გარემოიცავს დედამიწას. თუმცა იგი ისე გვესურათხატება, თითქოს რაღაც ნივთიერი გუმბა-  
იანო, სინამდვილეში უბრალოდ სივრცეა დედამიწის გარშემო. ეს სივრცე უსას-  
რულოა; დედამიწის უშუალო მახლობლობაში იგი უკავია დედამიწის გარემომ-



ნახ. 15

ცველ ატმოსფეროს, რომელიც დღისით მოწმენდილ ცას მისთვის დამახასიათე-  
ბელ მტრედისფერს ანიჭებს; ჰაერის მოლეკულებზე შხის სინათლის გაბნევის  
ფიზიკური კანონზომიერება განსაზღვრავს ამ ფერს. ღამით მოწმენდილი ცა  
ბნელია, თითქმის „შავია“ და მიუხედავად ამისა, მოკიაფე ვარსკვლავებით მო-  
ჭედილი ცაც ტოვებს ნახევარსფეროს შთაბეჭდილებას. ცის გუმბათს ხშირად  
ცის თაღს ან ცამრგვალს უწოდებენ. რადგანაც დედამიწის გარშემო  
უსასრულო სივრცეში ყველა მიმართულებით თითქმის ერთნაირ მანძილზე ვხე-  
დავთ მზეს, მთვარეს, ვარსკვლავებს და, საერთოდ, ყველა მნათობს, სურათი  
თავისთავად ისე წარმოგვიდგება, თითქოს მნათობები ერთი სფეროს შიდა ზედა-  
პირზე მდებარეობენ, ხოლო ჩვენ (დამკვირვებლის თვალი) ამ სფეროს ცენტრში  
ვიმყოფებით. ცას აღვიქვამთ როგორც სფეროს შიდა ზედაპირს.

ნებისმიერი რადიუსის მქონე წარმოსახვით სფეროს, — ცენტრით სივრცის  
რომელიმე წერტილში, — რომლის ზედაპირზე მნათობები აღნიშნულია ისე, რო-  
გორც ისინი ცენტრიდან ჩანან დროის რომელიმე მომენტში, ეწოდება ცის  
სფერო.

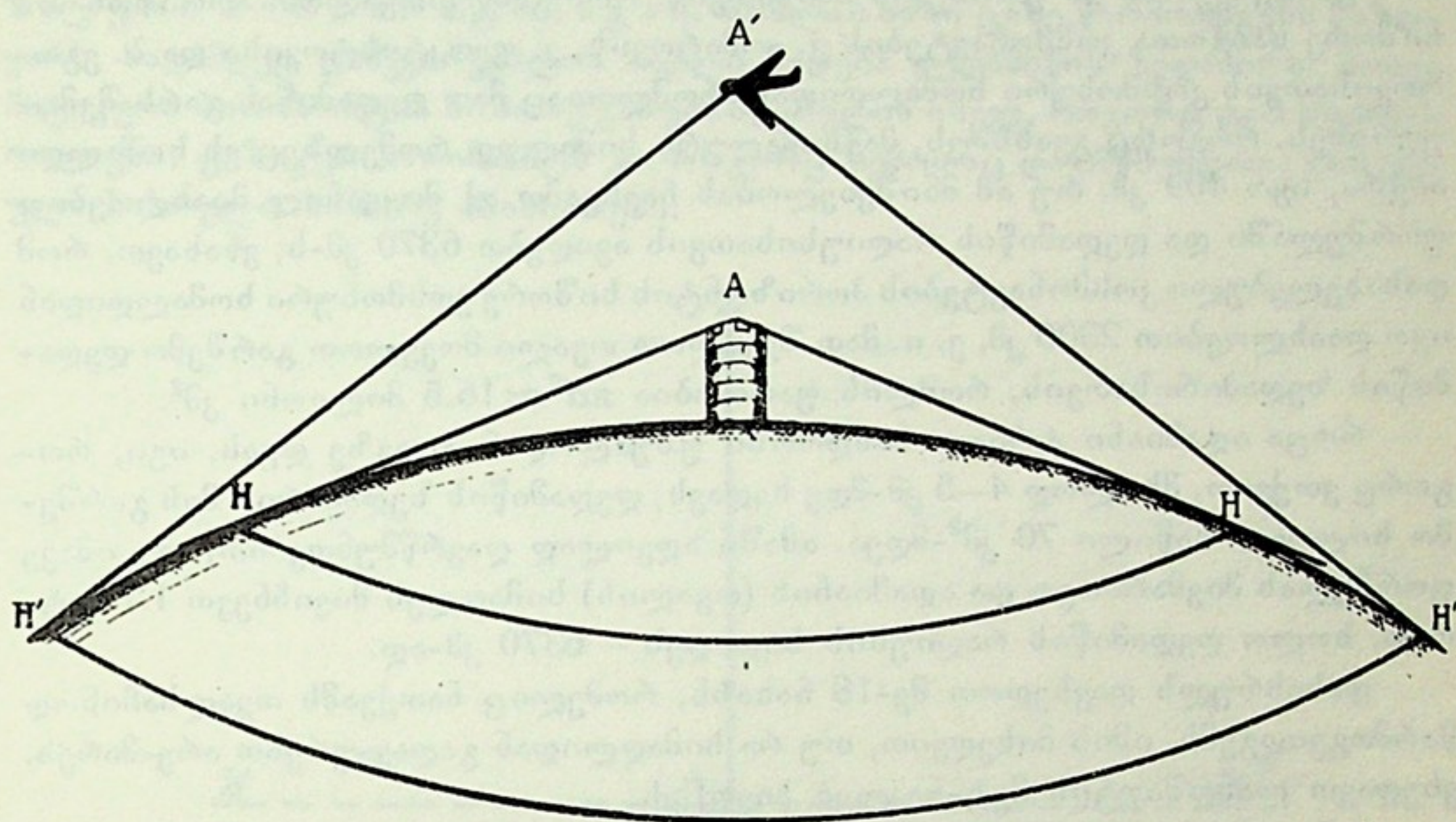
ცის სფეროს ზედაპირამდე „მანძილი“ განუსაზღვრელია და არ გა-  
მოიხატება სიგრძის ერთეულის გარკვეული რიცხვით. ამიტომ ცის სფეროს რა-  
დიუსი შეგვიძლია ჩავთვალოთ 1-ის ტოლად. მაშასადამე, ცას განვი-  
ხილავთ როგორც ერთეულიანი რადიუსის მქონე სფეროს. ასეთი წარმოდგენა  
გაგვიადვილებს როგორც მოვლენების გეომეტრიულ ინტერპრეტაციას, ისე გა-  
მოთვლებს.

§ 20. ჰორიზონტის სიშორე. კვლავ ჰორიზონტს დავაკვირდეთ. თუ მინდორ-  
ში დედამიწის ნიადაგზე ვდგავართ, ჩვენი თვალთახედვის არე დიდი არაა; ჩვენი  
ჰორიზონტის სიშორე სულ 4—5 კმ-ია; ე. ი. ამ მანძილამდე ვხედავთ  
ჩვენს გარშემო ყოველი მიმართულებით, ტრიალ მინდორში ან შუა ზღვაში. თუ  
ახლა რაიმე ამაღლებულ ადგილზე ავალოთ, მაგალითად, მაღალი ნაგებობის თავ-  
ზე ან ტრიალ მინდორში ამართულ ბორცვზე, დედამიწის ზედაპირი, მისი სიმ-  
რუდის გამო, უფრო შორს დაინახება; ჩვენი დაკვირვების ჰორიზონტი გაფარ-  
თოვდება; ჰორიზონტის სიშორე მოიმატებს.

მე-16 ნახაზზე გამოხატულია ორი შემთხვევა; პირველი, — როცა დამკვირვე-  
ბელი, ვთქვათ, 100 მ სიმაღლის კოშკიდან აკვირდება (A); მეორე, — როცა იგი



თვითმფრინავიდან აკვირდება, რომლის სიმაღლე 1000 მ-ია ( $A'$ ). პირველ შემთხვევაში  $HH'$  ჰორიზონტის სიშორე დაახლოებით 35 კმ-ია, ხოლო მეორეში  $H'H'$  თითქმის 115 კმ. მაშასადამე, ჰორიზონტის სიშორე დამოკიდებულია დამკვირვებლის მდებარეობის სიმაღლეზე.



ნახ. 16

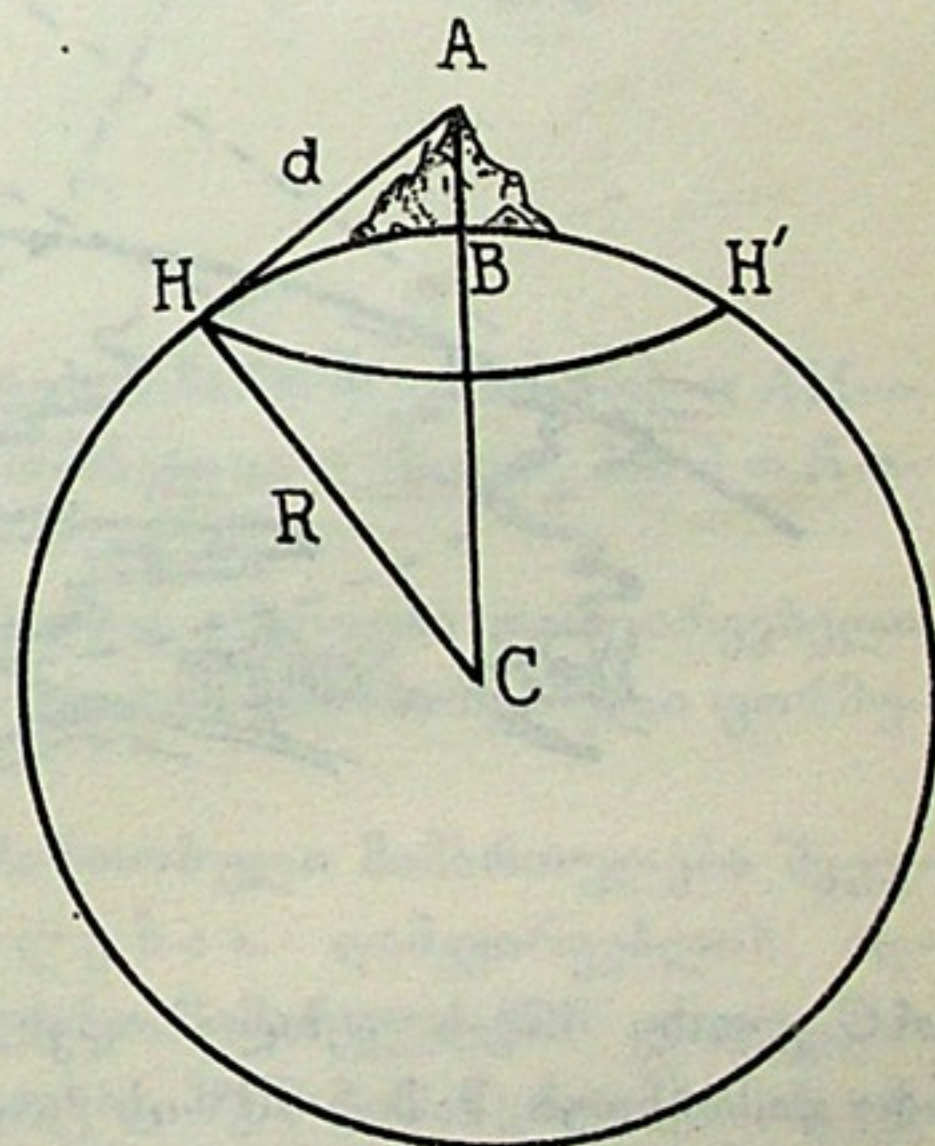
ადვილად გამოვიყვანოთ ჰორიზონტის სიშორის გამოსათვლელ ზოგად ფორმულას. მე-17 ნახაზზე გამოსახულია დედამიწა. მისი ცენტრი აღნიშნულია  $C$  წერტილით.  $CH$ , ისევე როგორც  $CB$ , დედამიწის სფეროს რადიუსია, აღვნიშნოთ იგი  $R$ -ით.  $BA$  მთის სიმაღლეა, რომელზეც  $A$  წერტილში დამკვირვებელი დგას. ეს სიმაღლე აღვნიშნოთ  $h$ -ით. დამკვირვებლის ჰორიზონტის სიშორე გამოიხატება მონაკვეთით  $AH = d$ , რომლითაც „შემოწერილია“ ხილული ჰორიზონტის  $HH'$  წრეწირი. ცხადია, რომ  $AH$  ამასთანავე  $A$  წერტილიდან სფეროსადმი გავლებული მხეხის მონაკვეთია. ამიტომ  $AHC$  მართკუთხა სამკუთხედიდან გვაქვს:

$$d^2 = (R + h)^2 - R^2$$

ანუ

$$d = \sqrt{2Rh + h^2}.$$

ამ უკანასკნელი ფორმულით გამოითვლება დამკვირვებლის ჰორიზონტის სიშორე, მისი სიმაღლით განპირობებული. იგულისხმება, რომ დედამიწის რადიუსის მნიშვნელობა ცნობილია. რადგანაც პრაქტიკაში  $h$  ყოველთვის ძალიან მცირეა  $R$ -თან შედარებით,



ნახ. 17



უკანასკნელ ფორმულაში შეგვიძლია უკუვაგდოთ  $h^2$  და მაშინ ხილული ჰორიზონტის სიშორის გამოსათვლელად გვექნება უფრო მარტივი, მაგრამ მიახლოებითი ფორმულა:

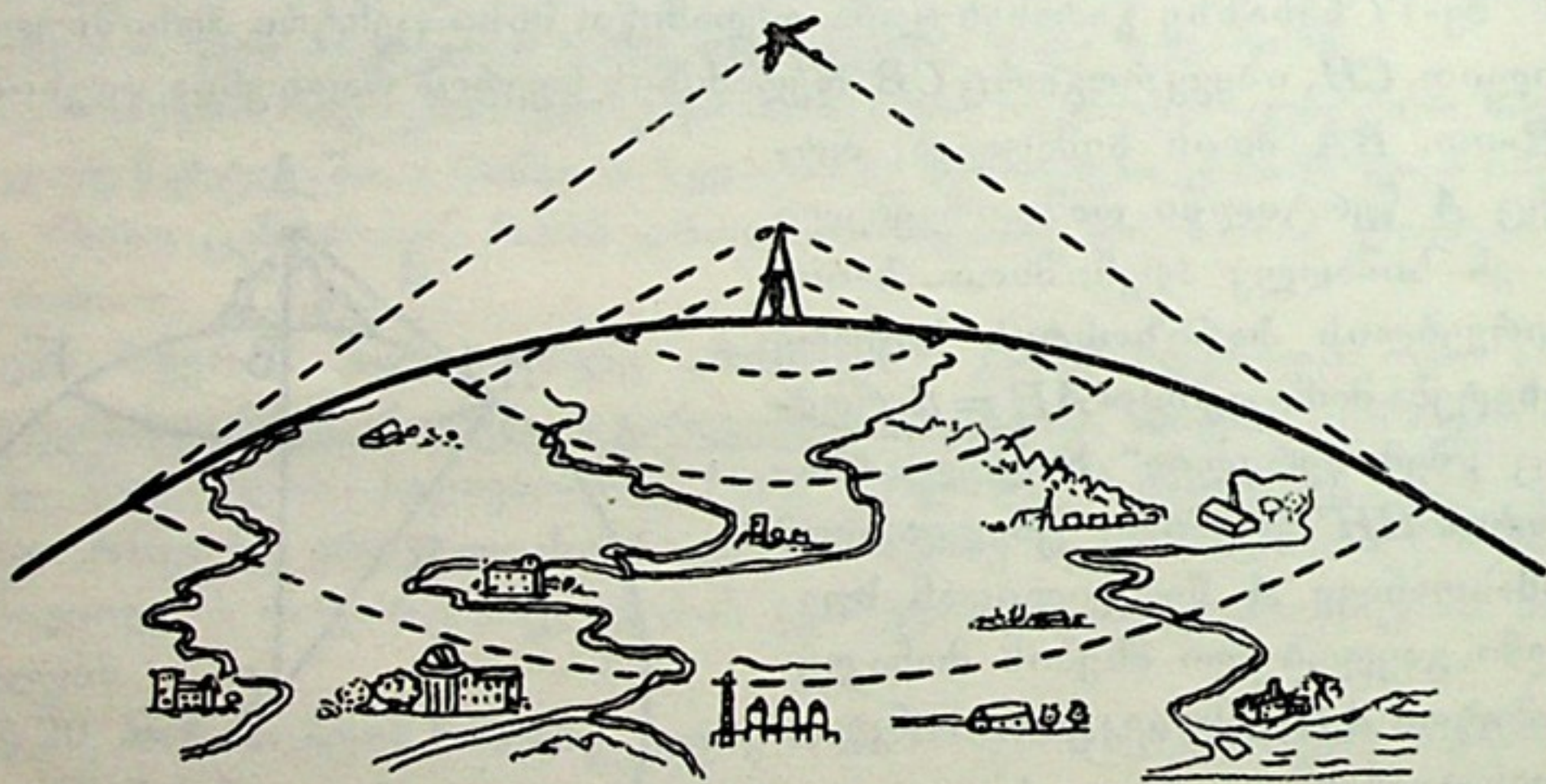
$$d = \sqrt{2Rh}.$$

გამოვიყენოთ ეს ფორმულა იმისათვის, რომ გამოვითვალოთ ჰორიზონტის სიშორე საბჭოთა კოსმონავტების ვ. კომაროვის, კ. ფეოქტისტოვისა და ბ. ეგოროვისათვის კოსმოსური ხომალდიდან, რომლითაც მათ დედამიწას გარს შემოუფრინეს. როგორც გვახსოვს, მაქსიმალური სიმაღლე, რომელზეც ეს ხომალდი აიჭრა, იყო 409 კმ. თუ ამ მნიშვნელობას ჩავსვამთ აქ მოყვანილ მიახლოებით ფორმულაში და დედამიწის რადიუსისათვის ავიღებთ 6370 კმ-ს, ვნახავთ, რომ დასახელებული კოსმონავტების ჰორიზონტის სიშორე კოსმოსური ხომალდიდან იყო დაახლოებით 2300 კმ, ე. ი. მათ შეეძლოთ თვალი მოეწყოთ გარშემო დედამიწის ზედაპირისათვის, რომლის ფართობია  $\pi d^2 \approx 16.5$  მილიონი კმ<sup>2</sup>.

როცა ადამიანი ტრიალ მინდორში უშუალოდ ნიადაგზე დგას, იგი, როგორც ვთქვით, მხოლოდ 4—5 კმ-მდე ხედავს; დედამიწის ზედაპირის მის გარშემო ხილული ნაწილი 70 კმ<sup>2</sup>-მდეა. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ იმავე ფორმულას მივმართავთ და ადამიანის (თვალის) სიმაღლეს მივიჩნევთ 1.7 მეტრად, ხოლო დედამიწის რადიუსის სიდიდეს — 6370 კმ-ად.

დასასრულს დავხედოთ მე-18 ნახაზს, რომელიც ნათქვამს თვალსაჩინოდ წარმოგვიდგენს. იმის მიხედვით, თუ რა სიმაღლიდან გადავყურებთ არე-მარეს, ვხედავთ ლანდშაფტის მეტ-ნაკლებ სივრცეს.

გამოვითვალოთ, რა სიმაღლიდან დაინახავს კოსმონავტი დედამიწას 90°-ის ტოლი კუთხის ქვეშ? (აგებულ უნდა იქნეს მე-17-ის მსგავსი ნახაზი ისე, რომ



ნახ. 18

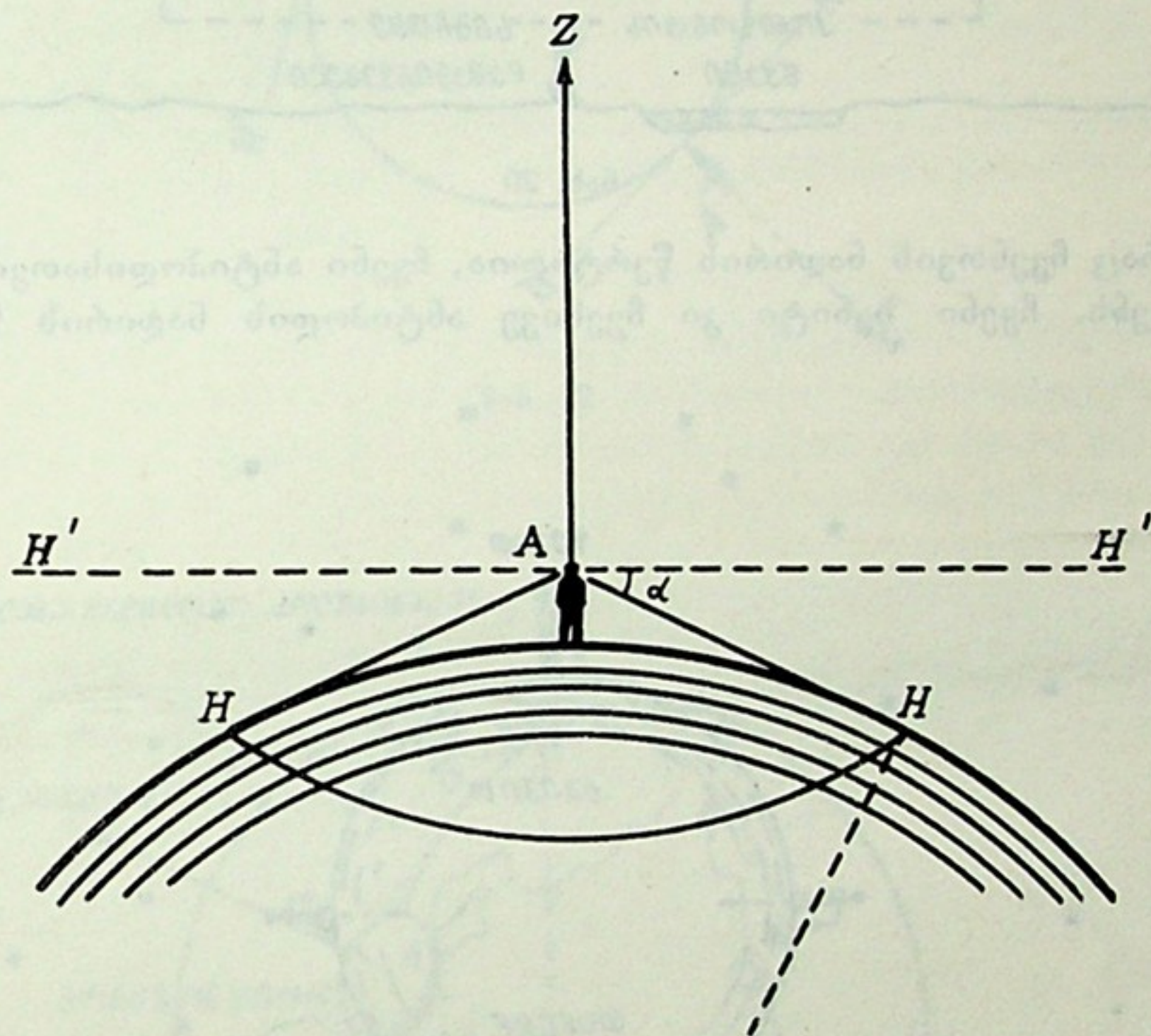
**ნახ. 18** კუთხე 45°-ს ეტოლებოდეს; მართლაც, თუ დედამიწა 90°-ის კუთხით უნდა გამოჩნდეს, მაშინ 90°-ის ტოლი უნდა იყოს  $A$  კუთხე, რომელიც შედგება  $A$ -დან  $H$  და  $H'$ -ზე გავლებული მხედველობის ხაზებისაგან. მაშინ ადვილად გამოითვლება  $d$  და ამის შემდეგ  $R + h$  და  $h$ ).

**§21. ჰორიზონტის დაწევა.** როგორც მე-19 ნახაზიდანაც ჩანს, მიმართულება ხ ი ლ უ ლ ი ჰორიზონტის  $HH$  წრეწირის რომელიმე წერტილისაკენ როდი თან-



ხვდება ჭეშმარიტ ჰორიზონტულ მიმართულებას  $H'H'$ , რომელსაც ჩვენ „უძრავი წყლის ზედაპირის მიმართულებას“ ვუწოდებთ.

ახლა შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დიდი წრეწირი, რომელსაც ქმნის ჰორიზონტული სიბრტყის გადაკვეთა ცის სფეროსთან, არის ჭეშმარიტ ანუ მათემატიკური ჰორიზონტი. იგი განსხვავებულია ხილული ანუ ფიზიკური ჰორიზონტისაგან, რომლის ხაზი ცაზე წარმოადგენს საზღვარს, სადამდეც დამკვირვებლის თვალი წვდება დედამიწის ზედაპირს. მათემატიკური ჰორიზონტის სიშორე განუსაზღვრელია ისევე, როგორც ცის სფეროს რადიუსი. ფიზიკურ ჰორიზონტს კი, როგორც ზემოთაც დავრწმუნდით, გარკვეული სასრულო სიშორე ახასიათებს.



ნახ. 19

მე-19 ნახაზზე  $H'H'$  ჭეშმარიტი ჰორიზონტის მიმართულებაა, ხოლო  $AH$  — ხილული ჰორიზონტისა. მათ შორის კუთხე აღნიშნულია  $\alpha$  ასოთი. მას ჰორიზონტის დაწვევა ეწოდება.

ადვილი მისახვედრია, რომ, რაც უფრო მაღლა იმყოფება დამკვირვებელი ზღვის დონიდან, მით მეტია ეს კუთხე. დაწვევის კუთხის გამოსათვლელი ფორმულა გამოჰყავთ საზღვაოსნო ასტრონომიაში.

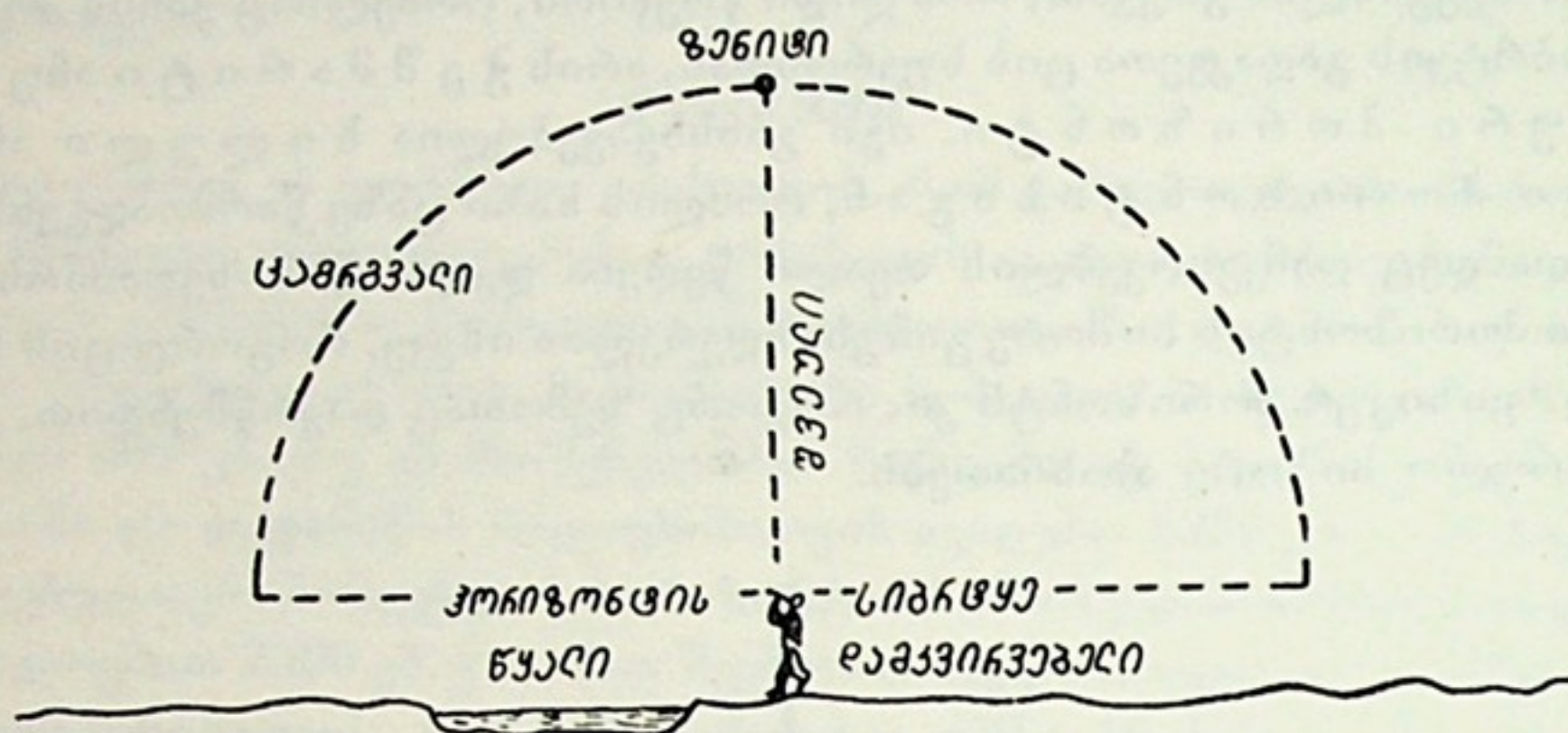
**§ 22. ზენიტი.** ჭეშმარიტი ჰორიზონტის მართობული მიმართულება შევეული ანუ ვერტიკალური მიმართულებაა. დამკვირვებლის ადგილიდან (თვალიდან) გავლებული ვერტიკალური მიმართულების გადაკვეთა ცის სფეროსთან გვაძლევს  $Z$  წერტილს, რომელსაც ზენიტის წერტილი ან უბრალოდ ზენიტი ეწოდება (სიტყვა არაბული წარმოშობისაა). ზენიტი პირდაპირ დამკვირვებლის თავს ზემოთ არის მოთავსებული, რაც მე-20 ნახაზზე თვალნათლივანა წარმოდგენილი.

თუ  $ZA$  მიმართულებას „ქვევით“ გაგრძელებულად წარმოვიდგენთ, მისი



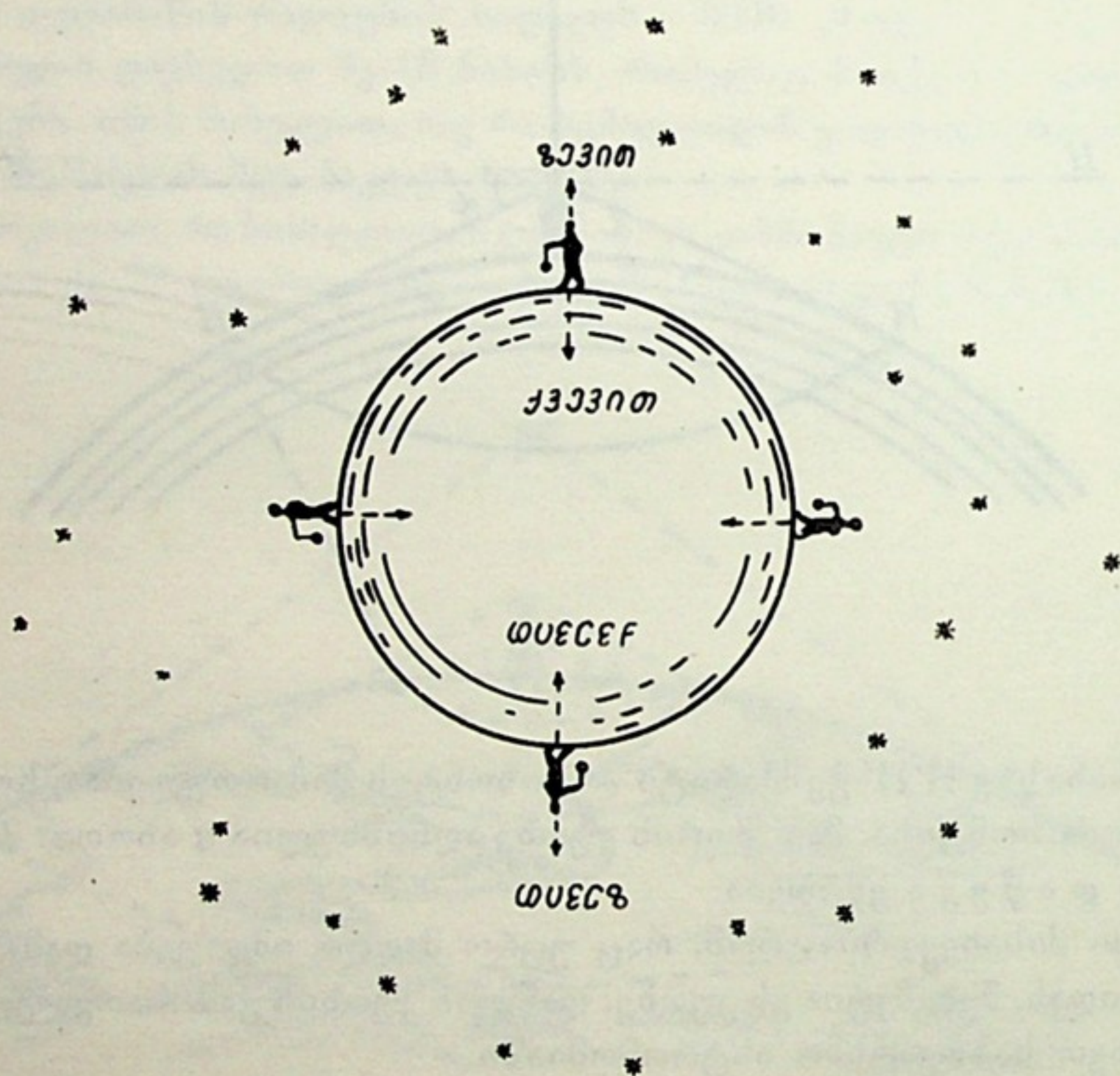


გადაკვეთით ცის სფეროსთან მივიღებთ წერტილს, რომელსაც ნ ა დ წერტილი ეწოდება.



ნახ. 20

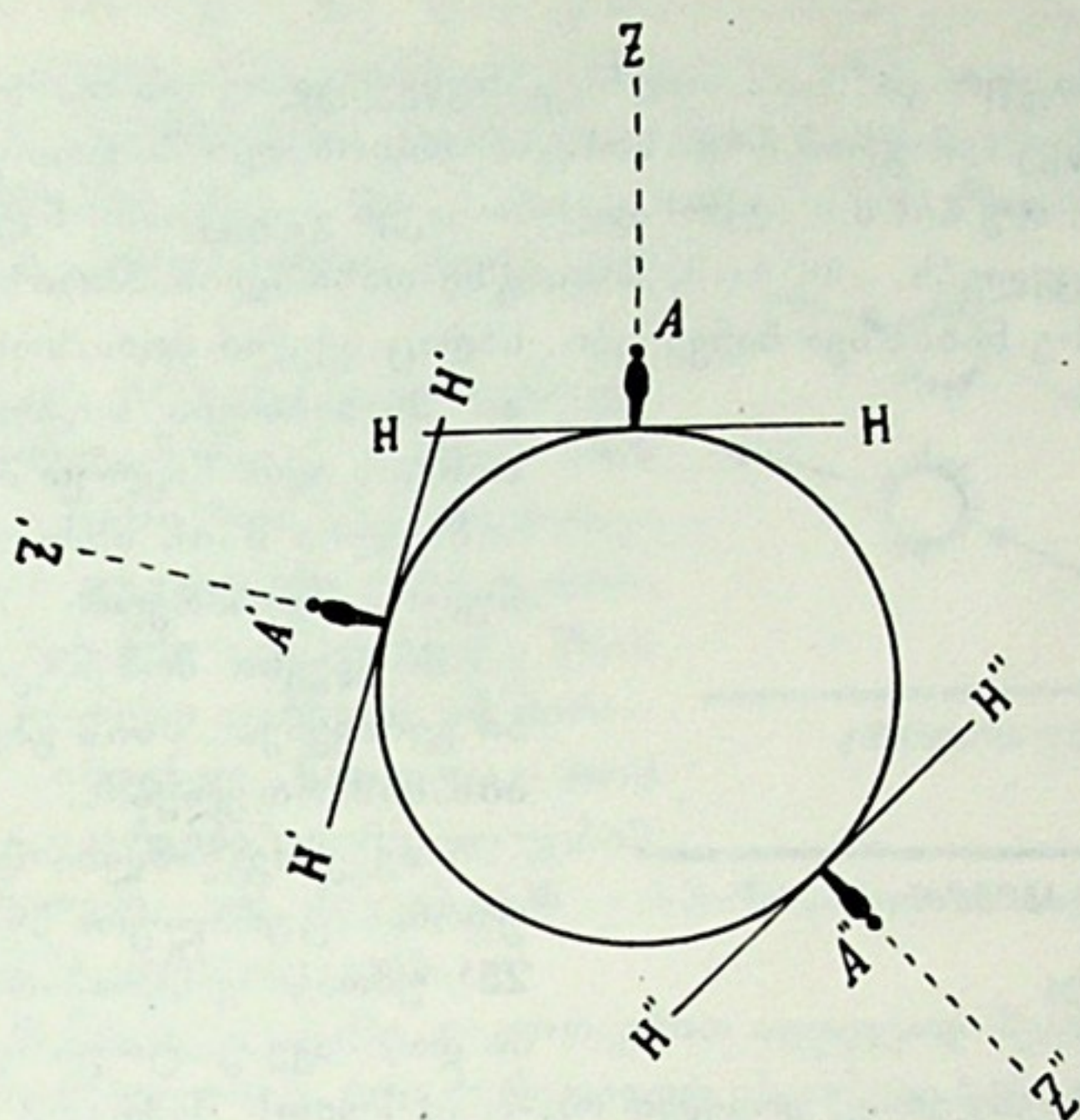
ის, რაც ჩვენთვის ნადირის წერტილია, ჩვენი ანტიპოდისათვის ზენიტს წარმოადგენს. ჩვენი ზენიტი კი ჩვენივე ანტიპოდის ნადირის წერტილია (ნახ. 21).



ნახ. 21

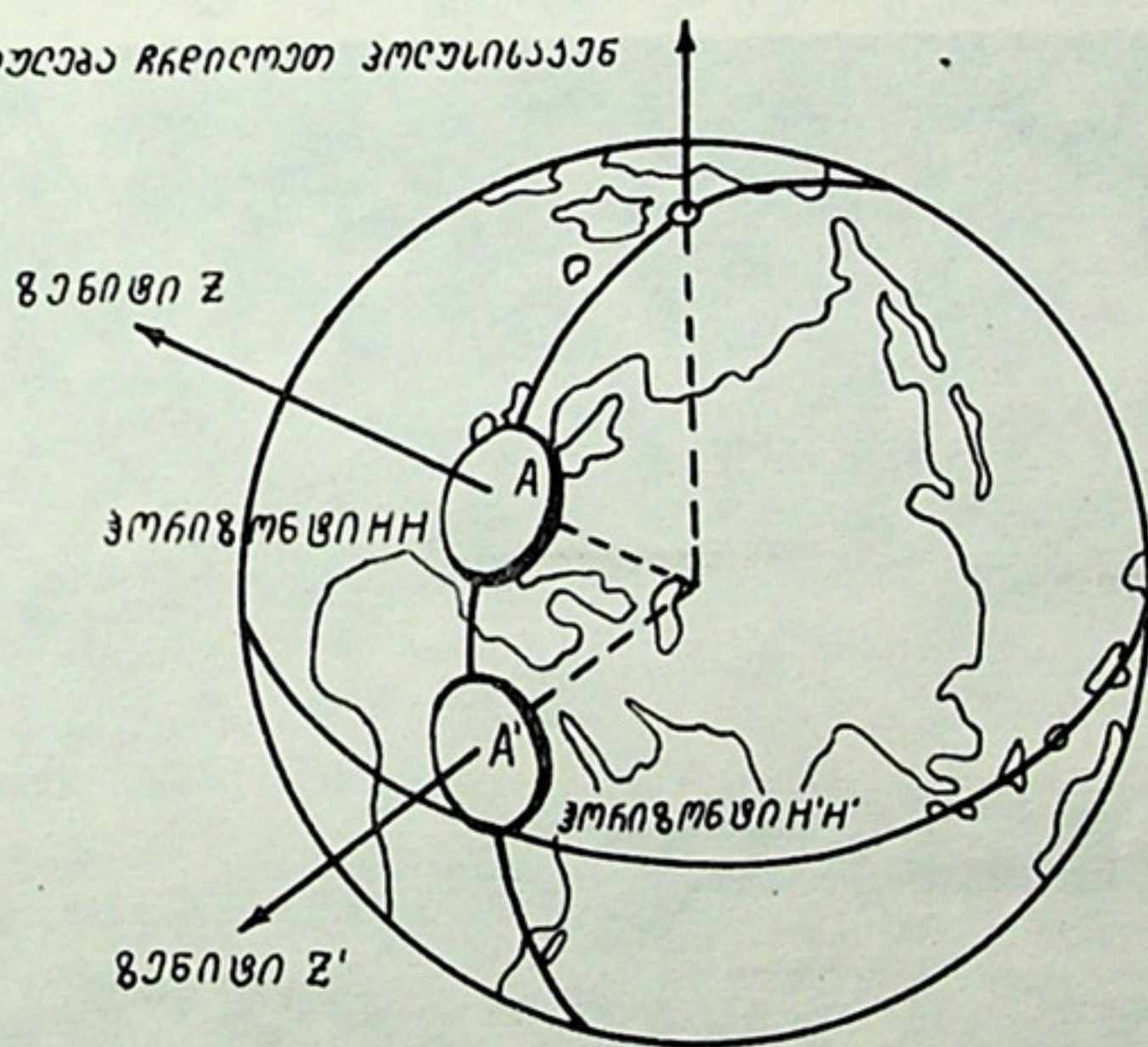
ცხადია, რომ ზენიტი სხვადასხვა დამკვირვებლისათვის სხვადასხვა წერტილია მოთავსებული. ასევე, ყოველ დამკვირვებელს თავისი პორიზონტი შეესაბამება. ეს ილუსტრირებულია 22-ე ნახაზით, რომელზეც სამ დამკვირვებელს  $A$ ,  $A'$  და  $A''$  შეესაბამება სამი სხვადასხვა ზენიტის წერტილი  $Z$ ,  $Z'$ ,  $Z''$  და სამი სხვადასხვა პორიზონტი  $HH$ ,  $H'H'$  და  $H''H''$ . დამატებით ილუსტრაციას იძლევა 23-ე ნახაზი.





ნახ. 22

მიმართულება ჩვეულებით პოლუსისაკენ



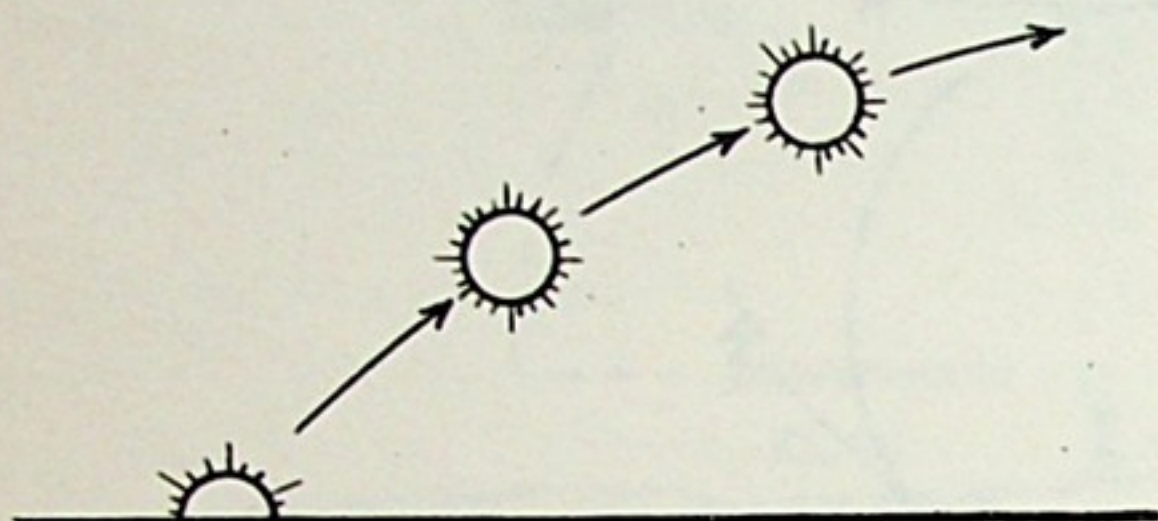
ნახ. 23

§ 23. მნათობის ამოსვლა-ჩასვლა და ხილული მოძრაობა ცაზე. უბრალო, მაგრამ სისტემატური დაკვირვება ცაზე გვიჩვენებს, რომ ყოველ დილით მზე ამოდის პორიზონტის ერთ მხარეზე, რომელსაც აღმოსავლეთ მხარეს ვუწოდებთ. მზის ამოსვლით იწყება დღე. ამოსვლის შემდგომ მზე გადაადგილდება ცა-





ზე, თითქოს ნელა „მიცურავს“ ცის თაღზე განუწყვეტლივ და თანდათან სულ ზევით და ზევით მიიწევს, მაგრამ ჰორიზონტს მართობული მიმართულებით კი არ შორდება, არამედ, თუ პირით აღმოსავლეთისაკენ ვდგევართ, ჩვენს მიმართ მარჯვნივაც გადაინაცვლებს. ასე რომ, მისი გზა დახრილია ჰორიზონტის მიმართ, როგორც ეს 24-ე ნახაზზეა ნაჩვენები, სადაც სქელი ჰორიზონტული ხაზი შეესაბამება ხილული ჰორიზონტის აღმოსავლეთ მხარეს; აღნიშნულია მზის სამი თანმიმდევრული მდებარეობა ამოსვლისა და მომდევნო მომენტებში. ისრები გვიჩვენებს მზის გადაინაცვლების მიმართულებას.



ჰორიზონტის აღმოსავლეთი მხარე

ნახ. 24

აქვე შეგვიძლია მოვიყვანოთ უფრო ნატურალური სურათი (ნახ. 25). უძრავი ფოტოაპარატით ერთსა და იმავე ფოტოფირფიტაზე გადაღებულია მზე რამდენჯერმე, ყოველი ოც-ოცა წუთის შემდგომ.

მზე ამგვარი მოძრაობით ცამრგვალზე შემოწერს ფართო რკალს. შუადღისას იგი ცის სამხრეთ მხარეზე მაქსიმალურად მაღლა იქნება ჰორიზონტიდან. ამის შემდგომ კი ნელ-ნელა დაეშვება ჰორიზონტისაკენ, მის დასავლეთ



ნახ. 25

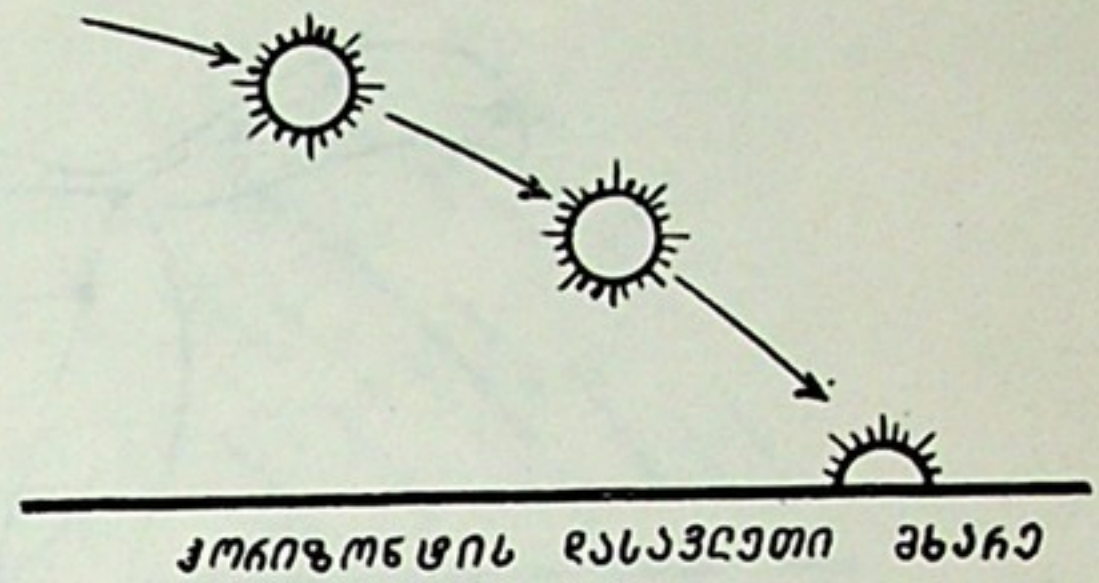
მხარეზე, რომელიც აღმოსავლეთის მოპირდაპირეა. თუ დავაკვირდებით მზეს მისი ჩასვლის მომენტის მახლობლობაში, შევნიშნავთ, რომ აქაც იგი მართობულად კი არ ჩაეშვება ჰორიზონტისაკენ, არამედ მისი გზა ცამრგვალზე ჰორიზონტის ხაზის მიმართ დახრილია; მზე უახლოვდება მას ზევიდან და ჩვენს მიმართ მარცხნიდან, თუ პირით დასავლეთისაკენ ვდგევართ (ნახ. 26).

მზის ჩასვლით მთავრდება დღე, ხანმოკლე ბინდის (იხ. დაწვრილებით ქვემოთ) შემდგომ დაღამდება და ღამე გაგრძელდება, სანამ მზე მეორე დილით კვლავ



არ ამოვა ჰორიზონტზე მის აღმოსავლეთ მხარეზე თითქმის სწორედ იქ, სადაც წინა დღეს ამოვიდა. ამგვარად, მზე თითქოს გარშემო უვლის დედამიწას. სანამ მზე ჩვენთვის ჰორიზონტის ქვეშაა, მისი სხივები არ ეფინება ჩვენს არე-მარეს და ამიტომ ჩვენს გარშემო ღამეა. სამაგიეროდ ამ დროს მზე ანათებს იმ ადგილებს, სადაც ჩვენი ანტიპოდებია და იქ დღე სუფევს.

ღამით ცა ვარსკვლავებითაა მოფენილი. დღისით ისინი არ მოჩანან იმის გამო, რომ კაშკაშა მზის სხივები ძლიერად ანათებს დედამიწის ატმოსფეროს, ატმოსფეროს ნაწილაკებზე ხდება მზის სინათლის ძლიერი გაბნევა; ამ პირობებში ცა იმდენად ნათელია, რომ მის ფონზე „იკარგება“ ვარსკვლავების მკრთალი ნათება. თუ ტელესკოპს ვიხმართ, დღისითაც დავინახავთ შედარებით კაშკაშა ვარსკვლავებს.



ნახ. 26 .

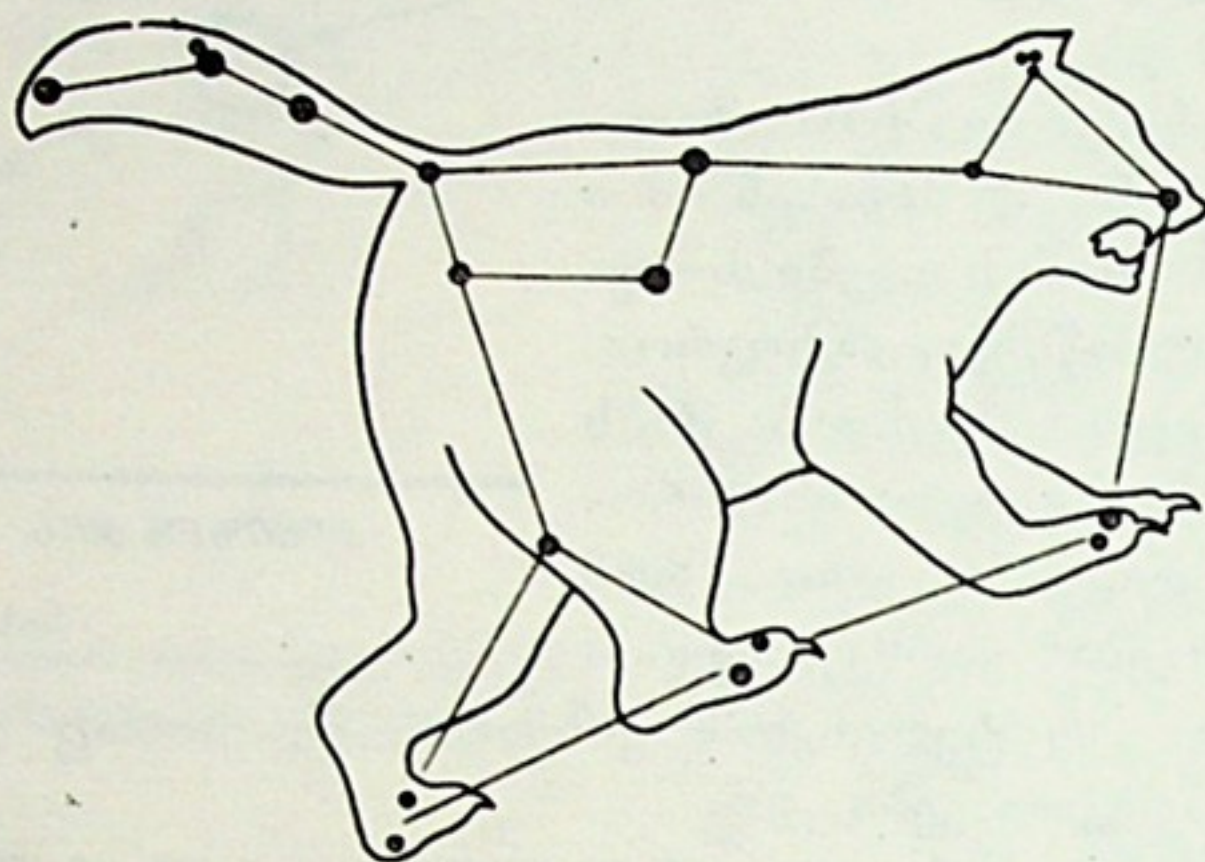
ღამის მოწმენდილ ცაზე დაკვირვებით ადვილად შევნიშნავთ ვარსკვლავების ამოსვლა-ჩასვლასაც, რაც ძირითადად ისეთსავე ხასიათს ატარებს, როგორსაც მზისა (თუმცა ზოგიერთი განსხვავებით, რასაც თავის ადგილას აღვნიშნავთ). მთვარის ნაკვალევიც ცაზე ამოსვლიდან ჩასვლამდე ძირითადად იმგვარივეა, როგორიც მზისა. მზისა და მთვარის მოძრაობა ცაზე თვალში გვხვდება და ადვილად შესამჩნევია. ვარსკვლავებს კი უფრო გულმოდგინედ უნდა დავაკვირდეთ. რათა მათი მოძრაობის თვისებები შევნიშნოთ.

ბნელ, უმთვარო ღამით მოწმენდილი ცა მოჭედულია აურაცხელი ვარსკვლავით. ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან სიკაშკაშით და ფერითაც. ამასთანავე მათი განლაგება ცაზე როდია მწყობრი; ისინი არათანაბრად, თითქოს ცალ-ცალკე ჯგუფებად გაერთიანებულან, ერთგვარი კრებულების სახით. ამგვარ კრებულებს ან ჯგუფებს თ ა ნ ა ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ე ბ ი ე წოდება. ჯერ კიდევ უძველესი დროის ადამიანმა შეაერთა თავის წარმოდგენაში ვარსკვლავები ჯგუფებად, რომლებიც საგნების, ფრინველების, მხეცების ან ადამიანის ფორმით წარმოესახა და ამ წარმოსახვის მიხედვით მიაკუთვნა მათ სახელწოდებები. ეს წარმოდგენები და თანავარსკვლავედთა სახელწოდებებიც დაკავშირებული იყო ცრურწმენასთან, მითოლოგიასთან და ლეგენდებთან. კარგად ცნობილია და ადვილად გამოსარჩევი, მაგალითად, ე. წ. დ ი დ ი დ ა თ ვ ი ს თანავარსკვლავედები, რომელმაც ცის ჩრდილოეთ მხარეზე მოჩანს, ძირითადად, შვიდი შედარებით კაშკაშა ვარსკვლავის სახით. თუმცა მისი მოყვანილობა დიდად როდი მოგვაგონებს მაინცდამაინც დათვის ფიგურას, მაგრამ ცრურწმენით შეპყრობილი ძველი დროის ადამიანის ფანტაზიას მიუმსგავსებია იგი დათვისათვის (ნახ. 27). თანავარსკვლავედების მოხაზულობასა და სახელწოდებებს ამჟამადაც ხმარობენ ვარსკვლავიერ ცაზე ორიენტაციისათვის.

მოწმენდილ უმთვარო ღამით გამოვიდეთ გარეთ, გაშლილ ადგილას, დავდგეთ პირით ჩრდილოეთისაკენ და დავაკვირდეთ ცას. ჩრდილოეთ მხარეზე, როგორც უკვე ვთქვით, ადვილად გამოვარჩევთ შვიდი კაშკაშა ვარსკვლავის ჯგუფს—დიდი დათვის თანავარსკვლავედს. დავაკვირდეთ მას ხანგრძლივად. ერთი-ორი საათის შემდეგ აშკარად დავრწმუნდებით, რომ, თუმცა თანავარსკვ-

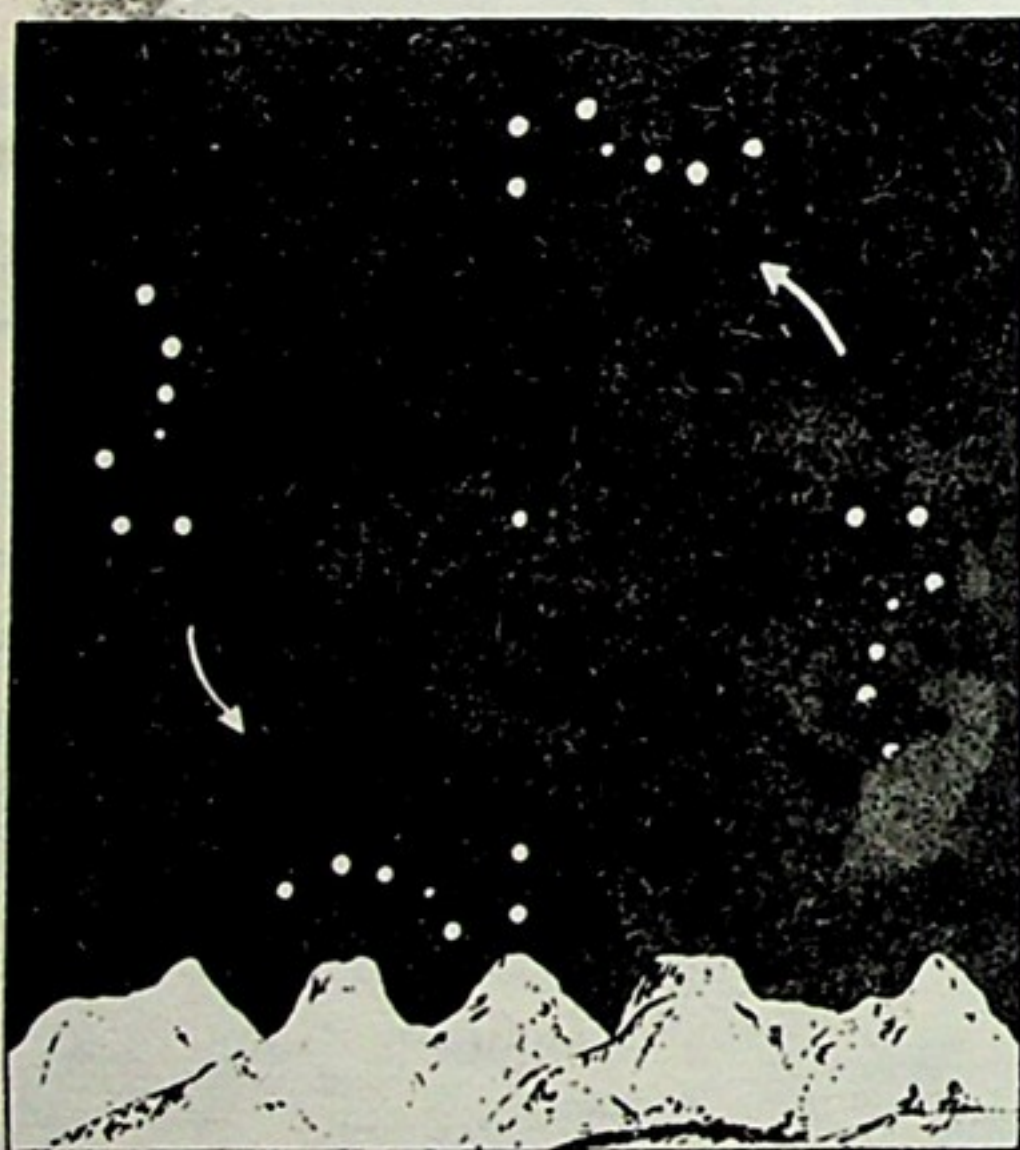


ლავედის შემადგენელი შვიდი ვარსკვლავის ურთიერთგანლაგება არ შეცვლილა და ისინი კვლავ იმავე ფიგურას ქმნიან, მიუხედავად ამისა, მთლიანი ჯგუფის ადგილმდებარეობა ცაზე განსხვავებულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ თანავარსკვ-



ნახ. 27

ლავედმა გადაინაცვლა; იგი შებრუნდა ცაზე საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. 28-ე ნახაზზე გამოხატულია დიდი დათვის თანავარსკვლავედის



ნახ. 28

ოთხი თანმიმდევრობითი მდებარეობა ცაზე; ისარი გადაადგილების მიმართულებას უჩვენებს.

ცაზე ვარსკვლავების ხილული მოძრაობის ეს სურათი განსხვავდება იმისაგან, რაც მზის მიმართ შევნიშნეთ და ან იმ ვარსკვლავებზეც შევნიშნავთ, რომლებიც ჰორიზონტის აღმოსავლეთ წერტილის ახლო ამოდიან. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში ვარსკვლავების მოძრაობა ცაზე ისე გვესურათხატება, როგორც ეს 29-ე ნახაზზეა. ვარსკვლავების „ნაკვალევი“ ცაზე ისრებითაა აღნიშნული. მსგავსი სურათი წარმოგვიდგება ჰორიზონტის დასავლეთ მონაკვეთზე, სადაც ვარსკვლავები

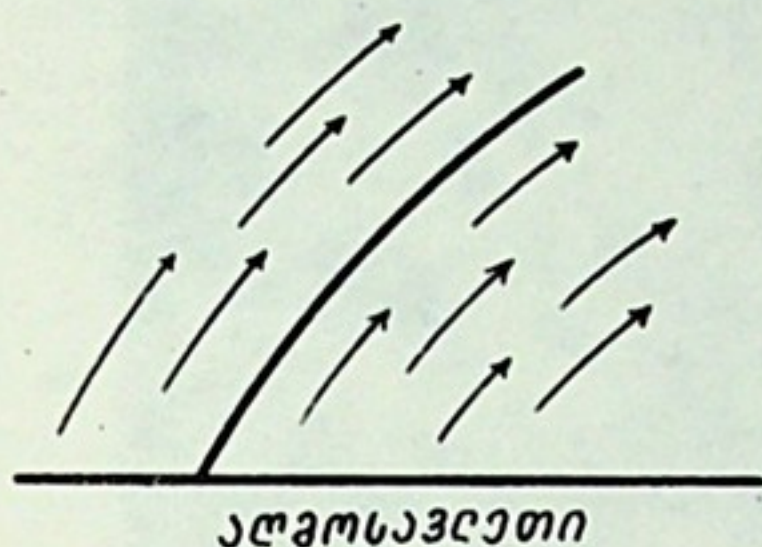
უახლოვდებიან ზევიდან ჰორიზონტს და ჩადიან მის ქვემოთ (ნახ. 30).

უკეთესს წარმოდგენას გვაძლევს ნახ. 31-ე. ფოტოაპარატი უძრავად იყო მიმართული მოწმენდილი ღამის ცაზე რამდენიმე საათის განმავლობაში დასავლეთისაკენ. ფოტოფირფიტაზე აღიბეჭდა ჰორიზონტის დასავლეთით ჩამავალ ვარსკვლავთა კვალი.

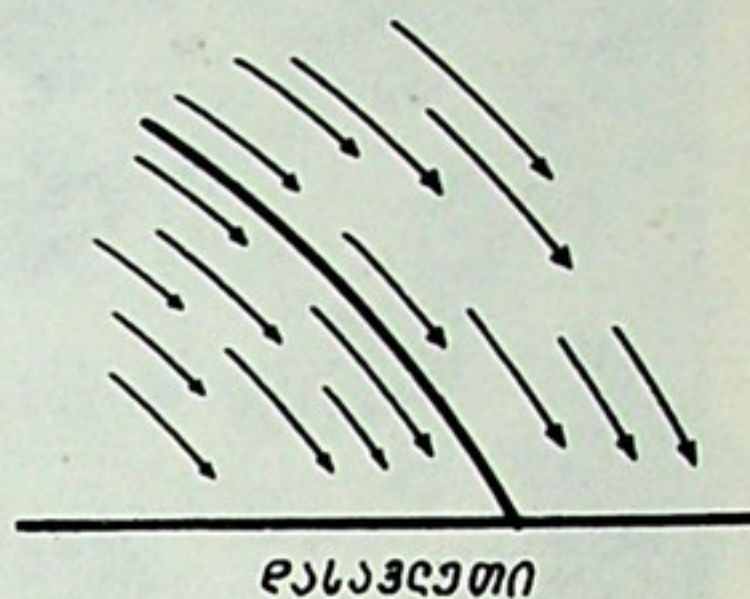
ეს ორივე შემთხვევა განსხვავდება იმისაგან, რაც დიდი დათვის თანავარსკვლავედზე დაკვირვებით შევნიშნეთ და რაც შეეხება, საერთოდ, ცის ჩრდი-



ლოეთ მხარეზე მოძრავ ვარსკვლავებს (ნახ. 28). აქ, ჩრდილოეთ მხარეზე თანა-  
ვარსკვლავედების მთელი ჯგუფებისათვის ამოსვლა-ჩასვლა არ ხდება. ისინი



ნახ. 29

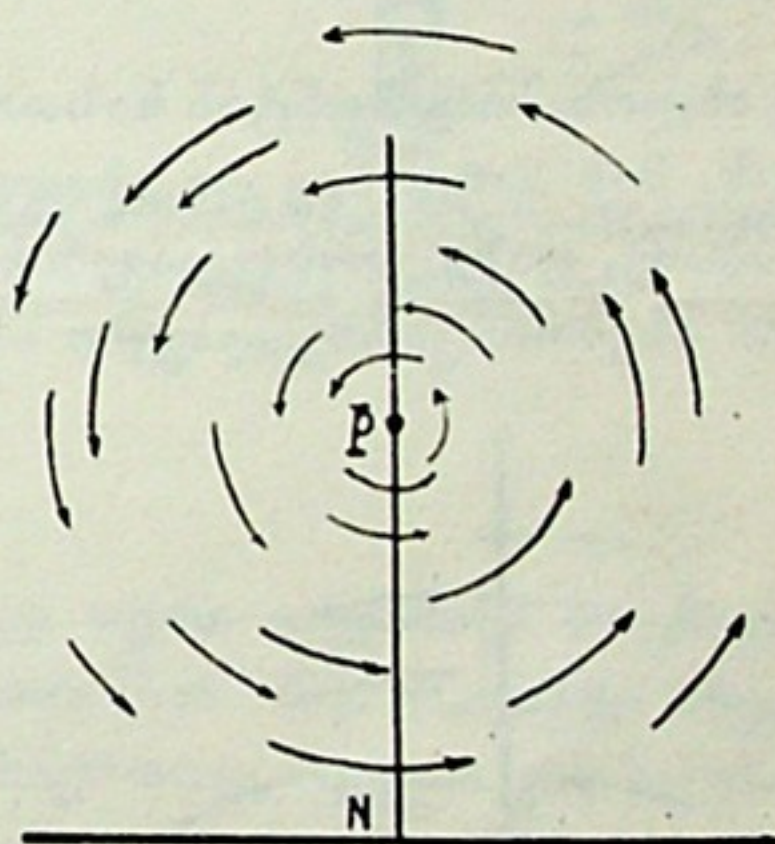


ნახ. 30

გარშემო უვლიან რომელიღაც წერტილს და პორიზონტს არ გადაკვეთენ,  
მაშასადამე, ჩაუსვლელნი არიან და მუდამ პორიზონტის ზევით იმყოფებიან  
(ნახ. 32).



ნახ. 31



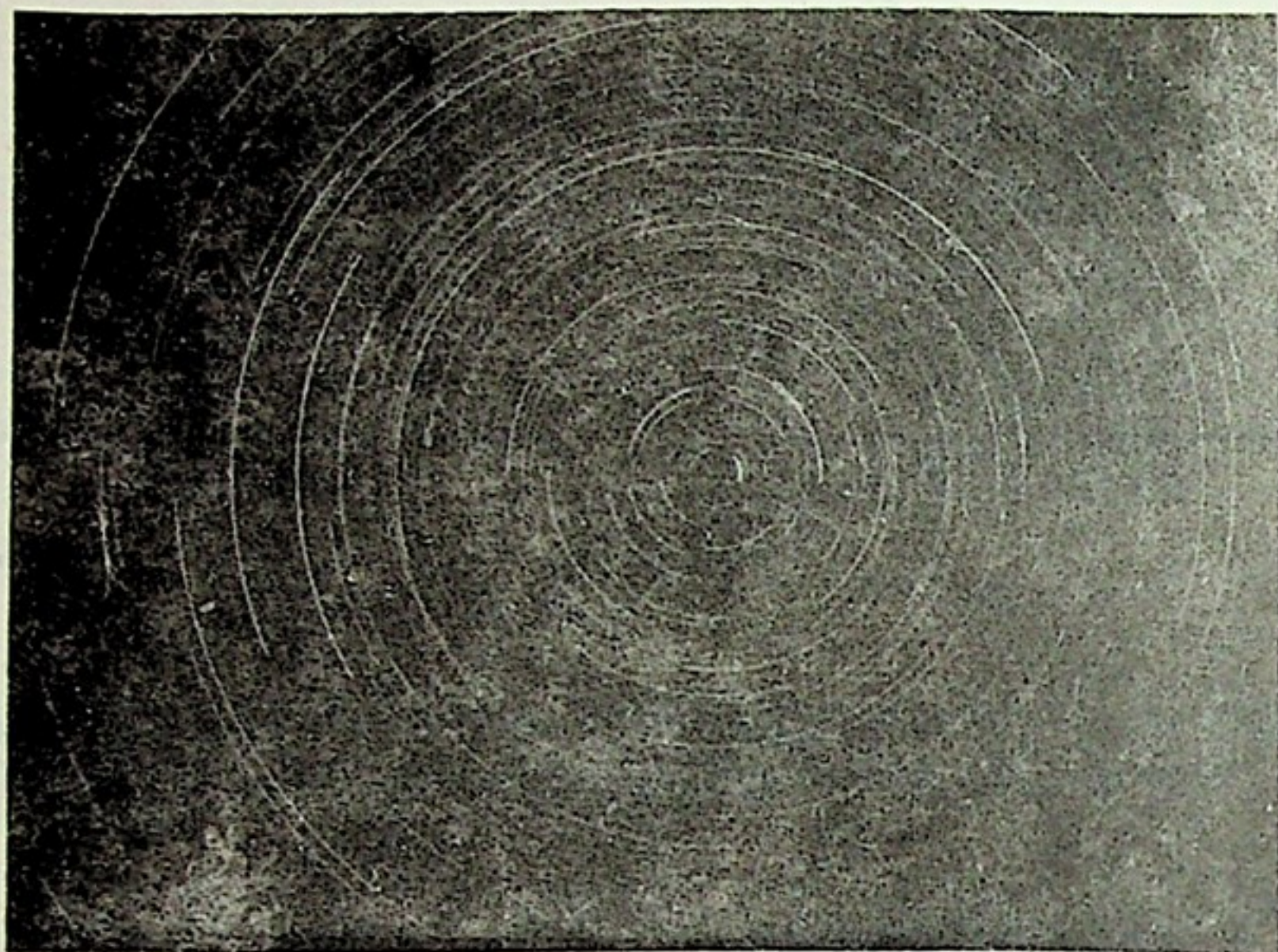
პორიზონტის ჩრდილოეთი მხარე

ნახ. 32

აქაც მივმართოთ ცის ფოტოსურათს (ნახ. 33). ამჯერად ფოტოაპარატი  
უმზერდა მოწმენდილ ჩრდილოეთ ღამის ცას. ვარსკვლავთა ნაკვალევი წრეწირის  
რკალებია. რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი ბრუნვის წერტილთან, მით მოკლეა  
რკალი. კაშკაშა ვარსკვლავების ნაკვალევი სქელი ხაზებია, მკრთალებისა—  
წვრილი. რკალების სიგრძე წრეწირის მეექვსედია. მაშასადამე, ცის ჩრდილოე-  
თი მხარის გადაღება უძრავი ფოტოაპარატით ოთხი საათის განმავლობაში მიმ-  
დინარეობდა. პორიზონტთან მოჩანს ხის წვერო, რომელიც შემთხვევით მოხვდა  
ფოტოაპარატის ობიექტივის ველში.



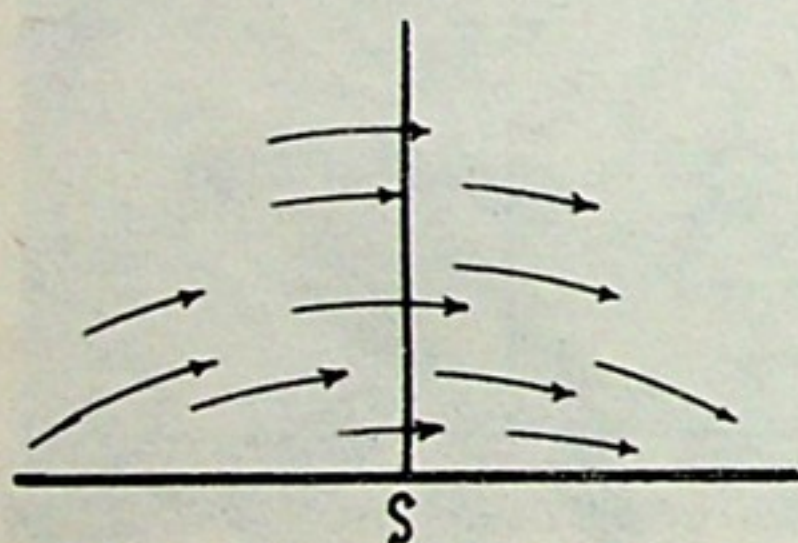
დავდგეთ პირით სამხრეთისაკენ და დავაკვირდეთ ჰორიზონტის სამხრეთის  
წერტილთან ახლო მოძრავ ვარსკვლავებს. ვნახავთ, რომ აქ ვარსკვლავების „კვა-



ნახ. 33

ლი“ ცაზე ახლოა ჰორიზონტის ხაზთან (ნახ. 34). ვარსკვლავი S წერტილის ახ-  
ლო ამოდის, მის მარცხნივ და ახლო ჩადის,—მის მარჯვენა მხარეს.

მაშასადამე, ცაზე ვარსკვლავების დღედამური ხილული მოძრაობის საერ-  
თო სურათი ასეთია: ვარსკვლავები ისე მოძრაობენ, რომ ერთიმეორის მიმართ



ჰორიზონტის სამხრეთი მხარე

ნახ. 34

მანძილსა და მდებარეობას არ იცვლიან; თითქოს ცამრგვალი, როგორც ერთიანი მყარი სფერო, მასზე „მიჭედილი“ ვარს-  
კვლავებითურთ, ბრუნავს ჩვენს გარშე-  
მო; ბრუნავს ნელი და უცვლელი, თა-  
ნაბარი სიჩქარით აღმოსავლეთიდან  
დასავლეთით. ერთი დღე-ღამის განმავ-  
ლობაში იგი ერთხელ შემობრუნდება  
სრულად. იქმნება ისეთი შთაბეჭდი-  
ლება თითქოს ცის სფერო ბრუნავს  
ღერძის გარშემო, რომელიც გავლებუ-

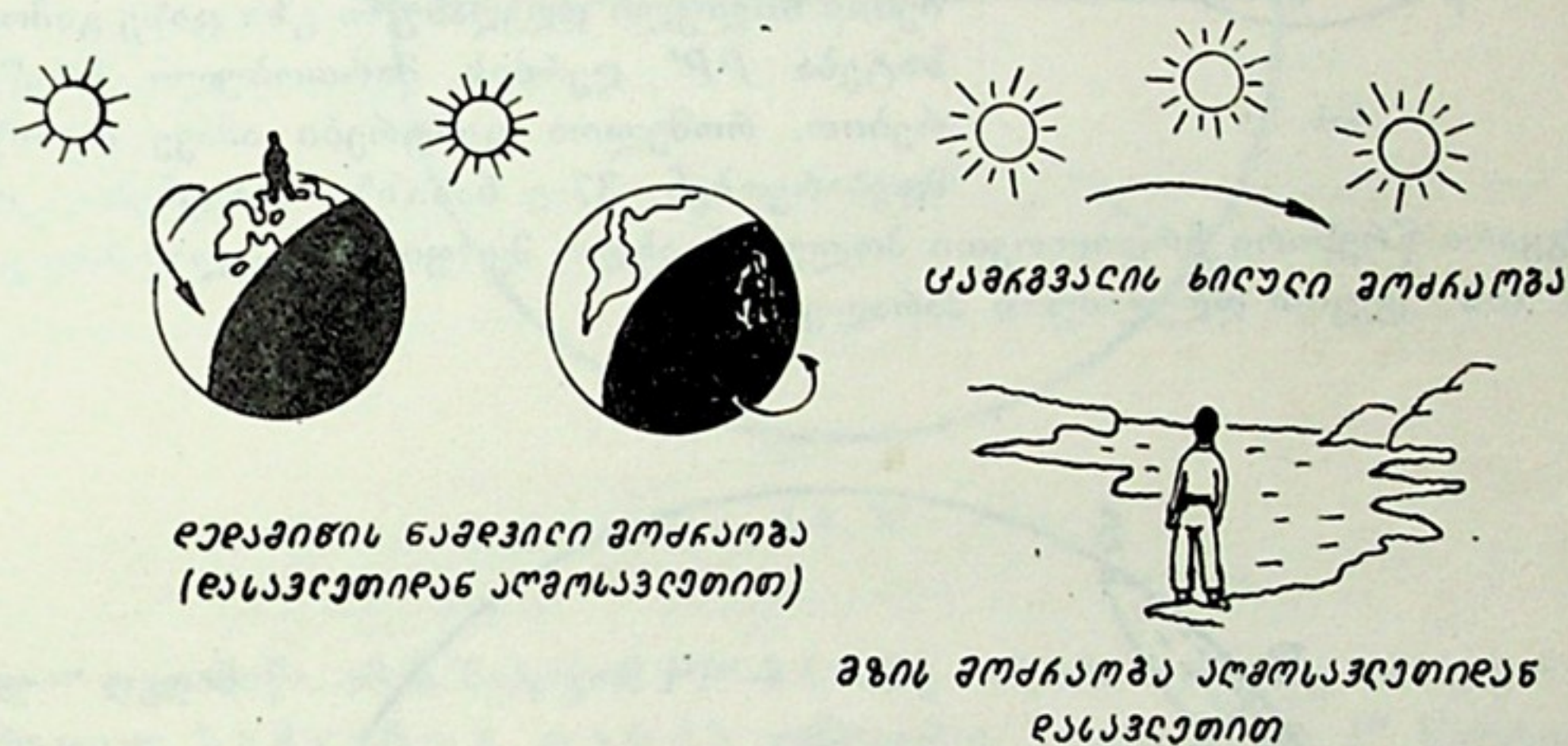
ლია ცის სფეროს ცენტრში ანუ იქ, სადაც ჩვენ (დამკვირვებელი) ვიმყოფე-  
ბით.

მაგრამ, ამასთან ერთად განსაკუთრებით დამახასიათებელი ისაა, რომ ეს  
წარმოსახვითი ღერძი არც მართობულია ჩვენს ჰორიზონტისადმი და  
არც მის სიბრტყეში მდებარეობს, არამედ დახრილია მის მიმართ. მართ-  
ლაც, იგი მართობული რომ ყოფილიყო, ყველა ვარსკვლავის „კვალი“ ცაზე ჰო-  
რიზონტის პარალელური იქნებოდა, არც ერთი ვარსკვლავი არც ამოვიდოდა და



არც ჩავიდოდა. ეს ღერძი ჩვენი ჰორიზონტის სიბრტყეში რომ ყოფილიყო მოთავსებული, მაშინ ყველა ვარსკვლავი მართობულად ამოვიდოდა ჰორიზონტიდან და ასევე მართობულად ჩაეშვებოდა მის ქვევით, ყველა ვარსკვლავისათვის მოხდებოდა ამოსვლა-ჩასვლის მოვლენა. მაგრამ ის სურათი, რომელსაც სინამდვილეში ვხედავთ და რომელიც აღწერილია 29-ე, 30-ე, 32-ე და 34-ე ნახაზებზე, ცის სფეროს ბრუნვის წარმოსახვითი ღერძის ჩვენი ჰორიზონტისადმი დახრილობა. ეს ღერძი ისეა დახრილი, რომ მისი „ბოლო“ ჩრდილოეთ ცას „ეხვინება“ წერტილში (ნახ. 32), სადღაც ჰორიზონტსა და ზენიტს შუა. მისი მეორე, მოპირდაპირე ბოლო სამხრეთითაა, მაგრამ ჰორიზონტის ქვეშ და ჩვენთვის უჩინარია.

§ 24. სამყაროს ბრუნვის ღერძი. სამყაროს პოლუსები. ცის ეკვატორი. სინამდვილეში ცის სფერო კი არ ბრუნავს ჩვენს გარშემო და არც მზე და ვარსკვლავ-



ნახ. 35

ები უვლიან ირგვლივ დედამიწას, არამედ თვით დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით (ნახ. 35). ეს ფაქტი იწვევს შხისა და ვარსკვლავების ამოსვლა-ჩასვლის და, საერთოდ, მთელი ცის სფეროს ბრუნვის მოჩვენებით მოვლენებს. მაგრამ, რატომაა ბრუნვის ღერძი ასე დახრილად ორიენტირებული ჩვენი ჰორიზონტის მიმართ? ყველგან ასეა ეს? ამგვარი დახრა განპირობებულია ჩვენი რეალური მდებარეობით—დედამიწის ეკვატორსა და პოლუსს შუა, ზომიერ სარტყელში. დავხედოთ 36-ე ნახაზს. აქ წარმოდგენილია დედამიწის სფერო, რომლის  $A$  წერტილში მოთავსებულია დამკვირვებელი.

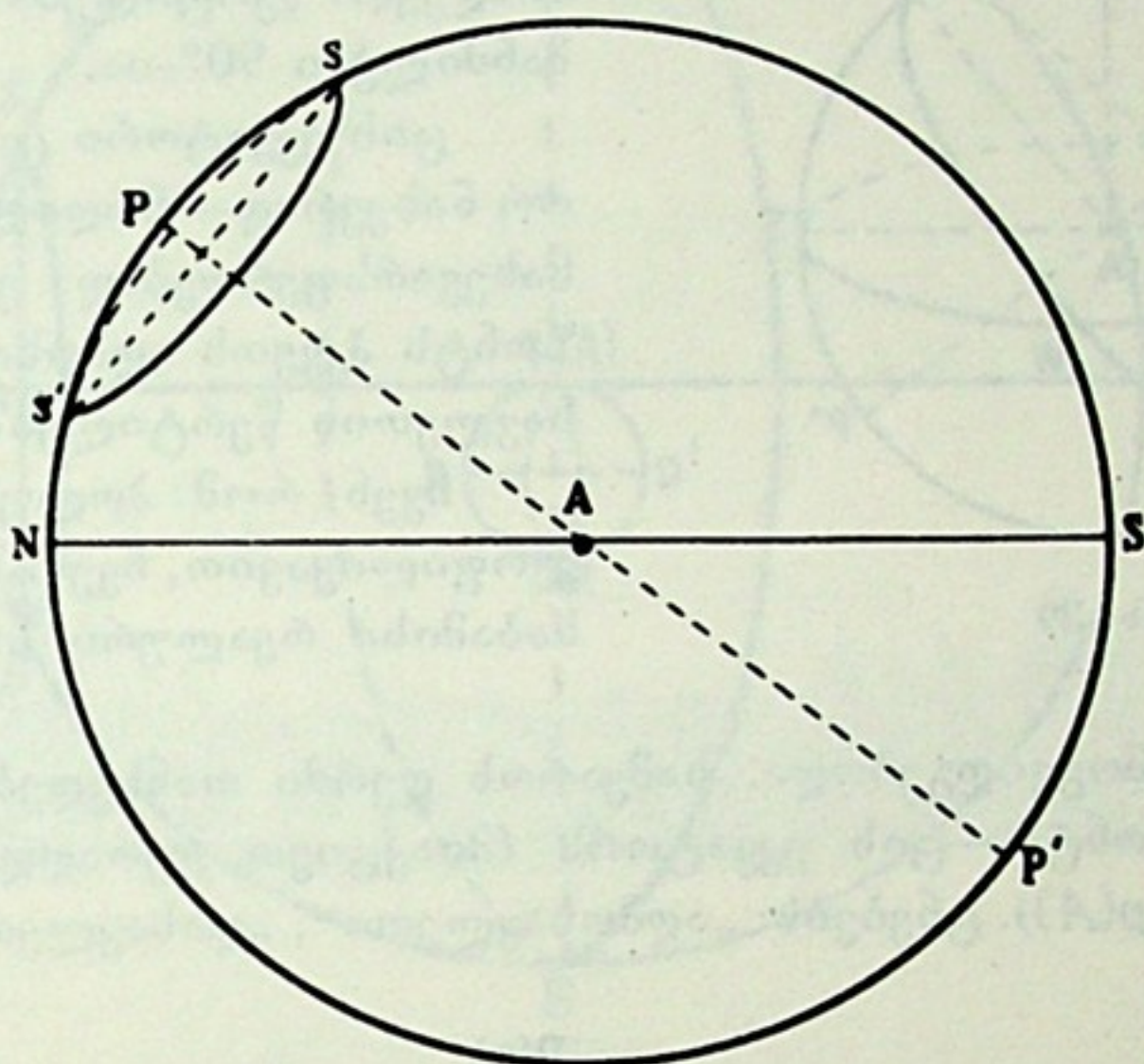
$pp'$  წარმოადგენს დედამიწის ბრუნვის ღერძს.  $eq$  დედამიწის ეკვატორია.  $A$  წერტილი მდებარეობს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში, ზომიერ სარტყელში ფ განედზე.  $CA$  რადიუსის გაგრძელებაზე მდებარე წერტილი  $Z$  დამკვირვებლის ზენიტია.  $AH$  ჰორიზონტის მიმართულებაა. სინამდვილეში დედამიწა ბრუნავს  $pp'$ -ის ირგვლივ, მაგრამ დამკვირვებელს, რომელიც  $A$  წერტილში იმყოფება, ისე ეჩვენება, თითქოს ცის სფერო ბრუნავს დედამიწის ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულების  $PCp'$ -ის პარალელური  $AP$  წრფე ხაზის ირგვლივ. რადგანაც







სფეროს ცენტრში იქნება მოქცეული. ამავე წერტილში წარმოვიდგება დამკვირ-  
ვებელიც. ამიტომ  $pp'$  დაემთხვევა  $PP'$  და, მაშასადამე, დედამიწის ბრუნვის ღე-  
რძი და ცის სფეროს ბრუნვის ღერძი ერთი და იგივე იქნება. ეს გამოხატულია  
38-ე ნახაზზე, სადაც  $A$  წერტილში უნდა წარმოვიდგინოთ „წერტილში შეკუმშუ-



ნახ. 38

ლი“ დედამიწა. ამის შემდგომ  $PP'$ -ს სამყაროს ბრუნვის ღერძს ანუ მოკლედ სამყაროს ღერძს ვუწოდებთ, ხოლო  $P$  და  $P'$  წერტილებს— სამყაროს ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსებს (დედამიწის ჩრდილოეთი  $p$  და სამხრეთ  $p'$  პოლუსების შესაბამისად.)

სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსს მივაგნებთ ცაზე, თუ პირით ჩრდილოე-  
თისაკენ დავდგებით და ხანგრძლივად — 2 — 3 საათის განმავლობაში, —  
დავაკვირდებით ვარსკვლავების ნელ გადაადგილებას. ისინი ისე შემოწერენ  
რკალებს ცაზე, რომ დაისახება ამ „ნაკვალევი“ რკალების საერთო ცენ-  
ტრი.

გავიხსენოთ, რომ დედამიწის ცენტრზე გამავალსა და ბრუნვის ღერძის მარ-  
თობულ სიბრტყეს დედამიწის ეკვატორული სიბრტყე ეწოდება. 36-ე და 37-ე  
ნახაზებზე ეკვატორის დიდი წრეწირი აღნიშნულია  $eq$ -თი. დედამიწის ეკვატო-  
რის სიბრტყე შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ იმდენად განვრცობილი, რომ მან ცის  
სფეროს ზედაპირი გადაკვეთოს. ეს გადაკვეთა მოგვცემს ცაზე დიდ წრეწირს,  
რომლის ცენტრში, ცხადია, კვლავ დამკვირვებლის თვალია მოთავსებული. ცის  
სფეროს დიდ წრეს, რომლის სიბრტყე მართობულია სამყაროს ღერძისა და  
გავლებულია დამკვირვებლის თვალზე, ცის ეკვატორი ეწოდება.

აშკარაა, რომ დედამიწის ეკვატორი და ცის ეკვატორი ერთსა და იმავე  
სიბრტყეში მდებარეობენ.

39-ე ნახაზზე ცის ეკვატორი წარმოდგენილია დიდი წრეწირით— $RWQE$ .  
საერთოდ, ამ ნახაზზე გამოხატულია ცის სფერო, ხოლო დედამიწა



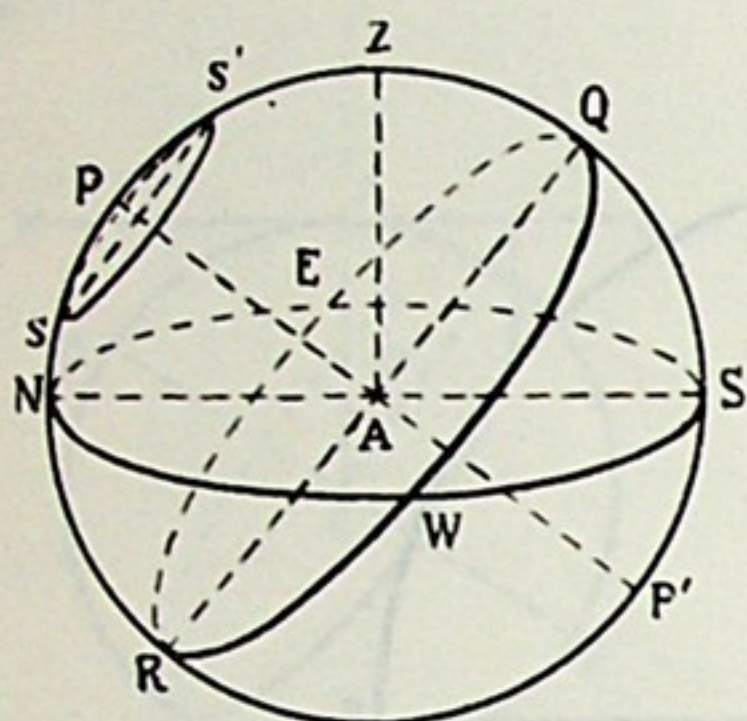


მასზე წარმოდგენილია ერთ  $A$  წერტილში—სფეროს ცენტრში. უკეთესად ვთქვათ, რომ  $A$  წერტილში იგულისხმება დამკვირვებლის თვალი.  $AZ$  მიმართულებაა დამკვირვებლიდან მის ზენიტზე ანუ შვეულია, დაკვირვების წერტილზე გამავალი  $NWSE$  ჰორიზონტის წრეა;  $N, E, S, W$ , შესაბამისად, გამოხატავენ

ჩრდილოეთის, აღმოსავლეთის, სამხრეთისა და დასავლეთის წერტილებს. ამ მიმდევარ წერტილებს შორის რეალური მანძილები  $90^\circ$ -ია.

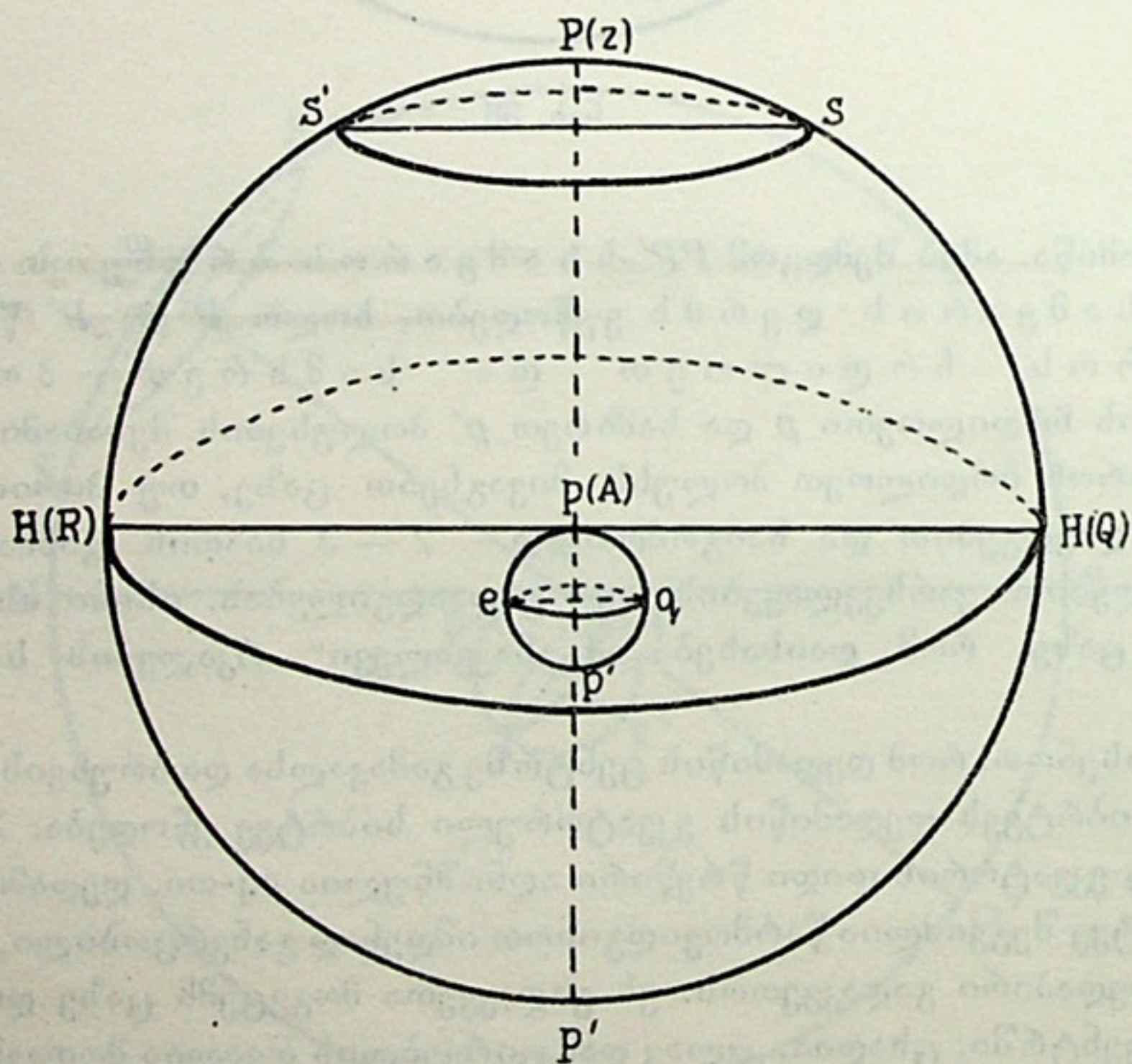
ცის ეკვატორი ცის სფეროს ჰყოფს ორ ნახევრად—ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროებად. ეკვატორი ჰორიზონტს ჰკვეთს აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებში.

ჩვენ რომ პოლუსის მცხოვრებნი ვყოფილიყავით, ჩვენი ჰორიზონტის შესაბამისი რეალური სურათი მე-40 ნახაზის სახით წარმოგვიდგებოდა. სამყაროს დერძი თანხვედრა შვეულ მიმართულებას, ჰორიზონტი—ცის ეკვატორს (მიაქციეთ ყურადღება აღნიშვნებს:  $P(Z), H(R), H(Q), p(A)$ ). ცნებებს: „აღმოსავლეთი“, „დასავლეთი“, აქ აღარ აქვს



ნახ. 39

ნახის სახით წარმოგვიდგებოდა. სამყაროს დერძი თანხვედრა შვეულ მიმართულებას, ჰორიზონტი—ცის ეკვატორს (მიაქციეთ ყურადღება აღნიშვნებს:  $P(Z), H(R), H(Q), p(A)$ ). ცნებებს: „აღმოსავლეთი“, „დასავლეთი“, აქ აღარ აქვს



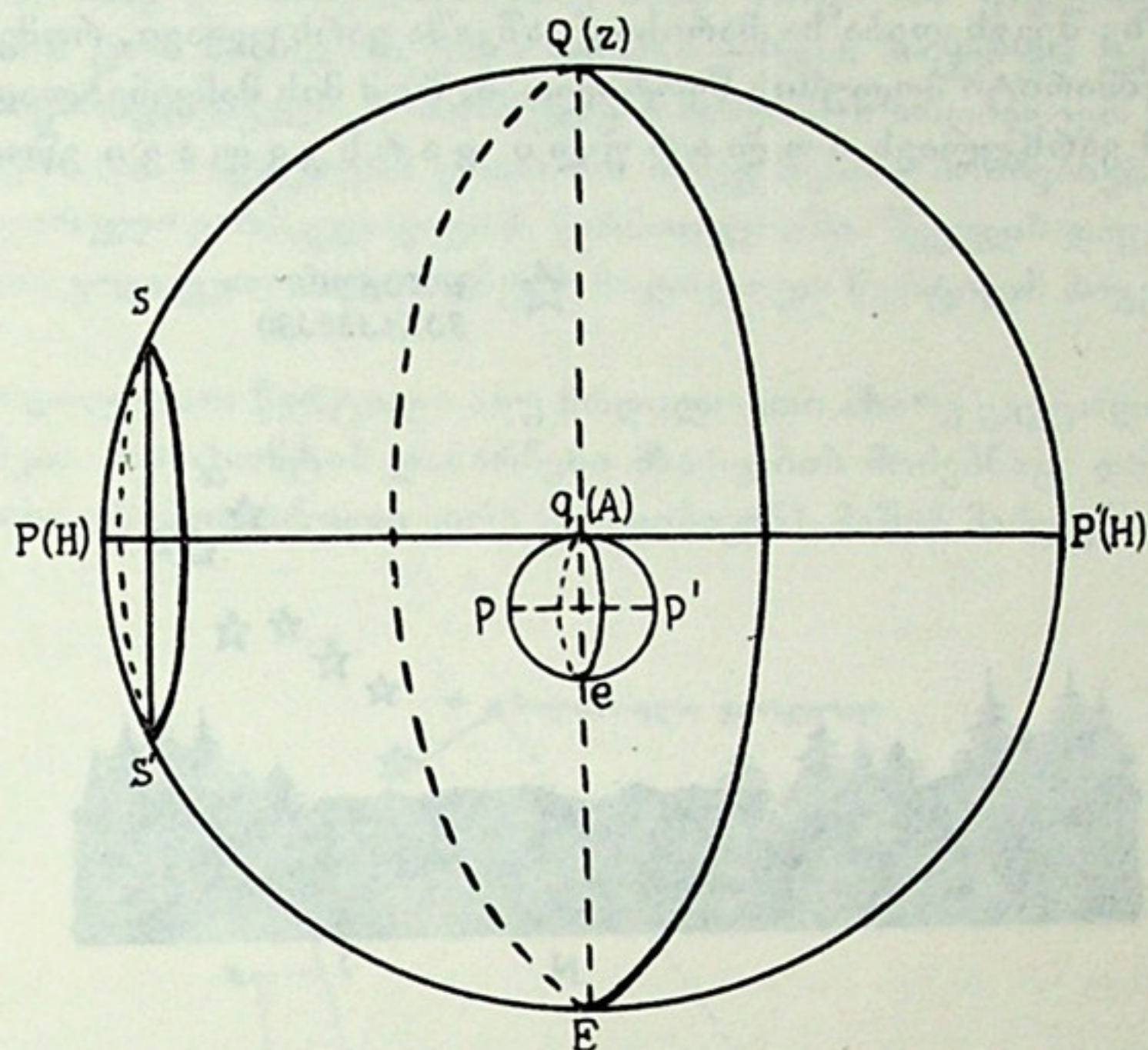
ნახ. 40

ჩვეულებრივი აზრი. პოლუსის წერტილიდან საითაც არ უნდა წავიდეთ დიდი წრეწირის გასწვრივ, ყველა მიმართულებით სამხრეთი იქნება.

ეკვატორზე მცხოვრები დამკვირვებლისათვის სურათი მიიღებდა 41-ე ნახაზის სახეს. ადვილი წარმოსადგენია, როგორ იქნებოდა ამ შემთხვევაში ორიენ-

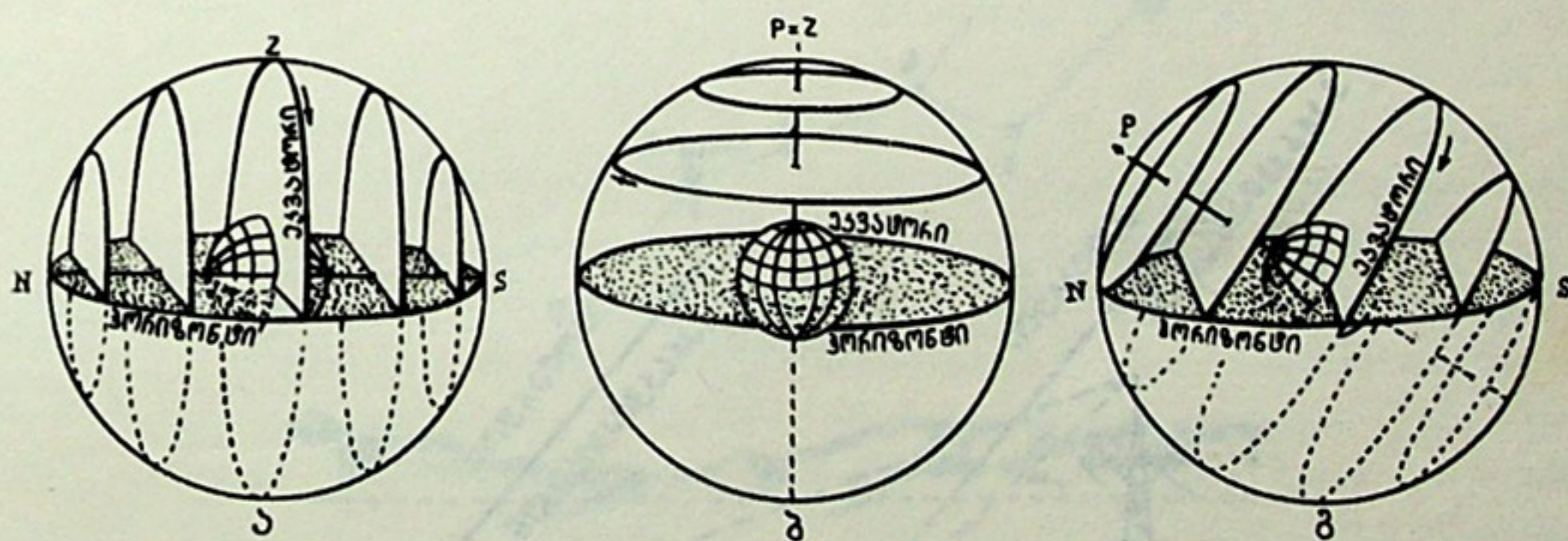


ტირებული დამკვირვებლის ჰორიზონტის მიმართ სამყაროს ღერძი, სამყაროს პოლუსები და მნათობთა დღედამური მოძრაობის „კვალი“ ცაზე.



ნახ. 41

დაბოლოს მოვიყვანოთ გაერთიანებული ნახ. 42, სადაც უფრო თვალსაჩინოდ არის წარმოდგენილი აღნიშნული შემთხვევები. ნახაზის „გ“ ნაწილი ჩვენს—ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზომიერ განედებს შეესაბამება.



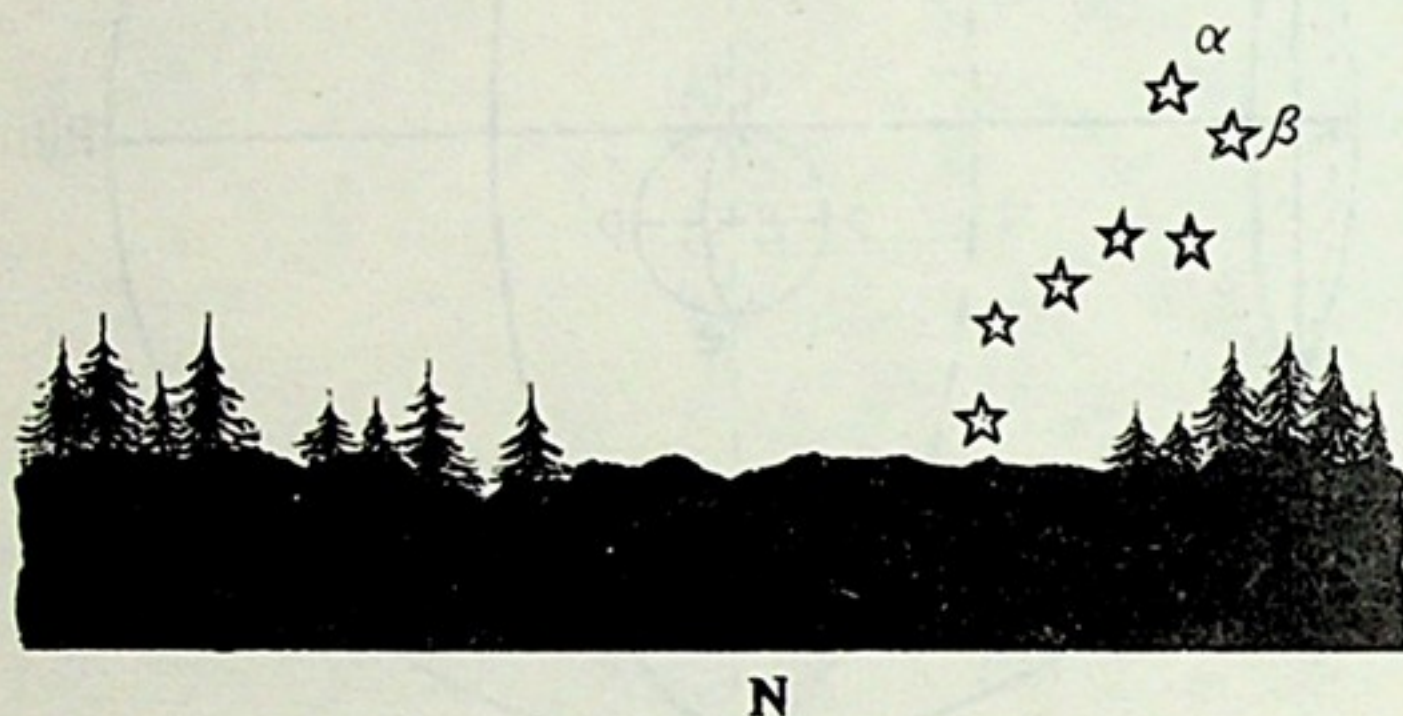
ნახ. 42

§ 25. პოლარული ვარსკვლავი. ზემოთ ვნახეთ, როგორ მივაგნოთ სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსს. იგი აღვილი მოსაძებნია და საცნობია ცაზე იმის გამოც, რომ მის ახლო არის საკმარისად კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელიც უბრალო თვალით ჩანს და მარტივად მიიგნება. დიდი დათვის თანავარსკვლავედს, როგორც ვიცით, შვიდი კაშკაშა ვარსკვლავით გამოვარჩევთ, რომელთაგან ოთხი ერთგვარ ოთხკუთხედს შეადგენს და დანარჩენი სამი, ოთხკუთხედის ერთი კუთხის ვარსკვლავთან ერთად, თითქმის მწკრივადაა მიმართული ოთხკუთხედის გარეთ (ნახ. 27, 28).



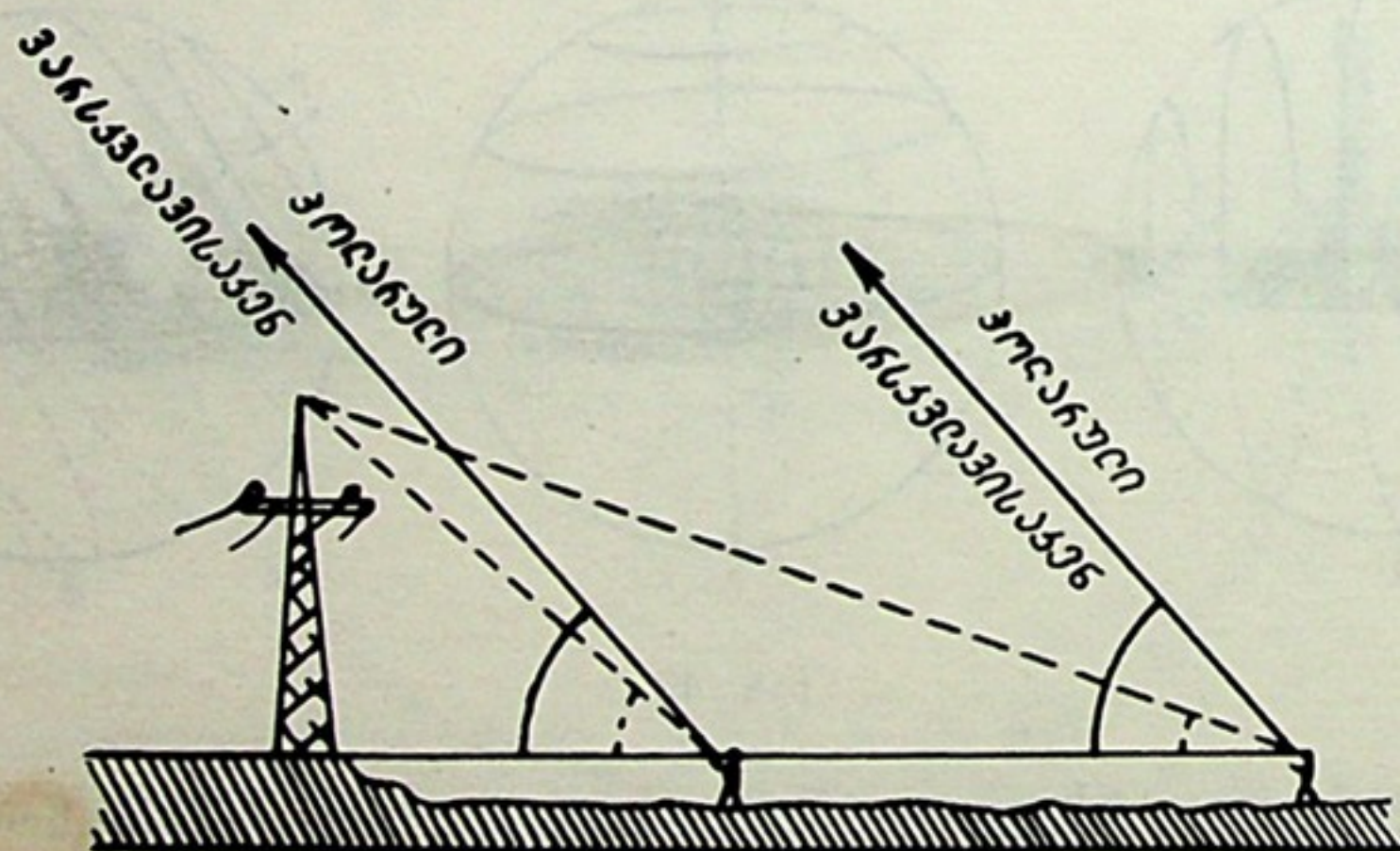
თუ ოთხკუთხედის იმ ორ ვარსკვლავს, რომლებიც 43-ე ნახაზზე  $\alpha$  და  $\beta$  ასოებითაა აღნიშნული, წარმოდგენაში წრფე ხაზით შევაერთებთ და მას განვაგრძობთ  $\beta$ -დან  $\alpha$ -ს მიმართულებით დაახლოებით  $\beta\alpha$  მონაკვეთის ხუთ ტოლ მანძილზე, ცაზე შეგვხვდება საკმარისად კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელიც იმდენად ახლოა ჭეშმარიტი პოლუსის წერტილთან, რომ მის მაჩვენებლად ჩაითვლება. ამიტომ ამ ვარსკვლავს პოლარული ვარსკვლავი ეწოდება.

☆ პოლარული  
ვარსკვლავი



ნახ. 43

თუ ძალიან შორეულ მოგზაურობას არ ვეწევით ჩრდილოეთისაკენ ან სამხრეთისაკენ, მიმართულება პოლარული ვარსკვლავისაკენ ანუ მისი სიმაღლე ჩვენი ჰორიზონტის მიმართ იმ შემთხვევაშიც, თუ ადგილს გამოვიცვლით, შესამჩნევად არ შეიცვლება (ნახ. 44).



ნახ. 44

განვიხილოთ შემდეგი ნახაზიც. მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ პოლარული ვარსკვლავი წარმოადგენს სხვა თანავარსკვლავედის ერთ-ერთ ვარსკვლავს და ამ თანავარსკვლავედსაც დიდი დათვის ფორმა აქვს, ოღონდ უფრო მცირე ზომისა. მას მცირე დათვს უწოდებენ.







იმ მნათობებისათვის, რომელნიც ეკვატორზე მდებარეობენ, დღელამური პარალელი თვით ეკვატორს წარმოადგენს. ეკვატორისაგან განსხვავებით, დღელამური პარალელები, საერთოდ, მცირე წრეწირები ა. მათი ცენტრები სამყაროს ღერძზე მდებარეობენ. რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი სამყაროს პოლუსთან, მით უფრო მცირეა მისი პარალელის რადიუსი; მით უფრო მცირეა, მაშასადამე, თვით წრეწირის სიგრძეც. მაგრამ ცაზე ყველა მნათობის შემობრუნების დროს განსაზღვრავს დედამიწის ღერძის ირგვლივ შემობრუნების ხანგრძლივობა, რაც 24 საათია. მაშასადამე, რომელ პარალელზეც უნდა იყოს მნათობი, მან ეს პარალელი 24 საათის განმავლობაში უნდა შემოწეროს. ამრიგად, ცხადია, რომ, რაც უფრო მცირეა პარალელი, ე. ი., რაც უფრო ახლოა მნათობი პოლუსთან, მით უფრო მცირე უნდა იყოს ცაზე მისი ხილული გადაადგილების სიჩქარე. მართლაც, დაკვირვება რომ ვაწარმოოთ ვარსკვლავებზე, დავრწმუნდებით ამ მოვლენაში: ეკვატორის ახლომდებარე ვარსკვლავების გადაადგილებას ადვილად და მალე შევნიშნავთ, ხოლო პოლუსის ახლო ვარსკვლავებისას — ძნელად და მხოლოდ ხანგრძლივი დაკვირვების შედეგად.

ეს 33-ე ნახაზზეც ჩანს. რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი პოლუსთან, მით ნაკლები სიგრძისაა სათანადო რკალი — მისი ნაკვალევი, შემოწერილი იმ დროში, როცა ფოტოაპარატის ღია ობიექტივი მიმართული იყო მოწმენდილ ცაზე, პოლუსისაკენ.

**§ 27. შუადღის ხაზი.** ჰორიზონტის  $N$  და  $S$  წერტილების შემაერთებელ  $SN$  ხაზს ეწოდება შუადღის ხაზი (ნახ. 39). ეს სახელწოდება იმასთან დაკავშირებით მიიღო მან, რომ შუადღისას საგნების ჩრდილი სწორედ ამ ხაზის მიმართულებას მიჰყვება, რამდენადაც მზე ამ დროს ზენიტიდან სამხრეთითაა და ჩრდილი მიმართულია ჩრდილოეთისაკენ. შუადღის ხაზი მაშინაც შეგვიძლია ვიპოვოთ, როცა საათი ხელთ არა გვაქვს და შუადღის მომენტიც უცნობია. ამ შემთხვევაში საჭიროა შუადღის მახლობლობაში, შუადღემდე დავაკვირდეთ რაიმე შვეული საგნის (მაგალითად, სარის, სვეტის, ანძის) ჩრდილს. დილის საათებით დაწყებული, ჩრდილი თანდათან მოკლდება, რამდენადაც მზე ჰორიზონტიდან სულ ზევით და ზევით მიიწევს. ამასთანავე ჩრდილი მიმართულებასაც იცვლის, რაკი მზე ჰორიზონტის აღმოსავლეთ მხრიდან თანდათანობით სამხრეთ მხარეზე გადაინაცვლებს. შევნიშნავთ, რომ ჩრდილი ჯერ განუწყვეტლივ მოკლდება და რაღაც მომენტში ზრდას იწყებს. ის მომენტი, როცა ჩრდილი უმოკლესია, სწორედ შუადღის მომენტია, რადგანაც ამ დროს მზე ზუსტად სამხრეთითაა და მისი სიმაღლე ჰორიზონტიდან უდიდესია. ამის შემდგომ მზე დასავლეთისაკენ გადაიხრება და იწყებს დაწევას, ჩრდილი კი აღმოსავლეთით მიიმართება და იწყებს ზრდას. მაშასადამე, მიმართულება, რომელიც უმოკლეს ჩრდილს ჰქონდა, შუადღის ხაზის მიმართულებაა. ადვილი მისახვედრია, რომ სარის სიგრძე, შეფარდებული უმოკლესი ჩრდილის სიგრძესთან, წარმოადგენს ტანგენსს იმ კუთხისა, რომლითაც შუადღის მომენტში მზე ამაღლებულია ჰორიზონტის ზევით. ასე განისაზღვრება მზის საშუალო სიმაღლე.

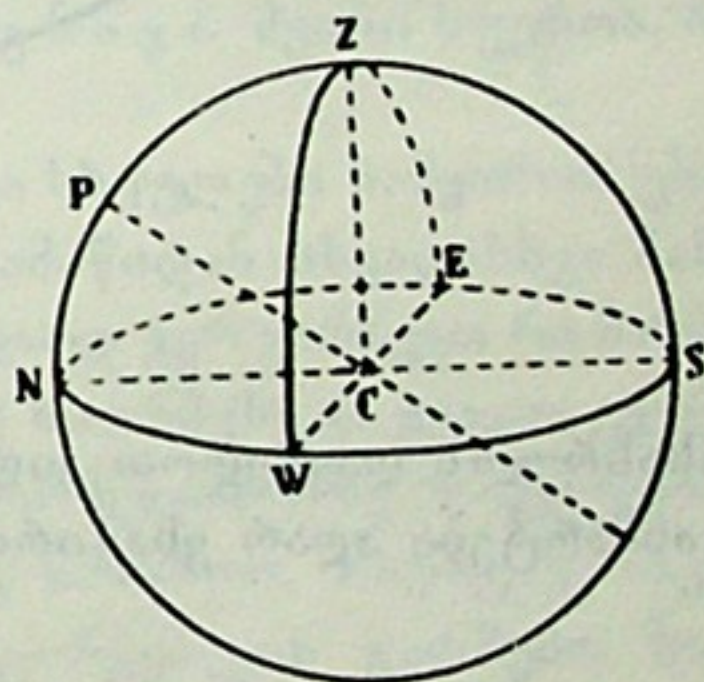
**§ 28. ცის პერიდიანი.** გავავლოთ სიბრტყე ისე, რომ იგი გადიოდეს ერთდროულად დამკვირვებლის თვალზე, ზენიტსა და პოლუსზე. ასეთი სიბრტყე ჰორიზონტის სიბრტყის მართობული იქნება: რამდენადაც იგი გავლებულია დამკვირვებლის თვალსა და ზენიტზე — მასში მდებარეობს შვეული მიმართუ-



ლება. ეს სიბრტყე ჰორიზონტის სიბრტყესთან გადაიკვეთება შუადღის ხაზზე, რადგანაც იგი, როგორც აღვნიშნეთ, გადის პოლუსზე და, მაშასადამე, — ჩრდილოეთ და სამხრეთ წერტილებზეც. მზე ამ სიბრტყეს შუადღის მომენტში გადაკვეთს, რადგანაც ეს სიბრტყე ზენიტზე და სამხრეთ წერტილზე გაივლის და მზე შუადღისას სამხრეთის მხარეზეა. ცის სფეროს დიდ წრეწირს, რომლის სიბრტყე გადის დამკვირვებლის თვალზე, ზენიტსა და პოლუსზეც ის მერიდიანი ეწოდება. მერიდიანი შუაზე ჰყოფს მზის ხილულ გზას ცაზე მისი ამოსვლიდან ჩასვლამდე. 39-ე ნახაზზე მერიდიანი გამოიხატება  $NPZQSP'R$  წრეწირით. 32-ე და 34-ე ნახაზებზე ჰორიზონტის მართობული სქელი ხაზები სწორედ მერიდიანის წრეწირის იმ რკალების გეგმილებს გამოხატავს, რომლებიც, შესაბამისად, ჩრდილოეთისა და სამხეთის წერტილების ახლოა. სხვა სიტყვებით, ეს ხაზები მერიდიანის გეგმილებია, გადატანილი სიბრტყეზე. თუ 37-ე ნახაზს დავუბრუნდებით და დავაკვირდებით, მივხვდებით, რომ დამკვირვებლის ცის მერიდიანის სიბრტყე  $NPSP'$  თანხვდება მისი ადგილის გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყეს —  $pAqp'$ . სხვა სიტყვებით, ცის მერიდიანის წრეწირი ადგილის მერიდიანის ასახვაა ცის სფეროზე. როგორც დედამიწის ეკვატორი და ცის ეკვატორი ერთ სიბრტყეშია თანხვდენილი, ასევე, ადგილის მერიდიანი და შესაბამისი ცის მერიდიანი თანხვდენილია ერთს, ეკვატორის მართობულ სიბრტყეში.

§ 29. პირველი ვერტიკალი. როგორც ვნახეთ, ცის მერიდიანი მდებარეობს სიბრტყეში, რომელიც ჰორიზონტის მართობულია. ჰორიზონტის მართობულად აურაცხელი სიბრტყე შეგვიძლია გავავლოთ ისე, რომ ისინი დამკვირვებლის თვალსა და ზენიტზე გადიოდნენ. მათ შორის განვიხილოთ ისეთი ვერტიკალური სიბრტყე, რომელიც აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებზე ( $E$  და  $W$ ) გადის.

ცის სფეროს დიდ წრეწირს, რომლის სიბრტყე გადის ზენიტზე, აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებზე, პირველი ვერტიკალი ეწოდება. იგი გამოსახულია 46-ე ნახაზზე; დიდი წრეწირის  $EZW$  რკალით შემოხაზულია მხოლოდ მისი ის ნახევარი, რომელიც ჰორიზონტის ზევითაა.



ნახ. 46

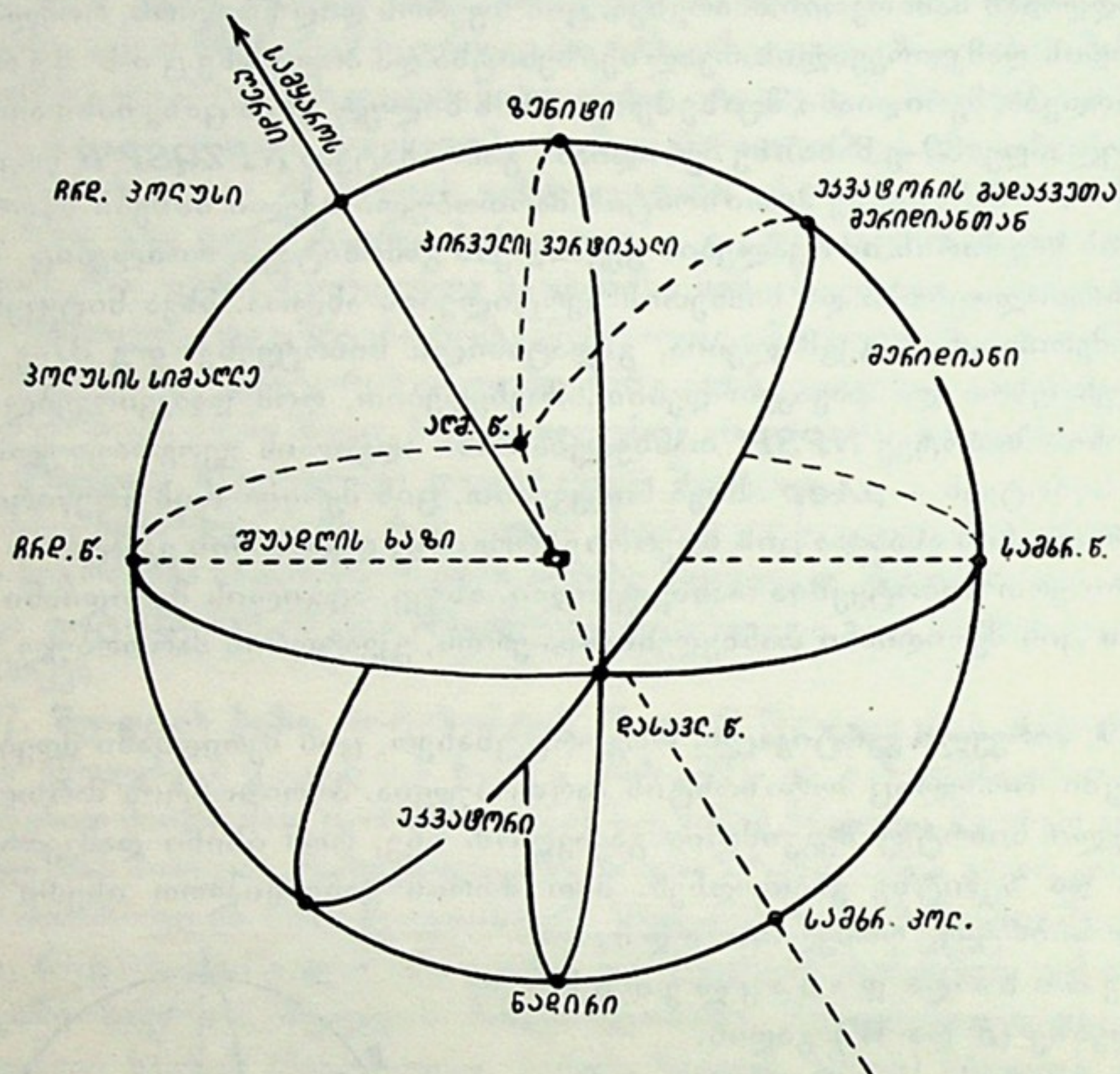
პირველი ვერტიკალის გადაკვეთა ჰორიზონტთან აღმოსავლეთ-დასავლეთის წერტილების შემაერთებელი ხაზია:  $ECW$ . ეს ხაზი შუადღის ხაზის მართობულია, რამდენადაც  $E$  და  $W$   $90^\circ$ -ით არიან დაშორებულნი  $N$  და  $S$  წერტილებიდან. ცხადია, რომ მერიდიანისა და პირველი ვერტიკალის სიბრტყეები ერთმეორეს მართობულად ჰკვეთენ.

მერიდიანი ცის სფეროს ორ თანატოლ ნაწილად ჰყოფს: აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებად. პირველი ვერტიკალიც ორ თანატოლ ნაწილად ჰყოფს მას: ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნაწილებად. ორივე ერთად მთელ სფეროს დამკვირვებლის გარშემო ჰყოფს ოთხ თანატოლ ნაწილად: სამხრეთ-აღმოსავლეთ, სამხრეთ-დასავლეთ, ჩრდილო-დასავლეთ და ჩრდილო-აღმოსავ-





ლეთ ნაწილებად. პერიდიანებისა და პირველი ვერტიკალის სიბრტყეთა ერთ-ერთ გადაკვეთა მიჰყვება დამკვირვებლის  $ZC$  შვეულს.



ნახ. 47

დასასრულს დავხედოთ კიდევ ერთ ნახაზს (ნახ. 7), რომელსაც დამატებითი განმარტება აღარ ესაჭიროება.



თ ა ვ ი III

ასტრონომიული კოორდინატები

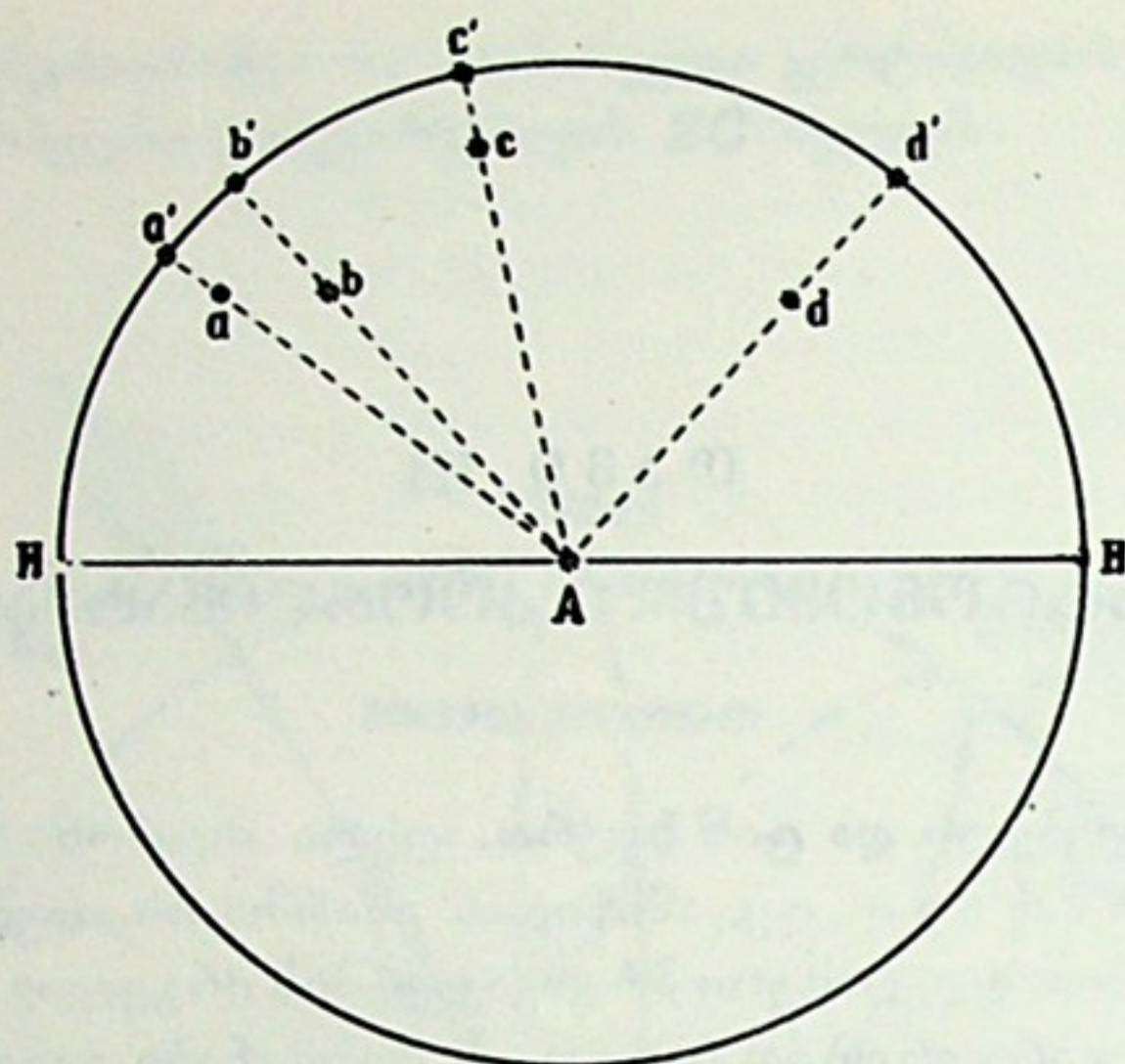
§ 30. **დამკვირვებელი და ცის სფერო.** ყველა ასტრონომიულ დაკვირვებას დამკვირვებელი მოძრაობის დედამიწიდან აწარმოებს. დედამიწის მოძრაობა ძირითადად ორგვარია: დედამიწის ბრუნვა დერძის ირგვლივ და წლიური სრბოლა მზის გარშემო. ჯერჯერობით მარტო ის მოვლენები განვიხილოთ, რომლებიც დაკავშირებულია პირველი გვარის მოძრაობასთან—დედამიწის ბრუნვასთან. დედამიწის ბრუნვას საკუთარი დერძის ირგვლივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით უშუალოდ ვერ აღვიქვამთ, რამდენადაც იგი მუდმივი და თანაბარია; დედამიწასთან ერთად ასევე თანაბრად და მუდმივად მოძრაობს მთელი ჩვენი მიწიერი გარემო, თვითონ ჩვენიც. სამაგიეროდ, აღვილად შეინიშნება ცის მნათობების მოჩვენებითი მოძრაობა ცამრგვალზე ჩვენს გარშემო, მოპირდაპირე მიმართულებით,—აღმოსავლეთიდან დასავლეთით. ასე იქმნება ცის დედამიწის ბრუნვის ილუზია, მოჩვენებითი სურათი. კაცობრიობას, ვიდრე დედამიწის ბრუნვის დამამტკიცებელ ფაქტს აღმოაჩენდა, დიდხანს ფლობდა მცდარი წარმოდგენა, თითქოს ცა ბროლისებრი გამჭვირვალე, მბრუნავი მყარი სფეროა, რომლის ზედაპირზე მოფენილია მნათობები.

სინამდვილეში ვარსკვლავები და ცის სხვა სხეულები სამყაროს უსაზღვრო სივრცეში ყოველი მხრით გაფანტულია, დედამიწიდან სხვადასხვა მანძილზე, სივრცის სხვადასხვა სიღრმეზე. მაგრამ, უშუალოდ ვერ ვარჩევთ რა მანძილების სხვადასხვაობას, მათ თითქოს ერთსა და იმავე სიღრმეზე ვხედავთ, ყველას ერთ მანძილს მივაკუთვნებთ და აქაც იქმნება სფეროს ზედაპირზე მოფენილი ვარსკვლავების ილუზია. ეს დასურათებულია 48-ე ნახაზით, სადაც ვარსკვლავები  $a, b, c, d$  სხვადასხვა მანძილზეა  $A$  დამკვირვებლის გარშემო სივრცეში, მაგრამ, ყველა ისინი დამკვირვებელს სფეროს ზედაპირზე დაგვემდებარებული წარმოდგენია მისგან ერთნაირად დაშორებული  $a', b', c', d'$  წერტილებში.

მნათობები დამკვირვებლის თვალწინ, მის გარშემო მოძრაობენ ცაზე; შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ისინი ცის სფეროზე „დამაგრებულნი“ არიან და თვით ცის სფერო ბრუნავს. მაგრამ, რაც შეეხება იმ მთავარ წერტილებსა და წრეწირებს ცის სფეროზე, რომლებიც ზემოთ განვიხილეთ, ისინი უძრავნი უნდარჩებოდნენ ჩვენს მიმართ, რამდენადაც დავუკავშირეთ ჩვენს ჰორიზონტს, შვეულ მიმართულებას და სხვ. რაკი ჩვენი თავი (დამკვირვებელი) უძრავად მივიჩნიეთ ცის სფეროს ცენტრში, უძრავად ჩაითვლება ჰორიზონტიცა და შვეული მიმართულებაც.

ამის გამო კი ჰორიზონტი, ცის პერიდიანი, ცის ეკვატორი, ზენიტი და პოლუსი გამოგვადგება როგორც საყრდენი წრეწირები და წერტილები, რომელთა მიმართ განისაზღვრება მნათობთა მდებარეობა ცაზე.





ნახ. 48

§ 31. **ხილული კუთხური მანძილები.** ცაზე მნათობის მდებარეობის განსაზღვრას ან ამ მდებარეობის ცვლილების შესწავლას მოითხოვს მრავალი პრაქტიკული, ასტრონომიული ამოცანა. ასეთი მდებარეობის განსაზღვრა ნიშნავს, არსებითად, რაიმე წერტილიდან (ზენიტი, პოლუსი) ან წრეწირიდან (ჰორიზონტი, მერიდიანი, ეკვატორი) მისი ხილული დაშორების განსაზღვრას.

მაგრამ ც ა ზ ე ხილულ დაშორებას ანუ მანძილს, რა თქმა უნდა, ვერ გავზომავთ რაიმე ხაზოვანი საზომი ერთეულით. ამ შემთხვევაში გაზომავენ კ უ თ ხ ე ს, რომელსაც ქმნის დამკვირვებლის თვალთან მნათობზე მიმართული თვალთახედვის ხაზი მეორე ასეთსავე ხაზთან, რომელიც მიმართული იქნება რომელიმე აღნიშნული წრეწირის (ჰორიზონტი, ეკვატორი) ან საყრდენი წერტილისაკენ (ზენიტი, პოლუსი) და, ან კიდევ, — რომელიმე მეორე მნათობზე, თუ მოითხოვება კუთხური დაშორების განსაზღვრა მეორე მნათობიდან.

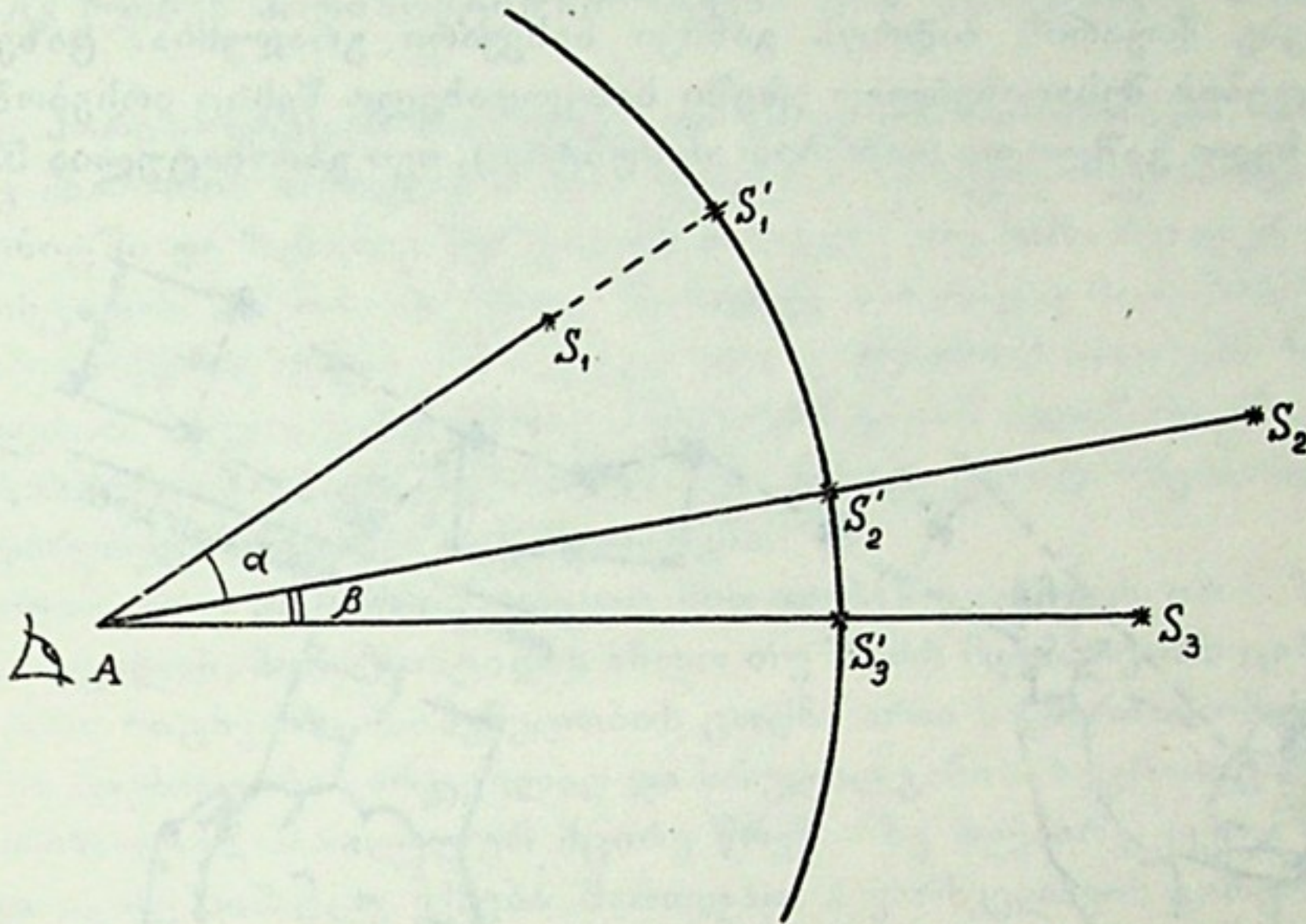
ამგვარად, საქმე გვექნება კუთხურ მანძილებთან. ადვილი მისახვედრია, რომ კუთხე, რომელიც ასე აიგება, თავისი წვეროთი დამკვირვებლის თვალშია, ხოლო მისი სიდიდე გაიზომება დიდი წრეწირის რკალით, რომელიც ცის სფეროზე შემოიხაზება მნათობიდან მნათობამდე ან საყრდენი წერტილიდან მნათობამდე.

**A** წერტილიდან, სადაც მოთავსებულია დამკვირვებლის თვალი (ნახ. 49), ვაკვირდებით  $S_1$ ,  $S_2$  და  $S_3$  ვარსკვლავებს. ამ შემთხვევაში არა გვაქვს უშუალო მონაცემები იმისათვის, რომ შევაფასოთ ან ერთმანეთისაგან განვასხვავოთ რეალური  $AS_1$ ,  $AS_2$  და  $AS_3$  მანძილები, ან კიდევ — განვსაზღვროთ ჭეშმარიტი მანძილები ვარსკვლავებს შორის:  $S_1S_2$ ,  $S_1S_3$  და  $S_2S_3$ . სამაგიეროდ, შეგვიძლია შევადაროთ ერთიმეორეს კუთხეები, რომელთაც ქმნიან მნათობებზე გავლებული თვალთახედვის ხაზები:  $S_1AS_2 = \alpha$ ,  $S_1AS_3 = \alpha + \beta$ ,  $S_2AS_3 = \beta$ .

მაგრამ ამ კუთხეებს გამოხატავენ შესაბამისად  $S'_1S'_2$ ,  $S'_1S'_3$  და  $S'_2S'_3$  რკალებით, რომელნიც აღებული არიან **A** ცენტრის გარშემო ერთეულიანი რადიუსით შემოწერილ წრეწირზე. ეს რკალები მხოლოდ ხილულ კუთხურ მანძილებს გამოხატავენ.



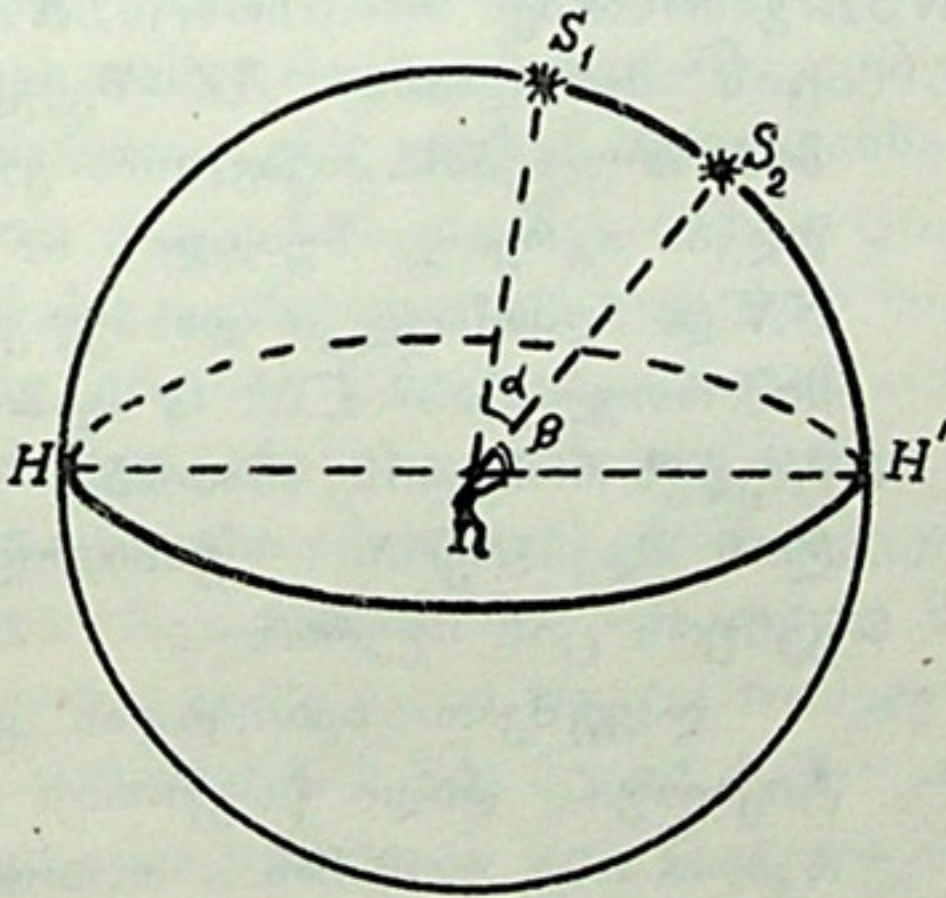
თუ დავუშვებთ, რომ  $AS'_2$  რაიმე საყრდენი მიმართულებაა (მსგავსად მიმართულებისა ზენიტზე ან ჰორიზონტში), მაშინ  $\alpha$  კუთხე წარმოადგენს  $S_1$ -ის



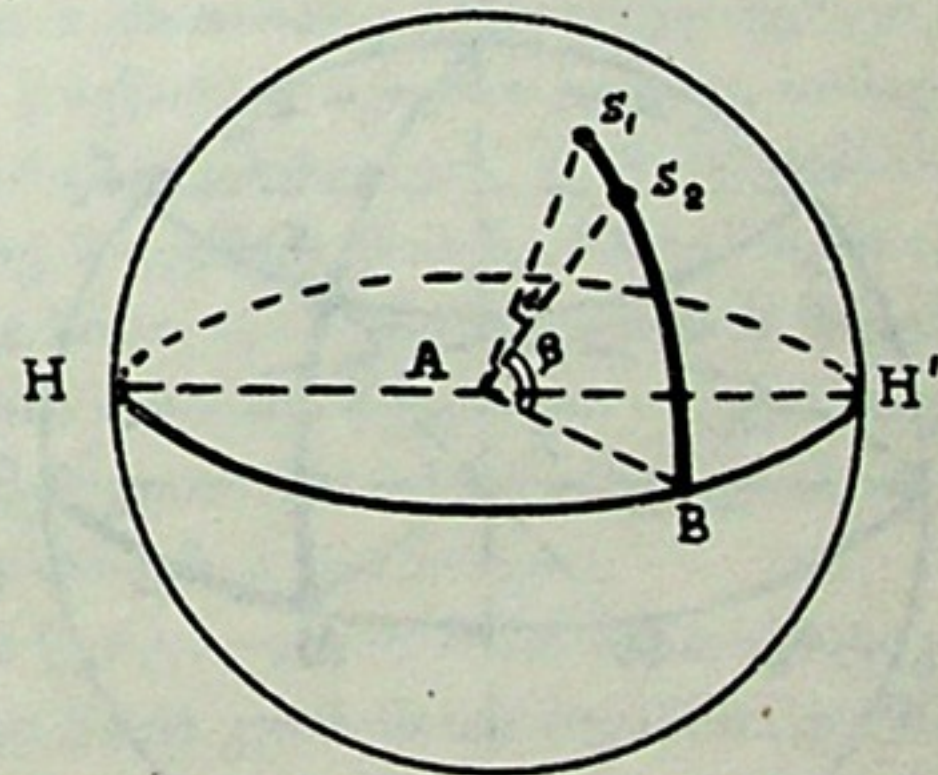
ნახ. 49

კუთხურ დაშორებას ამ მიმართულებისაგან და, მაშასადამე, ერთგვარად განსაზღვრავს  $S_1$ -ის ანუ  $S'_1$ -ის მდებარეობას  $S'_2$ -ის მიმართ.

50-ე ნახაზზე დამკვირვებელი უყურებს ცაზე  $S_1$  და  $S_2$  ვარსკვლავებს. მისი თვალთახედვის ხაზები დამკვირვებლის თვალში ქმნიან  $\alpha$  კუთხეს. ეს კუთხე შეესაბამება ცის სფეროზე აღებულ რკალურ მანძილს— $S_1S_2$ . დიდი წრეწირის რკა-



ნახ. 50



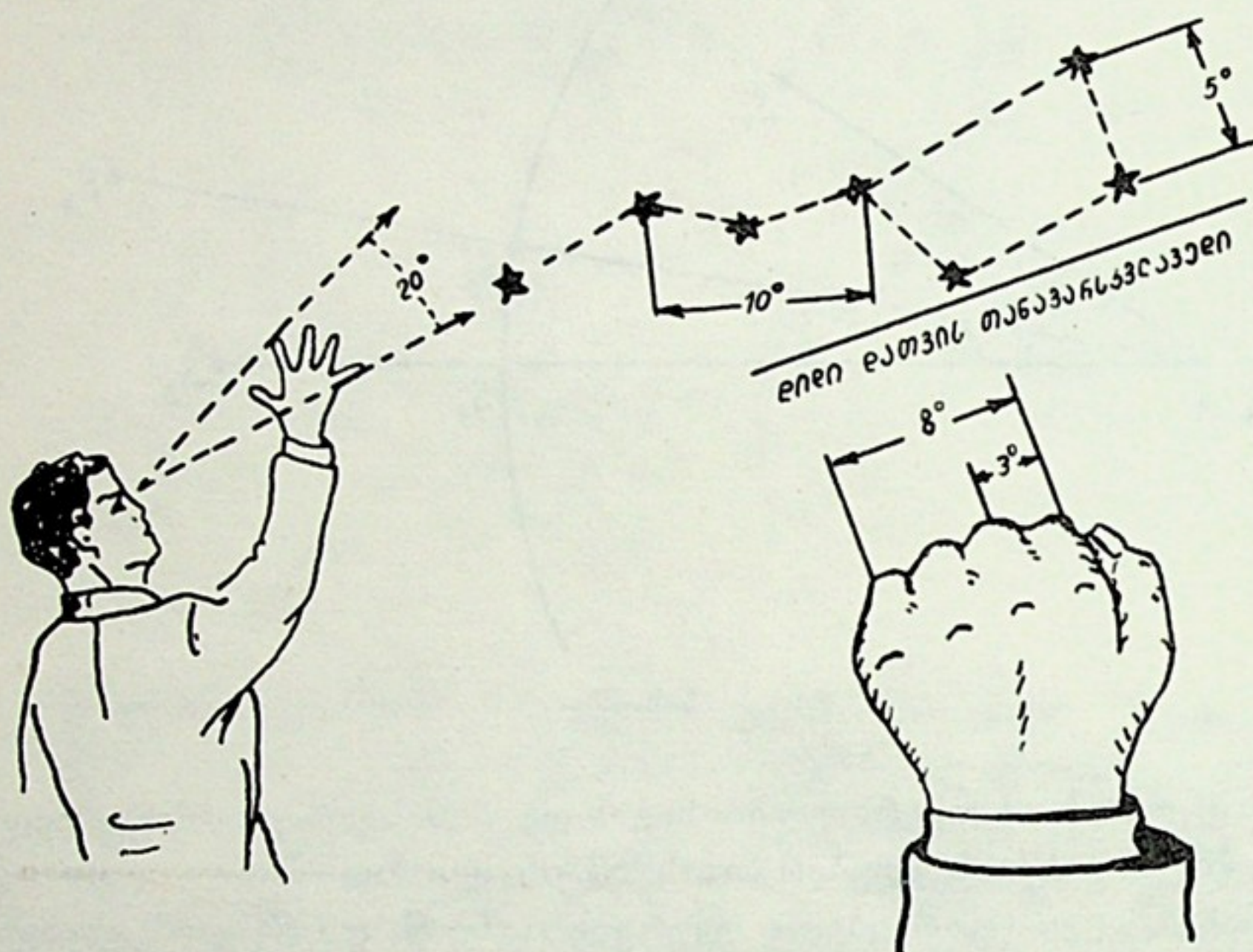
ნახ. 51

ლი  $H'S_2$  შეესაბამება  $\beta$  კუთხეს და გამოხატავს  $S_2$  ვარსკვლავის ხილულ მდებარეობას ჰორიზონტის მიმართ, მის ხილულ დაშორებას ჰორიზონტიდან.

ანალოგიური სურათია 51-ე ნახაზზე იმ განსხვავებით, რომ აქ ვარსკვლავები აღვილის მერიდიანის სიბრტყეში არ მდებარეობენ, როგორც ეს 50-ე ნახაზზეა ნაჩვენები.

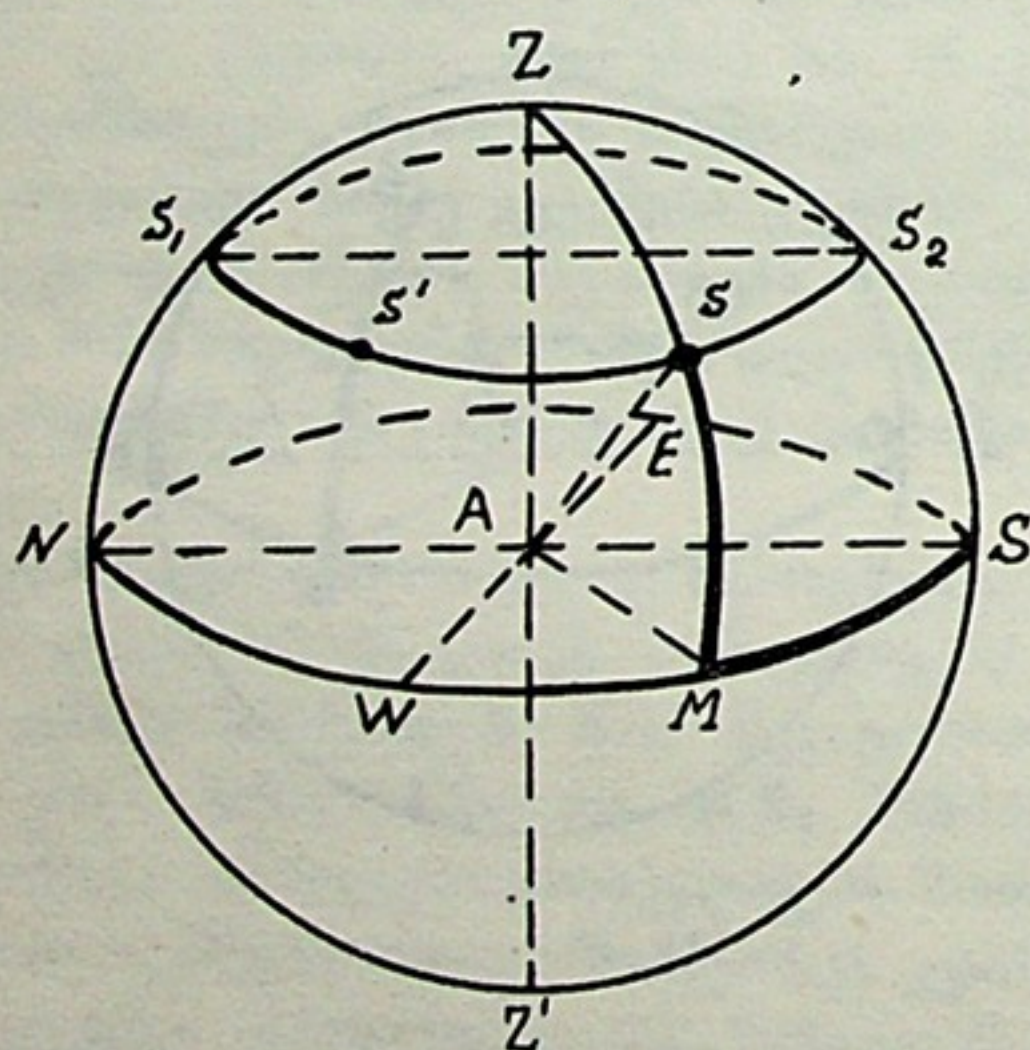


სასარგებლოა, დაახლოებით მაინც შეგვეძლოს ცაზე კუთხური მანძილების შეფასება თვალთ. ამისათვის დავიხსოვოთ, რომ კუთხური მანძილი დიდი დათვის  $\alpha$  და  $\beta$  ვარსკვლავებს შორის დაახლოებით  $5^\circ$ -ია;  $\delta$  და  $\zeta$ -ს შორის კი  $10^\circ$ ; სავსე მთვარის ბადროს განივი ნახევარი გრადუსია. ცაზე კუთხური მანძილების შესაფასებლად უხეში სახელდახელო წესიც არსებობს (წინ გაშვებული ხელი გაშლილი თითებით ან მუშტით), იგი გამოხატულია 52-ე ნახაზზე.



ნახ. 52

§ 32. პორიზონტული კოორდინატები. სიმაღლე და აზიმუტი. ზენიტური მანძილი. განვიხილოთ 53-ე ნახაზი.  $NWSE$  გამოსახავს პორიზონტს,  $NZS$  —



ნახ. 53

ცის მერიდიანს,  $AZ$  — შვეულის მიმართულებას. მივაქციოთ ყურადღება აგრეთვე შუადღის ხაზს —  $SN$  და აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებას —  $EW$ .  $s$  გამოხატავდეს რომელიმე მნათობს, რომლის მდებარეობის განსაზღვრა გვსურს ცის სფეროზე.

დავუშვათ ზენიტიდან ვერტიკალური დიდი წრეწირის  $ZM$  რკალი ისე, რომ მან  $s$  მნათობზე გაიაროს.  $M$  აღნიშნავს ვერტიკალური წრეწირის გადაკვეთას პორიზონტის სიბრტყესთან ანუ ე. წ. ვერტიკალის ფუძეს. რკა-

ლი  $Ms$  გაზომავს კუთხეს, რომელიც იქმნება დამკვირვებლის თვალში —  $A$  წერტილში,  $s$  ვარსკვლავზე მიმართული თვალთახედვის ხაზსა და პორიზონტის სიბრტყეს შორის. ეს რკალი ერთგვარად განსაზღვ-



რავს მნათობის ხილულ დაშორებას, ამაღლებას პორიზონტიდან. ამიტომ შეგვიძლია ვუწოდოთ მას სიმაღლე, ე. ი. მნათობის სიმაღლე ეწოდება ვერტიკალური წრის  $Ms$  რკალს პორიზონტიდან მნათობამდე ან ცენტრალურ  $MAs$  კუთხეს პორიზონტის სიბრტყესა და  $s$  ვარსკვლავზე მიმართულებას შორის.

იგი პორიზონტიდან აითვლება და გრადუსებით იზომება. პორიზონტზე მდებარე მნათობის სიმაღლე  $0^\circ$ -ია. უდიდესი სიმაღლე შეესაბამება მდებარეობას ზენიტში და ზენიტის წერტილის სიმაღლე ანუ მისი რკალური დაშორება პორიზონტიდან  $90^\circ$ -ია. საერთოდ, სიმაღლე აითვლება პორიზონტიდან ვერტიკალის გასწვრივ  $0$ -დან  $90^\circ$ -მდე და იგი დადებითად ითვლება ზენიტის მიმართულებით, ხოლო უარყოფითად—პორიზონტიდან ნადირისაკენ; ეს უკვე პორიზონტის ქვეშ სივრცეს შეესაბამება და პრაქტიკულად იშვიათად, მხოლოდ განსაკუთრებულ ამოცანებში გამოიყენება.

ცხადია, რომ სიმაღლე ერთგვარ მითითებას გვაძლევს იმის შესახებ, თუ სად, რა ადგილას, პორიზონტიდან ახლო თუ შორს მდებარეობს ცაზე მნათობი. მაგრამ მისი რიცხვითი მნიშვნელობის ცოდნა არაა საკმარისი იმისათვის, რომ მნათობის მდებარეობა გარკვეულად და სრულად განისაზღვროს ცაზე, რამდენადაც პორიზონტის პარალელურ მცირე წრეწირზე მდებარე ყველა ვარსკვლავს ერთი და იგივე სიმაღლე ექნება. მართლაც,  $s$  ვარსკვლავის გარდა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ კიდევ მეორე მნათობიც— $s'$ , რომელიც საკმარისად დაშორებულია  $s$ -დან (ჩრდილოეთისაკენ იმყოფება, მაშინ როდესაც  $s$  სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილშია), მაგრამ იმავე სიმაღლის მქონეა, რაც  $s$ -ს აქვს, ე. ი. ისევე ამაღლებულია პორიზონტიდან, როგორც  $s$ .  $s$  და  $s'$  მდებარეობენ პორიზონტის პარალელურ მცირე წრეწირზე. ისეთ მცირე წრეწირს, რომელიც პორიზონტის პარალელურია, მნათობის ალმუჟანტარატი ეწოდება.

მაშასადამე, აუცილებელია შემოვიღოთ კიდევ სხვა, მეორე სიდიდე, რომელიც სავსებით განსაზღვრავს, სიმაღლესთან ერთად, მნათობის მდებარეობას ცის სფეროზე. საამისოდ განვიხილოთ პორიზონტის  $SM$  რკალი, რომელიც გაზომავს დამკვირვებლის თვალში აგებულ ბრტყელ  $SAM$  კუთხეს; ეს უკანასკნელი წარმოადგენს კუთხეს მერიდიანსა და  $s$  მნათობზე გავლებულ ვერტიკალს შორის. ამ კუთხის ანუ შესაბამისი დიდი წრეწირის რკალის ცოდნა, სიმაღლის ცოდნასთან ერთად, უკვე სავსებით საკმარისია იმისათვის, რომ მნათობის ანუ რაიმე წერტილის მდებარეობა ცის თაღზე მოცემულ მომენტში საბოლოოდ და ცალსახად განისაზღვროს. თუ მარტო  $Ms$  სიმაღლის მნიშვნელობის მიცემა არ იყო საკმარისი იმისათვის, რომ დაგვედგინა რომელი წერტილი იგულისხმება,  $s$  თუ  $s'$ , ახლა როცა ამასთან ერთად მოცემულია  $SM$ -ის მნიშვნელობაც, უკვე სრულიად გარკვეული ხდება, რომელ წერტილზეა ლაპარაკი.

პორიზონტის  $SM$  რკალს სამხრეთის წერტილიდან მნათობის ვერტიკალის ფუძემდე ან ზენიტთან შედგენილ სფერულ  $SZM$  კუთხეს მერიდიანსა და მნათობის ვერტიკალს შორის, მნათობის აზიმუტი ეწოდება.

აზიმუტი აითვლება სამხრეთის წერტილიდან  $S$  პორიზონტის გასწვრივ ორივე მიმართულებით: დასავლეთით აითვლება დადებითად,  $0$ -დან  $180^\circ$ -მდე, ხოლო აღმოსავლეთით—უარყოფითად,  $0$ -დან  $-180^\circ$ -მდე. ცხადია, რომ აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილების აზიმუტი მინუს და პლუს  $90^\circ$ -ია, შე-





საბამისად; კიდევ მეტიც: ყველა იმ ვარსკვლავის აზიმუტი, რომლებიც პირველ ვერტიკალზე მდებარეობს, პლუს ან მინუს  $90^\circ$ -ია. ჩრდილოეთის წერტილის აზიმუტი  $180^\circ$ -ია, მერიდიანზე მდებარე ვარსკვლავების აზიმუტი— $0^\circ$  ან  $180^\circ$ . თუ ვარსკვლავი მერიდიანის სამხრეთ ნაწილში (ZS რკალი) მდებარეობს, აზიმუტი  $0^\circ$ -ია, ხოლო თუ ჩრდილოეთ ნაწილში (ZN რკალი)— $180^\circ$ .

ზოგჯერ აზიმუტი აითვლება სამხრეთის წერტილიდან დასავლეთით (სათის ისრის მიმართულებით)  $0$ -დან  $360^\circ$ -მდე. ათვლის ასეთ სისტემაში, მაგალითად, აღმოსავლეთის წერტილის აზიმუტი  $270^\circ$  იქნება.

გეოდეზიურ და კარტოგრაფიულ პრაქტიკაში აზიმუტი აითვლება ჩრდილოეთის წერტილიდან აღმოსავლეთით, კვლავ საათის ისრის მიმართულებით და ასეთი წესით ათვლილი აზიმუტი წოდებულია გეოდეზიურ აზიმუტად.

საბოლოოდ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სიმაღლე მიგვითითებს ჰორიზონტის პარალელურ მცირე წრეწირს, რომელზეც მნათობი მდებარეობს; აზიმუტი—ვერტიკალურ წრეწირს, რომელზეც, ამავე დროს, აღებული მნათობი იმყოფება. ორივე ერთად განსაზღვრავს მნათობის მდებარეობას, როგორც ამ ორი წრეწირის რკალების გადაკვეთის წერტილს.

ამ ორ სიდიდეს—სიმაღლეს და აზიმუტს,—როგორც ცის სფეროს ზედაპირზე მნათობის (წერტილის) განმსაზღვრელ სიდიდეებს,—ასტრონომიული კოორდინატები ეწოდება. იმასთან დაკავშირებით, რომ განხილულ შემთხვევაში პირველი კოორდინატის საყრდენ ანუ საწყის სიბრტყეს ჰორიზონტი წარმოადგენს, ხოლო მეორე კოორდინატი იმავე ჰორიზონტის გასწვრივ აითვლება, კოორდინატთა ამ სისტემას ჰორიზონტული კოორდინატების სისტემა ეწოდება.

ჰორიზონტული სისტემის პირველ კოორდინატს—სიმაღლეს—აღნიშნავენ  $h$  ასოთი, ხოლო მეორეს—აზიმუტს— $A$  ასოთი.

ხშირად სიმაღლის ნაცვლად ხმარობენ ე. წ. ზენიტურ მანძილს, რაც იმავე 53-ე ნახაზზე გამოიხატება ZS რკალით და წარმოადგენს სიმაღლის Ms რკალის დამატებას  $90^\circ$ -მდე. ამიტომ, თუ ზენიტურ მანძილს აღვნიშნავთ  $z$  ასოთი (ასეთია საერთოდ მიღებული მისი აღნიშვნა), დავწერთ ტოლობას:

$$h+z=90^\circ.$$

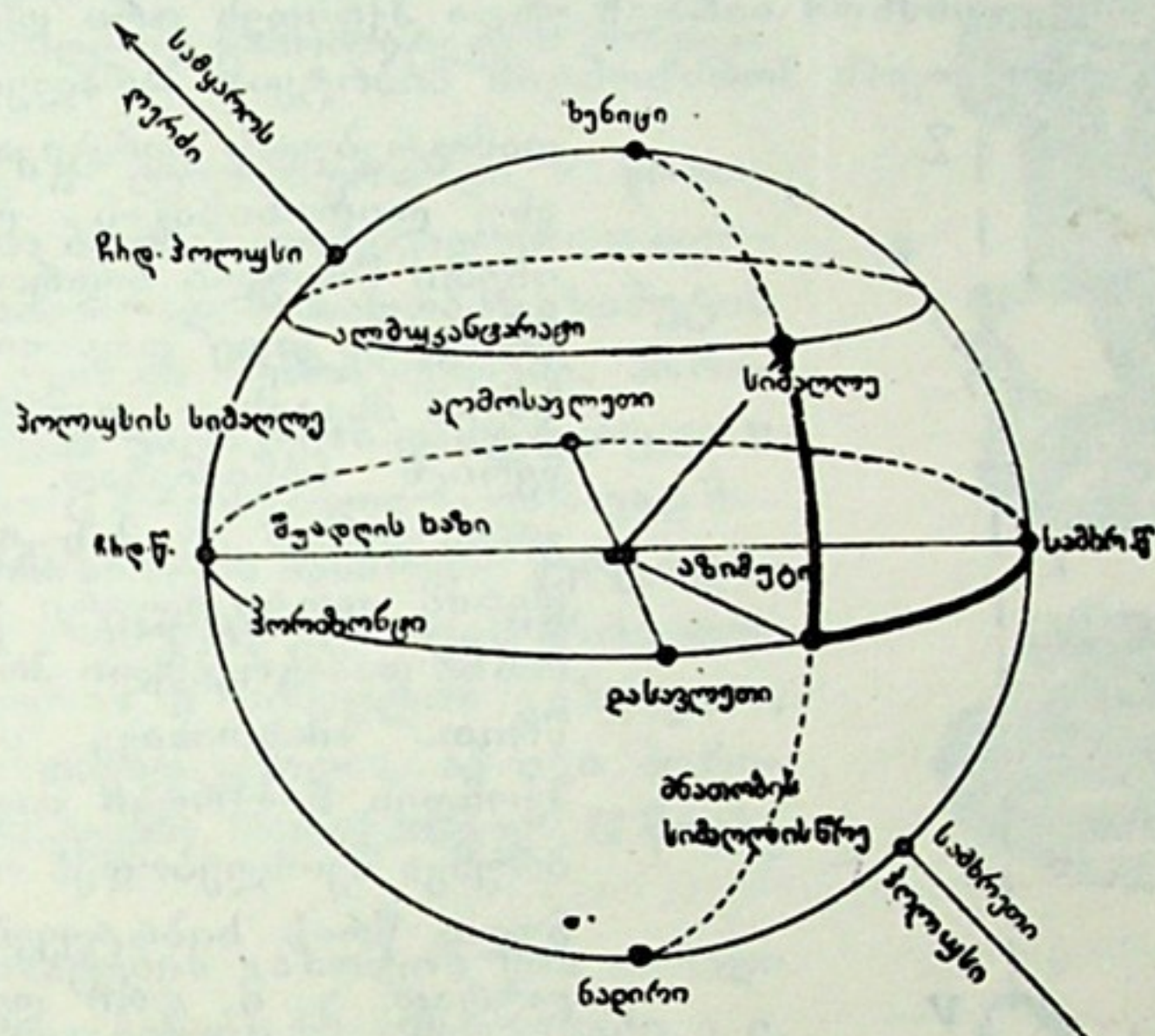
თავისთავად ცხადია, რომ ამოსვლის ან ჩასვლის მომენტში მნათობს უმცირესი სიმაღლე ( $h=0^\circ$ ) ან უდიდესი ზენიტური მანძილი ( $z=90^\circ$ ) აქვს. მეორე მხრივ, თუ მნათობი ზენიტშია, მისი  $h=90^\circ$  და  $z=0^\circ$ .

54-ე ნახაზზე წარმოდგენილია თითქმის ისეთივე სურათი, როგორც წინა ნახაზზე, ოღონდ—წარწერებით განმარტებული.

ასტრონომიულ კოორდინატებს ის პრაქტიკული დანიშნულება აქვს, რომ მათი რიცხვითი მნიშვნელობების მიხედვით ვიპოვოთ შესაბამისი მნათობის მდებარეობა ცაზე. ვთქვათ, ცნობილი გეოგრაფიული პუნქტისათვის მოცემულია რომელიმე მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატების—სიმაღლისა და აზიმუტის—კონკრეტული რიცხვითი  $h_0$  და  $A_0$  მნიშვნელობანი, დროის გარკვეული მომენტისათვის. როგორ ვიპოვოთ ეს მნათობი ცაზე? დავდგეთ პირით ჰორიზონტის სამხრეთის წერტილისაკენ და გავიხედოთ პირდაპირ ჰორიზონტის გასწვრივ. ამის შემდეგ ავწიოთ თავი ზევით იმდენად, რამდენადაც ეს შესაბამეა მნათობის სიმაღლის მოცემულ მნიშვნელობას, ე. ი. ავიხედოთ ზე-



ვით ისე, რომ თვალთახედვის ხაზმა ჰორიზონტთან დაახლოებით იმდენ გრადუსიანი კუთხე შეადგინოს, რამდენიც მნათობის სიმაღლეს გამოხატავს. ამის შემდგომ, თუ მნათობს დასავლეთი აზიმუტი აქვს, შემოვტრიალდეთ დასავლეთისაკენ (მარჯვნივ) იმდენი გრადუსით, რამდენიც ეს აზიმუტის მოცემულ მნიშვნელობას შეესაბამება. ოღონდ ამ შემოტრიალებისას არ შევცვალოთ თვალთახედვის ხაზის უკვე ფიქსირებული ამაღლება ჰორიზონტიდან. მაშინ ჩვენი თვალთა-



ნახ. 54

ხედვის ხაზი პირდაპირ მნათობისაკენ იქნება მიმართული და ამგვარად დამთავრდება მნათობის მიგნების პროცედურა მოცემული კოორდინატების მიხედვით.

რა თქმა უნდა, იმავე შედეგს მივაღწევთ, თუ, ჩვენი საწყისი მდებარეობიდან—პირით სამხრეთისაკენ და თვალთახედვის ხაზით ჰორიზონტში,—ჯერ დასავლეთისაკენ შემოვტრიალდებით აზიმუტის მოცემული მნიშვნელობის მიხედვით და შემდგომ აღვმართავთ თვალთახედვის ხაზს მნათობის სიმაღლის მნიშვნელობის შესაბამისად.

ახლა ვთქვათ, რომ შექცეული ამოცანა გვაქვს, ე. ი. ვუყურებთ რომელიმე მნათობს და გვსურს ვიცოდეთ მისი ჰორიზონტული კოორდინატები. როგორ მოვიქცეთ? დავუშვათ ჩვენი თვალთახედვის ხაზი მნათობიდან ჰორიზონტის სიბრტყემდე და შევაფასოთ ამგვარად შემოწერილი კუთხის სიდიდე. ეს სიმაღლის მნიშვნელობას მოგვცემს. ამის შემდეგ მოვტრიალდეთ სამხრეთისაკენ და თვალთახედვის ხაზის ეს შებრუნებაც შევაფასოთ გრადუსებით, რაც აზიმუტის რიცხვით გამოხატულებას მოგვცემს. ამგვარად, შესრულდება მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატების მიახლოებითი განსაზღვრის პროცედურა.

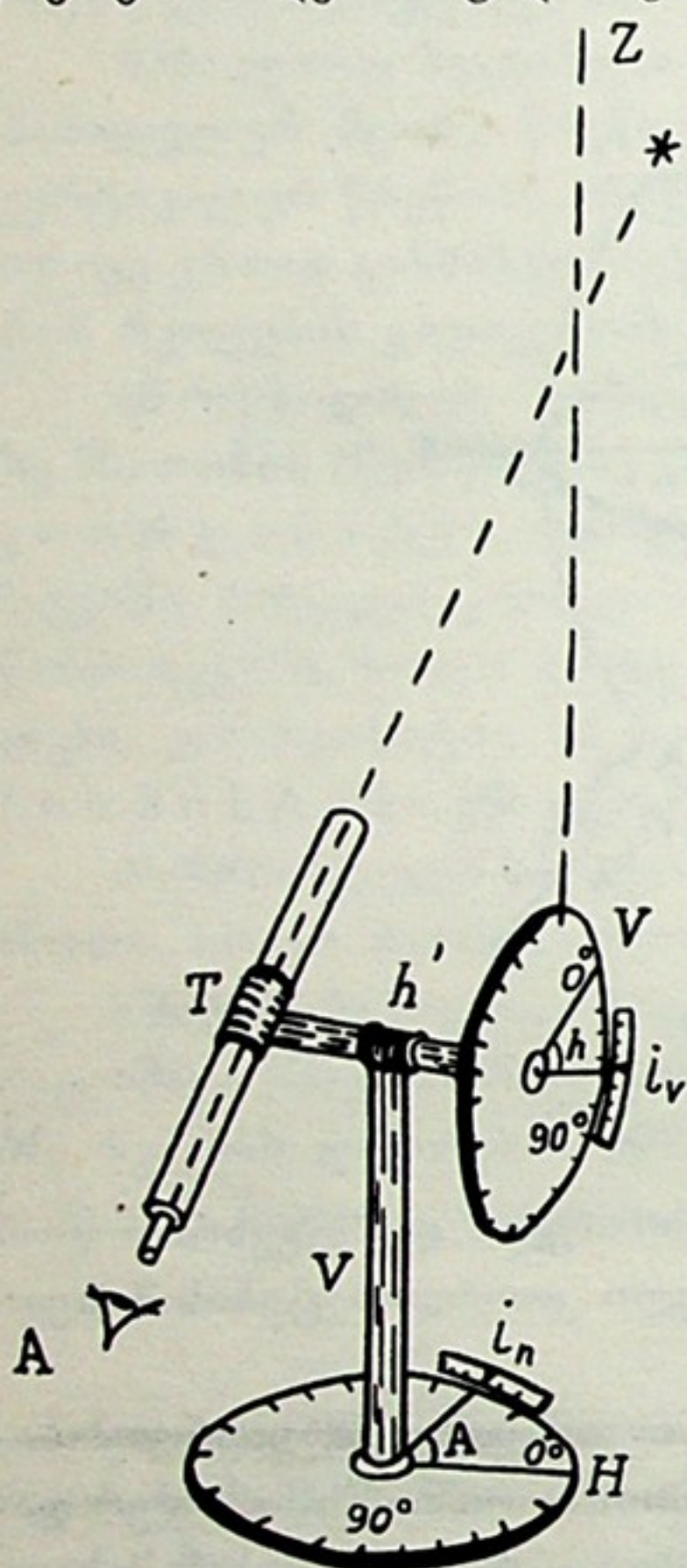
**§ 33. ჰორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხშოში იარაღით.** თავისთავად იგულისხმება, როცა საქმე ეხება ზუსტ ასტრონომიულ დაკვირვებას და ზუსტ განსაზღვრებს, ასე უბრალოდ კი ვერ მოვიქცევით, მაშინ მივმართავთ



ზუსტ კუთხეზომ იარაღებს და მათი საშუალებით შემოვწერთ და გავზომავთ კუთხეებს, რომელნიც კოორდინატებს გამოხატავენ.

იმისათვის, რომ კუთხეზომი იარაღით მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატების უშუალო განსაზღვრა შევძლოთ, საჭიროა იარაღი ისე იყოს მოწყობილი, რომ მოხერხდეს, ჯერ ერთი, კუთხის გაზომვა მნათობის ვერტიკალში, ე. ი. ჰორიზონტსა და მნათობს შორის ( $h$ ), და, მეორეც, — კუთხის გაზომვა მერიდიანსა და მნათობზე გამავალ ვერტიკალს შორის, ე. ი. ჰორიზონტის წრეწირის გასწვრივ ( $A$ ).

ამის მიხედვით, კუთხეზომ იარაღს უნდა ჰქონდეს ორი ღერძი და ორი წრე. ერთი ღერძი უნდა იყოს ჰორიზონტის სიბრტყის პარალელური, მასზე



ნახ. 55

დამაგრებული ვერტიკალური წრით ანუ ლითონისაგან დამზადებული ისეთი წრიული ბადრით, რომლის წრიული კიდე დაყოფილია, სახაზავის მსგავსად, თანატოლ წვრილწვრილ ნაწილებად, მაგალითად, გრადუსებად ან მინუტებად. მეორე ღერძი ვერტიკალური უნდა იყოს, მასზე დამაგრებული ჰორიზონტული წრით. ამასთანავე იარაღს უნდა ჰქონდეს საჭვრეტი მილი, რომლის ბრუნვა შეიძლებოდეს ორივე აღნიშნული წრის სიბრტყეების პარალელურად, ე. ი. ორი ღერძის ირგვლივ, რომელთაგან ერთი ჰორიზონტულია, ხოლო მეორე — ვერტიკალური.

**§ 34. უნივერსალური ინსტრუმენტი და თეოდოლიტი.** ასეთი კუთხეზომი იარაღის სქემა მოყვანილია 55-ე ნახაზზე. აქ ვხედავთ ორ ღერძს — ჰორიზონტულს —  $h'$  და ვერტიკალურს —  $v$ , მათზე დამაგრებული წრეებითურთ — ვერტიკალურ

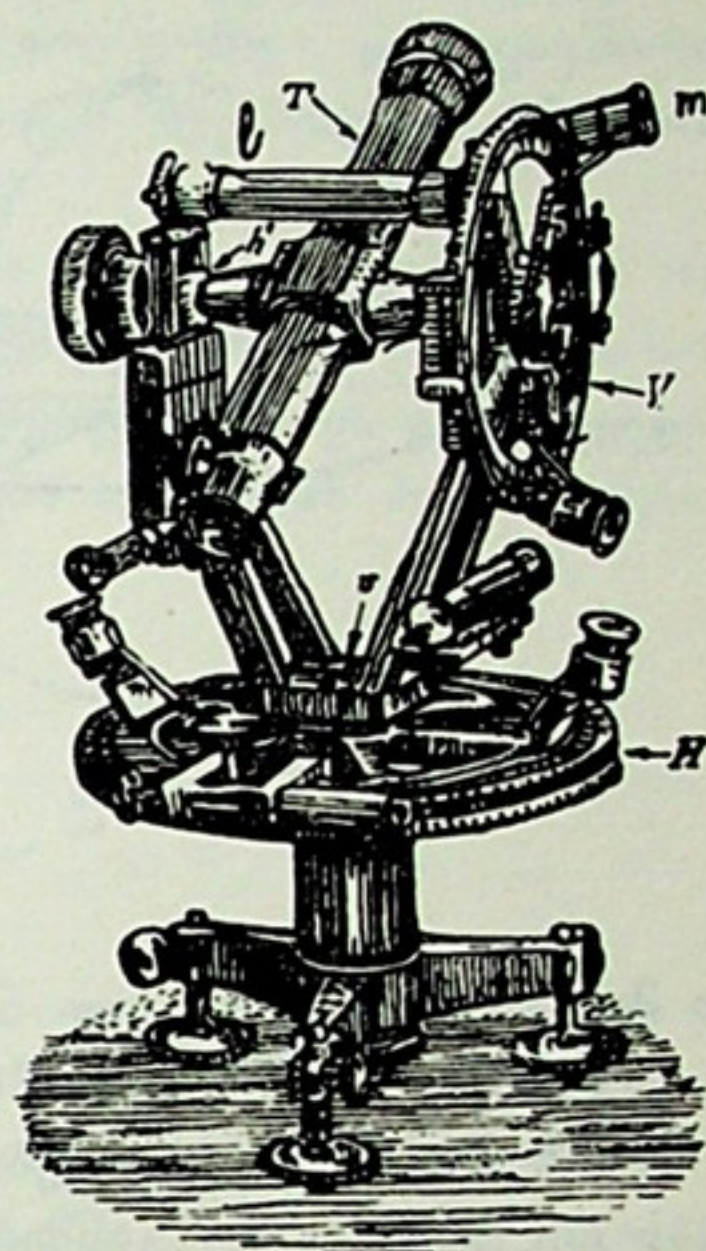
რით —  $V$  და ჰორიზონტულით  $H$ .  $T$  წარმოადგენს საჭვრეტ მილს, რომლის ერთ ბოლოში — ოკულართან — დაკვირვების ან გაზომვის დროს მოთავსებულია დამკვირვებლის თვალი —  $A$ . საჭვრეტი მილის მიმართულება თვალთახედვის ხაზის მიმართულებას მიჰყვება. ამასთან დაკავშირებით ამ მიმართულების გამომხატველი წყვეტილი ხაზის ბოლოში ნახაზზე ნაჩვენებია ვარსკვლავი.

$T$  მილს შეუძლია ბრუნვა ჰორიზონტული  $h'$  ღერძის ირგვლივ და შეგვიძლია ამ მილით ანუ სავიზირო ხაზით „შემოვწერთ“ ცაზე დიდი წრეწირის რკალი, რომელიც მნათობის ჰორიზონტული სისტემის პირველ კოორდინატს — სიმაღლეს შეესაბამება. საჭვრეტ მილთან ერთად ბრუნავს ჰორიზონტულ ღერძზე დამაგრებული ვერტიკალური წრე. ამავე დროს წრის ცენტრში, წრესთან მიუკავ-



შირებლად უძრავად დამაგრებულია ჰორიზონტულ მდგომარეობაში  $i_h$  მაჩვენებელი. როცა საჭვრეტი მილი ჰორიზონტის პარალელურ მდებარეობაშია, წრის დანაყოფი  $0^\circ$  მოდის მაჩვენებლის პირდაპირ და ეს იმას გამოხატავს, რომ სიმაღლე  $h = 0^\circ$ . თუ გვსურს გავზომოთ მნათობის სიმაღლე, საჭვრეტი მილი — მისი ჰორიზონტული მდგომარეობიდან, ე. ი. ანათვლიდან  $0^\circ$  — უნდა შემოვებრუნოთ  $h'$  ღერძის ირგვლივ იმდენად, რომ მასში განსახილველი მნათობი დავინახოთ. მაშინ ვერტიკალური წრეც იმდენად შემობრუნდება, რომ  $i_h$  მაჩვენებლის პირდაპირ გაჩერდება მნათობის სიმაღლის გამომხატველი ანათვალის.

$T$  მილს,  $h'$  ღერძითურთ და  $V$  წრი-  
თურთ, შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური  $v$  ღერ-  
ძის გარს და ამნაირად — მნათობის აზიმუტის  
შესაბამისი კუთხით შემობრუნდება. ჰორი-  
ზონტული წრე  $H$  უნდა იყოს დამაგრებული  $v$   
ღერძზე, ხოლო  $i_h$  მაჩვენებელი — უძრავად მი-  
მართული ჰორიზონტის სამხრეთი წერტილი-  
საკენ —  $S. A$  აზიმუტის გაზომვის პროცედუ-  
რა ანალოგიურია  $h$  სიმაღლის გაზომვისა,  
მაგრამ თავისთავად ცხადია, აქ იგი ჰორი-  
ზონტულ სიბრტყეში, ჰორიზონტულ  $H$  წრეზე  
ხდება.



ნახ. 56

კოორდინატების გაზომვის წინ იარაღი  
უნდა დავაყენოთ საწყის მდგომარეობაში, ე. ი.

ისე რომ,  $H$  წრე იყოს რაც შეიძლება მკაცრად ჰორიზონტული (რისთვისაც სა-  
ჭიროა მივმართოთ სათანადო თარაზოებს), ხოლო  $i_h$  მაჩვენებელი — პირდაპირ  
 $S$  წერტილზე მიმართული.

ზემოთ მოყვანილი იყო კუთხეზომი იარაღის გამარტივებული სქემა. სინამ-  
დვილში ეს იარაღი უფრო რთულია, ზუსტი იარაღების კატეგორიას ეკუთვნის.  
მთელი რიგი დანამატები: თარაზოები, წრეების დანაყოფების ასათვლელად სახ-  
მარი ნონიუსები, ლუპები, გამნათებელი ნათურები, დასამაგრებელი და ნელი  
შემობრუნების ხრახნები და სხვ. ართულებს მას და დამკვირვებლისაგან მოით-  
ხოვს ერთობ ფაქიზ მოპყრობას. 56-ე ნახაზზე ნაჩვენებია თვით იარაღი, რომელ-  
საც ეწოდება თ ე ო დ ო ლ ი ტ ი ა ნ უ ნ ი ვ ე რ ს ა ლ უ რ ი ი ნ ს ტ რ უ მ ე ნ-  
ტ ი.\* ამ ნახაზზე აღნიშვნები შეესაბამება 55-ე ნახაზზე მიღებულ აღნიშვნებს.  
დამატებით აღნიშნულია ერთ-ერთი თარაზო ( $L$ ) და ერთ-ერთი წრის ასათ-  
ვლელი ლუპა ანუ მიკროსკოპი ( $m$ ).

ამ პარაგრაფის დასასრულს მოვიყვანოთ კიდევ ორი ნახაზი, რომლებიც  
მეტ სიცხადეს შეიტანს საკითხში. 57-ე ნახაზზე წარმოდგენილია კვლავ ცის  
სფერო  $A$  დამკვირვებლით მის ცენტრში. აქ აღნიშნულია ჰორიზონტი, ვერტიკა-  
ლის წრე, პოლუსისა და ზენიტის წერტილები და სხვ.

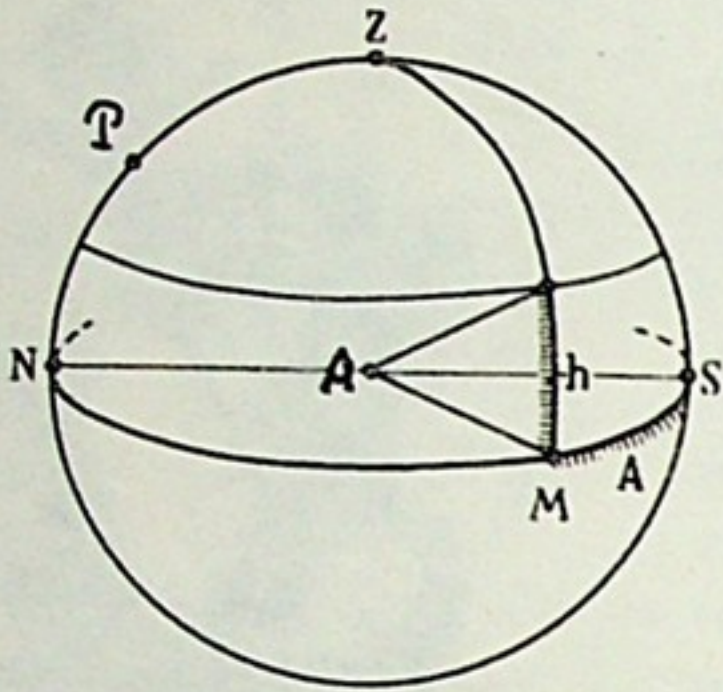
ჰორიზონტის რკალი  $S$  წერტილიდან განსახილველი მნათობის ვერტიკა-  
ლის ფუძემდე „დაკბილულია“, რათა გამოყოფილ იქნეს ჰორიზონტის წრეწირის  
ის ნაწილი, რომელიც იზომება თეოდოლიტით ან უნივერსალური ინსტრუმენ-

\* ეს ორი კუთხეზომი იარაღი კონსტრუქციულად მცირედ განსხვავებულია.





ტით. ასევე „დაკბილულია“ ვერტიკალური წრის ის ნაწილი, რომელიც მნათობის სიმაღლეს გამოხატავს და აგრეთვე იარაღით იზომება. აქ, ისევე როგორც ზემოთ, საქმე გვაქვს მნათობთან, რომელიც ცის დასავლეთ მხარეზეა და ამიტომ მისი აზიმუტი იზომება სამხრეთის წერტილიდან დასავლეთის მიმართულებით.



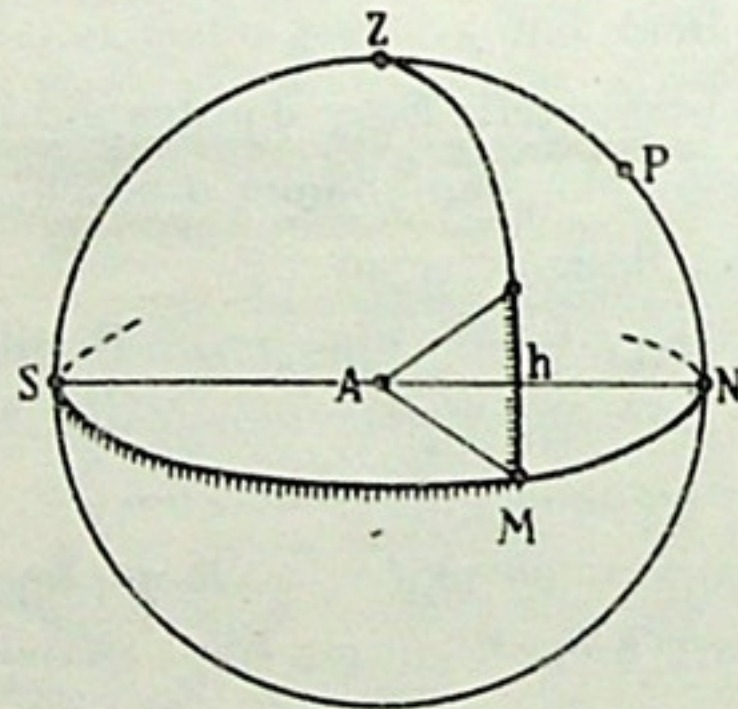
ნახ. 57

დავუშვათ ახლა, რომ მნათობი მისი აზიმუტის გაზომვის მომენტში მერიდიანიდან აღმოსავლეთით იმყოფება. ასეთ შემთხვევაში გასაზომია ჰორიზონტის წრეწირის რკალი S წერტილიდან აღმოსავლეთით. 57-ე ნახაზზე მნათობი უნდა წარმოვიდგინოთ ქაღალდის სიბრტყის უკან, სფეროს იქით მოქცეულ ნახევარზე, სადაც წრეწირები აღინიშნება პუნქტირით. მაგრამ შეგვიძლია სხვაგვარადაც მოვიქცეთ: ისე შევადგინოთ ნახაზი, რომ ჰორიზონტის აღმოსავლეთი ნახევარი ჩვენკენ იყოს მოქცეული, ე. ი. ვხედავ-

დეთ მას ჩვენკენ მოქცეულ ნახევარსფეროზე.

მაგრამ მაშინ ნახაზზე ჩრდილოეთის წერტილის მდებარეობაც უკანასკნელი ნახაზისაგან განსხვავებული იქნება. 58-ე ნახაზი გამოხატავს ამ შემთხვევას და დამატებით განმარტებას არ საჭიროებს.

§ 35. **ჰორიზონტულ კოორდინატთა სისტემის თავისებურება.** ყურადღებასიქცევია ორი გარემოება. პირველი ისაა, რომ აღებული მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატები განუწყვეტლივ იცვლება ცის ხილული დღედამური ბრუნვის ანუ დედამიწის ნამდვილი, დღედამური, დერძის ირგვლივ ბრუნვის გამო. მნათობი ამოდის ჰორიზონტზე და ამ მომენტში მისი სიმაღლე ნულია; აზიმუტი კი, თუ მნათობი



ნახ. 58

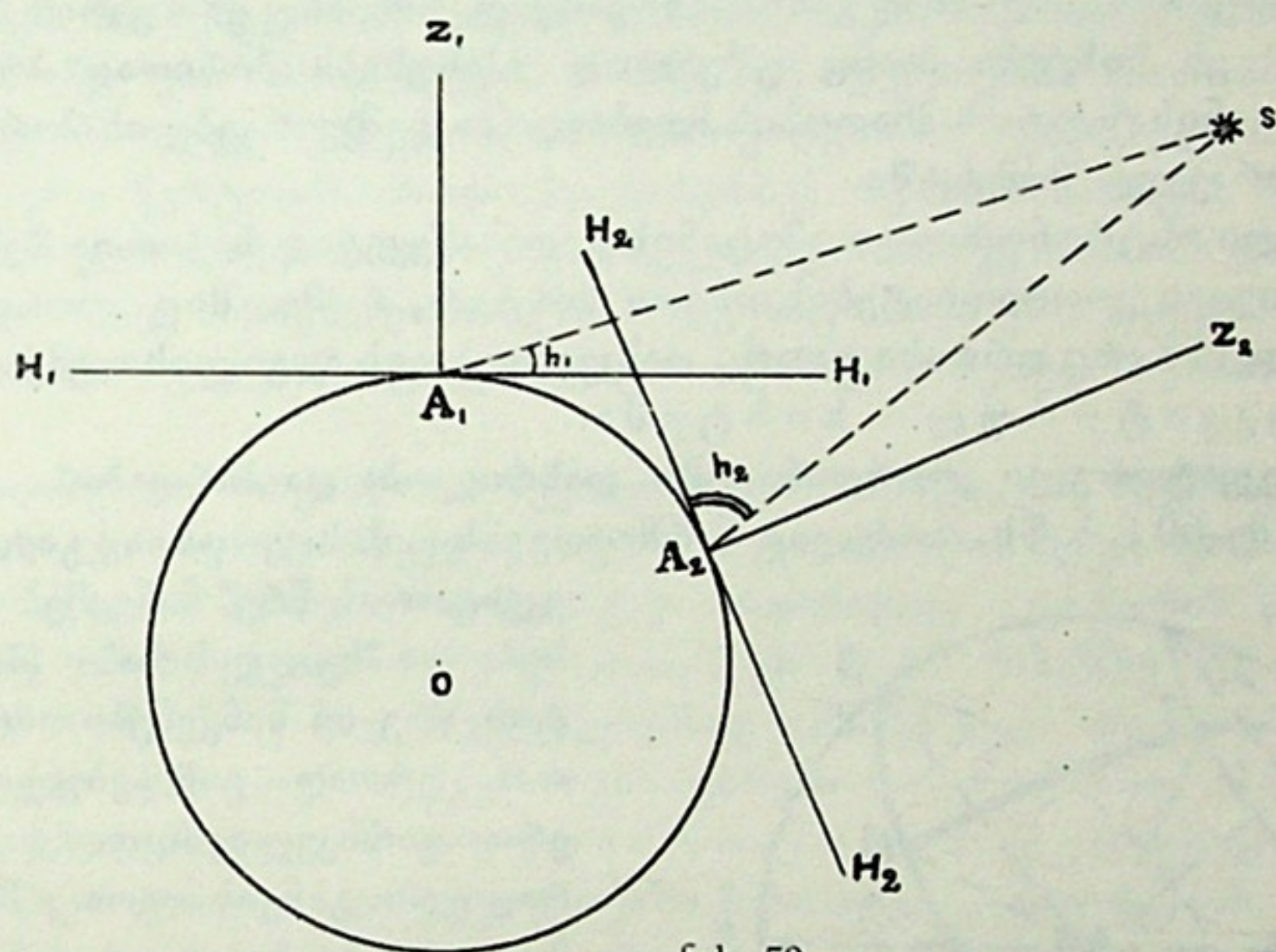
ზუსტად აღმოსავლეთის წერტილში ამოდის, —  $90^\circ$ -ია, თუ არა და,  $90^\circ$ -გან განსხვავებული სიდიდეა. ამოსვლის უმაღლეს მნათობის სიმაღლე თანდათან მატულობს, ხოლო აზიმუტის აბსოლუტური მნიშვნელობა კლებულობს. იმ მომენტში, როცა მნათობი ჰორიზონტის ზემოთ მერიდიანს გადაკვეთს, მისი სიმაღლე ჰორიზონტიდან უდიდესია, მაგრამ აზიმუტის მნიშვნელობა  $0^\circ$ -მდე დადის. მზისათვის, მაგალითად, ეს დაახლოებით შუადღისას ხდება. ამის შემდგომ სიმაღლე იწყებს კლებას, ხოლო აზიმუტი — ზრდას დასავლეთის მი-



მართულებით და, როცა მნათობი კვლავ ჰორიზონტზე დადის ჩასასვლელად, მისი სიმაღლე ისევ ნულია, ხოლო აზიმუტი მაქსიმალური მნიშვნელობისაა\*.

როგორც ვხედავთ, მნათობის ორივე კოორდინატი დამკვირვებლის თვალწინ განუწყვეტლივ იცვლება. აქედან ის დასკვნა შეიძლება გამოვიტანოთ, რომ თუ მნათობის მოცემული ჰორიზონტული კოორდინატებით გვსურს დავადგინოთ მისი მდებარეობა ცაზე, ამ კოორდინატებს უთუოდ უნდა დავუკავშიროთ დროც, ე. ი. უნდა აღინიშნოს, თუ რა მომენტს შეესაბამება მნათობის კოორდინატების მოცემული მნიშვნელობები.

მეორე გარემოება ისაა, რომ სხვადასხვა პუნქტში მყოფი ორი დამკვირვებლისათვის ერთსა და იმავე მომენტში აღებული მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატები სხვადასხვა მნიშვნელობას ღებულობს. ეს გამოწვეულია მით, რომ ჰორიზონტული კოორდინატები აითვლება ადგილის ჰორიზონტისა



ნახ. 59

და მერიდიანის მიმართ, ეს უკანასკნელი კი სხვადასხვაა ორი სხვადასხვა პუნქტისათვის.

განვიხილოთ 36-ე ნახაზის მსგავსი 59-ე ნახაზი, რომელზეც ნაჩვენებია დედამიწის ზედაპირზე სხვადასხვა ადგილას მყოფი ორი დამკვირვებელი —  $A_1$  და  $A_2$ . პირველის ჰორიზონტი არის  $H_1H_1$ , მეორისა —  $H_2H_2$ , შესაბამისი  $Z_1$  და  $Z_2$  ზენიტებით. ერთი და იგივე მნათობი  $S$  პირველი დამკვირვებლის ჰორიზონტიდან ამაღლებულია მცირე კუთხით —  $H_1A_1S$ , ხოლო მეორე დამკვირვებლის ჰორიზონტიდან — უფრო დიდი კუთხით —  $H_2A_2S$ . მაშასადამე, ერთსა და იმავე მომენტში, ორი ერთმეორისაგან დაშორებული დამკვირვებლის თვალწინ, ერთი და იმავე მნათობის სიმაღლე ჰორიზონტიდან სხვადასხვაა:  $h_1 \neq h_2$ .

ეს მეორე გარემოება იმას ნიშნავს, რომ თუ მოცემულია მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატების  $h$  და  $A$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობანი რაიმე მომენ-

\* ზოგ სპეციალურ ამოცანაში მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატები მაშინაც განიხილება, როცა მნათობი ჰორიზონტის ქვეშაა. ასეთ შემთხვევაში მნათობის ჩასვლის შემდეგ მისი სიმაღლე უარყოფით მნიშვნელობებს ღებულობს, ზენიტური მანძილი კი  $90^\circ$ -ზე მეტ მნიშვნელობებს, აზიმუტი განაგრძობს ზრდას.



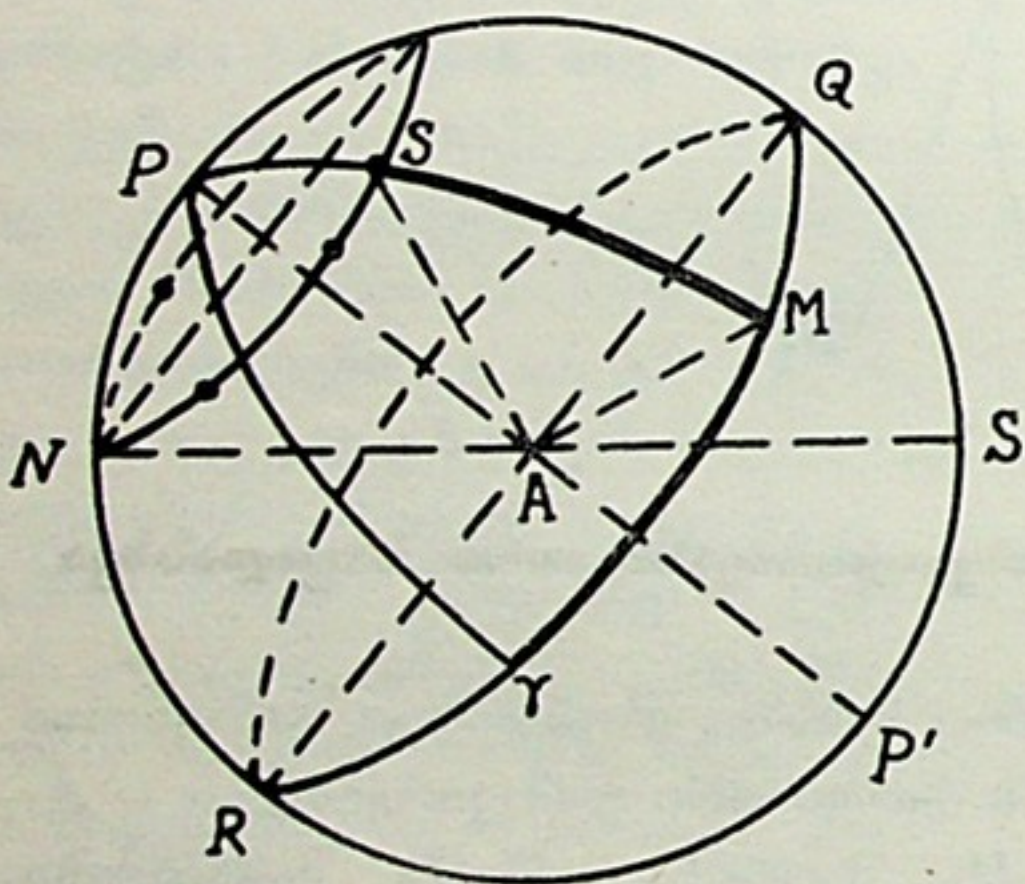
ტისათვის და ამავე დროს არაა მითითებული გეოგრაფიული პუნქტი, რომელსაც ეს კოორდინატები შეესაბამება, ვერ შევძლებთ მათი საშუალებით მნათობის მდებარეობის დადგენას ცაზე.

მნათობის (წერტილის) მდებარეობა ცაზე (სფეროს ზედაპირზე) სავსებით უნდა განისაზღვრებოდეს ორი კოორდინატით (როგორც, მაგალითად, წერტილის მდებარეობა სიბრტყეზე ან ქალაქის მდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე). მაგრამ, როგორც ვნახეთ, ჰორიზონტულ სისტემაში მნათობის კოორდინატები ცვალებადია დროში და ამასთანავე დამოკიდებულია იმაზე, თუ სად, რომელ გეოგრაფიულ პუნქტში იმყოფება დამკვირვებელი.

ამაშია ასტრონომიული კოორდინატების ჰორიზონტული სისტემის თავისებურება. თუმცა იგი ერთგვარად არასრულფასოვანს ხდის ამ კოორდინატებს (იმ თვალსაზრისით, რომ არაა საკმარისი მარტო ორი სიდიდის ცოდნა წერტილის მდებარეობის ცალსახად განსაზღვრავად, როგორც ეს სფეროს ზედაპირზე ხდება), ეს სისტემა მაინც უშუალოდ უპასუხებს ძირითად პრაქტიკულ ამოცანას: განისაზღვროს მნათობის მდებარეობა დამკვირვებლის ჰორიზონტის მიმართ გარკვეულ მომენტში.

მრავალი ასტრონომიული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა შემოვიღოთ ასტრონომიული კოორდინატების ისეთი სისტემა, რომელშიც კოორდინატები არ წარმოადგენს არც დროისა და არც დამკვირვებლის ადგილის ფუნქციას. ასეთია ე. წ. ეკვატორული სისტემა.

**§ 36. ეკვატორული კოორდინატები. დახრილობა და პირდაპირი აღვლენა.** დავხედოთ მე-60 ნახაზს, რომელიც წარმოადგენს ცის სფეროს. აქ გავლებულია



ნახ. 60

ეკვატორის წრე, ნაჩვენებია პოლუსები და შუადღის ხაზი (ჰორიზონტის წრე აქ ნაჩვენებია არაა). მათთან ერთად გავლებულია ერთ-ერთი ვარსკვლავის დედამიწური პარალელი. განვიხილოთ  $s$  მნათობის მდებარეობა ეკვატორის მიმართ. გავავლოთ  $P$  პოლუსიდან ეკვატორზე დიდი წრე ისე, რომ მან  $s$  მნათობზე გაიაროს. ცის სფეროს დიდ წრეს, რომელიც  $P$  პოლუსსა და  $s$  მნათობზე გადის, ეწოდება მნათობის დახრილობის ან ს ა ა თ ი ს წ რ ე. ეს წრე, ცხადია,

ეკვატორის პართობულია. განვიხილოთ მისი რკალური მონაკვეთი —  $Ms$ . იგი გვიჩვენებს, თუ რა ხილული კუთხური მანძილითაა დაშორებული მნათობი ცაზე ეკვატორიდან. ცხადია, იგი რომ ეკვატორზე მდებარეობდეს, დაშორება ეკვატორიდან ნული იქნებოდა, ხოლო თუ მას პოლუსში წარმოვიდგენდით, დაშორება  $90^\circ$ -ს გაუტოლდებოდა. მაშასადამე, მნათობის მდებარეობას ცაზე ახასიათებს კუთხური დაშორება ეკვატორიდან, გამოხატული აღნიშნული რკალის სიდიდით.

ამ რკალურ ან კუთხურ დაშორებას ეწოდება მნათობის დახრილობა და იგი ითვლება მნათობის ერთ-ერთ კოორდინატად ეკვატორულ სისტემაში.



მაშასადამე, დახრილობა არის მნათობზე გავლებული დახრილობის წრეწირის რკალი, რომელიც შემოსაზღვრულია მნათობით და დახრილობის წრეწირის გადაკვეთის წერტილით ეკვატორთან ან, როგორც ამბობენ, მნათობის დახრილობის რკალის ფუძით.

როგორც ვნახეთ, დახრილობა აითვლება ეკვატორიდან და ჩრდილოეთ პოლუსამდე მას შეუძლია მიიღოს სხვადასხვა დადებითი მნიშვნელობა  $90^{\circ}$ -მდე. მაგრამ აღვილი წარმოსადგენია ვარსკვლავი, რომელიც თავის დღედამურ პარალელს შემოწერს ეკვატორის სამხრეთით, ე. ი. განიხილება ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში მდებარე ვარსკვლავი. ამ შემთხვევაში დახრილობას კვლავ ეკვატორიდან ავითვლით, მაგრამ  $\alpha$  მხრეთ პოლუსისაკენ  $0$ -დან  $90^{\circ}$ -მდე და მას მივაკუთვნებთ მინუს ნიშანს. ასე, სამხრეთ პოლუსის დახრილობა იქნება  $-90^{\circ}$ .

ცაზე მნათობის მდებარეობის სრული განსაზღვრისათვის მარტო ამ ერთი კოორდინატის მნიშვნელობის ცოდნა, ცხადია, საკმარისი არაა. დახრილობა, არსებითად, უჩვენებს იმ პარალელს, რომელზეც მდებარეობს მნათობი. მაგრამ ერთ აღებულ პარალელზე შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ აურაცხელი მნათობი, რომლებიც ერთ წერტილში როდი მდებარეობენ. მე-60 ნახაზზე  $\alpha$  მნათობის გარდა აღნიშნული გვაქვს სამი სხვა ვარსკვლავიც. ოთხივე მნათობს დახრილობის ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც ისინი ერთ დღედამურ პარალელზეა, რომლის ყველა წერტილი ეკვატორიდან დაშორებულია ერთი და იმავე მანძილით.

მაშასადამე, იმისათვის, რომ შევძლოთ ერთ პარალელზე მდებარე ვარსკვლავებიდან საკუთრივ იმ ვარსკვლავის გამორჩევა, რომლის მდებარეობაც გვაინტერესებს, საჭიროა შემოვიღოთ მეორე კოორდინატიც. ეკვატორის წრეწირზე ერთი მეტად მნიშვნელოვანი წერტილია (იგი მე-60 ნახაზზე აღნიშნულია  $\gamma$  ნიშნით), რომელშიც მზე ყოველწლიურად გაზაფხულის დღედამტოლობის დღეს იმყოფება. ამ მოვლენაზე ქვევით ვისაუბრებთ დაწვრილებით. ამ წერტილს ეწოდება *გ ა ზ ა ფ ხ უ ლ ი ს დ დ ე ღ ა მ ტ ო ლ ო ბ ი ს წ ე რ ტ ი ლ ი ა ნ უ ვ ე რ ძ ი ს წ ე რ ტ ი ლ ი* (აღრეულ ეპოქაში მისი ადგილსამყოფელის — ვერძის თანავარსკვლავედის მიხედვით)\*; იგი მივიღოთ ვარსკვლავებს შორის ფიქსირებულ, მათ მიმართ უძრავ წერტილად, რომელიც კოორდინატთა სისტემის საწყისად გამოგვადგება.

$P$  პოლუსიდან ამ წერტილზე დიდი წრეწირი დავუშვათ. იგი ეკვატორის მართობული იქნება ისევე, როგორც ყოველი დახრილობის წრეწირი. ცხადია, ესეც დახრილობის წრეწირია, მაგრამ ისეთი, რომელიც გავლებულია  $\gamma$  წერტილზე. მას *დ დ ე ღ ა მ ტ ო ლ ო ბ ი ს კ ო ლ უ რ ი ე წ ო დ ე ბ ა*. განვიხილოთ ახლა ეკვატორის რკალი —  $PM$ , რომელიც გამოხატავს რკალურ მანძილს ვერძის წერტილიდან  $\alpha$  მნათობის დახრილობის წრის  $M$  ფუძემდე. ამ რკალს მეორე კოორდინატის მნიშვნელობა აქვს. მისი და დახრილობის საშუალებით გარკვეულად განისაზღვრება მნათობის მდებარეობა ცაზე. ცის ეკვატორის  $PM$  რკალს გაზაფხულის დღედამტოლობის  $\gamma$  წერტილიდან მნათობის დახრილობის წრის  $M$  ფუძემდე ან პოლუსთან შედგენილ სფერულ  $PPM$  კუთხეს დღედამტოლობის კოლურსა და მნათობის დახრილობის წრეს შორის *პ ი რ დ ა პ ი რ ი ა ღ ვ ლ ე ნ ა* ეწოდება.

ამგვარად, პირდაპირი აღვლენა შეგვიძლია განვიხილოთ აგრეთვე როგორც

\* დღედამტოლობას აქვს მეორე, ძველი ქართული სახელწოდებაც: *ბ უ ნ ი ო ბ ა*.





ორწახნაგა კუთხე დახრილობათა ორი წრის სიბრტყეთა შორის, რომელთაგან ერთი გადის მნათობზე, ხოლო მეორე— $PQ$ —გაზაფხულის დღელამტოლობის  $Q$  წერტილზე.

60-ე ნახაზზე  $Q$  წერტილიდან  $M$  წერტილს ორი მიმართულებით შეგვიძლია მივუახლოვდეთ, იმის მიხედვით, თუ საით შემოვწერთ რკალს. საჭიროა, მაშასადამე, ავირჩიოთ ერთი გარკვეული მიმართულება. პირდაპირ აღვლენას აითვლიან ვერძის წერტილიდან აღმოსავლეთით.

მაგრამ აქაც საჭიროა სრული სიცხადისათვის დამატებითი განმარტება. აღმოსავლეთის მიმართულება შემდეგნაირად უნდა გვესმოდეს: ნახაზის ცენტრში  $A$  დამკვირვებელი წარმოვიდგინოთ ისე, რომ იგი იდგეს ეკვატორის სიბრტყეზე, თავით მიმართული ჩრდილოეთი პოლუსისაკენ. მაშინ „მიმართულება აღმოსავლეთით“ მისთვის იქნება საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულება, თუ დამკვირვებელი საათის ციფერბლატს ეკვატორის წრეზე წარმოიდგენს. ეს განმარტება აუცილებლად მიგვაჩნია; უამისოდ აღვიღად შეიძლება ჩავვარდეთ გაურკვეველობაში. მკითხველი იგრძნობს ამ განმარტების საჭიროებას შემდგომშიც, კერძოდ მაშინ, როცა ლაპარაკი გვექნება, მაგალითად, მზეზე და ღერძის ირგვლივ მის ბრუნვაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით.

აღმოსავლეთი მიმართულებით აითვლება პირდაპირი აღვლენა  $0$ -დან  $360^\circ$ -მდე. გარკვეული მოსაზრების გამო, რომელსაც მაშინ გავეცნობით, როცა დროის აღრიცხვის საკითხს განვიხილავთ, მოხერხებულია, პირდაპირი აღვლენა ავითვალოთ არა გრადუსებითა და მისი ნაწილებით, არამედ დროის ერთეულებით: საათებით, წუთებით და წამებით; მხოლოდ აუცილებელია, რომ  $360^\circ$  შევუფარდოთ 24 საათს. ესე იგი, ამოსავალად ის ჩავთვალოთ, რომ ცა 24 საათის განმავლობაში (ერთ დღე-ღამეში)  $360^\circ$ -ით (ერთი სრული შემობრუნება) შემობრუნდება. მაშინ ყოველ  $15^\circ$ -ს შეესაბამება 1 საათი,  $1^\circ$ -ს—დროის 4 მინუტი (წუთი), რკალის 1 მინუტს—დროის 4 სეკუნდი (წამი).

მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ პირდაპირი აღვლენა იცვლება  $0$ -დან 24 საათამდე და დროის საათებით, წუთებითა და წამებით გამოიხატება.

დახრილობას აღნიშნავენ ბერძნული  $\delta$  ასოთი (დელტა), ხოლო პირდაპირ აღვლენას—ბერძნული  $\alpha$  ასოთი (ალფა). ეს ორი სიდიდე სავსებით და ცალსახად განსაზღვრავს მნათობის მდებარეობას ცაზე და ამდენად ისინი ასტრონომიული კოორდინატების როლს ასრულებენ. იმასთან დაკავშირებით, რომ ამ შემთხვევაში საწყის ანუ საყრდენ სიბრტყეს ეკვატორის სიბრტყე წარმოადგენს, კოორდინატების ამ სისტემას ეკვატორული სისტემა ეწოდება.

ზოგჯერ მოხერხებულია დახრილობის ნაცვლად განვიხილოთ  $P_s$  რკალი (ნახ. 60), ე. ი. რკალი ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილიდან მნათობამდე (იმავე დახრილობათა წრეწირის გასწვრივ). ამ სიდიდეს მნათობის პოლარული მანძილი ეწოდება და აღინიშნება  $p$  ასოთი. იგი აითვლება ჩრდილოეთ პოლუსიდან სამხრეთ პოლუსისაკენ და იცვლება  $0 \leq p \leq 180^\circ$  საზღვრებში. ერთი და იმავე მნათობისათვის ყოველთვის სამართლიანია შემდეგი დამოკიდებულება:

$$p + \delta = 90^\circ$$

ცხადია, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მდებარე მნათობის პოლარული მანძილი  $p < 90^\circ$ , ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში— $p > 90^\circ$ . დღელამტოლობის წერტილის დახრილობა  $0^\circ$ -ია, ხოლო პოლარული მანძილი —  $90^\circ$ .



ადვილი შესამჩნევია, რომ ეკვატორული კოორდინატები შემოდებულია ჰორიზონტული კოორდინატების მსგავსად. განსხვავება იმაშია, რომ საყრდენად ანუ საწყისად ერთ შემთხვევაში აღებულია ეკვატორი და პოლუსი, მეორეში — ჰორიზონტი და ზენიტი. თუმცა, ეს ორი სისტემა ერთიმეორისაგან კიდევ ერთი სხვა ნიშნითაც განსხვავდება.]

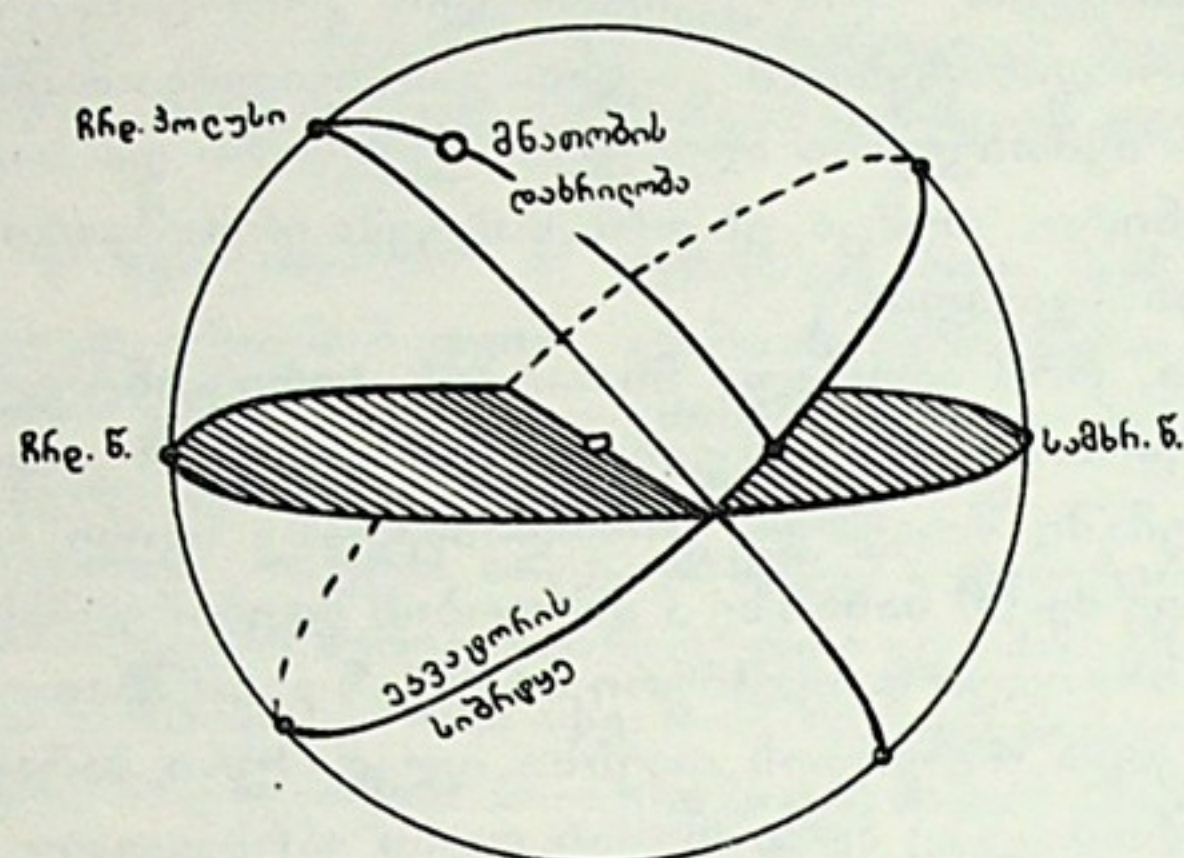
ზემოთ ვნახეთ, რომ აღებული მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატები იცვლება როგორც დროში, ისე დამკვირვებლის ადგილის გამოცვლასთან ერთად. ეკვატორულ სისტემაში მოცემულ კოორდინატებზე იგივე არ ითქმის. დავაკვირდეთ კვლავ იმავე მე-60 ნახაზზე  $\alpha$  მნათობის მდებარეობას და მის გადაადგილებას ცაზე. ცის ხილული დღედამური ბრუნვის გამო მნათობმა უნდა იმოძრაოს ცაზე, მაგრამ უნდა იმოძრაოს თავისი დღედამური პარალელის გასწვრივ. ამ შემთხვევაში პარალელზე აღნიშნული ოთხი ვარსკვლავი შეგვიძლია  $\alpha$  მნათობის ოთხ თანმიმდევრულ მდებარეობად მივიჩნიოთ. მნათობი თავის დღედამურ მოძრაობაში, საკუთარი პარალელის გასწვრივ, მუდამ მასზე იქნება. მაშასადამე, მისი დაშორება ეკვატორიდან უცვლელი რჩება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მნათობის დახრილობა დღე-ღამის განმავლობაში ცვლილებას არ განიცდის, ე. ი. დახრილობა, შეიძლება ითქვას, უცვლელია დროში. არც დამკვირვებლის ადგილის გამოცვლა შეცვლის აღებული მნათობის დახრილობას, რადგანაც ადგილის გამოცვლა ჰორიზონტს ცვლის, ხოლო დახრილობა ჰორიზონტზე დამოუკიდებელია; იგი გამოხატავს კუთხურ დაშორებას ეკვატორიდან.

ახლა ვნახოთ, იცვლება თუ არა დროში ან დაკვირვების ადგილის გამოცვლასთან ერთად ეკვატორული სისტემის მეორე კოორდინატი — პირდაპირი აღვლენა. კვლავ მე-60 ნახაზს დავაკვირდეთ. ცის ხილული დღედამური მოძრაობის გამო  $\alpha$  მნათობი გადაადგილდება ცაზე თავისი პარალელის გასწვრივ და მასთან ერთად შემობრუნდება მნათობზე გამავალი დახრილობის წრეც და, მაშასადამე, მისი ფუძეც ანუ გადაკვეთა ეკვატორთან —  $M$  წერტილი. პირდაპირი აღვლენა წარმოადგენს რკალურ მანძილს  $\Upsilon$ -დან  $M$  წერტილამდე. რაკი  $M$  მოძრაობს, უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს მანძილი თითქოს იცვლება, ე. ი. იცვლება პირდაპირი აღვლენა. მაგრამ ეს ასე არაა. საქმე ის არის, რომ  $\Upsilon$  წერტილი, როგორც მკვიდრი, ვარსკვლავებს შორის ფიქსირებული, მათ მიმართ უცვლელი წერტილი, თვითონაც მონაწილეობს ვარსკვლავებთან ერთად ცის დღედამურ ბრუნვაში, გადაინაცვლებს რა ცაზე იმავე მიმართულებით და იმავე კუთხური სიჩქარით, როგორც ვარსკვლავები. ამიტომ  $\Upsilon M$  მანძილი დღე-ღამის განმავლობაში უცვლელია, ესე იგი უცვლელია მეორე კოორდინატიც — პირდაპირი აღვლენა. ადვილია დარწმუნება იმაშიც, რომ არც დამკვირვებლის ადგილის გამოცვლა შეცვლის მნათობის პირდაპირ აღვლენას.

ამგვარად, ეკვატორულ სისტემაში მნათობის ორი კოორდინატის მიცემა სრულიად საკმარისია იმისათვის, რომ მნათობის მდებარეობა ცაზე საბოლოოდ და ცალსახად იქნეს დადგენილი. ეს კოორდინატები ყოველ მომენტში და ყოველი დამკვირვებლისათვის ერთნაირია. ამასთან დაკავშირებით ვარსკვლავთა და სხვა მნათობთა მდებარეობის სიები — კატალოგები, რომელთაც ყველა ასტრონომიულ ობსერვატორიაში ხმარობენ მნათობთა მოსაძებნად ცაზე, სწორედ ეკვატორული კოორდინატებითაა მოცემული.

მეტი თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ კიდევ 61-ე ნახაზი, რომელიც დამატებით განმარტებას არ მოითხოვს.





ნახ. 61

§ 37. **ეკვატორიალი.** ზემოთ ვნახეთ როგორ ხდება ჰორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხეში იარაღით. ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრისათვისაც შეგვიძლია ვიხმართ საამისოდ განკუთვნილი იარაღი. მის ძირითად ნაწილებსაც კვლავ ორი ღერძის გარშემო მბრუნავი საჭვრეტი მილი და ორი ურთიერთმართობული წრე წარმოადგენს, მაგრამ იმ არსებითი განსხვავებით, რომ თუ უნივერსალურ ინსტრუმენტში (თეოდოლიტში) ერთი წრე ჰორიზონტის მართობულია, ე. ი. ვერტიკალურია, ამ იარაღში იგი ეკვატორის მართობული უნდა იყოს, რამდენადაც ვზომავთ არა\*სიმაღლეს, არამედ დახრილობას. მაშასადამე, საჭვრეტი მილის მობრუნება უნდა შეესაბამებოდეს თვალთახედვის ხაზის მობრუნებას ეკვატორის სიბრტყიდან დახრილობის წრეწირის გასწვრივ, პოლუსისაკენ და ამ მობრუნების სიდიდეც უნდა აითვლებოდეს.

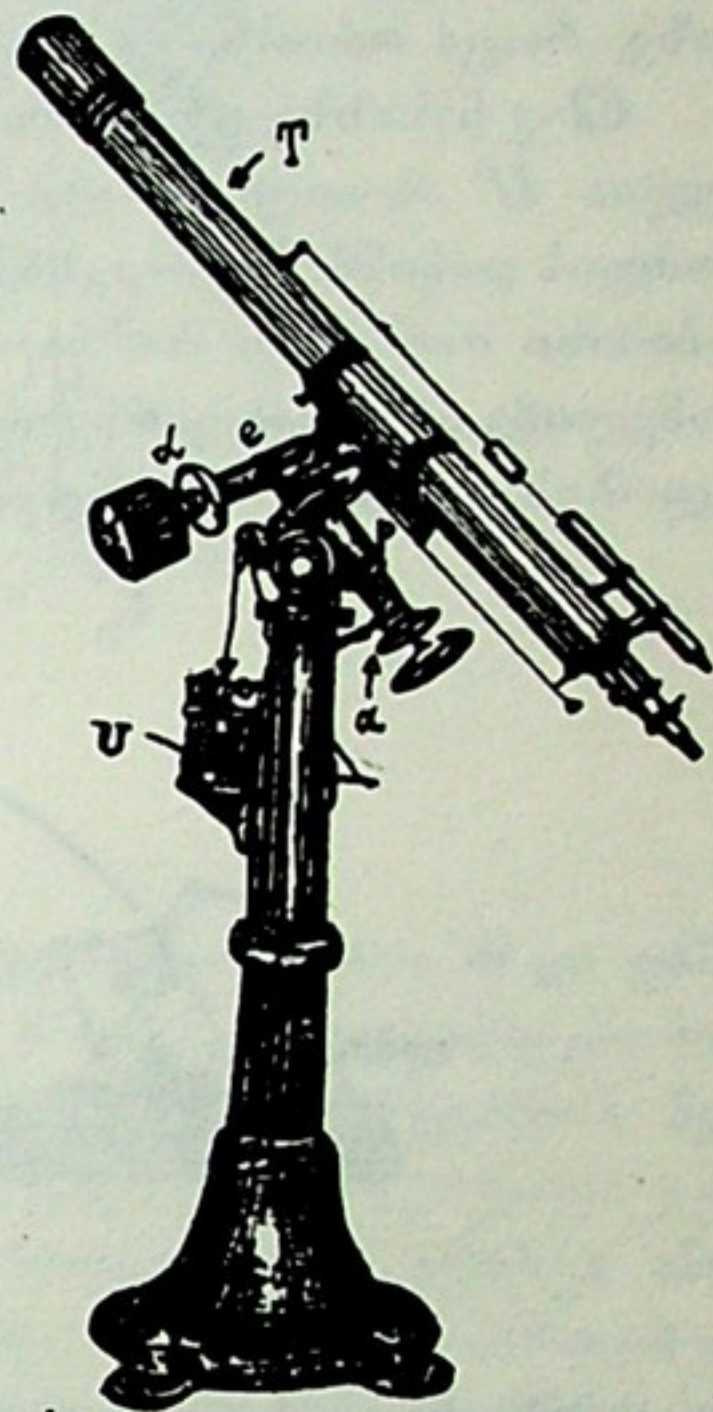
პირდაპირი აღვლენის ასათვლელად კი საჭვრეტი მილი უნდა ბრუნავდეს პოლარული ღერძის ირგვლივ და თვით ათვლა უნდა ხდებოდეს ეკვატორის პარალელურ წრეზე, ე. ი. ეკვატორულ წრეზე.

აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოებაც. ჰორიზონტული კოორდინატების ათვლამდე, როგორც შევნიშნეთ, საჭიროა უნივერსალური ინსტრუმენტის საწყის მდგომარეობაში მოყვანა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰორიზონტული წრე ზუსტად ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოვიყვანოთ, მისი მაჩვენებელი ჰორიზონტის სამხრეთ წერტილზე მივმართოთ და წრის სკალის ნულოვანი წერტილი ამ მაჩვენებელს შევუთავსოთ, როცა საჭვრეტი მილი პერიდიანშია. ანალოგიურად საჭიროა ეკვატორული კოორდინატების ასათვლელი იარაღის საწყის მდგომარეობაში მოყვანა. ასეთ მდგომარეობას შეესაბამება შემდეგი პირობების დაცვა: ეკვატორის პარალელური წრე პარალელური უნდა იყოს სამყაროს ეკვატორის სიბრტყისა; ამ წრის მართობული ღერძი სამყაროს ღერძის პარალელური უნდა იყოს; დახრილობის ასათვლელ წრეზე მაჩვენებელი და წრის ნული შეთავსებული უნდა იყოს, როცა საჭვრეტი მილი ეკვატორის სიბრტყეშია.

მაგრამ იმისთვის, რომ ავითვალოთ პირდაპირი აღვლენა, ეკვატორის პარალელურ წრეზე მაჩვენებლის ნულოვანი მდებარეობა უნდა შევუთავსოთ  $\gamma$  წერტილის მიმართულებას. ეს უკანასკნელი კი უძრავი არაა ჩვენს მიმართ და მონაწილეობს ცის დღედამურ ბრუნვაში. როგორ უნდა მოვიქცეთ? როგორც ჩანს,



უნდა ვახერხებდეთ ნებისმიერ მომენტში, ან ყოველ შემთხვევაში — პირდაპირი აღვლენის ათვლის წინ,  $\gamma$  წერტილის ცაზე ფიქსირებას და საჭვრეტი მილის ჯერ მასზე დამიზნებას და შემდგომ — აღებულ ვარსკვლავზე. მაგრამ ასეთი გზა არ გამოგვადგება; ადვილი როდია ნებისმიერ მომენტში ცაზე გაზაფხულის დღე-ღამტოლობის წერტილის მოძებნა; ამასთანავე ეს წერტილი ყოველთვის როდია ჰორიზონტის ზემოთ. გამოსავალი ისაა, რომ ეკვატორული წრის ნულის მდებარეობა შევუთავსოთ ადგილის მერიდიანს, ე. ი. მაჩვენებელი კვლავ სამხრეთ მხარეზე მივმართოთ, და აღებულ მნათობზე ამის შემდეგ დამიზნებული საჭვრეტი მილის მდებარეობა განვსაზღვროთ მილის მიმართულებასა და მერიდიანის სიბრტყეს შორის მოთავსებული კუთხის მეშვეობით. რაკი არსებობს საშუალება (იხ. ქვემოთ), ყოველ მომენტში ვიცოდეთ ვერძის წერტილზე პოლუსიდან დაშვებული სიბრტყის მერიდიანის სიბრტყესთან შედგენილი კუთხის მნიშვნელობა, ამით ამოიხსნება ჩვენი ამოცანაც: განვსაზღვროთ კუთხე ვერძის წერტილზე პოლუსიდან დაშვებული წრისა და მოცემული მნათობის დახრილობის წრეს შორის, ე. ი. განვსაზღვროთ მნათობის პირდაპირი აღვლენა. ქვემოთ, როცა ე. წ. საათ-კუთხის ცნებას გავეცნობით, ეს უფრო ცხადი გახდება.



ნახ. 62

იარაღს, რომელსაც ხმარობენ ეკვატორული კოორდინატების ასათვლელად, ეკვატორი ა ეწოდება. თუმცა ამ სახელწოდებით ცნობილია აგრეთვე საერთოდ ყოველი დასამზერი ტელესკოპი, რომლის ღერძები სამყაროს ღერძსა და მის მართობულ მიმართულებას თანხვდება და აღჭურვილია წრეებით.

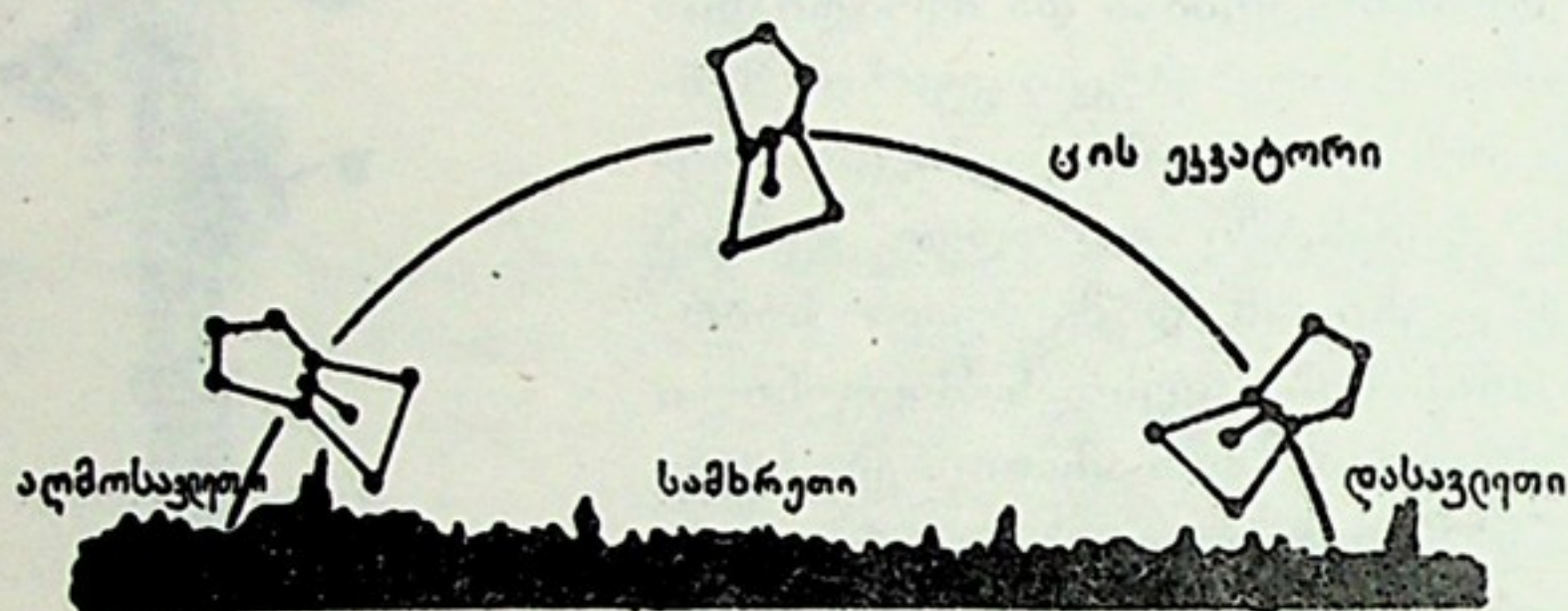
62-ე ნახაზზე მოცემულია ეკვატორიალის საერთო სახე. აქ  $p$  და  $e$  წარმოადგენენ, შესაბამისად, პოლარულსა და მის მართობულ ღერძებს,  $a$  და  $d$  — მათზე ჩამოცმულ ასათვლელ წრეებს.  $a$ -ზე აითვლება პირდაპირი აღვლენა, ხოლო  $d$ -ზე — დახრილობა.  $T$  საჭვრეტი მილია. ნახაზზე ნაჩვენებ მდგომარეობაში მილი დაახლოებით პოლუსის ვარსკვლავზეა დამიზნებული, რამდენადაც იგი თითქმის პარალელურია  $p$  ღერძისა. რა თქმა უნდა, ეს უკანასკნელი მტკიცება სამართლიანად ჩაითვლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ეკვატორიალი მოყვანილია მის საწყის, მუდმივ მდგომარეობაში, ე. ი. ადვილზე დადგმულია ისე, რომ  $p$  ღერძი სამყაროს ღერძის რაც შეიძლება ზუსტად პარალელური იყოს. თუ  $T$  მილს  $e$  ღერძის ირგვლივ ვაბრუნებთ, ცაზე ჩვენი თვალთახედვის ხაზით „შემოვწერთ“ ერთ-ერთ დახრილობის წრეწირს. ხოლო თუ მას  $p$  ღერძის ირგვლივ ვაბრუნებთ (ე. ი.  $p$ -ს ირგვლივ ვაბრუნებთ თვით  $e$  ღერძს, მასთან დაკავშირებული  $T$  მილითურთ), ცაზე „შემოვწერთ“ ერთ-ერთ დღედამურ პარა-



ლელს; კერძოდ, თუ  $T$  ეკვატორის სიბრტყეში მოვაქციეთ და ისე ვაბრუნეთ იგი  $p$ -ს ირგვლივ, მაშინ ცაზე „შემოიწერება“ ეკვატორის წრე.

ორიონის თანავარსკვლავედის  $\delta$  ვარსკვლავის დახრილობა (იხ. რუკა)  $0^\circ$ -ია. მაშასადამე, ეს ვარსკვლავი შემოწერს ცაზე ეკვატორს, მისი საშუალებით შეგვიძლია საკმარისად ზუსტად წარმოვიდგინოთ ეკვატორის მდებარეობა ცაზე, როცა ორიონი მოჩანს (ნახ. 63).

62-ე ნახაზზე ეკვატორიალის სვეტზე შევამჩნევთ ყუთს, რომელიც აღნიშნულია  $U$  ასოთი. ამ ყუთში მოთავსებულია ერთგვარი საათის მექანიზმი, რომლის დანიშნულებაა, საჭვრეტ მილს მიაწოდოს ცის დღედამური ბრუნვის შესაბამისი თანაბარი მოძრაობა ისე რომ, თუ მილი რაიმე მომენტში დავაყენეთ რომელიმე აღებული ვარსკვლავზე (რომელიც ამის შემდგომ ტელესკოპის მხედველობის ველში გამოჩნდება), საჭვრეტი მილი განუწყვეტლივ გაჰყვება

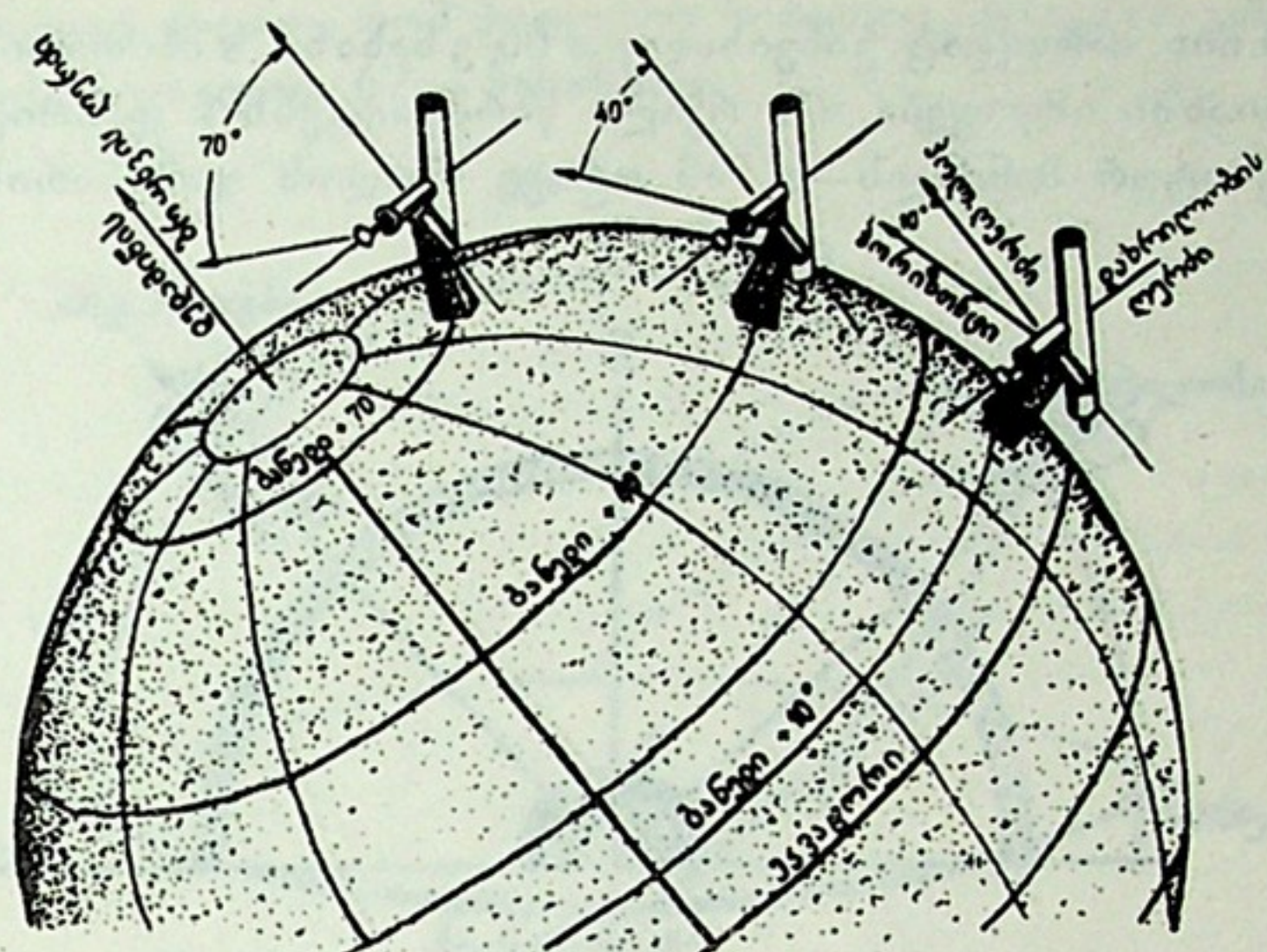


ნახ. 63

ვარსკვლავის მოძრაობას ცაზე; ამგვარად, ვარსკვლავი არ გამოვა მხედველობის ველიდან ხანგრძლივი დაკვირვების განმავლობაში. დიდ ტელესკოპს ყოველთვის ახლავს ასეთი მექანიზმი, რაც მით უფრო საჭიროა, რომ უმეტეს შემთხვევაში დიდი ტელესკოპებით დაკვირვებას ფოტოგრაფიული მეთოდით აწარმოებენ, ე. ი. ახდენენ ცის ობიექტების ფოტოგადაღებას და, რადგან უფრო ხშირად ეს ობიექტები მკრთალია, მათი ფოტოგამოსახულებების მისაღებად აუცილებელია ხანგრძლივი ფოტოგრაფირება; მოძრავი ცის თაღის პირობებში ხანგრძლივი ფოტოგრაფირება მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ ტელესკოპი ისე მიჰყვება ცის ერთხელ მიზანში ამოღებულ წერტილს, რომ ეს უკანასკნელი არ იკარგება მხედველობიდან და ფოტოგრაფირების პროცესში ველის ერთ წერტილში რჩება ყოველთვის.

ეკვატორიალის კონსტრუქცია პ რ ი ნ ც ი პ უ ლ ა დ უ ც ვ ლ ე ლ ი ა, სადაც არ უნდა გამოიყენებოდეს იგი. მაგრამ იმ მოთხოვნის გამო, რომ მისი პოლარული ღერძი მიმართული იყოს ცის პოლუსისაკენ, ხოლო სხვადასხვა ადგილიდან პოლუსი სხვადასხვა სიმაღლეზე მოჩანს ჰორიზონტიდან, კონსტრუქცია უნდა ითვალისწინებდეს პოლარული ღერძის ეკვატორიალის სვეტის მიმართ დახრის შესაძლებლობას. თუ ეკვატორიალი გამოიყენება ეკვატორზე მდებარე ობსერვატორიაში, მისი პოლარული ღერძი ჰორიზონტს ემთხვევა, მეორე ღერძი — შვეულს და ეკვატორიალის სქემა გ ა რ ე გ ნ უ ლ ა დ არ განსხვავდება უნივერსალური ინსტრუმენტის სქემისაგან. ასევე იქნება დედამიწის პოლუსზე, სადაც ეკვატორიალის პოლარული ღერძი უნდა გაჰყვეს შვეულ მიმართულებას. შემდგომ პარაგრაფში ეს უფრო ცხადი გახდება. მაგრამ ჩვენს საერთო წარმოდგენას ამ საკითხში ბევრს შემატებს 64-ე ნახაზის განხილვა.





ნახ. 64

§ 38. ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილის სიმაღლე პორიზონტიდან და დამკვირვებლის ადგილის განედი. დავუბრუნდეთ 36-ე ნახაზს და ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ  $pAqp'$  არის  $A$  წერტილში მყოფი დამკვირვებლის მერიდიანი დედამიწის ზედაპირზე;  $q$  არის მერიდიანის გადაკვეთის წერტილი დედამიწის ეკვატორთან. აშკარაა, რომ  $qA$  რეალი ზომავს  $qCA$  კუთხეს ანუ დამკვირვებლის ადგილის  $\varphi$  განედს. რადგანაც  $pC$  და  $Cq$  ურთიერთმართობულია, ამიტომ  $pCA$  კუთხე არის  $90^\circ$ — $\varphi$  ანუ განედის დამატება  $90^\circ$ -მდე.  $PAZ$  კუთხე ეტოლება  $pCA$  კუთხეს, რამდენადაც  $AP$  და  $Cp$  ერთიმეორის პარალელურია. ამიტომ  $PAZ$  კუთხეც არის განედის დამატება  $90^\circ$ -მდე ანუ იგივე  $90^\circ$ — $\varphi$ . მაშასადამე, კუთხე ზენიტზე მიმართულებასა და ცის ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილზე მიმართულებას შორის არის  $90^\circ$ — $\varphi$ . ახლა აშკარაა, რომ  $HAP$  კუთხე ეტოლება  $\varphi$ -ს. მაგრამ  $HAP$  არის ცის ჩრდილოეთი პოლუსის წერტილის სიმაღლე პორიზონტიდან და, მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ პოლუსის სიმაღლე ადგილის განედის ტოლია და მოკლედ ეს ასე ჩაიწერება:

$$h_p = \varphi_A.$$

აქედან კვლავ შეგვიძლია დავრწმუნდეთ იმაში, რაც ზემოთაც აღვნიშნეთ: დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის (რომლისთვისაც  $\varphi=0^\circ$ ) პოლუსი პორიზონტშია (მაშასადამე,  $h_p=0^\circ$ ); დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ( $\varphi=90^\circ$ ) პოლუსი მისი ზენიტის წერტილთანხვედება ( $h_p=90^\circ$ ).

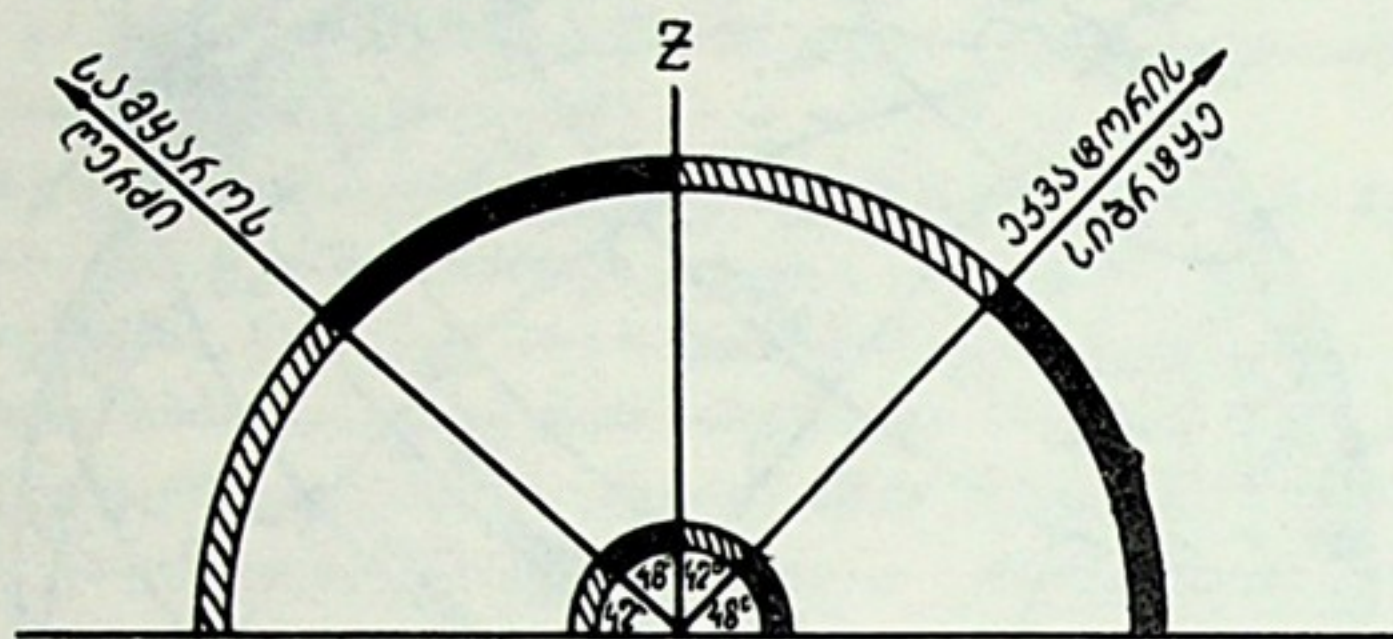
65-ე ნახაზი შეესაბამება დამკვირვებლის მდებარეობას საქართველოს ტერიტორიაზე, სადაც საშუალო განედი  $42^\circ$ -ს ეტოლება.

ახლა კიდევ ერთხელ დავხედოთ 64-ე ნახაზს.

§ 39. მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში. ადგილის გეოგრაფიული განედის განსაზღვრა. ადვილია მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში, სახელდობრ, იმ მომენტში, როცა მნათო-



ბი მერიდიანშია. მართლაც, განვიხილოთ 66-ე ნახაზი.  $s$  მნათობისათვის, რომელიც მერიდიანში იმყოფება,  $Qs$  რკალი წარმოადგენს  $\delta$  დახრილობას, ხოლო  $Zs$ —მის ზენიტურ მანძილს— $z$ . ამ ორივე რკალის ჯამი არის  $QZ$  რკალი.



ნახ. 65

მაგრამ,  $QZ$ , როგორც ადვილად შეგვიძლია დავრწმუნდეთ, არის ადგილის განედის— $\varphi$ -ს ტოლი.

მაშასადამე,

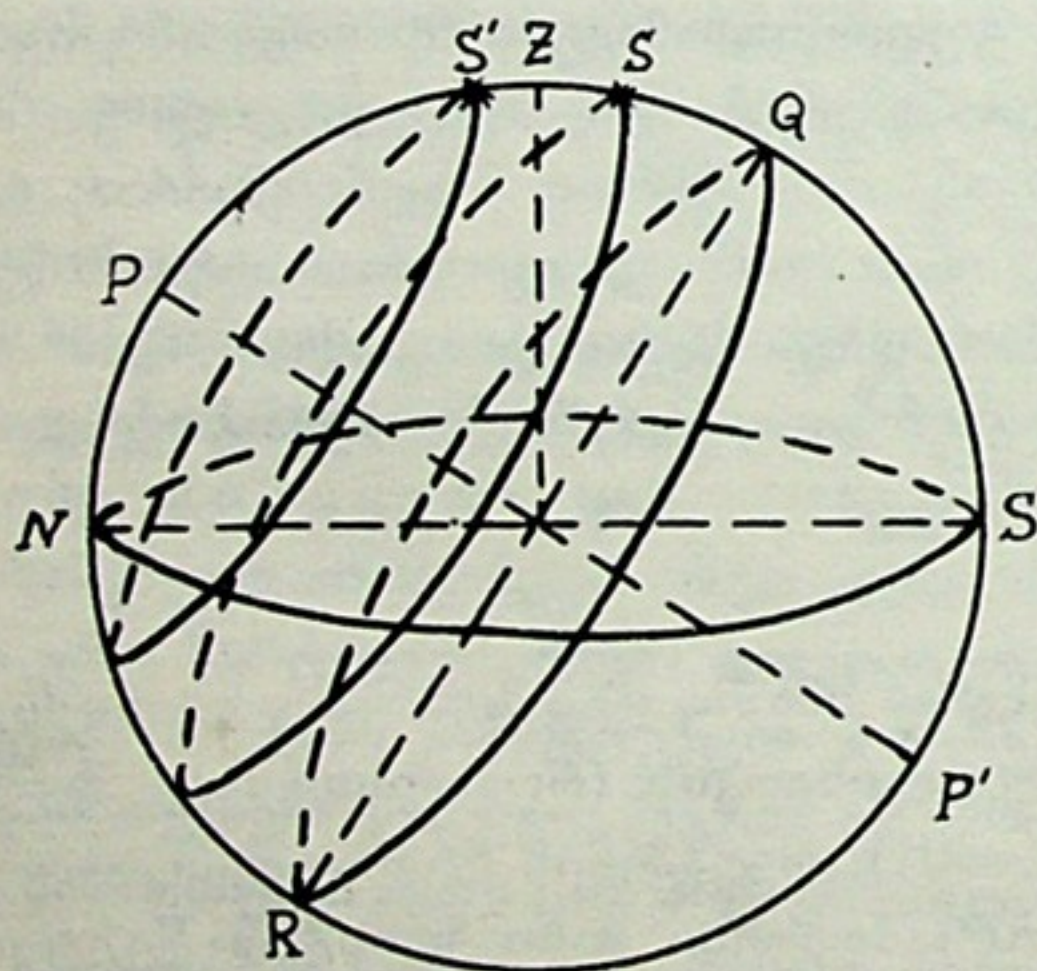
$$\delta + z = \varphi$$

და

$$\delta = \varphi - z.$$

ეს დამოკიდებულება ცოტათი განსხვავებულ სახეს მიიღებს იმ შემთხვევაში თუ მნათობის დახრილობა იმდენად დიდია, რომ მისი დღეღამური პარალელი

მერიდიანს ზენიტის ჩრდილოეთით გადაკვეთს ( $s'$  მნათობი); მაშინ გვექნება:  $\delta = \varphi + z$ .



ნახ. 66

ე. ი., თუ აღებული მნათობის ზენიტურ მანძილს გავზომავთ იმ მომენტში, როცა იგი მერიდიანს ჰკვეთს, და, თუ დაკვირვების ადგილის გეოგრაფიული განედის მნიშვნელობაც გვეცოდინება, სულ მარტივად გამოვიტვლით ამ მნათობის დახრილობას.

მეორე მხრივ, თუ გამოსარკვევია ადგილის განედი, დავაკვირდებით მნათობს ცნობილი დახრილობით და გავზომავთ მის ზენიტურ მანძილს იმ მომენტში,

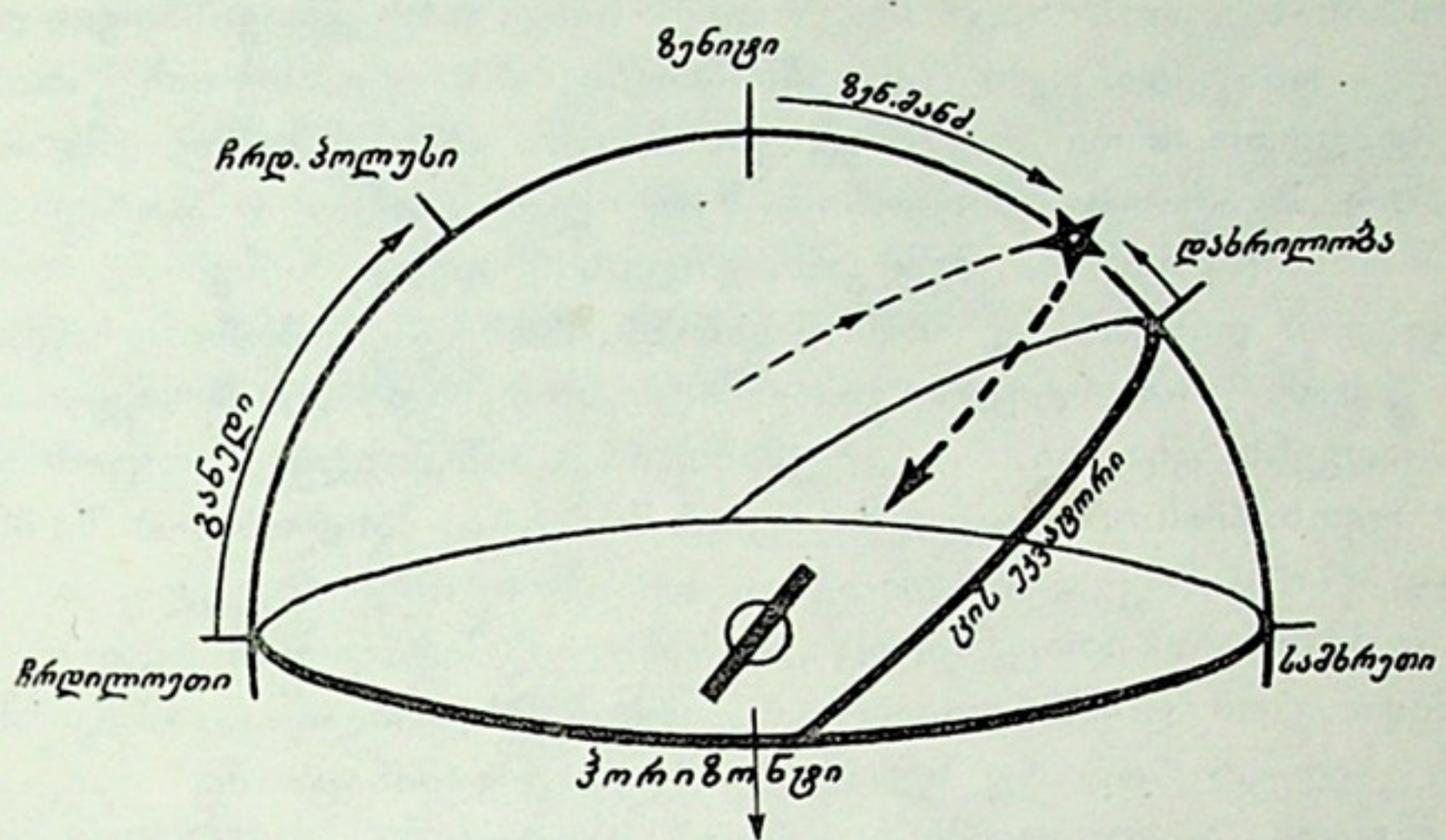
როცა იგი მერიდიანშია. ამის შემდეგ უბრალოდ გამოითვლება დამკვირვებლის ადგილის გეოგრაფიული განედი:

$$\varphi = \delta \pm z.$$

როგორც ზემოთ ვნახეთ, ადგილის გეოგრაფიული განედი განისაზღვრება აგრეთვე პოლუსის ვარსკვლავზე დაკვირვებითაც ანუ მისი სიმაღლის გა-



ზომვით, რამდენადაც ვიცით, რომ პოლუსის სიმაღლე ადგილის განედის ტო-  
ლია. დასასრულს დავხედოთ 67-ე ნახაზსაც.

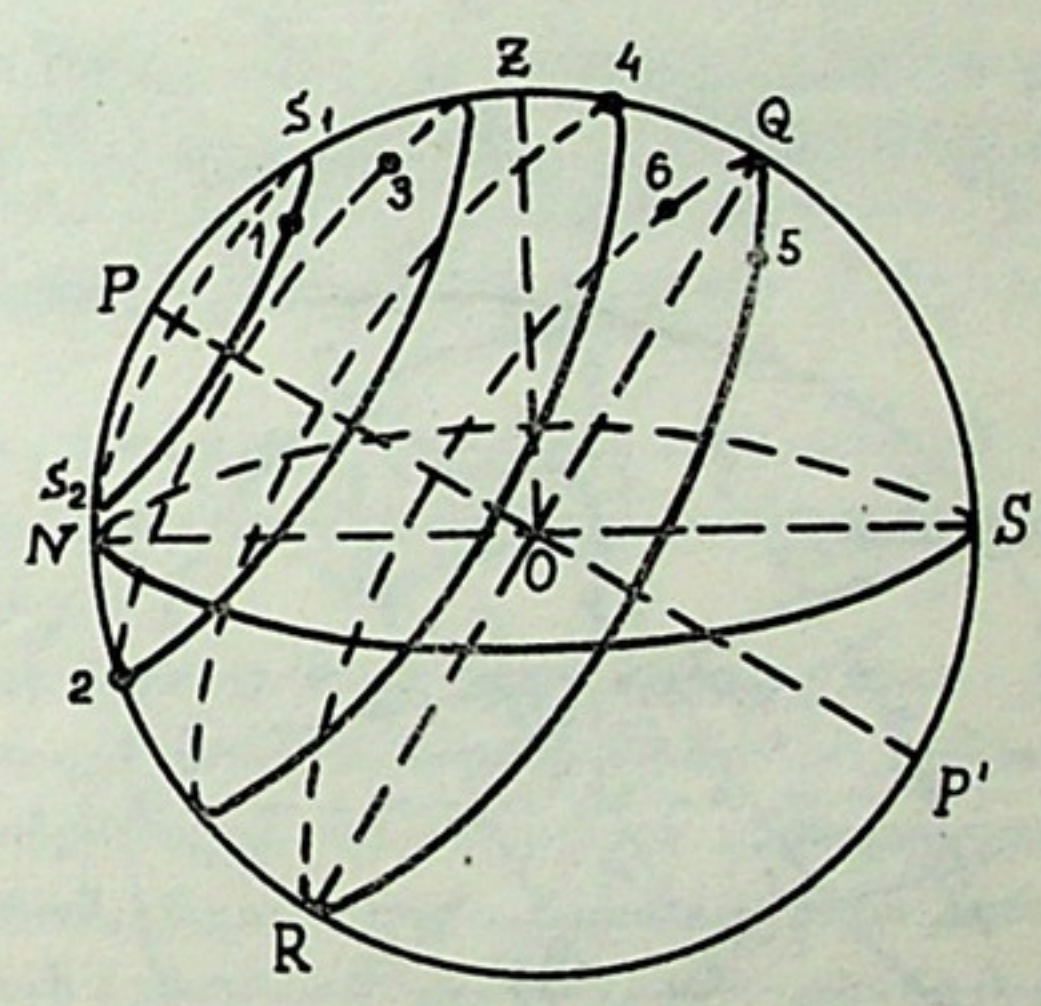


ნახ. 67.

§ 40. მნათობის კულმინაცია. მნათობის დღედამური პარალელი, ისევე რო-  
გორც ეკვატორი, ორ წერტილში გადაკვეთს მერიდიანს. ეს კარგად მოჩანს 68-ე  
ნახაზზე, სადაც  $R$  და  $Q$  ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილებია, ხო-  
ლო  $S_1$  და  $S_2$  ერთ-ერთი პარალე-  
ლისა—იმავე მერიდიანთან.

იმ მომენტს, როცა მნათობი  
თავისი პარალელის მერიდიანთან  
გადაკვეთის წერტილში იმყოფება,  
ე. ი., როცა იგი მერიდიანს გადა-  
კვეთს, კულმინაციის მო-  
მენტი ანუ მოკლედ „კულ-  
მინაცია“ ეწოდება.

68-ე ნახაზზე კულმინაცი-  
აშია „2“ და „4“ ვარსკვლავი, მაგ-  
რამ იმ განსხვავებით, რომ უკანას-  
კნელი მერიდიანს გადაკვეთს მის  
ზედა— $PZQS$ —მონაკვეთზე, ხოლო  
პირველი—მის ქვედა მონაკვეთ-  
ზე— $PNRP'$ . ამის მიხედვით ით-  
ქმის, რომ „4“ ვარსკვლავი ზედა კულმინაციაშია, ხოლო „2“ ვარსკ-  
ვლავი—ქვედა კულმინაციაში. კერძოდ, მზე შუადღისას ზედა კულმი-  
ნაციაშია, შუადღისას—ქვედა კულმინაციაში.



ნახ. 68.

როგორც ნახაზზე ჩანს, მნათობთა უმრავლესობას ქვედა კულმინაციაში  
ვერ ვხედავთ, რადგანაც ამ დროს ისინი პორიზონტის ქვეშ იმყოფებიან (მაგალი-  
თად, „2“ ვარსკვლავი). მხოლოდ ჩრდილოეთის პოლუსის ახლო ვარსკვლავების  
დღედამური პარალელებია მთლიანად დამკვირვებლის პორიზონტს ზევით მოთა-  
ვსებული და ასეთი ვარსკვლავები ორივე კულმინაციაში მოჩანს.

ადვილი წარმოსადგენია, რომ დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებელი



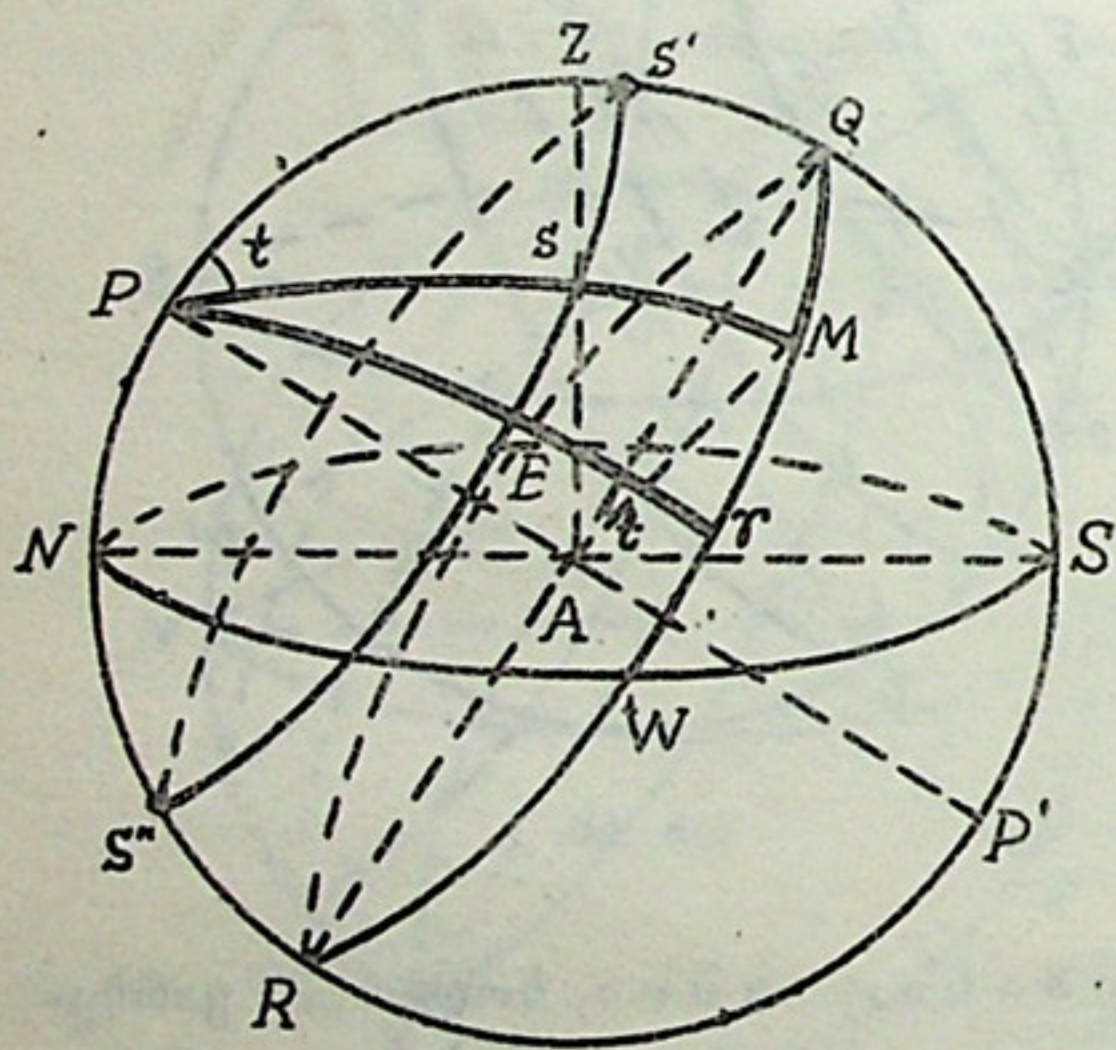
ქვედა კულმინაციაში ვერც ერთ მნათობს ვერ დაინახავს, რამდენადაც მისთვის ყველა დღელამური პარალელი ერთი ნახევრით ჰორიზონტის ქვეშაა.

ადვილი მისახვედრია ისიც, რომ ერთი და იმავე ვარსკვლავისათვის დროის უშუალოდ ზედა და ქვედა კულმინაციებს შორის 12 საათი ანუ ნახევარი დღელამეა, ორ მომდევნო ზედა კულმინაციებს შორის კი—24 საათი ანუ მთელი დღე—ღამე. თუ, მაგალითად, მნათობი  $s_1$  წერტილში სადამოს 6 საათზეა, მაშინ  $s_2$  წერტილში იგი 12 საათის შემდგომ, დილის 6 საათზე იქნება.

სასარგებლოა დავუბრუნდეთ 34-ე ნახაზს, რომელზეც ჰორიზონტის მართობული და  $S$  სამხრეთ წერტილზე გამავალი ხაზი მერიდიანის მონაკვეთს (გეგმილს) წარმოადგენს. ცხადია, რომ კულმინაცია მაშინ მოხდება, როცა მნათობი ამ ხაზს გადაკვეთს. ამასთანავე კულმინაციის მომენტის მახლობლობაში მნათობის ხილული გზა ცამრგვალზე თითქმის ჰორიზონტის პარალელურია. ამაში ვრწმუნდებით 32-ე ნახაზითაც, სადაც გამოსახულია მერიდიანის რკალის იმ ნაწილის გეგმილი, რომელიც ჩრდილოეთ პოლუსის მახლობლადაა. ამ შემთხვევაში მნათობს ვხედავთ როგორც ზედა, ისე ქვედა კულმინაციაში.

როცა მნათობი ზედა კულმინაციაშია, ამ დროს იგი ცის აღმოსავლეთი მხრიდან დასავლეთ მხარეზე გადადის, ხოლო ქვედა კულმინაციაში, პირუკუ, დასავლეთიდან აღმოსავლეთში. 68-ე ნახაზზე ვარსკვლავები „1“, „3“, „5“ და „6“ არც ერთი არაა კულმინაციაში. „1“ და „5“ ვარსკვლავმა უკვე გაიარა ზედა კულმინაცია და მერიდიანიდან დასავლეთით იმყოფება. „3“ და „6“ ვარსკვლავს კი ჯერ არ მიუღწევია ზედა კულმინაციამდე და აღმოსავლეთითაა.

§ 41. საათ-კუთხე. განვიხილოთ 69-ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია ცის სფერო, მის ზედაპირზე გავლებული ძირითადი წრეწირებით. ყურადღება



ნახ. 69

მივაქციოთ  $QPM = t$  კუთხეს, რომელსაც ადგენს ერთმანეთთან მერიდიანი და მნათობზე გამავალი დახრილობის წრე. ეს კუთხე თავისი წვეროთი პოლუსში მდებარეობს და ამავე დროს იზომება ბრტყელი  $QAM$  კუთხით ან დიდი წრეწირის  $QM$  რკალით.

აშკარაა, რომ მნათობის დღელამური მოძრაობისას ცაზე  $t$  კუთხის სიდიდე იცვლება. როცა მნათობი ზედა კულმინაციაშია ( $s'$ ),  $t=0$ , რამდენადაც ამ მომენტში მნათობის დახრილობის წრე მერიდიანს ემთხვევა. შემდგომ, მოძრაობს რა მნათობი თავის პარალელზე

დასავლეთით,  $t$  კუთხე თანდათან მატულობს და ქვედა კულმინაციაში იგი  $180^\circ$ -ს აღწევს. ამ დროს მნათობის სათანადო დახრილობის წრეწირი კვლავ მერიდიანს დაემთხვევა, მაგრამ—მის მეორე მხარეზე.

ცის ეკვატორის  $QM$  რკალს მერიდიანის ეკვატორთან გადაკვეთიდან მნათობის დახრილობის წრის  $M$  ფუძემდე ან პოლუსთან შედგენილ სფერულ  $QPM$



კუთხეს მერიდიანსა და მნათობზე გამავალ დახრილობის წრეს შორის საათ-კუთხე ეწოდება. ასეთი სახელწოდება, როგორც ქვევით ვნახავთ, მით აიხსნება, რომ იგი გამოიყენება დროის ათვლისათვის, თითქოს საათი. ამასთან დაკავშირებით მისი გაზომვა და გამოხატვა უფრო ხელსაყრელია დროის ერთეულებში მსგავსად პირდაპირი აღვლენისა. ამგვარი ანგარიშის საფუძველს ის წარმოადგენს, რომ დედამიწის დედამური ბრუნვის დრო 24 საათია და ეს შეესაბამება ერთ სრულ შემობრუნებას ანუ  $360^{\circ}$ -ს.

გრადუსულ და დროის ერთეულებს შორის დამოკიდებულებას უფრო დაწვრილებით შემდეგი ცხრილი გამოხატავს:

24 საათი	შეესაბამება $360^{\circ}$ -ს,	$360^{\circ}$	შეესაბამება 24 საათს,
1 „	„ $15^{\circ}$ -ს,	$1^{\circ}$	„ 4 წუთს,
1 წუთი	„ $15'$ -ს,	$1'$	„ 4 წამს,
1 წამი	„ $15''$ -ს,	$1''$	„ $1/15$ წამს.

უფრო ხშირად საათ-კუთხე მერიდიანიდან დასავლეთით აითვლება და დებოთად, 0 საათიდან — 12 საათამდე ( $180^{\circ}$ -მდე), ხოლო მერიდიანიდან აღმოსავლეთით — უარყოფითად, 0 საათიდან — 12 საათამდე ( $-180^{\circ}$ -მდე).

როცა მნათობის საათ-კუთხე 0 და 12 საათს შორისაა, მნათობი ცის სფეროს დასავლეთ მხარეზე მდებარეობს, ე. ი. მისი აზიმუტი დადებითია. თუ მნათობი ცის აღმოსავლეთ მხარეზეა, ე. ი. მისი აზიმუტი უარყოფითია, მაშინ შესაბამისი საათ-კუთხე 0 და  $-12$  საათს შორისაა. ცხადია,  $W$  დასავლეთის წერტილის საათ-კუთხე ეტოლება 6 საათს ( $90^{\circ}$ ), ხოლო  $E$  აღმოსავლეთ წერტილის საათ-კუთხე  $-6$  საათს ( $-90^{\circ}$ ). ზოგჯერ გამოიყენება საათ-კუთხის ათვლის სხვა წესიც — მერიდიანის სამხრეთი ნაწილიდან დასავლეთით 0 საათიდან 24 საათამდე. ასეთი წესის შემთხვევაში აღმოსავლეთის  $E$  წერტილისათვის  $t=18$  სთ.

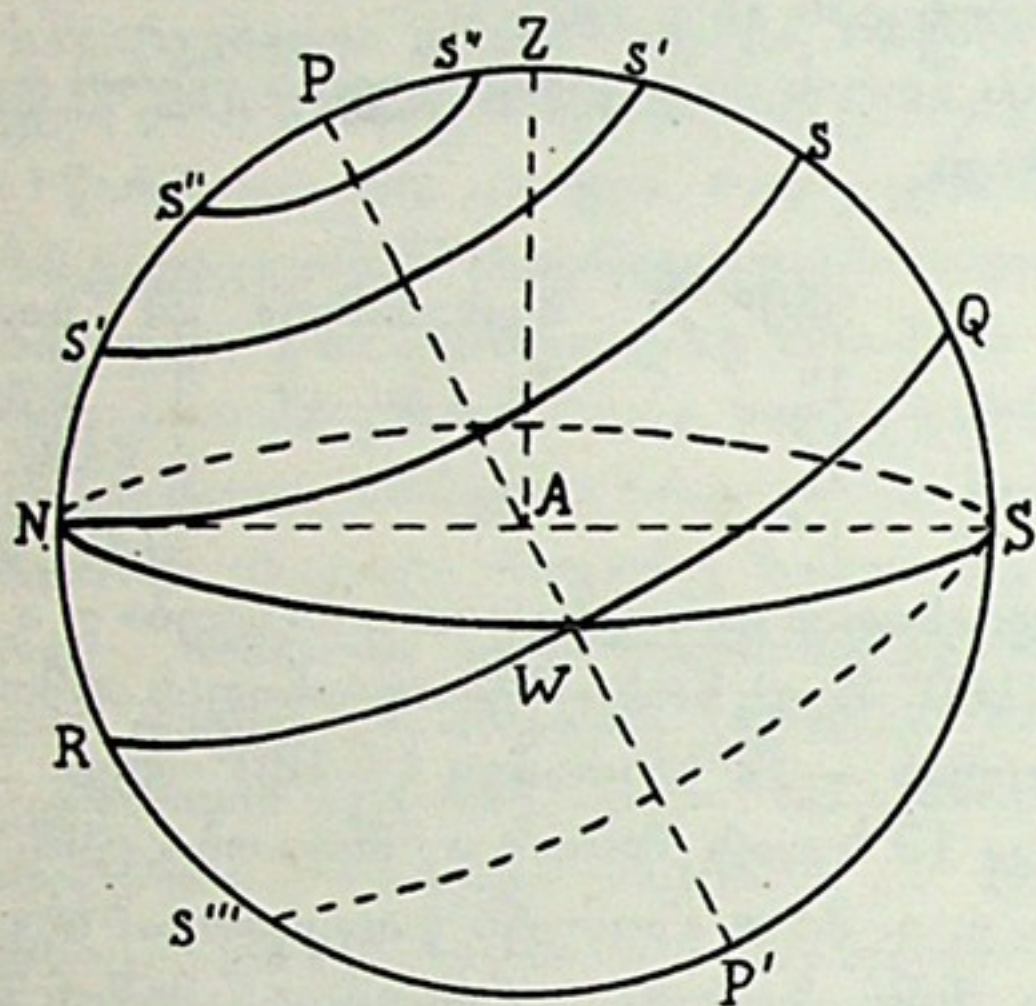
საათ-კუთხეს, როგორც ვთქვით, უშუალო გამოყენება აქვს დროის აღრიცხვის საქმეში, მაგრამ იგი ამასთანავე კოორდინატების ეკვატორულ სისტემაში ერთ-ერთ კოორდინატადაც გამოიყენება.

მართლაც, თუ დახრილობასთან ერთად მოცემული იქნება საათ-კუთხის მნიშვნელობა, მაშინ განსაზღვრული იქნება შესაბამისი მნათობის მდებარეობა ცაზე. ამრიგად, ნაცვლად  $\delta$ ,  $\alpha$  კოორდინატებისა შეიძლება გამოვიყენოთ  $\delta$ ,  $t$  კოორდინატები. განსხვავება ისაა, რომ, მსგავსად კოორდინატებისა პორიზონტულ სისტემაში, მოცემული მნათობის  $t$  კოორდინატი ანუ საათ-კუთხე იცვლება დროში, დამოკიდებულია დროზე და ამიტომ მარტო  $\delta$ -ს და  $t$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობის ცოდნა არაა სავსებით საკმარისი მნათობის მდებარეობის ცალსახად დასადგენად. ასე, მაგალითად, ვერძის წერტილის კოორდინატები  $\delta$ ,  $\alpha$  სისტემაში არის:  $\delta=0^{\circ}$ ,  $\alpha=0^h$ . მაგრამ იმავე წერტილის კოორდინატები  $\delta$ ,  $t$  სისტემაში გარკვეულად იგივეა დახრილობისათვის და სხვადასხვაა  $t$ -თვის, სხვადასხვა დროს. მაგალითად, როცა  $\gamma$  წერტილი კულმინაციაშია,  $t=0$  ან  $12$  საათს; როცა იგი პორიზონტზეა, მაშინ  $t=\pm 6$  საათს.

ამასთან დაკავშირებით ეკვატორული სისტემის კოორდინატებს ამ მეორე ვარიანტში —  $\delta$ ,  $t$  — იყენებენ მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში, როცა ამას მოცემული კონკრეტული ამოცანის პირობები მოითხოვს.



§ 42. ჩაუსვლელი და ამოუსვლელი ვარსკვლავები. ვარსკვლავებს, რომლებიც ყოველთვის (ე. ი. მათი საათ-კუთხის ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის) ჰორიზონტის ზევითაა, ჩაუსვლელი ვარსკვლავები ეწოდებათ. 70-ე ნახაზზე მცირე წრეწირი  $Ns$  წარმოადგენს დღედამურ პარალელს ისეთი ვარსკვლავისა, რომლის დახრილობა ეტოლება  $Qs$ -ს ანუ  $RN$ -ს. აქ აშკარად ჩანს ის პირობა, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს ვარსკვლავი იმისათვის, რომ იგი ჩაუსვლელ ვარსკვლავად ჩაითვალოს.



ნახ. 70

ეს პირობა ისაა, რომ ვარსკვლავის დახრილობა უნდა იყოს ტოლი ან მეტი, ვიდრე  $RN$ . მაგრამ  $RN = 90^\circ - NP = 90^\circ - \varphi$ . მაშასადამე, ვარსკვლავის ჩაუსვლულობის პირობა ასე გამოიხატება:

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

ასე, თუ რომელიმე ქალაქის განედი  $30^\circ$ -ია, ყველა ვარსკვლავი, რომელთა დახრილობა  $60^\circ$ -ია ან მას აღემატება, ჩაუსვლელი იქნება ამ ადგილისათვის.

ამავე ნახაზიდანაც ჩანს, რომ პოლუსის ახლო ვარსკვლავის ზე-

და კულმინაცია შეიძლება მოხდეს როგორც ზენიტიდან სამხრეთ მხარეზე, ისე ზენიტიდან ჩრდილოეთით ( $s'$  და  $s''$ ). პირველი შემთხვევის პირობა ისაა, რომ  $Ps' > PZ$  ანუ  $90^\circ - \delta > 90^\circ - \varphi$ , საიდანაც  $Qs' < QZ$ , ე. ი.  $\delta < \varphi$ .

მეორე შემთხვევის პირობა კი ასეთია:  $Ps'' < PZ$  ანუ  $90^\circ - \delta < 90^\circ - \varphi$  და, მაშასადამე,  $\delta > \varphi$ .

დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ზოგი ვარსკვლავი სრულიად არ ამოდის ჰორიზონტის ზევით, ამოუსვლელია და უხილავი. რაც უფრო ახლოა დამკვირვებელი ჩრდილოეთ პოლუსთან, მით მეტი რაოდენობითაა მისთვის ამოუსვლელი სამხრეთის ვარსკვლავები. ესენი სამხრეთის ვარსკვლავებია, რამდენადაც ცის ეკვატორის სამხრეთით მდებარეობენ, მაშასადამე, მათ უარყოფითი დახრილობები აქვთ; მათი დღედამური პარალელები ეკვატორის სამხრეთითაა. 70-ე ნახაზზე პარალელი  $Ss'''$  და ყველა სხვა პარალელი, რომელიც უფრო ახლოა სამხრეთ პოლუსთან— $P'$ , ასეთ ამოუსვლელ ვარსკვლავებს ეკუთვნის. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ვარსკვლავი ჰორიზონტს ზევით ამოუსვლელი რომ დარჩეს, საჭიროა  $Qs$  რკალი ანუ დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით მეტი ან ტოლი იყოს, ვიდრე  $90^\circ - \varphi$ .

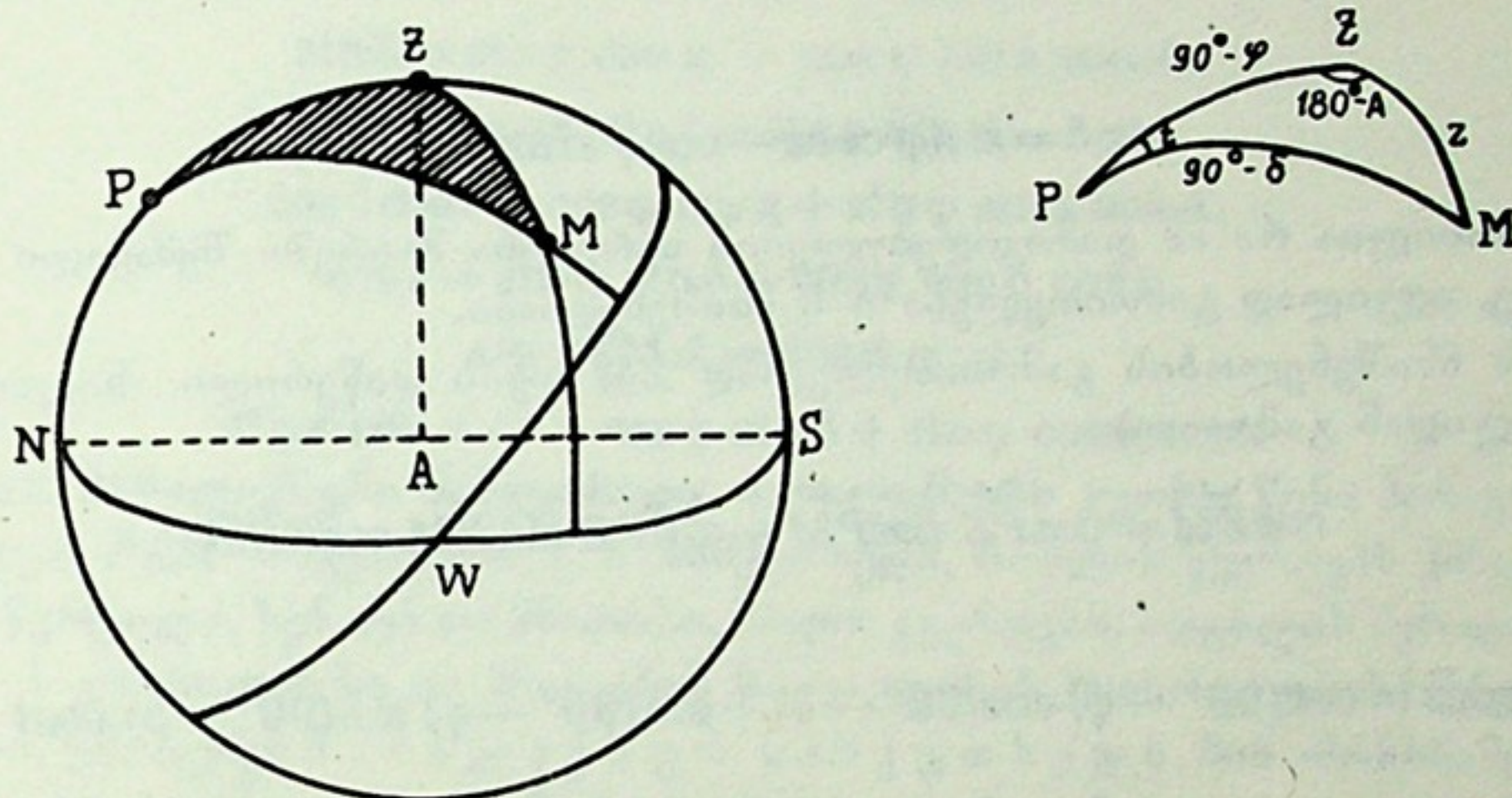
საბოლოოდ, ვარსკვლავის ჩაუსვლულობისა და ამოუსვლულობის პირობა შეგვიძლია ერთი დამოკიდებულებით გამოვსახოთ:  $|\delta| \geq 90^\circ - \varphi$ .

თბილისში, სადაც გეოგრაფიული განედი დაახლოებით  $42^\circ$ -ია, არ გამოჩნდება სამხრეთის ცის ის ვარსკვლავები, რომელთა დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით  $48^\circ$ -ზე მეტია. ხოლო ლენინგრადში, რომელიც თბილისიდან შედარებით უფრო ჩრდილოეთით მდებარეობს და, რომლის განედი დაახლოებით  $60^\circ$ -ია, არ გამოჩნდება სამხრეთ ნახევარსფეროს ყველა ის ვარსკვლავი, რომელთა დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით  $30^\circ$ -ზე მეტია. მაშასადამე, აშკა-



რად, ცის დამკვირვებელი ლენინგრადში უარეს მდგომარეობაში იქნება, ვიდრე თბილისში, რადგანაც მისთვის ნაკლები რაოდენობის ვარსკვლავებია დაკვირვებისათვის მისაწვდომი.

§ 43. დამოკიდებულება ჰორიზონტულ და ეკვატორულ კოორდინატთა შორის. რიგი ელემენტარული ამოცანების გადასაწყვეტად ზოგჯერ აუცილებელია ამა თუ იმ სისტემაში მნათობის კოორდინატების გაგება ისე, რომ მათი უშუალო გაზომვა-განსაზღვრა კი არ დაგვჭირდეს, არამედ — მხოლოდ გამოყვანა და გამოთვლა ცნობილი მონაცემების მიხედვით.



ნახ. 71

თუ ვარსკვლავისათვის ცნობილია რაიმე მომენტისათვის ჰორიზონტული კოორდინატები  $A$  და  $h$  ან  $A$  და  $z=90^\circ-h$  (რაც უშუალო დაკვირვებიდან მიიღება), ხოლო გვესაჭიროება შესაბამისი ეკვატორული კოორდინატების  $\delta$  და  $t$ -ს ან  $\delta$  და  $\alpha$ -ს ცოდნა, რომელთა უშუალო გაზომვა უფრო რთულია, მაშინ ასეთი შემთხვევისათვის შეგვიძლია წინასწარ გამოვიყვანოთ ფორმულები, რომელთა საშუალებით ერთი სისტემის კოორდინატები —  $A, h$  გარდაიქმნება მეორე სისტემაში —  $\delta, t$  ან  $\delta, \alpha$ .

განვიხილოთ 71-ე ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია ჩვენთვის უკვე კარგად ცნობილი ციური სფერო თავისი ძირითადი წერტილებითა და წრეებით. ეს ნახაზი შეესაბამება დამკვირვებლის ჰორიზონტს, რომელიც მოცემულ  $\varphi$  განედზე იმყოფება. დიდი წრეწირის რკალები  $PZ=90^\circ-\varphi$ ,  $PM=90^\circ-\delta$  და  $ZM=z=90^\circ-h$  ქმნიან სფერულ სამკუთხედს —  $PZM$ , რომელიც მეტი თვალსაჩინოებისათვის ცალკეა გამოყოფილი ნახაზზე. როგორც ვხედავთ, ამ სამკუთხედის ელემენტები გამოისახება ჰორიზონტულ და ეკვატორულ სისტემათა კოორდინატებისა და ადგილის განედის საშუალებით (კუთხე  $PZM=180^\circ-A$ ). თუ რაიმე მომენტისათვის მოცემულია  $A$  და  $z$  და საძიებელია  $\delta$  და  $t$ , ეს იმას ნიშნავს, რომ სფერულ სამკუთხედში მოცემულია ერთი კუთხე და ორი გვერდი (მეორე გვერდი მოცემულია განედით) და საძიებელია ერთი გვერდი და ერთი კუთხე. ე. ი. ამოცანა დადის სფერული სამკუთხედის ამოხსნამდე: მოცემული სამი ელემენტით (ერთი კუთხითა და ორი გვერდით) განვსაზღვროთ ორი ელემენტი (ერთი კუთხე და ერთი გვერდი).



ამ მიზნისათვის გავიხსენოთ სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულა (იხ. გვ. 42):

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

და გამოვიყენოთ იგი  $PMZ$  სამკუთხედისათვის:

$$\cos \overset{\smile}{PM} = \cos \overset{\smile}{PZ} \cos \overset{\smile}{ZM} + \sin \overset{\smile}{PZ} \sin \overset{\smile}{ZM} \cos \overset{\smile}{PZM}$$

ანუ

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos z + \sin(90^\circ - \varphi) \sin z \cos(180^\circ - A)$$

ანუ

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A.$$

ცნობილია რა ამ დამოკიდებულების მარჯვენა მხარეში შემავალი ყველა სიდიდე, ადვილად გამოითვლება  $\delta$ -ს მნიშვნელობა.

$t$ -ს მნიშვნელობის გამოსათვლელად  $ZM$ -თვის დაწერილი ანალოგიური ფორმულიდან გამოვალთ

$$\cos \overset{\smile}{ZM} = \cos \overset{\smile}{PZ} \cos \overset{\smile}{PM} + \sin \overset{\smile}{PZ} \sin \overset{\smile}{PM} \cos \overset{\smile}{ZPM}$$

ანუ

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

ანუ

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t.$$

აქედან

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}.$$

აქ, მარჯვენა მხარეზე ახლა, როცა  $\delta$  გამოთვლილია, ყველა სიდიდე ცნობილია და  $t$  ადვილად გამოითვლება.

თუ ვარსკვლავი ცის დასავლეთ მხარეზეა, როგორც 69-ე ნახაზზე,  $t$  დადებითია, ხოლო თუ აღმოსავლეთ მხარეზე — უარყოფითი.

შეიძლება გვეჩვენოს შემთხვევა, როცა მოცემულია და ცნობილი  $\delta$  და  $t$  კოორდინატები (ახლაც იგულისხმება, რომ  $\varphi$  განედის მნიშვნელობაც მოცემულია) და გამოსათვლელია  $z$  და  $A$ . მაშასადამე, მოცემულია  $PZ$  და  $PM$  ორი გვერდი და მათ შორის მოთავსებული  $ZPM$  კუთხე.

$z$ -ის გამოსათვლელი ფორმულა უკვე გვაქვს გამოყვანილი.  $A$  — აზიმუტის გამოსათვლელი ფორმულაც უბრალოდ დაიწერება ზემოთ მოყვანილი  $\sin \delta$ -ს გამოსათვლელი ფორმულიდან:

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

მას შემდეგ, რაც  $z$  გამოთვლილია, აქ, მარჯვენა მხარეზე ყველა სიდიდე ცნობილია და გამოითვლება ჰორიზონტული სისტემის მეორე კოორდინატიც —  $A$ .

აქაც კუთხის გამოთვლილ რიცხვით მნიშვნელობას ორი ნიშანი შეესაბამება და ერთი მათგანის არჩევა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განპირობებულია

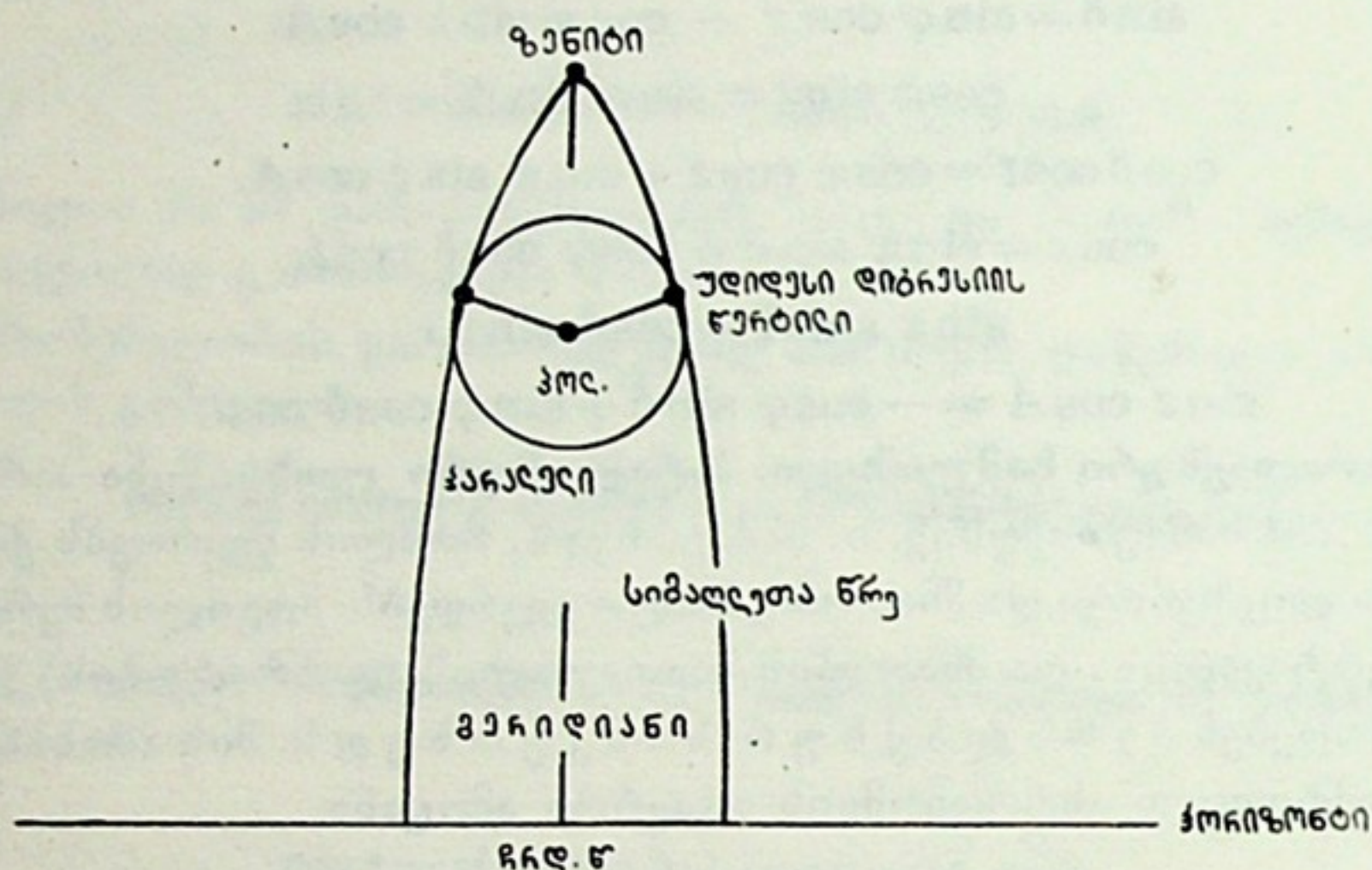








§ 45. პოლუსისაზლო ვარსკვლავის დიგრესია. 73-ე ნახ. წარმოადგენს ერთ-ერთ გვარ პროექციას ცის სფეროს ჩრდილო ნაწილზე, ზენიტიდან პორიზონტამდე. პოლუსის ირგვლივ ვხედავთ პოლუსისაზლო ვარსკვლავის დღედამურ პარალელს. ეს პარალელი მოქცეულია ორი სიმაღლის წრეწირის ანუ ვერტიკალს შორის, რომლებიც ზენიტიდან პორიზონტზეა დაშვებული ვერტიკალურად და გადის მნათობზე იმ პირობებში, როცა მნათობი ჯერ პოლუსის მარჯვნივ (აღმოსავლეთით) იმყოფება თავისი პარალელის იმ წერტილში, სადაც სიმაღლის წრეწირი ეხება პარალელს, ხოლო მეორედ—ასეთსავე პირობებში პოლუსიდან მარცხნივ (დასავლეთით).



ნახ. 73

პარალელის ყველა სხვა წერტილში სიმაღლის წრეწირი გადაკვეთს მას. აზიმუტის კუთხე, თუ მას ჩრდილოეთის წერტილიდან ავითვლით, უდიდესი იქნება იმ შემთხვევისათვის, როცა სიმაღლის წრეწირი მნათობზე გავლისას მის პარალელს ეხება (თუ აზიმუტს სამხრეთიდან ავითვლით, როგორც აქამდე, მაშინ კუთხე აღებულ შემთხვევაში უმცირესი იქნება). სიმაღლის წრისა და დღედამური პარალელის შეხების წერტილში მნათობის მდებარეობას უდიდესი დიგრესია\* ეწოდება. როგორც ვხედავთ, გასარჩევია აღმოსავლეთისა და დასავლეთის დიგრესია. უდიდესი დიგრესიის წერტილებში საათ-კუთხის წრე ვერტიკალურ წრესთან მართ კუთხეს ქმნის; პარალელური სამკუთხედი (ზენიტი, პოლუსი, მნათობი) მართკუთხოვანია.

\* ზოგჯერ დიგრესიას ელონგაციასაც უწოდებენ, თუმცა ეს ტერმინი უფრო ხშირად პლანეტების მიმართ იხმარება (იხ. ქვევით).



თ ა ვ ი IV

დროის გაზომვა

§ 46. ვარსკვლავთმიერი და მზისმიერი დღე-ღამე. ყოველდღიურმა პრაქტიკამ მიგვაჩვია გავიგოთ და აღვრიცხოთ დრო მზის მიხედვით: მზის ამოსვლით იწყება დღე; მზის ჩასვლით მთავრდება იგი; მზის ერთი ამოსვლიდან მეორე, მომდევნო ამოსვლამდე ერთი დღე-ღამეა.

მაგრამ მზის ამოსვლა-ჩასვლის მომენტები წელიწადის განმავლობაში იცვლება. დროის შუალედიც მზის ამოსვლიდან მის ჩასვლამდე, როგორც გამოცდილებიდანაც ვიცით და ქვემოთ კი დაწვრილებით გავარჩევთ, სხვადასხვაა წელიწადის სხვადასხვა დროს. ამიტომ უმჯობესია, დღე-ღამის დასაწყისი ვიანგარიშოთ მზის ცენტრის ზედა ან ქვედა კულმინაციის მომენტიდან მომდევნო ამგვარივე მომენტამდე, ე. ი. ან შუადღიდან შუადღემდე, ან შუაღამიდან შუაღამემდე. მართლაც, დროის შუალედი მზის დისკოს ცენტრის ორ თანმიმდევნო კულმინაციას შორის წელიწადის განმავლობაში თ ი თ ქ მ ი ს უ ც ვ ლ ე ლ ა დ შეიძლება ჩაითვალოს.

დღე-ღამის დასაწყისს მაინც ანგარიშობენ შუაღამიდან და არა შუადღიდან. გასაგებია, რატომ ამჯობინებენ ასე. დღის რიცხვის, თარიღის გამოცვლა უმჯობესია ხდებოდეს ღამით, როცა ერთი სამუშაო დღე უკვე დამთავრებულია და მეორე ჯერ არ დაწყებულია. მზის კულმინაციების შესაბამისად ვამუშავებთ ჩვენს საათებსაც: შუაღამეზე დღე-ღამის 0 საათია, შუადღეზე — 12 საათი. შეიძლება ითქვას, რომ დრო, რომელსაც გვეყრდნობით ჩვენს საქმიანობაში, ანუ დროის გაზომვა-ანგარიშის ის სისტემა, რომელსაც პრაქტიკაში ვხმარობთ, ცაზე მზის ხილულ დღელამურ მოძრაობას ემყარება ანუ მზის მიერია.

მაგრამ ასტრონომიულ ობსერვატორიებში სამეცნიერო მიზნებისათვის გამოიყენება ე. წ. ვარსკვლავთმიერი დრო, რომელსაც ზომავენ და ანგარიშობენ არა მზის, არამედ ვარსკვლავებიანი ცის ხილული დღელამური მოძრაობის მიხედვით.

დავაკვირდეთ ერთი რომელიმე კაშკაშა ვარსკვლავის ხილულ მოძრაობას ცაზე. ასეთი დაკვირვება სულ ერთი და იმავე ადგილიდან ვაწარმოოთ, მაგალითად, აუდიტორიის ფანჯრიდან ან სასწავლებლის ეზოს შერჩეული ადგილიდან. დავნიშნოთ საათის მიხედვით ის მომენტი, როცა ვარსკვლავი მოეფარება რომელიმე ხეს ან შენობის ყურეს. დავაკვირდეთ ამავე ვარსკვლავს მეორე საღამოს, იმავე ადგილიდან. ვნახავთ, რომ, როცა იგივე ვარსკვლავი კვლავ მოეფარება იმავე ხეს ან შენობის ყურეს, ჩვენი საათი თითქმის 4 წუთით ნაკლებს გვიჩვენებს, ვიდრე წინა დღეს. მესამე დღეს ვარსკვლავის მოფარების მომენტი კიდევ 4 წუთით უფრო ადრე დადგება და ასე შემდეგ. ასე მოხდება, რომელ ვარსკვლავსაც არ უნდა დავაკვირდეთ. რა თქმა უნდა, იგულისხმება, რომ ჩვენი საათი სწორად მუშაობს.



ცის ხილული სრული შემობრუნების დრო, განპირობებული დედამიწის ბრუნვით თავისი ღერძის ირგვლივ, ერთი და იგივეა. ცა, როგორც ერთი მთლიანი, ბრუნავს თანაბარი და უცვლელი სიჩქარით. ცის თადის სრული შემობრუნება გამოიხატება რომელიმე ვარსკვლავის სრული შემობრუნებით — ზედა (ქვედა) კულმინაციიდან მომდევნო ზედა (ქვედა) კულმინაციამდე და წარმოადგენს დროის საზომ ერთეულს. მას ვარსკვლავთმერი დღე-ღამე ვუწოდებთ. ეს დროის ის შუალედია, რომელიც ჩვენს ექსპერიმენტში ანუ დაკვირვებაში გაივლის ვარსკვლავის ერთი მოფარებიდან ხის ან შენობის ყურეს უკან მეორე, მომდევნო მოფარებამდე. ეს იგივეა, რაც დროის შუალედი, აღებული ვარსკვლავის ორ მომდევნო ზედა კულმინაციას შორის. მართლაც, ხომ შეიძლება ისე შევარჩიოთ ჩვენს დაკვირვებაში ხე, რომ ჩვენი თვალთახედვის ხაზის მიმართულება მასზე თანხვედრობდეს პერიდიანის სიბრტყეს. შეგვიძლია საგანგებო იარაღიც ვიხმაროთ, რომელშიც საჭვრეტი მიღწევი პერიდიანში იქნება მიმართული და მის ველში შეგვიძლია დავინახოთ შერჩეული ვარსკვლავი კულმინაციის მომენტში. ასეც იქცევიან პრაქტიკაში, ობსერვატორიებში. ეს საშუალებას მოგვცემს უფრო ზუსტად განვსაზღვროთ კულმინაციებს შორის დროის შუალედი — ვარსკვლავთმერი დღე-ღამე.

მაგრამ ჩვენი ჯიბის ან მაჯის საათი მზის კულმინაციების შესაბამისად მუშაობს; მზის ცენტრის ერთი ზედა კულმინაციიდან მეორე — მომდევნო ზედა კულმინაციამდე მან ერთი დღე-ღამის შესრულება უნდა გვიჩვენოს. ის ასეც გვიჩვენებს; მაგალითად, თუ პირველ დღეს, მზის კულმინაცია დაახლოებით 12 საათზე მოხდა, მეორე დღესაც კვლავ 12 საათზე მოხდება.

დროის შუალედს მზის დისკოს ცენტრის ორ მომდევნო ზედა (ან ორ მომდევნო ქვედა) კულმინაციებს შორის მზის მერი დღე-ღამე ვუწოდებთ.

როგორც ვხედავთ, მზისმერი დღე-ღამე განსხვავდება ვარსკვლავთმერი დღე-ღამისაგან. ზემოთ ვნახეთ, რომ ეს განსხვავება 4 წუთს ეტოლება და ამასთანავე ვარსკვლავთმერი დღე-ღამე უფრო მოკლეა, გიდრე მზისმერი დღე-ღამე, რამდენადაც ვარსკვლავის ყოველი მომდევნო ზედა კულმინაცია დაახლოებით 4 წუთით აღრეხდება ჩვენი — მზისმერი საათის მიხედვით.

ვნახოთ ახლა, რატომ ხდება ასე, თუკი, როგორც აღვნიშნეთ, ყველა მნათობი ცაზე ერთნაირი კუთხური სიჩქარით ბრუნავს, თითქოს მთელი ცა ბრუნავდეს მასზე „მიჭედილი“ მნათობებითურთ. გვახსოვდეს, რომ ეს მტკიცება შეეხება მხოლოდ ვარსკვლავებს. მზე (და, როგორც უფრო გვიან ვნახავთ, მასთან ერთად მთვარე და ცთომილები) მთლიანად როდი ემორჩილება დღეღამური მოძრაობის ამ კანონზომიერებას. იმის გარდა, რომ მონაწილეობს მთელი ვარსკვლავებიანი ციხ დღეღამურ ბრუნვაში, მზე საკუთარი მოძრაობით თვით გადაინაცვლებს რამდენადმე ვარსკვლავებს შორის. ამის მიზეზს ქვემოთ გამოვარკვევთ. ჯერჯერობით კი ის დავიხსოვოთ, რომ მზე თავისი ხილული მოძრაობით გადაადგილდება ვარსკვლავებიან ცაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით და, რადგან ცა ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ამიტომ მზე ჩამორჩება ვარსკვლავებს. ეს ჩამორჩენა დროში ყოველდღიურად 4 წუთით გამოიხატება. აი რატომ იყო, რომ ჩვენს ექსპერიმენტში ვარსკვლავის ყოველი შემდგომი ზედა კულმინაცია 4 წუთით უფრო აღრეხებოდა, როცა დროს მზის მიხედვით მომუშავე საათი ვზომავდით.

მაშასადამე, დროის შუალედი მზის ორ მომდევნო ზედა კულმინაციას შორის



რის უფრო ხანგრძლივია, ვიდრე შუალედი ვარსკვლავის ორ მომდევნო ზედა კულმინაციას შორის.

ვარსკვლავებიან ცაზე მზის საკუთარ ხილულ გადაადილებას ვარსკვლავების მიმართ თვალნათლივ შევნიშნავდით, თუ ერთდროულად დავაკვირდებოდით მზესა და ვარსკვლავებს. მართლაც, თუ პირველ დღეს, მაგალითად, მზესთან ერთად ზედა კულმინაციაში იქნებოდა რომელიმე ვარსკვლავი, მეორე დღეს ვნახავდით, რომ ჯერ ვარსკვლავი გაივლიდა ზედა კულმინაციას, ხოლო მის შემდგომ, 4 წუთით გვიან — მზე. მაგრამ, ცის გაბნეული სინათლის გამო დღისით არ შეგვიძლია დავინახოთ ვარსკვლავები მზესთან ერთად, მზის გვერდით; ღამით კი, როცა ცაზე ვარსკვლავები მოჩანს, მზე უჩინარია, პორიზონტის ქვეშაა.

მზესა და ვარსკვლავებს ერთდროულად ხედავს ცაზე მხოლოდ კოსმონავტი, დედამიწის ატმოსფეროს გარეთ — კოსმოსის სივრცეში მსრბოლავი კოსმოსური ხომალდიდან, რადგანაც იქ იგი არაა გარემოცული ატმოსფეროთი, რომელიც განაბნევს სინათლეს; ცა კოსმონავტისათვის ბნელად, მუქად გამოიყურება და მასზე ბრწყინავს მზის მკვეთრად „შემოხაზული“ დისკო და კიაფობენ ვარსკვლავებიც.

დღე-ღამე, როგორც ვიცით, იყოფა 24 საათად, საათი — 60 წუთად, წუთი — 60 წამად. როდესაც გვექნება საქმე მზისმიერ და ვარსკვლავთმიერ დღე-ღამის ნაწილებთან, ისინი შესაბამისად უნდა გამოვსახოთ მზისმიერი საათით, წუთითა და წამით და ვარსკვლავთმიერი საათით, წუთითა და წამით. აშკარაა, რომ, მაგალითად, ვარსკვლავთმიერი საათი (წუთი, წამი) უფრო ხანმოკლე შუალედი, ვიდრე მზისმიერი საათი (წუთი, წამი).

როგორც ზემოთ აღინიშნა, მზისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად მზის ქვედა კულმინაციის მომენტს თვლიან, რაც შუალამეს შეესაბამება. მაგრამ, რა მომენტი ჩავთვალოთ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისად? დღე-ღამე ხომ დროის შუალედი, რომელიმე ვარსკვლავის ორ ზედა (ან ქვედა) მომდევნო კულმინაციათა შორის, ხოლო ვარსკვლავები უამრავია და ისინი სხვადასხვა მომენტში არიან კულმინაციაში. რომელი ავირჩიოთ? ცხადია, გარკვეულობისათვის აუცილებელია ერთ რომელიმეზე შევჩერდეთ და მისი კულმინაციის მომენტი ჩავთვალოთ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისად.

ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისად გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის ანუ ვერძის წერტილის (V) (იხ. ზემოთ) ზედა კულმინაციის მომენტი არის მიჩნეული. 74-ე ნახაზის განხილვა მეტ სიცხადეს შეიტანს ზემოთ გადმოცემულში.

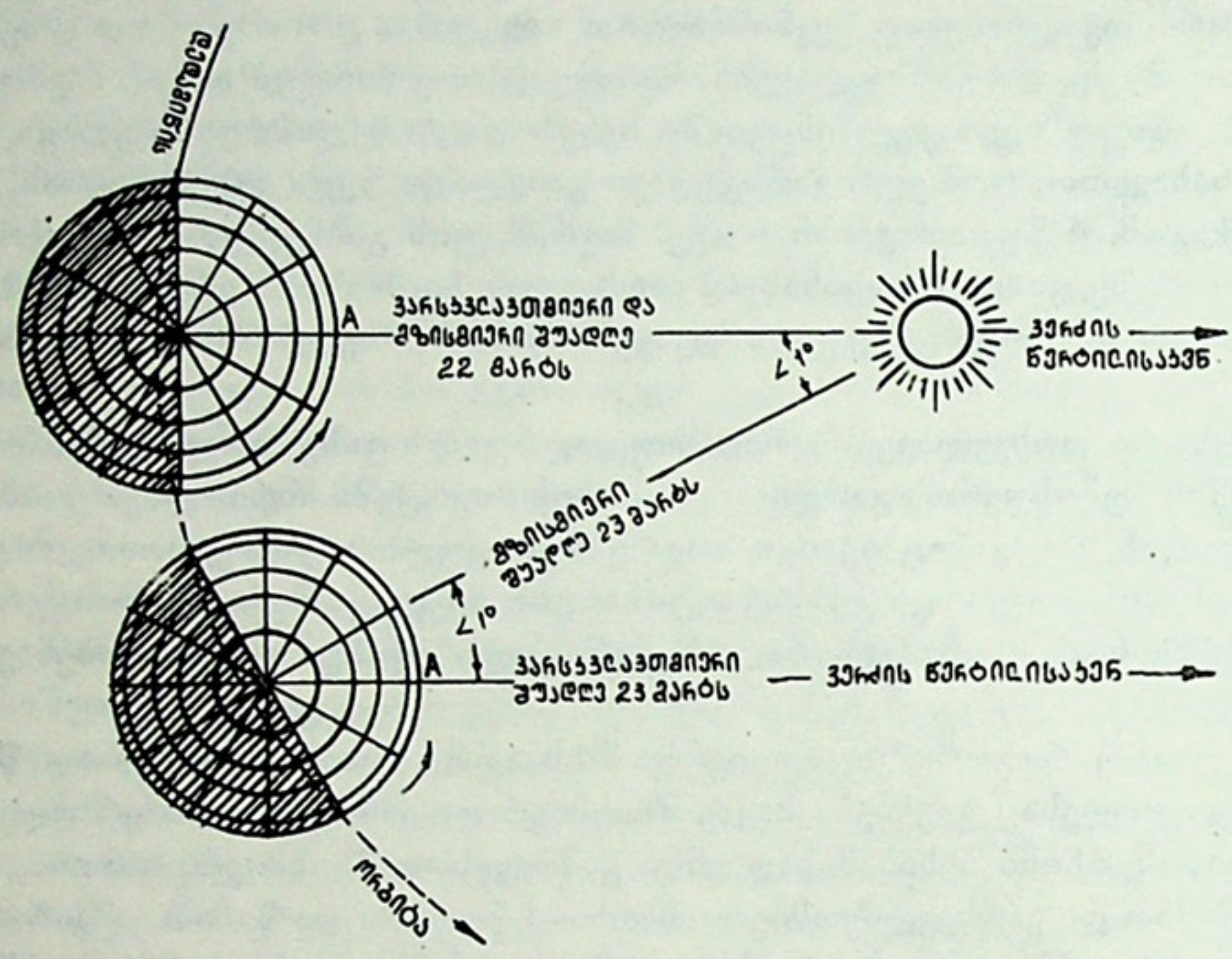
§ 47. **ვარსკვლავთმიერი დრო.** ვერძის წერტილის (V) საათ-კუთხე მისი ზედა კულმინაციის მომენტში, ცხადია, ნულია. ამ მომენტის შემდგომ ეს წერტილი მთელ ცამრგვალთან ერთად მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით აღმოსავლეთიდან დასავლეთით და, რაც მეტი დრო გადის, მით უფრო იზრდება მისი საათ-კუთხე.

დავაკვირდეთ 75-ე ნახაზს. ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისში ვერძის წერტილი სწორედ ეკვატორისა და მერიდიანის გადაკვეთის Q წერტილშია, რადგანაც, ჯერ ერთი, იგი ეკვატორზე მდებარეობს და მეორეც, რაკი დღე-ღამის დასაწყისია, ე. ი. კულმინაციაა, — მერიდიანზეც იმყოფება ამ მომენტში. ეს წერტილი პირობით აღნიშნულია Q(V)-ით. დროის გარკვეული შუალედის გავლის შემდგომ ვერძის წერტილი აღმოჩნდება დასავლეთით  $15^\circ$ -ით გადახრილობა



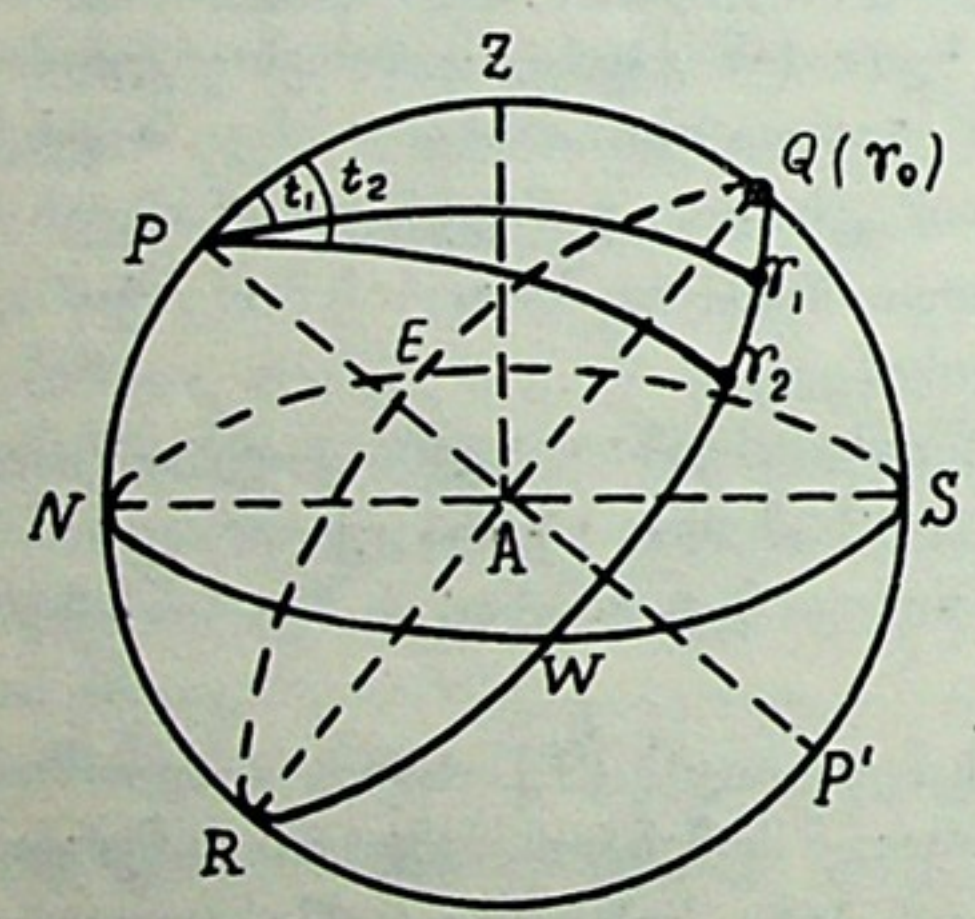


ლი და დაიკავეს  $\gamma_1$  მდებარეობას. თუ გავიხსენებთ, რომ ცის  $360^\circ$ -ით შემობრუნებას მთელი დღე-ღამე შეესაბამება, ხოლო  $15^\circ$  წარმოადგენს  $360^\circ$ -ის მეოცდა-

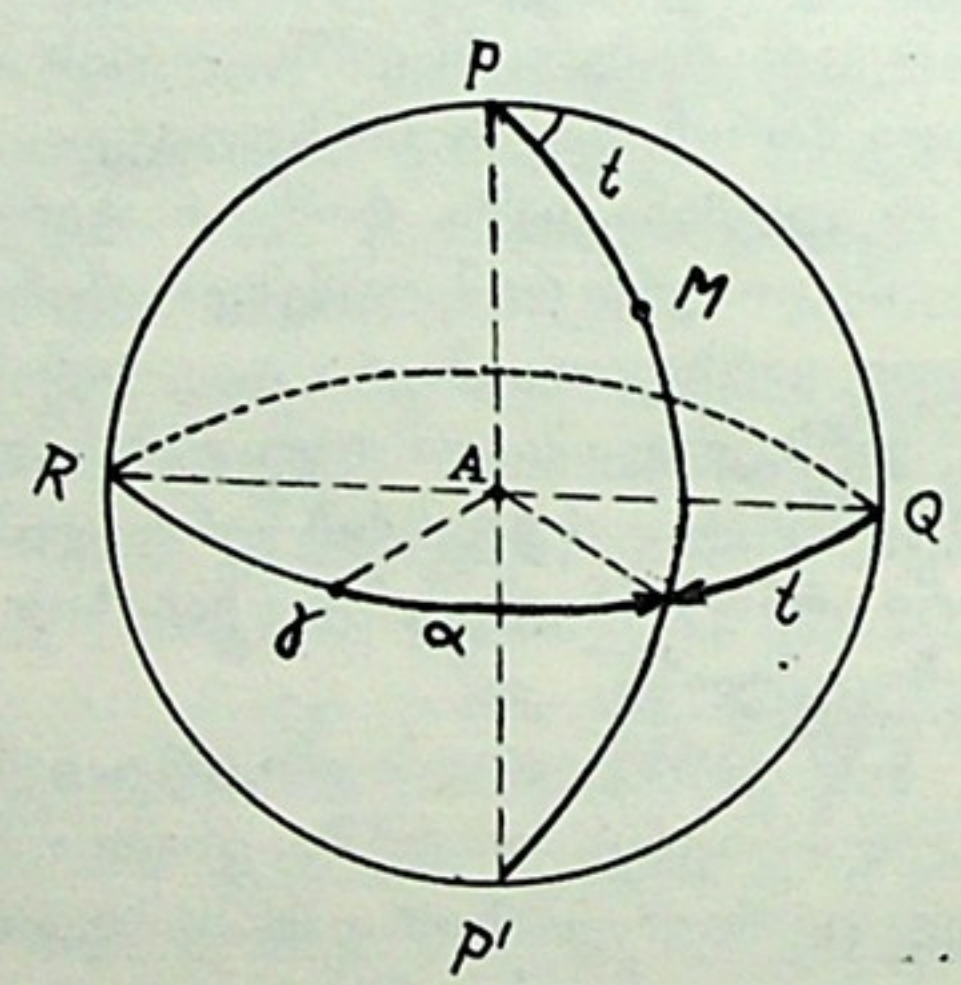


ნახ. 74

ოთხედ ნაწილს, ჩავთვლით, რომ ეს შუალედი 1 საათია. ამასთანავე იგი ვ ა რ ს-კ ვ ლ ა ვ თ მ ი ე რ ი 1 საათია. ვერძის წერტილის  $\gamma_1$  მდებარეობას შეესაბამება



ნახ. 75



ნახ. 76

საათ-კუთხე  $t_1$ , რომელიც  $15^\circ$ -ის ტოლია, ისევე როგორც ეკვატორის რკალი, მოთავსებული  $Q(\gamma_0)$  და  $\gamma_1$ -ს შორის. კიდევ ერთი საათის გავლის შემდგომ ვერძის წერტილი იმავე სიდიდით —  $15^\circ$ -ის რკალური მანძილით — გადაინაცვლებს დასავლეთით და მივა  $\gamma_2$  მდებარეობაში. ამ დროს ვერძის წერტილის საათ-კუთხე  $t_2$ -ია და ვარსკვლავთმხიერი დღე-ღამის დასაწყისიდან გასულია 2 საათი.



ამგვარად, ვხედავთ, რომ ვერძის წერტილის საათ-კუთხით იზომება ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამის დასაწყისიდან განვლილი დროის შუალედი ანუ ვარსკვლავთმომიერი დრო.

თუ ვარსკვლავთმომიერ დროს აღვნიშნავთ  $s$  ასოთი, მაშინ დავწერთ, რომ

$$s = t_r,$$

ე. ი. ვარსკვლავთმომიერი დრო რიცხობრივ ეტოლება ვერძის წერტილის საათ-კუთხეს, გამოსახულს დროის ერთეულებში.

ცაზე ვერძის წერტილში როდია რომელიმე კაშკაშა, ადვილად შესამჩნევი ვარსკვლავი. ამიტომ მერიდიანში ვერძის წერტილის გავლის მომენტის შენიშვნა და მისი საათ-კუთხის უშუალო გაზომვა შეუძლებელია. გარდა ამისა, ვერძის წერტილი ყოველთვის როდია დამკვირვებლის ჰორიზონტის ზევით. ამის გამო პრაქტიკულად ვერძის წერტილის ზედა კულმინაციის ანუ ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამის დასაწყისი მომენტის დასადგენად მიმართავენ ნებისმიერ ვარსკვლავს, — რომლისთვისაც ცნობილია პირდაპირი აღვლენა  $\alpha$ , და გაზომავენ მის საათ-კუთხეს —  $t$ -ს (ნახ. 76), ცხადია, რომ

$$t_r = \gamma Q = \alpha + t,$$

მაგრამ განსაზღვრის თანახმად,

$$s = t_r$$

და მაშასადამე,

$$s = \alpha + t,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ მომენტში ვარსკვლავთმომიერი დრო რომელიმე ვარსკვლავის საათ-კუთხისა და მისივე პირდაპირი აღვლენის ჯამს ეტოლება.

ამასთანავე, თუ ვარსკვლავი მერიდიანში, ზედა კულმინაციაშია და, მაშასადამე, მისთვის  $t=0$ , დავწერთ:

$$s = \alpha,$$

ე. ი. მოცემულ მომენტში ვარსკვლავთმომიერი დრო იმ ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენის ტოლია, რომელიც ამ მომენტში ზედა კულმინაციაშია. ახლა ვხედავთ, თუ რატომღაა მოხერხებული პირდაპირი აღვლენის გამოსახვა არა გრადუსებით, არამედ დროის ერთეულებით.

ადვილი მისახვედრია, რომ, თუ ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაშია, მაშინ

$$s = \alpha + 12 \text{ სთ.}$$

რაკი ვარსკვლავთმომიერი დრო ზედა კულმინაციაში მყოფ ვარსკვლავთა პირდაპირ აღვლენას ეტოლება, ამის მიხედვით ყოველთვის შეგვიძლია უბრალოდ გავიგოთ, თუ რომელი ვარსკვლავი ან თანავარსკვლავედი დაინახება ცაზე აღებულ დღეს, აღებულ ვარსკვლავთმომიერ მომენტში.

**§ 48. შხისმიერი დრო.** ჩვეულებრივი მიზნებისათვის, ყოველდღიურ ცხოვრებაში ვარსკვლავთმომიერი დროის გამოყენება მოუხერხებელია, რადგანაც იგი არაა თანხმობაში შხის მოძრაობასთან, რომელიც ბუნებრივად და თვალნათლივ ჰყოფს დღე-ღამეს მის ნაწილებად: დღედ და ღამედ. ამიტომ, სამოქალაქო, პრაქტიკული მიზნებით იყენებენ შხისმიერ დროს, რომელიც დაკავშირებულია მზის ხილულ მოძრაობასთან ცაზე.



თუ  $\varphi$ -ს საათ-კუთხის ნაცვლად  $\theta$ -ის საათ-კუთხის ზრდას დავაკვირდებით და მის სიდიდეს გავზომავთ, მაშინ  $\xi$  ე მ მ ა რ ი ტ მ ზ ი ს მ ი ე რ დ რ ო ს განვსაზღვრავთ. თუ ჩვენი საათი ნაშუადღევს შემდგომ, მაგალითად, 2 საათს გვიჩვენებს, ეს იმას ნიშნავს, რომ  $\theta$ -ის საათ-კუთხე  $30^\circ$ -ია, ე. ი. შუადღის მომენტიდან იმდენი დრო გასულა ანუ  $\theta$ -ზე იმდენად დაშორებია პერიდიანს, რომ მისი დახრილობის წრე პერიდიანთან  $30^\circ$ -იან კუთხეს ქმნის.

საერთოდ, თუ  $\theta$ -ისმიერ დროს აღვნიშნავთ  $T_\odot$ -ით, ხოლო მის საათ-კუთხეს  $t_\odot$ -ით, დაიწერება:

$$T_\odot = 12სთ + t_\odot.$$

(იგულისხმება, რომ  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამე შუადღისას ანუ  $\theta$ -ის ქვედა კულმინაციის მომენტში იწყება).

სხვადასხვა მიზეზის გამო, რომელთაც ქვემოთ აღვწერთ, ცის თაღზე  $\theta$ -ის ერთი შემობრუნების ხანგრძლივობა იცვლება წლის განმავლობაში. მაშასადამე, იცვლება  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამისა და მისი ნაწილების (საათის, წუთის) ხანგრძლივობაც. ისეთი მექანიკური საათის მოწყობა კი, რომელიც ყოველდღიურად ზუსტად  $\theta$ -ის მოძრაობის მიხედვით იმუშავებდა, ე. ი. ყოველდღე სხვადასხვა სიჩქარე ექნებოდა, ტექნიკურად მეტად ძნელი იქნებოდა და გამოსაყენებლად — მოუხერხებელი.

ამიტომ ნამდვილი (მაშასადამე, წელიწადის განმავლობაში ცვალებადი) დღე-ღამის ნაცვლად მიჩნეულია ისეთი  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამე, რომლის ხანგრძლივობა უცვლელი იქნებოდა წლის განმავლობაში, ე. ი. წ ა რ მ ო ვ ი დ გ ი ნ ო თ  $\theta$ -ზე რომელიც ყოველთვის, მთელი წლის მანძილზე თანაბარი სიჩქარით გადაადგილდება ვარსკვლავებს შორის. ასეთ  $\theta$ -ს ა შ უ ა ლ ო მ ზ ი ს მ ი ე რ დ რ ო ს, განსხვავებით მასთან დაკავშირებული, ზემოთ განხილული  $\xi$  ე მ მ ა რ ი ტ ი  $\theta$ -ისმიერი დროისაგან, რომელიც ცის თაღზე  $\xi$ -მდარიტი  $\theta$ -ის ხილული გადაადგილების ნამდვილ სურათს ემყარება. სათანადოდ განისაზღვრება საშუალო  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამე და მისი დასაწყისიც.

**§ 49. დროის სწორება.** შეიძლება ითქვას, რომ საშუალო  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამე  $\xi$ -მდარიტი  $\theta$ -ისმიერი დღე-ღამეების საშუალო ხანგრძლივობაა.

საშუალო  $\theta$ -ისმიერი დრო უნდა წარმოვიდგინოთ არა როგორც საათ-კუთხე  $\xi$ -მდარიტი  $\theta$ -ისა, არამედ ისეთი წარმოსახვითი წერტილისა, რომელიც ცაზე  $\theta$ -ესთან ახლოა და ცამრგვალზე მოძრაობს ისეთი სიჩქარით, რომელსაც  $\xi$ -მდარიტი  $\theta$ -ის მოძრაობის ცვალებადი სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ ამ წარმოსახვითი წერტილის (ანუ წარმოსახვითი  $\theta$ -ის) კულმინაცია ხდება ხან უფრო ადრე, ხან უფრო გვიან, ვიდრე  $\xi$ -მდარიტი  $\theta$ -ისა. სხვაობა  $\xi$ -მდარიტ და საშუალო  $\theta$ -ის ცენტრების კულმინაციების მომენტებს შორის არაა დიდი: მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 16 მინუტია. წელიწადში ოთხჯერ იგი ნულია და, მაშასადამე, ამ ოთხ დღეს  $\xi$ -მდარიტი და საშუალო დრო ერთიმეორეს თანხვდება.

$\xi$  ე მ მ ა რ ი ტ მ ზ ი ს მ ი ე რ დ ა ს ა შ უ ა ლ ო მ ზ ი ს მ ი ე რ დ რ ო თ ა შ ო რ ი ს ს ხ ვ ა ო ბ ა ს ა დ ე ბ უ ლ მ ო მ ე ნ ტ შ ი დ რ ო ი ს გ ა ნ ტ ო ლ ე ბ ა ა ნ უ ს წ ო რ ე ბ ა ე წ ო დ ე ბ ა. ეს შეგვიძლია ასე ჩავწეროთ:

$$T_{\xi} - T_{\theta} = y,$$

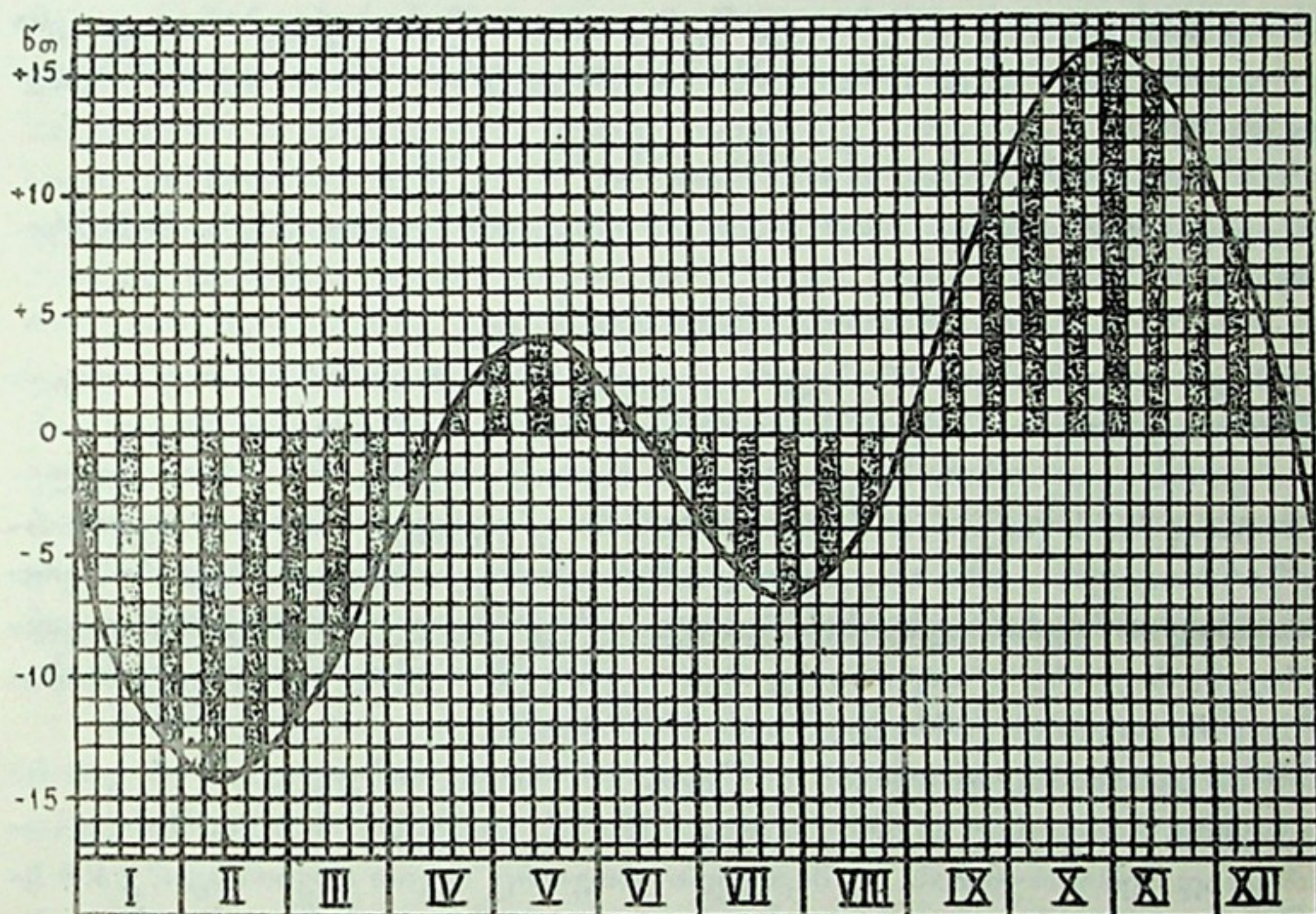
სადაც  $y$ -ით აღნიშნულია დროის სწორება.



ჩვენი საათების მუშაობა შეესაბამება საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს. ნიშნული სხვაობის არსებობის გამო ჭეშმარიტი შუაღლე (ე. ი. მზის ზედა კულმინაციის მომენტი) ყოველთვის როდი თანხვდება იმ მომენტს, როცა ჩვენი საათი 12 საათს გვიჩვენებს. საშუალო მზემ შეიძლება ჭეშმარიტ მზეზე ხან უფრო ადრე, ხან უფრო გვიან გაიაროს მერიდიანზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ საშუალო დრო შეიძლება ჭეშმარიტზე წინ ან უკან იყოს.

77-ე ნახაზზე დროის განტოლება წარმოდგენილია გრაფიკულად; აქ ერთიანი მზუდის საშუალებით მოცემულია მისი მნიშვნელობანი წლის მანძილზე.

ამ მრუდზე ყოველი დღისათვის შეგვიძლია ავთვალთ დროის განტოლების მნიშვნელობა. მრუდი შედგენილია ისე, რომ ბთვლილი მნიშვნელობა უნდა გამოაკლდეს ჭეშმარიტ დროს, რათა მივიღოთ საშუალო დრო. ასე,



ნახ. 77

მაგალითად, ვნახოთ რას ეტოლება საშუალო დრო 21 სექტემბერს, როცა ჭეშმარიტი დროით 11 საათი და 50 წუთია? ამ დღეს დროის განტოლება ეტოლება +8 წუთს, მაშასადამე, საშუალო დრო არის 11 საათი და 42 წუთი. პრაქტიკულად, უფრო ხშირად საჭირო ხდება ვიპოვოთ ჭეშმარიტი მზისმიერი დრო საშუალოს მიხედვით. ვთქვათ, საშუალო დრო 1 აპრილს გვიჩვენებს 13 სთ 40 წუთს. ამ დღეს დროის განტოლების მნიშვნელობა არის -5 წუთი. ჭეშმარიტი დრო არის საშუალო დრო პლუს დროის განტოლება, ე. ი. ამ შემთხვევაში 13 სთ 35 წთ. 15 აპრილს, 14 ივნისს, 1 სექტემბერს და 24 დეკემბერს დროის განტოლება ნულია და, მაშასადამე, ჭეშმარიტი მზისმიერი დრო თანხვდება საშუალოს. 11 თებერვალს დროის განტოლების მნიშვნელობა -14 წუთია, 2 ნოემბერს — +16 წთ. წლიდან წლამდე დროის განტოლების მრუდი მცირე ცვლილებას განიცდის. ამიტომ, ჩვეულებრივ, მას წინასწარ ითვლიან და მოიცემა ხოლმე ყოველი ცალკეული წლისათვის. აშკარაა, რომ დროის განტოლების მნიშვნელობათა წარმოდგენა შესაძლებელია ცხრილების სახითაც, რომლებშიც არგუმენტად აღებულია წელიწადის დღეების გარკვეული მომენტები,





მაგალითად, საშუალო მზისმიერი შუალადე. ამ ცხრილებს ასტრონომიულ  
ველწლიურებში ათავსებენ.  
თუ გავიხსენებთ, რომ

$$T_{\odot} = 12სთ + t_{\odot},$$

შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$T_{კზ} = 12სთ + t_{კზ},$$

$$T_{სზ} = 12სთ + t_{სზ}.$$

გარდა ამისა, გვახსოვს, რომ

$$s = \alpha + t.$$

მაგრამ, თუ ვარსკვლავად ამ შემთხვევაში ჩავთვლით მზეს, პირდაპირი აღვლენა  
და საათ-კუთხე უკანასკნელ ტოლობაში მზის ცენტრისა იქნება და ამის შედე-  
გად დავწეროთ:

$$y = T_{კზ} - T_{სზ} = t_{კზ} - t_{სზ} = \alpha_{სზ} - \alpha_{კზ}.$$

აქ ისიც გავითვალისწინეთ, რომ ერთი და იმავე ვარსკვლავთმიერი მომენტი-  
სათვის:

$$s = \alpha_{კზ} + t_{კზ} = \alpha_{სზ} + t_{სზ}.$$

**§ 50. დროის გაზომვის პრობლემა.** ყოველგვარი სიდიდის საზომი ერთეული  
უნდა წარმოადგენდეს ამ სიდიდის რაიმე ისეთ ზომას, რომელიც სრულიად გარ-  
კვეულია და უცვლელი. საზომი ერთეულები თვით ბუნებაში ან ბუნების მოვლე-  
ებში მოიპოვება. მაგალითად, სიგრძის საზომი ერთეული — მეტრი თავდაპირ-  
ველად წარმოადგენდა პარიზზე გამავალი მერიდიანული სრული წრეწირის ერთ  
მეორმოცემილიონედ ნაწილს. ახლა მას უფრო ზუსტად და მოხერხებულად გან-  
საზღვრავენ, როგორც კრიპტონის გამოსხივების ერთ-ერთი ცენტრალური ხა-  
ზის ტალღის სიგრძეს გამრავლებულს 1650763.73-ზე.

დროის გასაზომადაც ბუნება გვაწვდის სათანადო საშუალებას. ეს დროის  
ის შუალედია, რომელსაც ანდომებს დედამიწა საკუთარი ღერძის გარშემო ერთ-  
ხელ სრულად შემობრუნებას. ეს შუალედი, როგორც ზევით აღვნიშნეთ, ვა რ ს-  
კ ვ ლ ა ვ თ მ ი ე რ ი დ დ ე-ღ ა მ ე ა. დროის გასაზომად სხვა ერთეულებიც იხ-  
მარება: ხანგრძლივი შუალედებისათვის — კვირა (7 დღე-ღამე), წელიწადი (365  
დღე-ღამე), საუკუნე; მოკლე შუალედებისათვის — საათი, წუთი, წამი.

ვარსკვლავთმიერი (და არა მზისმიერი) დღე-ღამე დროის საზომი ძირი-  
თა დ ი ერთეულია; იგი ბუნებრივი და უცვლელი საზომი ერთეულია, განსაზ-  
ღვრული დედამიწის ერთი სრული შემობრუნების დროით საკუთარი ღერძის  
გარშემო\*.

ამიტომ, დროის აღრიცხვის მიზნით თვალყური უნდა ვადევნოთ დედამიწის  
ბრუნვას ღერძის გარშემო, რათა შევნიშნოთ მისი შემობრუნება, აღვნიშნოთ მი-  
სი ერთი შემობრუნების დასაწყისი და დასასრული. მაგრამ დედამიწის ბრუნ-  
ვითს მოძრაობას უშუალოდ ვერ ვამჩნევთ, რამდენადაც დედამიწასთან ერთად  
ჩვენცა და მთელი ჩვენი მიწიერი გარემოც მოძრაობს, ერთიანად ვმონაწილეობთ  
დედამიწის თანაბარსა და მუდმივ მოძრაობაში. ამიტომ, დედამიწის ბრუნვას

\* დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ცვლილებებზე იხ. ქვევით.



თვალყური უნდა ვადევნოთ ცის სხეულების დაკვირვების გზით, სახელდობრ, — ვარსკვლავთ კულმინაციის მომენტების აღნიშვნით. ამდენად დროის გაზომვისა და აღრიცხვის ამოცანა ასტრონომიული პრობლემაა.

როცა გვსურს გავიგოთ რა დროა, საათს დავხედავთ. მაგრამ, საათის სწორ მუშაობას ხშირ-ხშირად ვამოწმებთ რადიოს საშუალებით, ხოლო რადიოგადამცემი სადგურის განსაკუთრებული ხმოვანი ნიშნები გადმოიცემა ზუსტად მომუშავე საათებიდან ანუ ქრონომეტრებიდან, რომლებიც მოსკოვის ასტრონომიული ინსტიტუტის დროის ლაბორატორიაშია დაყენებული. ამ საათების ჩვენებას კი ასწორებენ ცაზე წარმოებული სპეციალური ასტრონომიული დაკვირვებებით.

**§ 51. ადგილობრივი დრო.** როგორც ვთქვით, დროის გასაზომად საჭიროა თვალი ვადევნოთ დედამიწის ბრუნვას მნათობების დაკვირვების გზით, სახელდობრ, — ვარსკვლავთ კულმინაციების მომენტების აღნიშვნით. კულმინაცია კი მნათობის მიერ ციური მერიდიანის გადაკვეთის მომენტია. მაგრამ ციური მერიდიანი ადგილობრივი მერიდიანის ასახვაა ცაზე. მაშასადამე, თუ ლაპარაკია მნათობის კულმინაციაზე, ეს მომენტი შეეხება მნათობის გავლას ერთ რომელიმე მერიდიანზე. ყველა სხვა მერიდიანისათვის იმავე მნათობის კულმინაცია სხვა მომენტში ხდება.

ამგვარად, იმ ცხად დასკვნამდე მივდივართ, რომ დღე-ღამე, — იქნება ეს ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე თუ მზისმიერი, ჭეშმარიტი თუ საშუალო, — ფაქტობრივად, ერთდროულად კი არ იწყება დედამიწის ზურგის ყველა ადგილისათვის, არამედ სხვადასხვა დროს. თუმცა, ერთსა და იმავე მერიდიანზე მდებარე ყველა წერტილისათვის, როგორც უნდა განსხვავდებოდნენ ისინი განედებით, კულმინაციის მომენტი საერთოა.

მაშასადამე, როცა დღე-ღამის დასაწყისზე ან, საერთოდ, ვლაპარაკობთ, თუ რა დროა, იგულისხმება, რომ დღე-ღამის დასაწყისს ან აღებულ დროს გარკვეულ ადგილს მივაკუთვნებთ და უფრო ხშირად იმ ადგილს, სადაც ვიმყოფებით.

ამგვარად შემოგვაქვს ადგილობრივი დროის ცნება. მოცემულ გეოგრაფიულ მერიდიანზე განსაზღვრულ დროს ამ მერიდიანის ადგილობრივი დრო ეწოდება.

ადგილი სანახავია, რომ ორი გეოგრაფიული პუნქტის ადგილობრივი დრო ისე განსხვავდება ერთიმეორისაგან, როგორც მათი გეოგრაფიული გრძედები.

განვიხილოთ 78-ე ნახ., რომელზეც წარმოდგენილია  $pp'$  დერძის ირგვლივ მბრუნავი დედამიწა. ბრუნვის მიმართულება — დასავლეთიდან აღმოსავლეთით — ნაჩვენებია ისრით.  $pMp'$  მერიდიანი გამოსახავს ნულოვან ანუ საწყის მერიდიანს. დამკვირვებელი  $A_1$  იმყოფება  $pA_1qp'$  მერიდიანზე; დამკვირვებელი  $A_2$  კი —  $pA_2Np'$  მერიდიანზე. ეს მეორე მერიდიანი პირველთან შედარებით დასავლეთით მდებარეობს და ამავე დროს იგი უფრო ახლოა ნულოვან  $pMp'$  მერიდიანთან.

$A_2$  დამკვირვებლის გეოგრაფიული გრძედი გამოიხატება სფერული  $MpA_2$  კუთხით ანუ  $MN$  რკალით;  $A_1$  დამკვირვებლისა კი —  $MpA_1$  კუთხით ანუ  $Mq$  რკალით. ეს უკანასკნელი  $Nq$  რკალით აღემატება  $A_2$ -ის გრძედს.

ვთქვათ, ჩვენს მაგალითში  $s$  მნათობი იმყოფება ქაღალდის ფურცლის სიბრტყეში, დიდი წრეწირის რკალზე, რომელიც ცის სფეროს ზედაპირზე უნდა

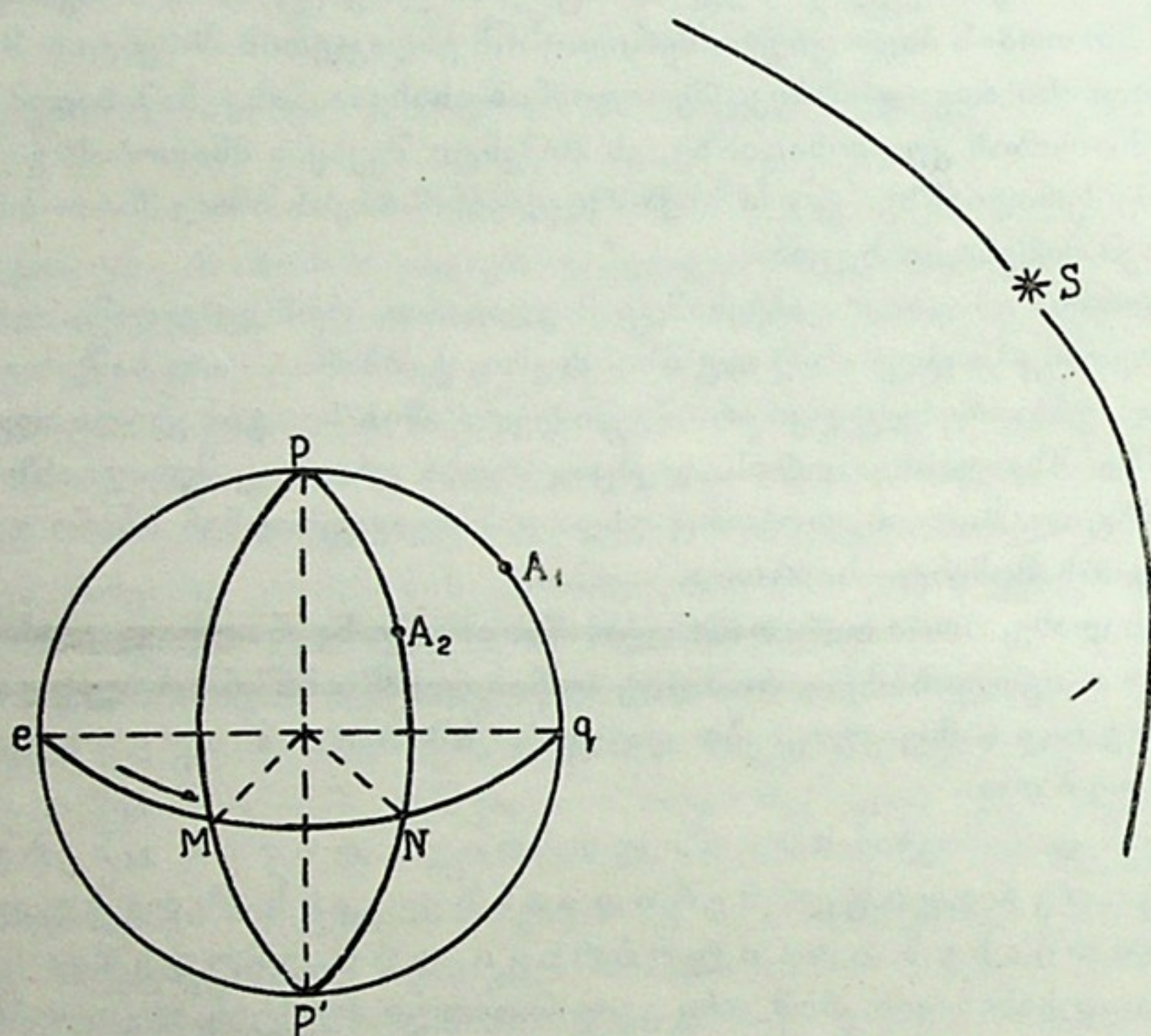




წარმოვიდგინოთ. ამავე სიბრტყეშია  $A_1$  დამკვირვებელი და მისი ადგილის (ადგილობრივი) მერიდიანიც —  $pA_1qp'$ . დიდი წრეწირი, რომელზეც მოთავსებულია  $s$  მნათობი, წარმოადგენს  $A_1$  დამკვირვებლის ცის მერიდიანს.

ამგვარად,  $A_1$  დამკვირვებლისათვის  $s$  მნათობი კულმინაციაშია. მაგრამ  $A_2$  დამკვირვებელი, როგორც ვხედავთ, იმყოფება დედამიწის ზედაპირის იმ ნაწილზე, რომელიც ნახაზზე მოქცეულია ჩვენკენ და საჭიროა დროის გარკვეული. შუალედი, ვიდრე დედამიწა იმდენად შებრუნდება აღმოსავლეთისაკენ, რომ  $pA_2Np_1$  მერიდიანი ქალაქის სიბრტყეს შეუთავსდეს:  $s$  მნათობი  $A_2$  დამკვირვებლის მერიდიანზე აღმოჩნდება, მაშასადამე, კულმინაციაში იქნება  $A_2$  დამკვირვებლისათვის (სამართლიანად იგულისხმება, რომ ამ დროის განმავლობაში  $s$ -ის მდებარეობა სივრცეში უცვლელია).

ამგვარად, თუ  $s$  მზეს გამოხატავს და იგი  $A_1$  დამკვირვებლისათვის მერიდიანში აღრე იყო, ახლა კი მზე  $A_2$  დამკვირვებლის მერიდიანზე აღმოჩნდა, — შუა-



ნახ. 78

დღეც  $A_1$ -თვის აღრე იქნებოდა, ხოლო  $A_2$ -თვის ახლა დამდგარა. მაშასადამე, ამ ორი დამკვირვებლის ადგილობრივი დრო განსხვავდება ერთიმეორისაგან.

ვნახოთ ახლა, რა სიდიდისაა ეს განსხვავება? რამდენი ხნით გვიან დამდგარა შუალდე  $A_2$  დამკვირვებლისათვის  $A_1$ -თან შედარებით. ცხადია, — იმდენი ხნით, რამდენიც საჭიროა, რათა დედამიწა ისე შემობრუნდეს თავისი ღერძის გარშემო, რომ  $N$  წერტილმა გაიაროს დიდი წრეწირის  $Nq$  რკალის სიგრძე. ეს უკანასკნელი კი  $A_1$  და  $A_2$  წერტილების გეოგრაფიული გრძედების სხვაობას წარმოადგენს.

რამდენადაც დედამიწა თავის ღერძის ირგვლივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით ბრუნავს, რაც უფრო დასავლეთით მდებარეობს რომელიმე ქალაქი, მით









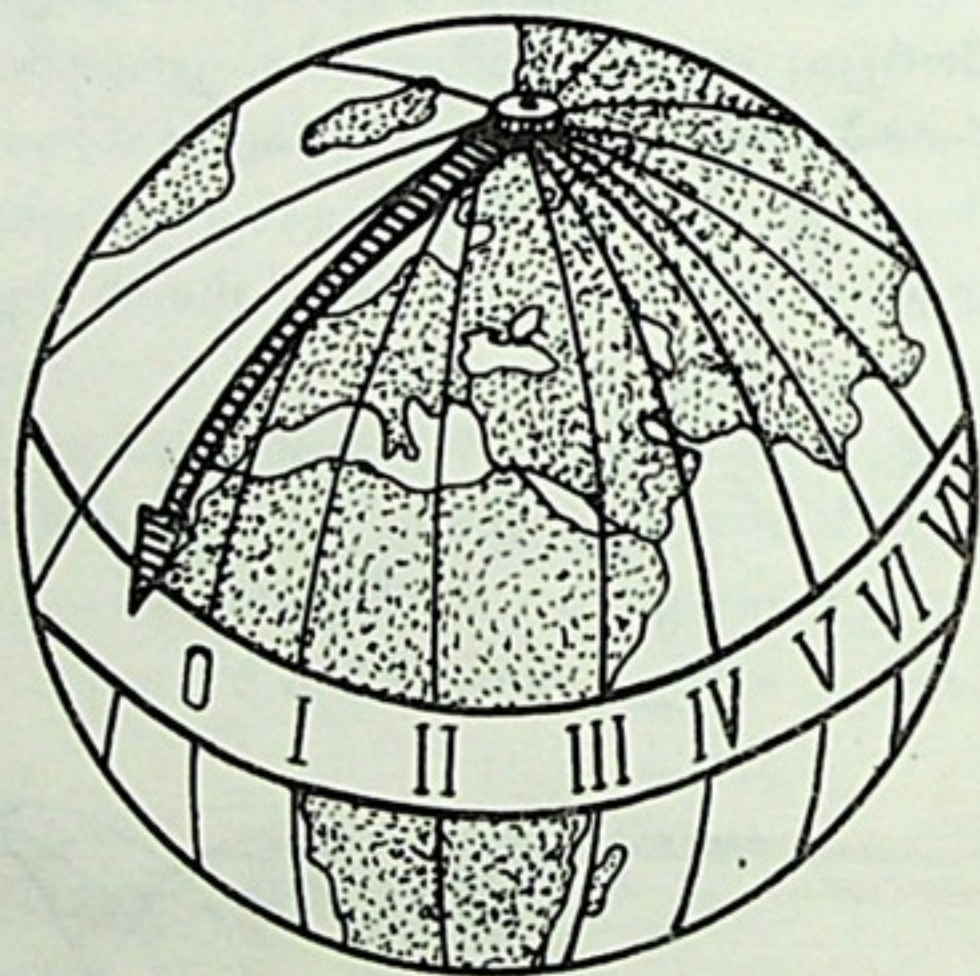
ერთ ხანს სახელმწიფოები სხვა ზომებსაც მიმართავდნენ. ასე, მაგალითად, ძველ რუსეთში, მის ვრცელ ტერიტორიაზე, სხვადასხვა მხარეს სხვადასხვა დროს ხმარობდნენ საერთოდ, მაგრამ რკინიგზაზე სახელმწიფოს მთელ სივრცეზე ერთი მერიდიანის — პეტერბურგის მერიდიანის (შემდგომში და ამჟამადაც — მოსკოვის) შესაბამისი დრო გამოიყენებოდა. ეს მაინც ნაწილობრივი და კერძო გადაწყვეტა იყო ამ რთული საკითხისა.

**§ 53. ზოლური დრო.** აუცილებელი იყო მთელს დედამიწაზე დროის ერთიანი, მაგრამ ამასთანავე ბუნების მოვლენებისადმი დაქვემდებარებული, ლოგიკური სისტემის შემოღება. ასე წამოიჭრა ჯერ კიდევ 1884 წელს წინადადება ე. წ. ზოლური დროის შემოღების შესახებ.

დროის აღრიცხვის ასეთი სისტემა შემდეგში მდგომარეობს: მთელი დედამიწის ზედაპირი დაყოფილია 24 ნაწილად ანუ 24 ზოლად ისე, რომ ეს ზოლები შემოსაზღვრულია დედამიწის მერიდიანებით; დედამიწის პოლუსში ყველა ზოლს საერთო თავშეყრის წერტილი აქვს; ზოლები პოლუსიდან პოლუსამდე გადაჭიმულია ისე, როგორც ეს მე-80 ნახაზზეა წარმოდგენილი.

თითოეული ზოლის სიგანე ეკვატორთან განისაზღვრება ეკვატორის 15 გრადუსიანი რკალით. ზოლების სასაზღვრო მერიდიანები შემდეგია:  $7\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $22\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $37\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $52\frac{1}{2}^{\circ}$  და ასე შემდეგ  $352\frac{1}{2}^{\circ}$ -იან მერიდიანამდე, რომელიც გრინვიჩის მერიდიანიდან დასავლეთით  $7\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე მდებარეობს. მაშასადამე, ზოლების შემომსაზღვრელი მერიდიანები ერთმეორეს  $15^{\circ}$ -ით არიან დაშორებული. ზოლი, რომლის ცენტრალური მერიდიანი გრინვიჩზე გადის, ითვლება ნულურ ზოლად.

თითოეული ზოლის შიგნით ყველა საათი დაყენებულია ერთ დროზე, სახელდობრ, ზოლის შუა, ცენტრალური მერიდიანის ადგილობრივ დროზე. ეს დრო საერთოა ყველა იმ ქალაქისათვის და სახელმწიფოსათვის, რომლებიც მოთავსებულია აღებული ზოლის შიგნით.



ნახ. 80

ნებისმიერი ზოლის ცენტრალური მერიდიანის ადგილობრივ საშუალო მზისმიერ დროს, რომლის მიხედვითაც ხდება მოცემულ ზოლში მდებარე ტერიტორიისათვის დროის აღრიცხვა, ზოლური დრო ეწოდება.

თბილისი, რომლის გეოგრაფიული გრძედი თითქმის 3 საათია, მოთავსებულია მე-3 ზოლში. მაშასადამე, თბილისში შუადღის 12 საათი მაშინაა, როცა ადგილობრივი დროით 12 საათია  $45^{\circ}$ -ის მერიდიანზე, რომელიც თბილისის მომცველი ზოლის შუა მერიდიანია. მაგრამ თბილისის გრძედი  $44^{\circ}49'$ -ია. ამიტომ თბილისში ზოლური დრო ადგილობრივს წინ უსწრებს, თუმცა სულ მხოლოდ 44 წამით, რაც  $11'$ -ს შეესაბამება. რადგანაც აღებული ზოლის მთელი სიგანე, დროის ერთეულებში გამოსატყუი, 1 საათია, ამიტომ მის შიგნით მდებარე რომელიმე პუნქტის ზოლური დრო ადგილობრივი დროისაგან შეიძლება განს-



ხვავდებოდეს მაქსიმუმ ნახევარი საათით და ეს მაქსიმალური სხვაობა ზოლის საზღვარზე მოდის.

ასეთ სხვაობას პრაქტიკულად დიდი მნიშვნელობა არა აქვს. ზოლების მოხერხებულობა კი ისაა, რომ აღებული ზოლის მთელ ტერიტორიაზე ერთი და იგივე დრო იხმარება; არ ხდება საჭირო საათის ჩვენების შეცვლა ზოლის შიგნით პუნქტიდან პუნქტში გადასვლისას.

ყოველი ორი მეზობელი ზოლის ზოლური დრო ერთმეორისაგან 1 საათით განსხვავდება. ასე, რომ ზოლიდან მეზობელ ზოლში გადასვლისას მოგზაურმა თითო საათით უნდა გადასწიოს საათის ისარი, რათა იგი სათანადო ზოლურ დროს უჩვენებდეს. თუ აღმოსავლეთით მდებარე ზოლში გადავდივართ, საათის ისარი წინ უნდა წავწიოთ; ხოლო დასავლეთით მდებარე ზოლში გადასვლისას — უკან. ყველა ზოლში ერთსა და იმავე ფიზიკურ მიმენტში წუთების ისრების ჩვენება საბუთებზე ერთნაირია, განსხვავება მხოლოდ საათის ისრების ჩვენებაშია.

რამდენადაც საწყის ზოლად მიღებულია ის, რომლის შუა მერიდიანი გრინვიჩის ანუ ნულოვანი მერიდიანია და ამ ზოლს ნულოვან ზოლად თვლიან, მის აღმოსავლეთით მდებარე მეზობელ ზოლს უწოდებენ პირველ ზოლს, შემდეგს — მეორე ზოლს და ა. შ.

მოცემულ ზოლში მდებარე პუნქტის ზოლური დრო იმდენი საათით მეტია მსოფლიო დროზე, რამდენიც მოცემული ზოლის ნომრის გამომსახველი რიცხვია. ეს მტკიცება ასე შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$T_n = T_0 + n.$$

აქ  $T_n$  და  $T_0$  გამოხატავენ, შესაბამისად, ზოლურ და მსოფლიო დროს, ხოლო  $n$  — ზოლის ნომერს.

თბილისისათვის  $T_n = T_0 + 3$ ; მოსკოვისათვის  $T_n = T_0 + 2$ .

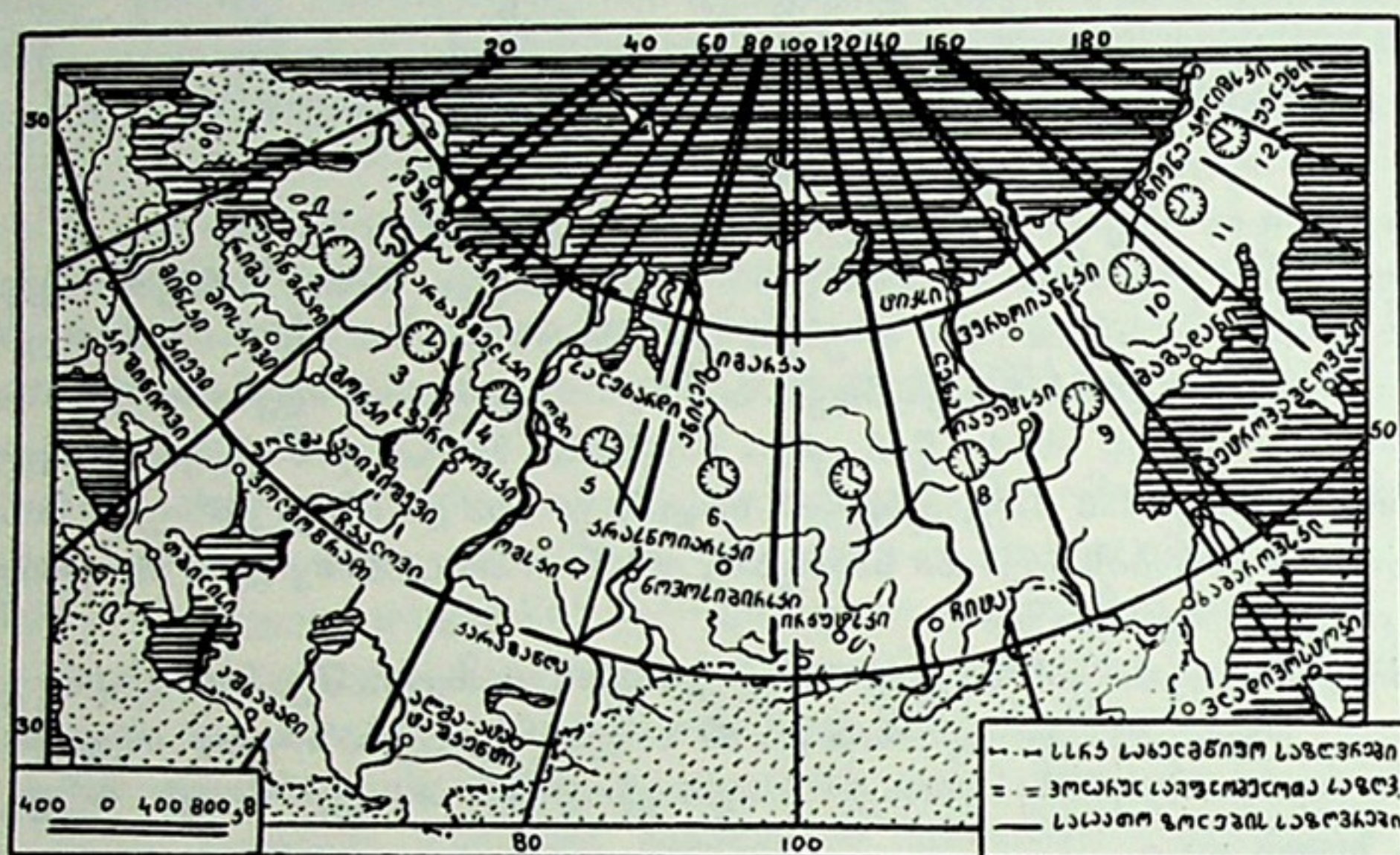
როგორც ვთქვით, ზოლის საზღვრებს მერიდიანები წარმოადგენს, მაგრამ ყოველთვის მერიდიანებზე კი არაა გავლებული ეს საზღვრები, არამედ ისინი მიჰყვებიან ბუნებრივ მიჯნებს: მდინარეებს, ნაკლებად დასახლებულ ხეობებს და მთაგრეხილებს, ოლქების საზღვრებს და სხვ. მართლაც, ზოლის საზღვარი პირდაპირ ქალაქზე, ოლქზე ან პატარა სახელმწიფოზე რომ გადიოდეს, მაშინ ერთი ქალაქის, ოლქის ან პატარა სახელმწიფოს ორი ნაწილი ერთი საათით განსხვავებულ ორ სხვადასხვა დროს გამოიყენებდა, რაც მეტისმეტად გაართულებდა საქმეს. რა თქმა უნდა, მაინც ზოლის აღიარებული საზღვრები ძალიან არ უნდა დავაშოროთ იმ მერიდიანებს, რომლებიც საზღვრებს წარმოადგენს მიღებული სისტემის შესაბამისად.

ნულოვანი ზოლის დროს, რაც ფაქტიურად მსოფლიო დროა, უწოდებენ „დასავლეთ ევროპის დროს“, ეს ის დროა, რომელიც, კერძოდ, ინგლისსა და საფრანგეთში იხმარება. პირველ ზოლში სხვებთან ერთად მოყოლილია გერმანია, იტალია. ამ ზოლის დროს „შუა ევროპის დრო“ ეწოდება. მეორე ზოლი მოიცავს ბალკანეთის სახელმწიფოებს, ფინეთს, საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის დასავლეთ საზღვარს. ამ ზოლის დროს ეწოდება „აღმოსავლეთ ევროპის დრო“. იგი ორი საათით განსხვავდება მსოფლიო დროისაგან და ამასთანავე მოსკოვის ზოლის დროს თანხვდება (იხ. ნახ. 81). საბჭოთა სახელმწიფოში ზოლური დრო





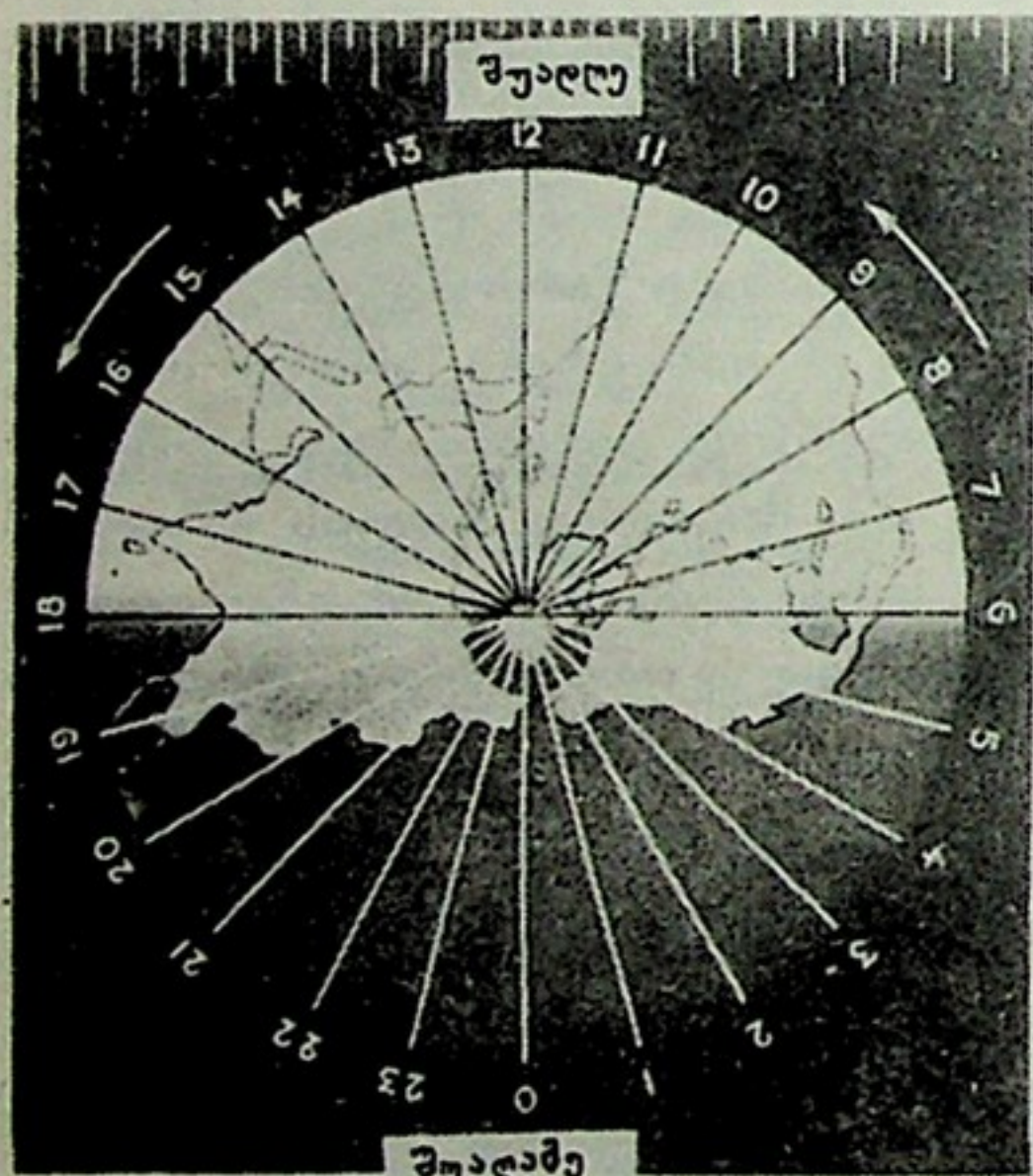
1919 წლის 1 ივლისიდან იქნა შემოღებული მთავრობის დეკრეტით, ხოლო 1980 წლიდან ჩვენი სახელმწიფოს მომცველი ზოლების საზღვრები რამდენადმე შე-



ნახ. 81.

ცვლილ და დაზუსტებულ იქნა ქვეყნის ეკონომიკური და სახელმწიფოებრივი განვითარების შესაბამისად.

თბილისი, საქართველოს რესპუბლიკა და ამიერკავკასიის სხვა რესპუბლი-



ნახ. 82

კები მე-3 ზოლში მდებარეობენ. ამიტომ მოსკოვის დრო ერთი საათით განსხვავდება ჩვენი დროისაგან და, რადგანაც მოსკოვი თბილისის მიმართ დასავლეთით მდებარეობს, მისი დრო ჩამორჩენილია ჩვენსას. როცა თბილისიდან მოსკოვს მივემგზავრებით, ჩვენი საათის ისარი ერთი საათით უკან დასაწევი გვაქვს.

დავხედოთ 82-ე ნახაზს, რომელზეც დედამიწა წარმოდგენილია მის ეკვატორულ პროექციაში. ისრები დედამიწის დედამური ბრუნვის მიმართულებას უჩვენებს. ნახაზის ზედა ნაწილი განათებულია მზის სხივებით; ამ ნახევარსფეროში დღეა; მეორეში — ღამე.

ციფრები უჩვენებს ადგილობრივ დროს სხვადასხვა მერიდიანზე, როცა გრინვიჩის მერიდიანზე შუადღეა, 12 საათია.

შემდეგ, 83-ე ნახაზზე წრის გარეთ მოთავსებული რიცხვები მერიდიანების გრძედებს აღნიშნავს, ხოლო შიგნით მოთავსებული რიცხვები გამოხატავს შე-



საკრებს, რომელიც უნდა გამოვაკლოთ მსოფლიო დროს იმისათვის, რომ შესაბამისი ადგილის ზოლური დრო მივიღოთ.

ზოლურ დროსა და ადგილობრივ საშუალო დროს შორის შემდეგი მარტივი დამოკიდებულება არსებობს:

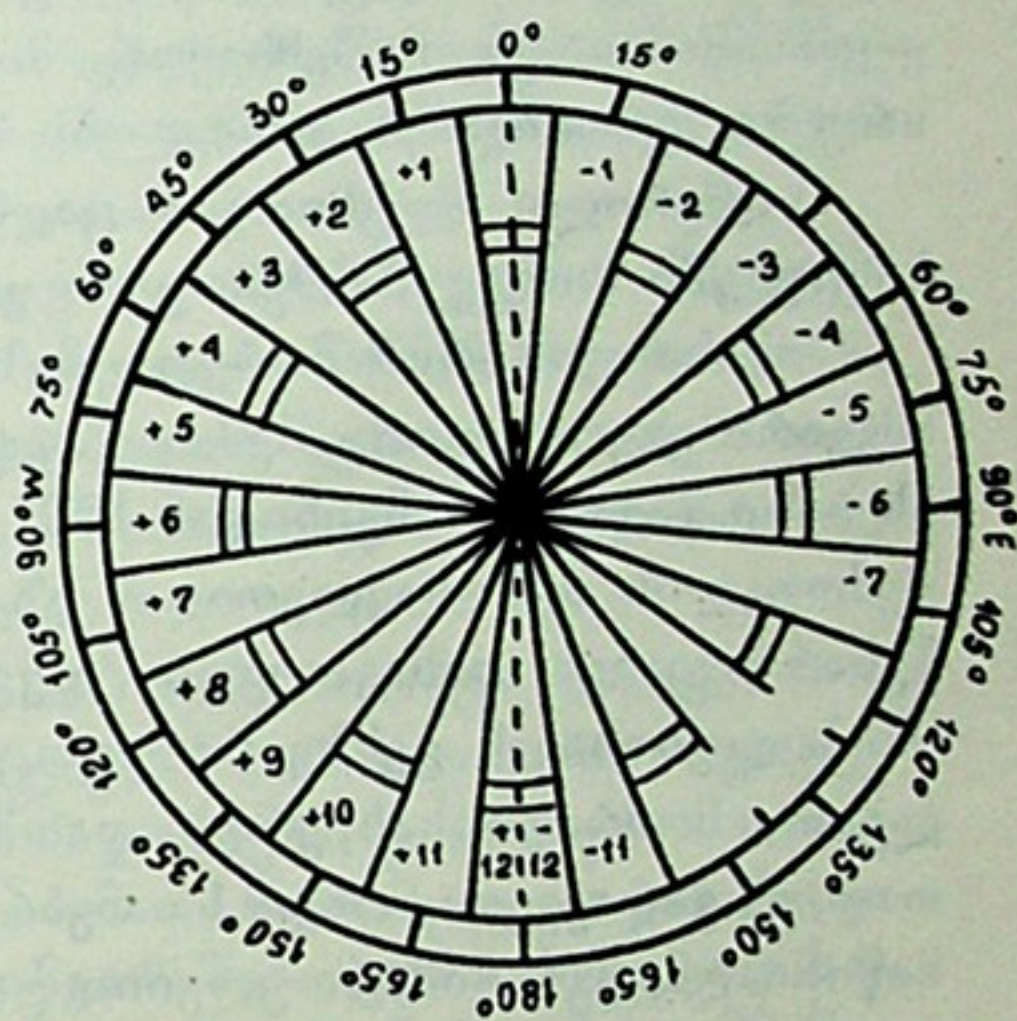
$$T_l = T_n + \lambda - n.$$

აქ  $T_l$  ადგილობრივ დროს აღნიშნავს. მართლაც,  $T_n - n$ , როგორც ზემოთ ვნახეთ, მსოფლიო დროს ( $T_0$ ) ნიშნავს. მაშასადამე,

$$T_l = T_0 + \lambda,$$

ე. ი. ადგილობრივი დრო მსოფლიო დროისაგან განსხვავდება გეოგრაფიული გრძედით.

სსრ კავშირის — ვრცელ ტერიტორიაზე 11 ზოლი მოდის მე-2-დან (ჯროპული ნაწილის დასავლეთი კიდე) მე-12-ის (ბერინგის სრუტე) ჩათვლით. ეკვატორის ახლო თითოეული ზოლის სიგანე დაახლოებით 1600 კილომეტრია. როცა მგზავრი მოსკოვიდან ვლადივოსტოკში (მე-9 ზოლი) მიემგზავრება, მან შვიდჯერ უნდა გადასწიოს წინ საკუთარი საათის ისარი, თითო საათით, შუალედური ზოლების გავლისას. თუ, პირიქით, ვლადივოსტოკიდან მოსკოვისაკენ (აღმოსავლეთიდან დასავლეთით) მიემგზავრება — ამდენჯერვე უკან უნდა დასწიოს ისარი თითო საათით.



ნახ. 83

**§ 54. თარიღის გამოცვლის ხაზი.** ახლა წარმოვიდგინოთ მგზავრი, რომელიც დედამიწის ირგვლივ მოგზაურობს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ვთქვათ, რომ მთელ მოგზაურობას — დედამიწის ირგვლივ — იგი ერთ დღე-ღამეში ასრულებს. მგზავრობაში დროის ზოლების თანმიმდევრულად გავლისას, მას მოუხდება საათის ისრის თითო საათით წინ წაწევა, სულ 24-ჯერ, რადგანაც ყველა 24 ზოლი უნდა დაფაროს. მხოლოდ ამ შემთხვევაში იქნება საათის ჩვენება საკმარისად შეთანხმებული მზის მდებარეობასთან ადგილის პორიზონტის მიმართ, რომელ ზოლშიც არ უნდა იმყოფებოდეს მოგზაური დედამიწის ზურგზე. როცა მგზავრი დედამიწის მთელს გარშემოწერილობას დაფარავს, მისი საათის ჩვენება 24 საათით მეტი იქნება იმასთან შედარებით, საათის ისარი რომ თითო საათით წინ არ წაეწია ზოლიდან ზოლში გადასვლისას. თუ მგზავრი საწყისი პუნქტიდან 1 იანვარს გამოვიდა, იმავე პუნქტში დასავლეთიდან მოსვლის მომენტში იგი იგულისხმებს, რომ 3 იანვარია. სინამდვილეში კი მგზავრობას მხოლოდ ერთი დღე-ღამე დასჭირდა და მოსვლის დღე მას 2 იანვრად უნდა ჩაეთვალი.





სულ ერთია, მოგზაურობას დედამიწის ირგვლივ სხვა დროც რომ დასჭირვებოდა, ერთი თვე ან ერთი წელიწადი, მგზავრი ნამდვილთან შედარებით მაინც მოტყუვდებოდა თარიღში 1 დღე-ღამით, რადგან, რა სიჩქარიც უნდა ევლო, ისარი თითო საათით მაინც წინ უნდა გადაეწია 24-ჯერ.

თუ მგზავრობის მიმართულება შებრუნებული იქნებოდა — აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, მაშინ საათის ისარს ამდენჯერვე და ისევე თანმიმდევრულად თითო საათით უკან დაწევად დასჭირდებოდა და ამასობაში მგზავრი ერთ დღე-ღამეს „დაჰკარგავდა“; თუ საწყისი პუნქტიდან გამოვიდა 1 იანვარს, ერთი დღე-ღამის შემდეგ, იმავე პუნქტში მისვლისას კვლავ 1 იანვარს ჩათვლიდა.

საქმე ისაა, რომ დედამიწის ბრუნვის მიმართულებით — დასავლეთიდან აღმოსავლეთით — მგზავრი ერთ ზედმეტ სრულ ბრუნვას ასრულებს დედამიწის ღერძის ირგვლივ და მისთვის მზე 1-ით მეტჯერ ამოვა (თუ მგზავრობის ხანგრძლივობა 1, 24, 30 დღე-ღამეა, მზე ამოვა, შესაბამისად, 2-ჯერ, 25-ჯერ, 31-ჯერ). დედამიწის ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით მგზავრობისას, პირიქით, ერთი სრული შემობრუნებით ნაკლებს შეასრულებს მგზავრი.

აღწერილი ილუზია განიცადა მაგელანის ექსპედიციამაც, რომელმაც XVI საუკუნეში პირველმა შემოუარა გარს დედამიწას.

იმისათვის, რომ შორეულ მგზავრობაში დღეების თვლაში აცდენილ იქნეს ამგვარი უხერხულობა, შემოღებულია ე. წ. თარიღის გამოცვლის ხაზი. ეს ხაზი გადის გრინვიჩიდან  $180^{\circ}$ -ზე მდებარე მერიდიანის თითქმის გასწვრივ, შემოუვლის აღმოსავლეთიდან აზიის კონტინენტს, სჭრის ბერინგის სრუტეს, წყნარ ოკეანეს, დასავლეთით ტოვებს ახალ ზელანდიას და მიემართება სამხრეთი პოლუსისაკენ. გემზე, რომელიც გადაკვეთს ამ ხაზს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით მოძრაობისას, ერთსა და იმავე დღეს იანგარიშებენ ორჯერ. თუ, მაგალითად, ეს გადაკვეთა მოხდა 1 იანვარს, მაშინ მეორე დღესაც ჩათვლიან 1 იანვრად. საწინააღმდეგო მიმართულებით გადაკვეთისას, პირიქით, თუ გადაკვეთა 1 იანვარს ხდება, მეორე დღე 3 იანვრად უნდა ჩათვალონ, ხოლო დღე 2 იანვრისა აღარ შევა მათ ანგარიშში. მაშინ აღარ ექნება ადგილი ზემოთ აღწერილ შეცდომებს ანუ ილუზიებს დღეების ანგარიშში. ამასთანავე თარიღის გამოცვლის ხაზი ისეა გავლებული, რომ თითქმის არსად არ გადის ხმელეთზე და, მაშასადამე, დასახლებულ პუნქტებზე. თავისთავად ცხადია ხაზის ასე შერჩევის მოხერხებულობა. ახალი წელი პირველად ამ ხაზზე მდებარე პუნქტებში დგება.

**§ 55. დეკრეტული დრო.** ამ ხუთი ათეული წლის წინათ სსრ კავშირის სახალხო კომისართა საბჭოს დეკრეტით ზოლური დრო საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტორიაზე ერთი საათით წინ იქნა გადაწეული. ასე რომ, თუმცა თბილისი მე-3 ზოლშია და მსოფლიო დროისაგან ჩვენი ზოლური დრო 3 საათით განსხვავდება, ჩვენი საათები მსოფლიო დროსთან 4 საათის განსხვავებას გვიჩვენებს, მაშასადამე, ზოლურ დროსთან შედარებით — 1 საათით მეტს. ასეა ყველა ზოლში. მოსკოვში, რომელიც მე-2 ზოლში მდებარეობს, ფაქტობრივად ახლა მე-3 ზოლის დრო იხმარება. ამ დროს ვუწოდებთ ახლა მოსკოვის დროს, რომლის მიხედვით საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტორიაზე რკინიგზა და ავიაცია მუშაობს.

ასე ხელოვნურად დადგენილ დროს ეწოდება ჩვენში დეკრეტული დრო. საბჭოთა სახელმწიფოში 1930 წლის 16 ივლისიდან საყოველთაოდ საზოგადოებრივ ცხოვრებაში დეკრეტული დროით ვსარგებლობთ. საათის წინ წაწევა



გამოწვეული იყო ეკონომიური მოსაზრებებით. ასეთი ღონისძიების გატარება მიზანშეწონილია მეტადრე ზაფხულის თვეებში, როცა ადრე თენდება; საათის წინ წაწევის შედეგად მოსახლეობა უფრო მეტად გამოიყენებს დილის საათებში მზის სინათლეს და, მაშასადამე, უფრო ეკონომიურად და თანაბრად დახარჯავს ელექტროენერგიას დღე-ღამის განმავლობაში. ევროპის სხვა ქვეყნებშიც არის მიღებული საათის ისრის წაწევის ამგვარი წესი. მაგრამ იქ მხოლოდ ზაფხულის თვეებისათვის აწყობენ ამას და ამიტომ ამ დროს საზაფხულო დროს უწოდებენ. კიდევ მეტიც, ზოგ ქვეყანაში ადრე გაზაფხულზე შემოაქვთ ზოლურ დროსთან შედარებით 1 საათით წინწაწეული საზაფხულო დრო, ხოლო უფრო გვიან — შუა ზაფხულისათვის — კიდევ 1 საათით სწევენ წინ საათის ისარს და, მაშასადამე, ზოლურ დროსთან 2 საათის განსხვავებაა. ამგვარ დროს ორმაგ საზაფხულო დროს უწოდებენ. ცხადია, ასეთი წესის პირობებში ზაფხულის დამლევს და შემოდგომას საათის ისარი უკან უნდა დასწიონ თითო საათით.

1981 წლიდან ჩვენს ქვეყანაში დამატებით შემოიღეს საზაფხულო დრო. მარტის ბოლო კვირადღიდან სექტემბრის ბოლო კვირადღემდე საათის ისარი წინწაწეულია კიდევ 1 საათით, რაც ფაქტობრივად ორმაგ საზაფხულო დროს შეესაბამება და კიდევ უფრო ეკონომიურ ეფექტიანობას იძლევა.

ამგვარად, სსრ კავშირის ყოველი დასახლებული პუნქტის მოსახლეობა ცხოვრობს არა იმ ზოლის დროით, რომელშიც აღებული პუნქტი მდებარეობს, არამედ ყოველი წლის 1 ოქტომბრიდან — 1 აპრილამდე მეზობელი, აღმოსავლეთით მდებარე პირველი ზოლის დროით, ხოლო 1 აპრილიდან 1 ოქტომბრამდე — აღმოსავლეთით მდებარე მეორე ზოლის დროით.

რაკი ეს ასეა, შეგვიძლია ახლა შევნიშნოთ, რომ 1 ოქტომბრიდან — 1 აპრილამდე, როცა დღისით საათი 12-ს გვიჩვენებს, სინამდვილეში შუადღე ჯერ არ დამდგარა. იგი მხოლოდ 1 საათით გვიან დადგება, ე. ი. მზე 1 საათის შემდგომ მიაღწევს ზედა კულმინაციას, — როცა საათი ნაშუადღევს 1-ს გვიჩვენებს. მაგრამ ესეც მხოლოდ მიახლოებითი ანგარიშია. უფრო სრულად საკითხი შემდეგ მაგალითზე განვიხილოთ; ჩვენი საათი გვიჩვენებს 12 სთ 30 წთ. ეს დეკრეტული დროა. ზოლური დრო იქნება 11 სთ 30 წთ. ადგილობრივ დროს მივიღებთ, თუ ამ მომენტს დავუმატებთ ჩვენი ადგილის გრძედსა და ჩვენი ზოლის შუა მერიდიანის გრძედს შორის დროით გამოხატულ სხვაობას. თბილისისათვის, რომლის გეოგრაფიული გრძედი  $44^{\circ}49'$ -ია, ეს იქნება -44 წამი და მაშასადამე, ადგილობრივი დრო იქნება: 11 სთ 29 წთ 16 წმ. მაგრამ ეს ადგილობრივი საშუალო დროა. ჭეშმარიტი დროის მისაღებად ამ უკანასკნელ მომენტს უნდა დავუმატოთ დროის სწორების მნიშვნელობა აღებული დღისათვის. თუ ეს, ვთქვათ, 24 ნოემბერია და დროის სწორება ამ დღეს (იხ. გრაფიკი 77-ე ნახაზზე) ტოლია  $+13$  წთ-სა, ჭეშმარიტი მზისმიერი დრო ყოფილა 11 სთ 42 წთ 16 წმ. მაშასადამე, ჭეშმარიტ შუადღემდე ანუ ჭეშმარიტი მზის კულმინაციამდე ჯერ კიდევ 17 წთ და 44 წმ-ია, ე. ი. ჭეშმარიტი შუადღე ჩვენი საათის ჩვენებით იქნება 12 სთ 47 წთ 44 წმ.

განვიხილოთ მე-2 მაგალითი, როდესაც დღე შერჩეული გვაქვს 1 აპრილიდან — 1 ოქტომბრამდე. ვთქვათ, 15 მაისს ჩვენი საათი კვლავ 12 სთ და 30 წთ-ს გვიჩვენებს. ეს უკვე საზაფხულო დროა და ამიტომ ზოლური დროის მისაღებად უნდა გამოვაკლოთ 2 სთ. ე. ი.



12 სთ 30 წთ

—  
2

10 სთ 30 წთ

ზოლური დრო

—  
44 წმ

10 სთ 29 წთ 16 წმ

ადგილობრივი საშ. დრო

+

4 წთ 00 წმ

დროის სწორება

10 სთ 33 წთ 16 წმ

ჯეშმარიტი მზისმიერი დრო

.. მაშასადამე, ჯეშმარიტ შუადღემდე ჯერ კიდევ 1 სთ 26 წთ და 44 წმ-ია,  
ე. ი. ჩვენი საათის ჩვენებით ჯეშმარიტი შუადღე იქნება 13 სთ 56 წთ 44 წმ.

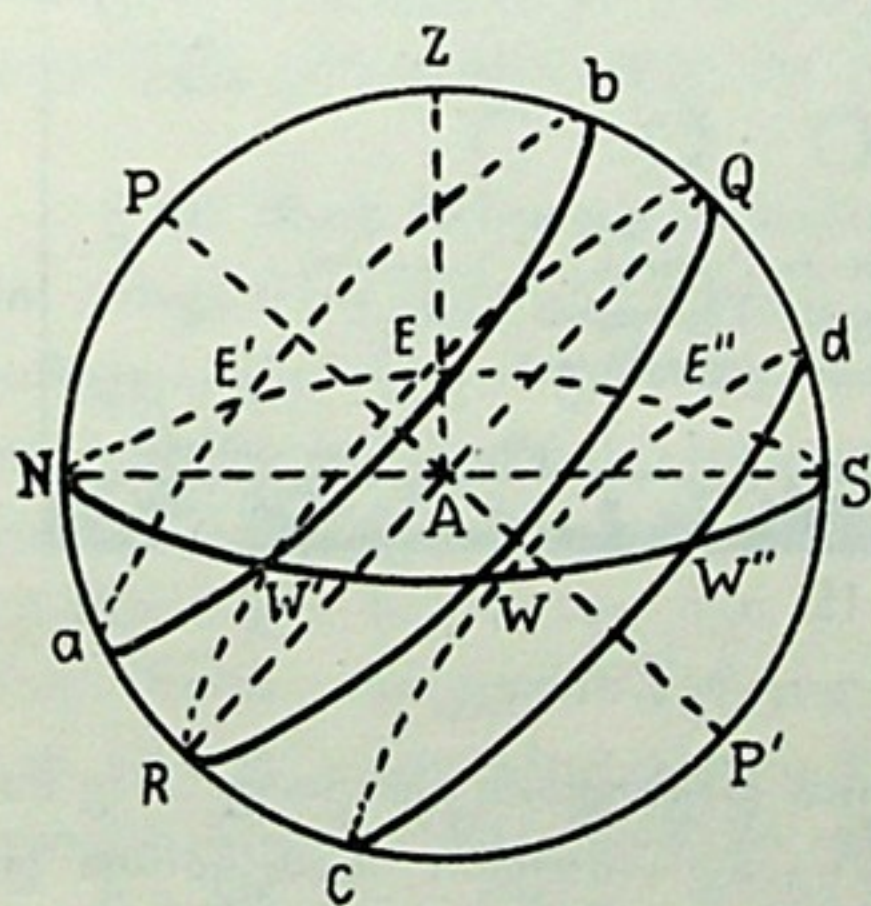


თ ა ვ ი V

## მზის ხილული წლიური გადაადგილება ცაზე პარსკვლავებს შორის

§ 56. მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადაადგილება პორიზონტზე წლის განმავლობაში. ზევით უკვე აღვნიშნეთ, რომ მზე მთლიანად როდი ემორჩილება ცის დღეღამური ბრუნვითი მოძრაობის კანონზომიერებებს; ვარსკვლავებთან შედარებით იგი გამოჩნადის წარმოადგენს. რამდენადაც უკვე ვიცით, ეს გამოიხატება კერძოდ იმაში, რომ მზე ყოველდღიურად თითქმის 4 წუთით ჩამორჩება ვარსკვლავებს.

თუ მზის მდებარეობასა და მოძრაობას ცაზე ხანგრძლივად, მთელი წლის განმავლობაში დავაკვირდებით, სხვა მოვლენებსაც შევნიშნავთ. ჯერ ერთი, მზის ამოსვლისა და ჩასვლის წერტილები პორიზონტზე გადაინაცვლებს წლის განმავლობაში. მართალია, მზე ყოველთვის პორიზონტის აღმოსავლეთ მხარეზე ამოდის და მის დასავლეთ მხარეზე ჩადის, მაგრამ აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილების მიმართ მისი ამოსვლა-ჩასვლის ადგილი პორიზონტზე გადაინაცვლებს თითქმის განუწყვეტლივ, მთელი წლის განმავლობაში.



ნახ. 84

მზის ამოსვლის წერტილი თანდათან გადაინაცვლებს პორიზონტის ხაზის გასწვრივ ჩრდილოეთის წერტილის (N) მიმართულებით. ჩრდილოეთის წერტილს იგი ვერ მიაღწევს, თუმცა E წერტილს მაინც საკმარისად დაშორდება და 22 ივნისისათვის მივა E' წერტილში, რომელიც სადღაც პორიზონტზე ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარეობს. მზის ჩასვლის წერტილი შესაბამისად W წერტილიდან N-კენ გადაინაცვლებს და 22 ივნისს იგი მოექცევა პორიზონტის ჩრდილო-დასავლეთ მხარეზე, W' წერტილში.

ასე, სახელდობრ, გაზაფხულზე 21 მარტს მზე ზუსტად აღმოსავლეთის წერტილში (E) ამოდის (ნახ. 84) და დასავლეთის წერტილში (W) ჩადის. ამ დღეს მისი დღეღამური გზა ცაზე ანუ მისი პარალელი ცის ეკვატორს თანხვდება.

ამის შემდგომ, ე. ი. 21 მარტიდან



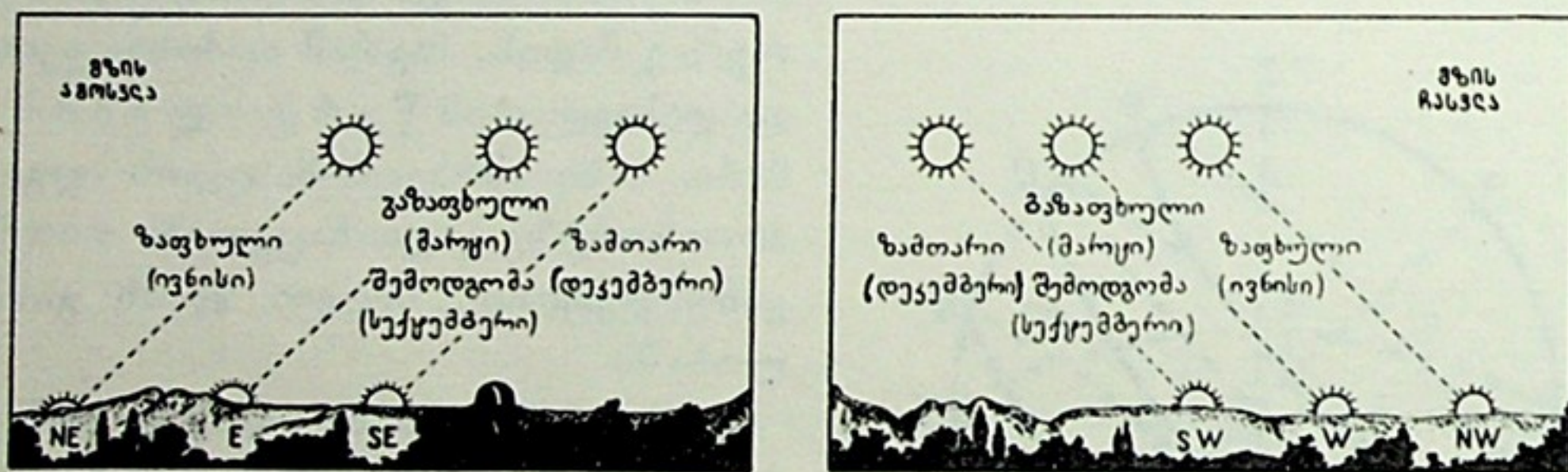
ამგვარად, 22 ივნისის მახლობლობაში მზის დღედამური გზა ცაზე ანუ მისი დღედამური პარალელი გამოიხატება მცირე  $E'bW'a$  წრეწირით. ამის შემდგომ მზის ამოსვლისა და ჩასვლის წერტილები უკან დაიწეებს გადანაცვლებას და შემოდგომაზე, 23 სექტემბრისათვის კვლავ  $E$  და  $W$  წერტილებს მიადწევს, შესაბამისად, და ამ დღეს მზის დღედამური პარალელი, უკვე მეორედ წლის მანძილზე, ეკვატორს დაემთხვევა.

ნახევარი წლის განმავლობაში—21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე—მზის ყოველდღიური დღედამური პარალელები მოთავსებულია ეკვატორის ჩრდილოეთით, ეკვატორსა და  $ab$  წრეწირს შორის.

23 სექტემბრის შემდგომ მზის ამოსვლის წერტილი გადანაცვლებს  $S$  სამხრეთის წერტილის მიმართულებით. შესაბამისად გადანაცვლებს მზის ჩასვლის წერტილი  $W$ -დან  $S$ -ის მიმართულებით. 22 დეკემბრისათვის ისინი მიადწევნენ, შესაბამისად,  $E''$  და  $W''$  წერტილებს, რომლებიც პორიზონტის სამხრეთ-აღმოსავლეთ და სამხრეთ-დასავლეთ მხარეზე მდებარეობენ. მზის დღედამური პარალელი 22 დეკემბრის მახლობლობაში  $E''dW''c$  წრეწირია.

22 დეკემბრის შემდგომ მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები კვლავ უკან გადაადგილდება და შემდეგი წლის 21 მარტისათვის ისევ  $E$  და  $W$  წერტილებში აღმოჩნდება. მაშასადამე, წელიწადის მეორე ნახევარში—23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე—მზის ყოველდღიური დღედამური პარალელები ეკვატორის სამხრეთით, ეკვატორსა და  $cd$  წრეწირს შორის მდებარეობს.

აღწერილი კანონზომიერება უფრო თვალსაჩინოდ გამოხატულია 85-ე ნახაზზე, რომელიც დამატებითი განმარტებების გარეშე მკითხველმა თვითონ უნდა გაარჩიოს.



ნახ. 85

წარმოდგენის სიცხადისათვის სასარგებლოა დავხედოთ აგრეთვე 86-ე ნახაზს, რომელიც გამოხატავს პორიზონტს, მასზე აღნიშნული მხარეებითა და მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილებით ივნისსა და დეკემბერში. ცენტრში იგულისხმება დამკვირვებელი.

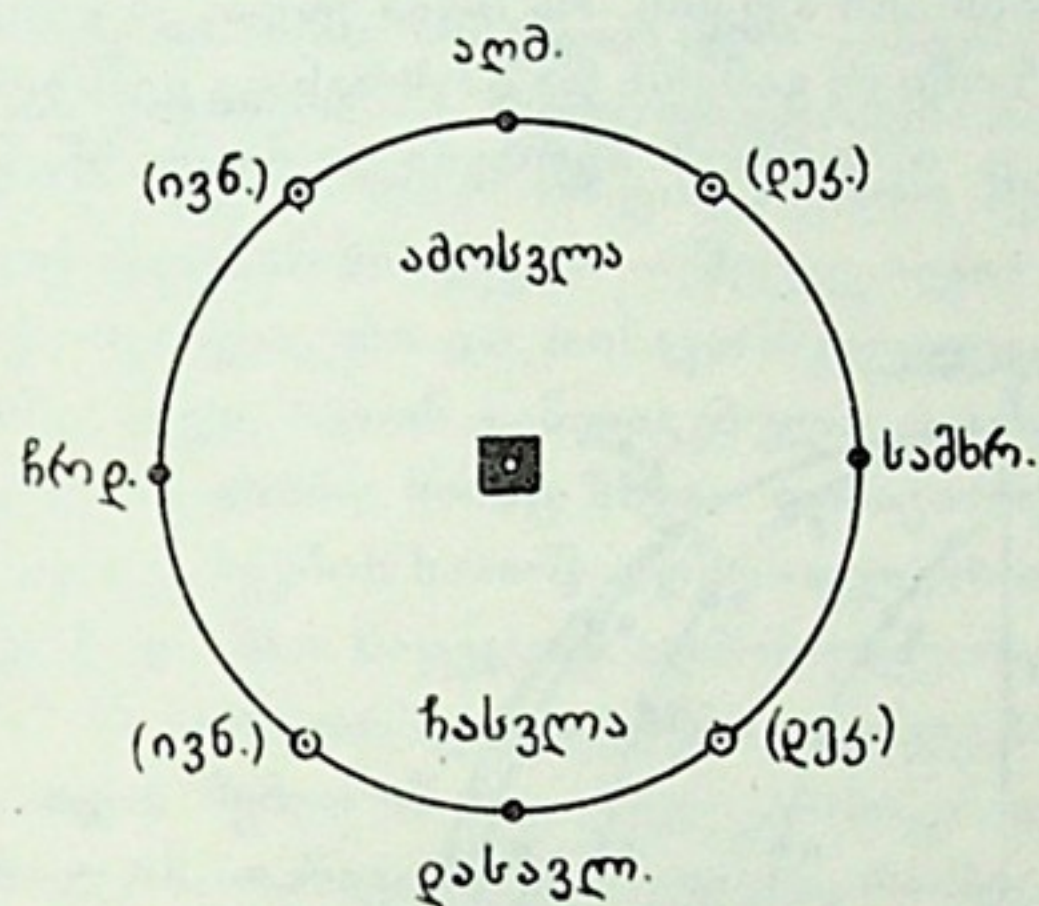
§ 57. დღისა და ღამის ხანგრძლივობის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში. მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ ეკვატორის ჩრდილოეთით მდებარე მზის დღედამური პარალელები მეტინაწილით პორიზონტის ზემოთ მდებარეობენ (ნახ. 68 და 84). ხოლო, რადგანაც მზის მოძრაობის სიჩქარე მის პარალელზე თითქმის თანაბარია, ამიტომ ჩვენთან მზე პორიზონტის ზემოთ უფრო ხანგრძლივად ა, ვიდრე პორიზონტის ქვემოთ. მაშასადამე, დღე



დამეზე უფრო გრძელია და ასეთი მდგომარეობა 21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე გრძელდება, დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს დამკვირვებლისათვის.

22 ივნისს მზის დედამიწის პარალელს უკიდურესი ჩრდილოეთი მდებარეობა აქვს. ამიტომ დღისა და ღამის ხანგრძლივობათა განსხვავება ამ დღეს ყველაზე უფრო დიდია; ამ დღეს უგრძესი დღეა და უმოკლესი ღამე.

21 მარტსა და 23 სექტემბერს მზე თვით ეკვატორზე იმყოფება, მის დედამიწის პარალელსაც ეკვატორი გამოხატავს. ეკვატორს კი, როგორც დიდ წრეწირს, ჰორიზონტი ორ თანატოლ ნაწილად ჰყოფს. მაშასადამე, მზის ხილული გზა ცაზე ჰორიზონტის ზემოთ იმავე სიგრძისაა, რაც მისი გზა ჰორიზონტის



ნახ. 86

ქვეშ. ამიტომ დღე და ღამე ყველგან თანატოლი ხანგრძლივობისაა. ამის გამო წელიწადის ამ ორ დღეს დღე და ღამე თანაბრად უწოდებენ. ერთი მათგანი გაზაფხულის დღე-ღამეა (21 მარტს), მეორე—შემოდგომის დღე-ღამე (23 სექტემბერს).

84-ე ნახაზზე ადვილად შევნიშნავთ, რომ 23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე მზის ყოველდღიური პარალელები მეთრიაწილით ჰორიზონტის ქვეშაა და

ამიტომ ამ პერიოდში ჩვენთან ღამე დღეზე უფრო ხანგრძლივია. 22 დეკემბერს, რასაც მზის დედამიწის პარალელის უკიდურესი სამხრეთი მდებარეობა შეესაბამება, უმოკლესი დღეა და უგრძესი ღამე.

**§ 58. მზის საშუალო სიმაღლის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში.** იმავე 84-ე ნახაზზე იმასაც ადვილად შევნიშნავთ, რომ მზის საშუალო სიმაღლე წელიწადის განმავლობაში იცვლება. ამ სიმაღლეს განსაზღვრავს მზის დედამიწის პარალელის გადაკვეთა მერიდიანთან ანუ ზედა კულმინაციის შესაბამისი წერტილის მდებარეობა. როგორც ვხედავთ, მისი უდიდესი სიმაღლე 22 ივნისსაა და, საერთოდ, იგი 21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილის ზემოთ იმყოფება. პირიქით, 23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე გადაკვეთის წერტილი ეკვატორის ქვემოთ არის და 22 დეკემბერს წლის განმავლობაში უმცირეს სიმაღლეზეა ჰორიზონტიდან.

ნახაზზე, მზის დედამიწის  $ab$  პარალელზე, რომელიც 22 ივნისს შეესაბამება, მზის საშუალო მდებარეობა ცაზე  $b$  წერტილით გამოიხატება. მეორე მხრივ, 22 დეკემბერს ეს მდებარეობა  $d$  წერტილშია, რომელიც  $cd$  პარალელისა და მერიდიანის გადაკვეთას წარმოადგენს. პირველ შემთხვევაში მზის საშუალო სიმაღლე ჰორიზონტიდან  $Sb$  რკალით გამოიხატება, მეორეში— $Sd$  რკალით, რომელიც პირველზე შესამჩნევად უფრო მცირეა.

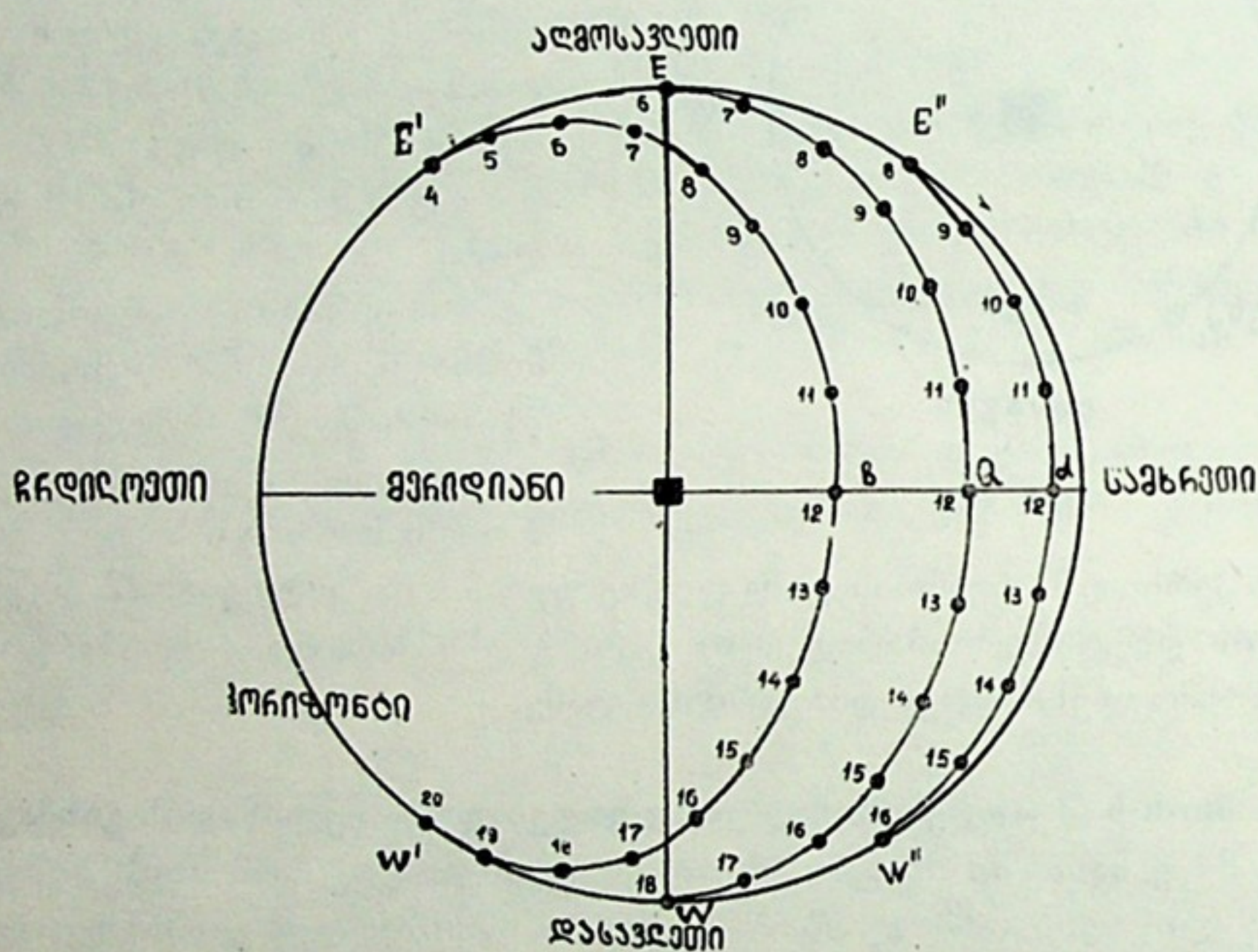
ამ მოვლენებს ყოველდღიური გამოცდილებიდან ვიცნობთ; ყველას შემჩნეული აქვს, რომ წელიწადის განმავლობაში იცვლება მზის საშუალო სიმაღლე, ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები და დღისა და ღამის ხანგრძლივობაც. ნახაზ-





ზე ამ მოვლენების გარეგნული ან, შეიძლება ითქვას, გეომეტრიული ახსნა ვნახეთ. ცოტა უფრო გვიან მათს ნამდვილ, ფიზიკურ მიზეზსაც გავეცნობით.

განვიხილოთ 87-ე ნახ. აქ წარმოდგენილია ჰორიზონტის პროექციაში მზის დღედამური პარალელები ივნისისა ( $E'bW'$ ) და დეკემბერში ( $E''dW''$ ), მათთან ერთად — ეკვატორიც ( $EQW$ ). ციფრები გამოხატავს იმ საათებს, რომლებზეც მზე იმყოფება სათანადო წერტილებში. ვხედავთ, რომ ივნისის პარალელზე, დილით, ამოსვლისას, მზე ჰორიზონტს ჰკვეთს 4 საათზე და მხოლოდ 20 საათზე ჩადის; დეკემბერში კი 8 სთ-ზე ამოდის და უკვე 16 სთ-ზე ჩადის. მაგრამ შუადღეზე იგი ყოველ სეზონში მერიდიანს ჰკვეთს. რა თქმა უნდა, ეს სურათი სქემატურია, შეესაბამება გარკვეულ ზომიერ განედს და ამასთანავე ჭეშმარიტი მზის მოძრაობის თავისებურებანი, ე. ი. დროის სწორება გათვალისწინებული არაა.



ნახ. 87

ამ ნახაზზე ისიც მოჩანს, თუ როგორ იცვლება წლის მანძილზე მზის საშუალოდ სიმაღლე მერიდიანში.

კარგი იქნება, თუ მკითხველი ანალოგიურ ნახაზს თვითონ შეადგენს ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის. ასეთ შემთხვევაში ივნისისა და დეკემბრის პარალელებისა და ცის ეკვატორის პროექციები წრფეებით გამოიხატება და საათების მიმდევრობაც ყველა შემთხვევაში 6-დან 18-მდე იქნება.

**§ 59. მზის გადაადგილება ცაზე, ვარსკვლავების ფონზე.** წინასწარ, აქვე ის აღვნიშნოთ, რომ აღწერილი მოვლენები: ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადასაცვლება და ზედა კულმინაციაში ჰორიზონტიდან სიმაღლის ცვალებადობა მზეს შეეხება და არა ვარსკვლავებს. მართლაც, თუ თითოეულ ვარსკვლავს დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ აღებული ვარსკვლავის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები ჰორიზონტზე უცვლელია, რომ მისი ზედა კულმინაცია ყოველთვის ერთ სიმაღლეზე ხდება. აქედან კვლავ ის შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მზე



ვარსკვლავების მიმართ უცვლელ მდებარეობაში კი არ რჩება, არამედ გადაინაცვლებს ვარსკვლავების ფონზე.

შვედური მოწმობა გვაქვს იმ ფაქტისა, რომ შვე, გარდა ცის დღედამურ ხილულ ბრუნვაში მონაწილეობისა, ამავე დროს ვარსკვლავების მიმართ გადაინაცვლებს. მაგრამ ამავე გარემოების მოწმობა იყო ის დაკვირვებაც, რომელიც ვაწარმოეთ შერჩეული ვარსკვლავის ზედა კულმინაციაზე დროის აღრიცხვის მიზნით და, როცა შევნიშნეთ მზის ჩამორჩენა ვარსკვლავების მიმართ. დავუბრუნდეთ ამ დაკვირვებას და ცოტა უფრო სხვაგვარად ჩავატაროთ იგი.

ერთ-ერთი ღამის დასაწყისში დავდგეთ პირით სამხრეთისაკენ, დავაკვირდეთ ცას, მის სამხრეთ, დასავლეთ და აღმოსავლეთ მხარეებს და კარგად დავიხსოვოთ თანავარსკვლავედთა განლაგება ცის თაღზე. შემდგომ, 1 ან 2 თვით გვიან, გავიმეოროთ ასეთი დაკვირვება იმავე საათებში (მზისმიერი დროით). აღვიღად შევნიშნავთ, რომ ცის საერთო სურათი — მასზე განლაგებული თანავარსკვლავედების მიხედვით — შეცვლილია. თუმცა ცალკეული ვარსკვლავების ურთიერთგანლაგება და თანავარსკვლავედთა კონფიგურაცია არ დარღვეულა და ისინი ისევე არიან განლაგებული როგორც მანამდე, 1—2 თვით ადრე, მაგრამ საერთო სურათი მაინც სხვაა: თანავარსკვლავედები, რომლებიც 1—2 თვის წინათ დაკვირვების საათში აღმოსავლეთით იყვნენ, ახლა მერიდიანთან მოახლოებულიან და მათ ნაცვლად აღმოსავლეთიდან სხვა თანავარსკვლავედები ამოსულან. ის თანავარსკვლავედები, რომლებიც წინათ მერიდიანზე იყვნენ, ახლა — 1-2 თვის შემდგომ — დასავლეთისაკენ დაშვებულან აღნიშნული საათისათვის. დაბოლოს, თანავარსკვლავედები, რომლებიც პირველად დასავლეთის მხარეზე მოჩანდნენ ჰორიზონტის ახლო, ჩასულან და ჰორიზონტს მოფარებიან. შეიძლება ითქვას, ისინი თითქმის მზესთან ერთად ჩასულან ახლა, თუმცა 1—2 თვით ადრე კიდევ მოჩანდნენ ჰორიზონტის ზევით სადამო ჟამს, მზის ჩასვლის შემდეგ. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ შვე გადაადგილებულა თანავარსკვლავედების ფონზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით.

ვარსკვლავებიანი ცის ასეთი ხილული ცვლილება განუწყვეტლივ მიმდინარეობს. ნახევარი წლის შემდგომ სულაც ვეღარ ვიპოვით ცაზე იმ თანავარსკვლავედებს, რომლებიც პირველი დაკვირვების დროს შევნიშნეთ. მაგრამ, როცა პირველი დაკვირვების სადამოდან სრული წელიწადი გაივლის, პირვანდელი სურათი განმეორდება, ე. ი. სადამოს ვარსკვლავებიან ცაზე თანავარსკვლავედები ჰორიზონტის მიმართ ისევე იქნება განლაგებული, როგორც ეს ერთი წლის წინათ იყო.

გავიხსენოთ, რომ ჩვენი დაკვირვება ისე ვაწარმოეთ, რომ პირით სამხრეთისაკენ ვიდექით. ეს პირობა შემთხვევით როდი შემოვიტანეთ. მართლაც, თუ ჩრდილოეთის ცაზე, ჩრდილოეთ პოლუსის ახლომდებარე თანავარსკვლავედებს დავაკვირდებოდით, მათ ყოველთვის, მთელი წლის მანძილზე ვიხილავდით ჰორიზონტის ზემოთ, რამდენადაც ისინი, მათი დახრილობის დიდ მნიშვნელობათა გამო, მუდამ ჩაუსვლელი არიან (იხ. ზევით). მაგრამ მოვლენა არსებითად, რა თქმა უნდა, აქაც იგივე უნდა იყოს და ასეც არის. ვთქვათ, დაკვირვების პირველ სადამოს, რომელიდაც გარკვეულ საათში ზედა კულმინაციაშია რომელიმე პოლუსის ახლო თანავარსკვლავედი, მაგალითად, კასიოპეა. ნახევარი წლის შემდეგ, დაკვირვების იმავე საათში კასიოპეა იქნება მის ქვედა კულმინაციაში. აღწერილიდან მოჩანს მზის ხილული წლიური გადაადგილება ვარსკვლავების ფონზე.

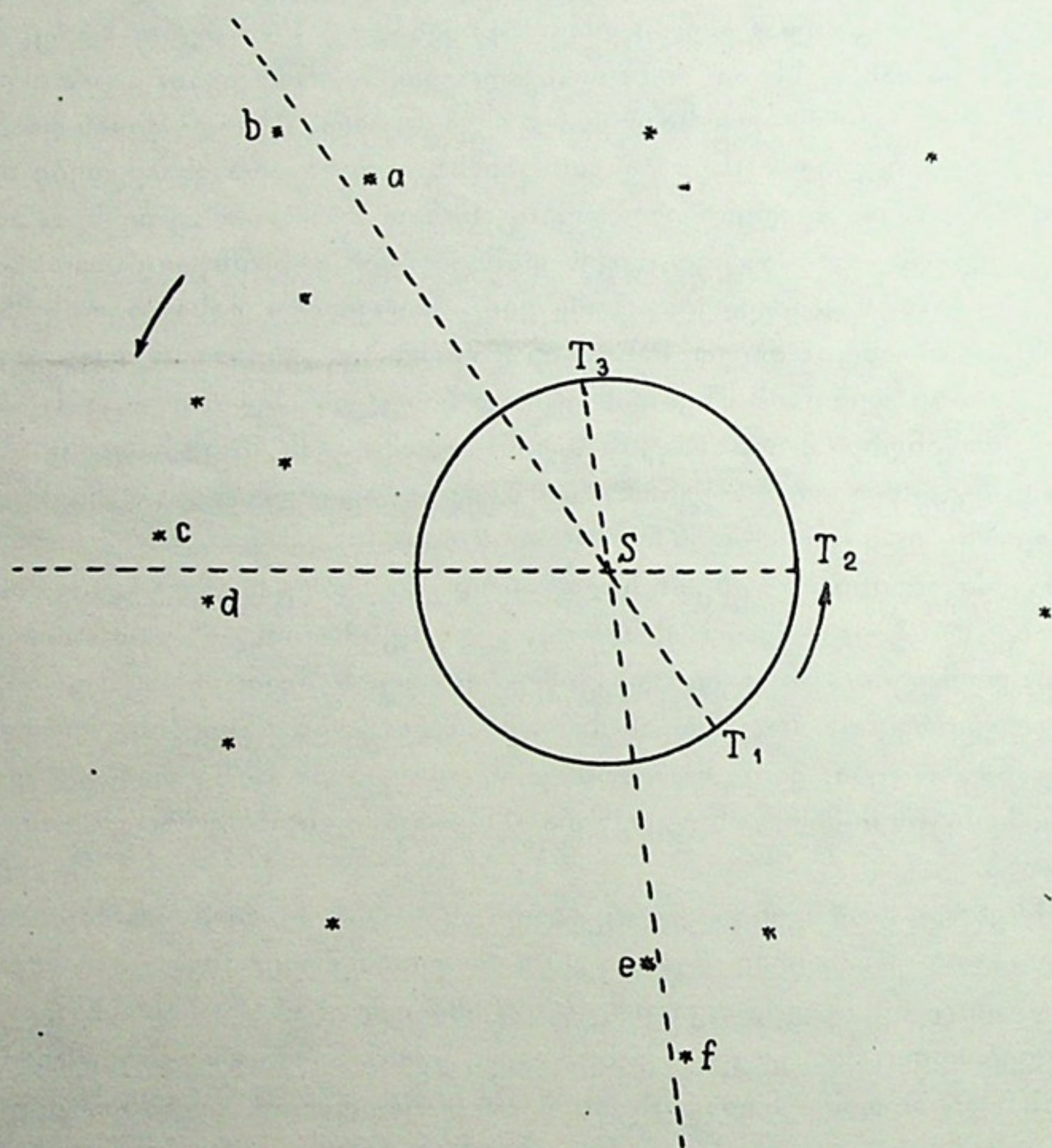


რადგანაც ერთი სრული წლის გავლის შემდგომ, როგორც ზემოთ ვთქვით სურათი მეორდება, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ერთი წლის განმავლობაში მზე სრულ წრიულ გზას ასრულებს ცაზე ვარსკვლავების ფონზე და წლის დამლევს კვლავ პირვანდელ მდებარეობას უბრუნდება.

ამგვარად, გარდა იმისა, რომ მზე ყოველდღიურად შემოწერს ცაზე წრეწირებს დედამიწის გარშემო, იგი ყოველწლიურად სხვა წრეწირსაც შემოწერს ვარსკვლავებიანი ცის ფონზე.

მაგრამ, როგორც მზის დედამიწის ბრუნვა დედამიწის გარშემო მხოლოდ ხილული, მოჩვენებითი მოვლენაა, ღერძის ირგვლივ დედამიწის ნამდვილი ბრუნვით გამოწვეული, ასევე, მზის წლიური მოქცევაც მოჩვენებითია და ამის მიზეზი ისაა, რომ დედამიწა თვითონ მოიქცევა მზის გარშემო, შემოწერს რა ერთი წლის განმავლობაში მის ირგვლივ ერთ სრულ წრეწირს.

განვიხილოთ 88-ე ნახ., რომელზეც წარმოდგენილია სამყაროს სივრცის ნაწილი, მასში გაბნეული ვარსკვლავებით. ცენტრში გამოსახულია მზე ( $S$  წერ-



ნახ. 88.

ტილი). მის გარშემო დაახლოებით წრიული გზით მოიქცევა დედამიწა, რომლის რამდენიმე მიმდევრობითი მდებარეობა აღნიშნულია  $T_1, T_2, T_3$  ასოებით. ისარი დედამიწის გარემოქცევის მიმართულებას უჩვენებს. ვთქვათ, რომელიმე მომენტში დედამიწა მისი წლიური გზის  $T_1$  წერტილში იმყოფება. ამ დროს მზეს დავინახავთ  $T_1S$  მიმართულებით, დაგვგმილებულს ცაზე, სადღაც  $a$  და  $b$  ვარსკვლა-



ვებს შორის. შემდგომ, გადაინაცვლებს რა დედამიწა აღმოსავლეთით  $T_2$  წერტილში, მზე გამოჩნდება  $T_2S$  მიმართულებით, ე. ი. გამოჩნდება  $a$ ,  $b$  ვარსკვლავებიდან აღმოსავლეთით გადაადგილებული  $c$  და  $d$  ვარსკვლავებს შორის.  $T_3$  მდებარეობამდე დედამიწის მოძრაობისას, მზის ხილული მდებარეობა ცაზე გადაინაცვლებს  $e$  და  $f$  ვარსკვლავებისაკენ, ხოლო, როცა დედამიწა მთელ წრეს შემოირბენს მზის ირგვლივ და კვლავ  $T_1$  მდებარეობაში მივა, მზეც დაასრულებს თავის ხილულ გზას ცაზე ვარსკვლავებს შორის და კვლავ  $a$  და  $b$  ვარსკვლავების მახლობლად დაინახება.

აქ აღწერილთან დაკავშირებით გავიხსენოთ, რომ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობა მზისმიერისაგან განსხვავებულია. ეს განსხვავება სწორედ ვარსკვლავების მიმართ მზის ამგვარი გადაადგილებით არის განპირობებული. ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე უფრო მოკლეა, ვიდრე მზისმიერი. მზის გადაადგილება რომ საწინააღმდეგო მიმართულებით ყოფილიყო—აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, მაშინ მზისმიერი დღე-ღამე იქნებოდა უფრო მოკლე. სიდიდით ეს განსხვავება დაახლოებით 4 წუთია დროში და ესეც თავის ახსნას პოულობს: მზის გადაადგილება დაახლოებით თანაბარია წელიწადის განმავლობაში და ერთ სრულ წელიწადში (დაახლოებით 365 დღე-ღამე) მზე ერთ სრულ წრეწირს შემოწერს, მაშასადამე, ერთ დღე-ღამეში დაახლოებით  $1^\circ$ -ს ( $360^\circ : 365$ ); ერთი გრადუსი კი დროში 4 წუთით გამოიხატება.

აქვე უნდა შევნიშნოთ შემდეგი. ზემოთ, ცაზე მზის ხილულ გადაადგილებასთან დაკავშირებით 88-ე ნახაზის განხილვისას, მზეს ვაგეგმილებდით მის მიმართულებასთან ახლო მყოფ ვარსკვლავებს შორის, ვუყურებდით რა მზესა და ვარსკვლავებს დაახლოებით ერთი მიმართულებით, თითქოს ერთდროულად ვხედავდით მათ ცაზე. მაგრამ მზისა და ვარსკვლავების დანახვა ერთდროულად არ შეგვიძლია. მაშ, როგორ აღვებჭდოთ პრაქტიკულად მზის მდებარეობა ცაზე და როგორ მივაყოლოთ თვალი მის გადაადგილებას ვარსკვლავების ფონზე? ამისათვის საჭიროა დავაკვირდეთ შუალაში მერიდიანში მყოფ ვარსკვლავებს. რაკი შუალაშეა, მზე ქვედა კულმინაციაშია, პორიზონტის ქვეშ, მაგრამ მისი დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილი იმყოფება ზედა კულმინაციაში. ამ წერტილის პირდაპირი აღვლენა 12 საათით განსხვავდება მზის პირდაპირი აღვლენისაგან, დახრილობა კი მზის დახრილობის ტოლია, ოღონდ შებრუნებული ნიშნით. აი ამ წერტილს, რომლის ფიქსირება ყოველთვისაა შესაძლებელი მზის ეკვატორული კოორდინატების მიხედვით, შეგვიძლია გავადევნოთ თვალი, შევნიშნოთ მისი გადაინაცვლება ვარსკვლავებს შორის და ამის მიხედვით მზის წლიური გადაადგილებაც დავადგინოთ და შევისწავლოთ ისე, თითქოს ვხედავდეთ კიდეც მას ვარსკვლავების გვერდით.

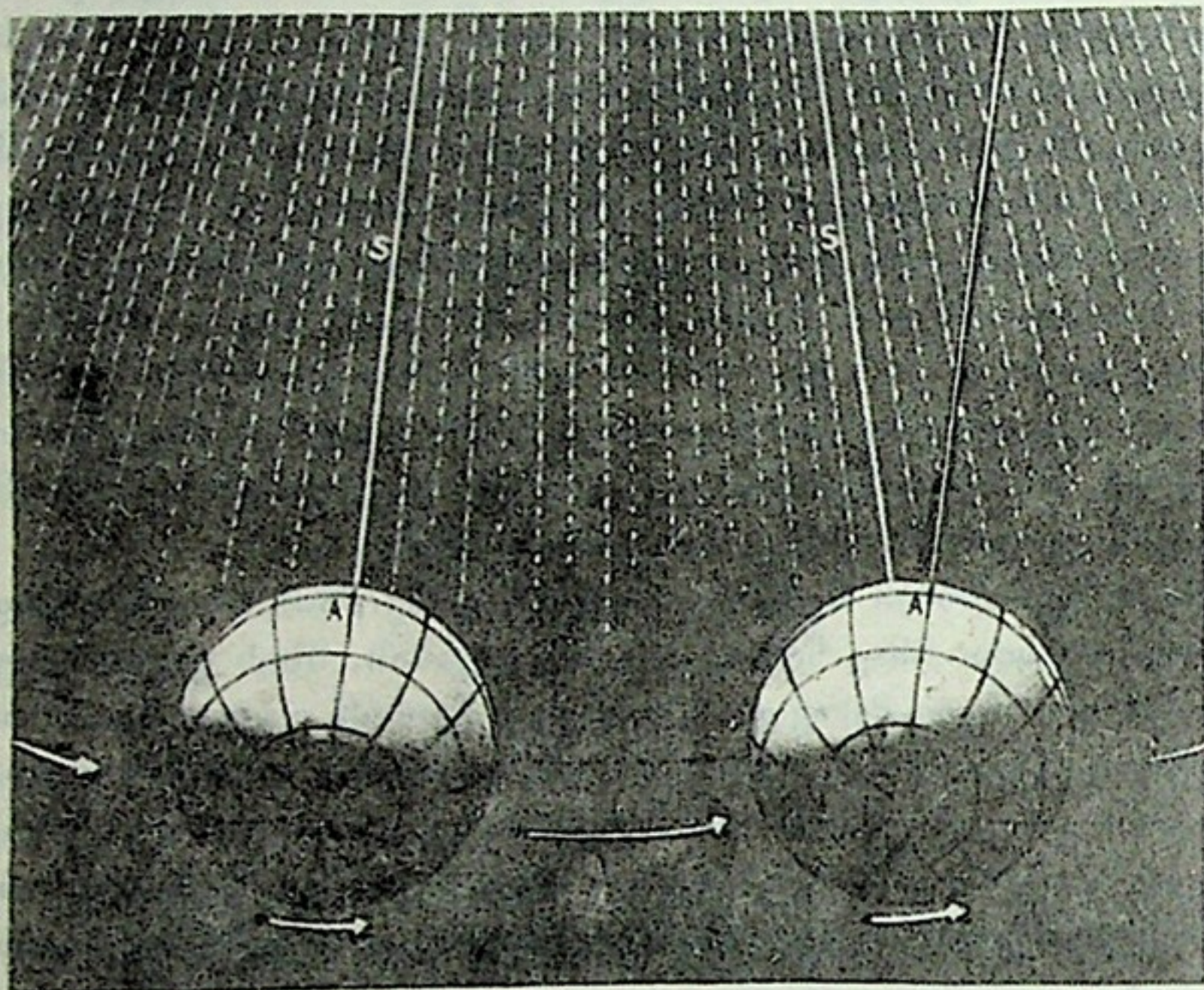
დასასრულს განვიხილოთ 89-ე ნახაზი (გაიხსენეთ 74-ე ნახაზიც).

აქ წარმოდგენილია დედამიწა, მზის გარშემო წრეწირზე მოძრავი და საკუთარი ღერძის ირგვლივ მბრუნავი. ისრები უჩვენებს გარემოქცევისა და ბრუნვის მიმართულებებს. გამოხატულია დედამიწის ორი მდებარეობა, ერთი დღე-ღამის შუალედით განსხვავებული. ამ ერთ დღე-ღამეში დედამიწა სრულად მობრუნდა თავისი ღერძის ირგვლივ (დახედეთ  $A$  წერტილის მდებარეობას ორ შემთხვევაში და მიაქციეთ ყურადღება იმას, რომ მარცხენა მხარის თეთრი უწყვეტი ხაზი— $A$ -ზე გამავალი—პარალელურია მარჯვენა მხარეზე იმავე  $A$ -ზე გამავალი მარჯვენა ხაზისა). მაგრამ, მზე, რომლისკენ მიმართულებას გვიჩვენებს თეთრი





სქელი ხაზი (S), ჯერ არ შემოსულა A-ს მერიდიანში (მარჯვენა მდებარეობა) დედამიწა კიდევ უნდა შემობრუნდეს ცოტაოდნად, რათა A-ს მერიდიანი გაუსწორდეს S-ს. დედამიწის ეს „დამატებითი“ შემობრუნება 4 წუთს მოითხოვს. მზე 4 წუთით „ჩამორჩება“ ვარსკვლავებს დღე-ღამეში. ეს გამოხატავს ვარსკვლავთმომერი და მზისმომერი დღე-ღამეების განსხვავებას და თვალსაჩინოდ ხდის ზემოთქმულს; ვარსკვლავები, მზესთან შედარებით, „უსასრულოდაა“ დაშორებული ჩვენგან და ამიტომ მიმართულება რომელიმე ვარსკვლავზე A-დან დედამიწის პირველსა და მეორე მდებარეობაში თავისივე პარალელური რჩება.



ნახ. 89

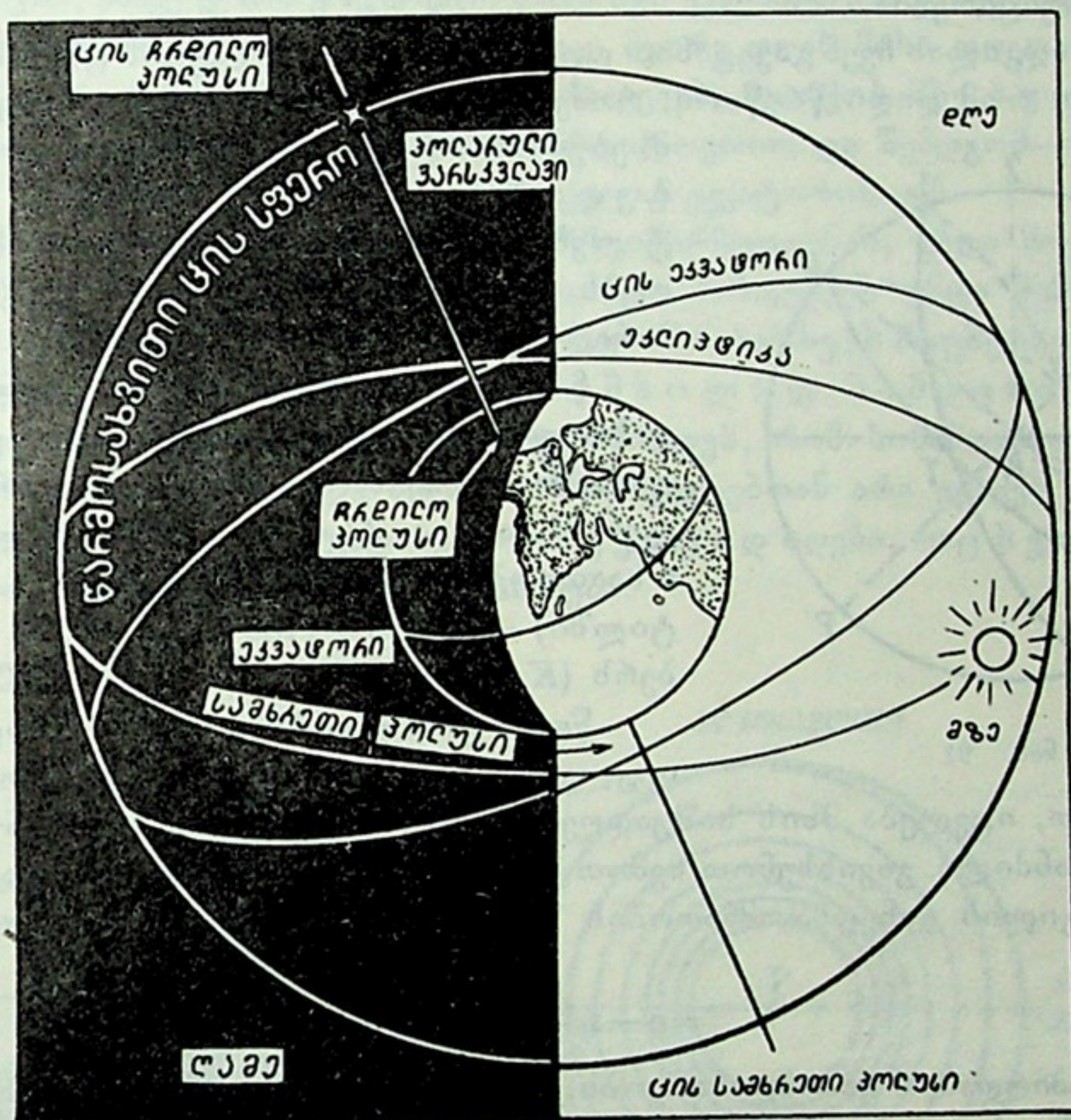
§ 60. ეკლიპტიკა. დედამიწა ნამდვილად ურბენს მზეს გარშემო; მზე ამის გამო შემოწერს ცაზე ვარსკვლავებს შორის ხილულ ანუ მოჩვენებით წრეწირს. ეს, როგორც ადვილად გასაგებია, დიდი წრეწირია, მას ეკლიპტიკას უწოდებენ. მაშასადამე, ცის სფეროს დიდ წრეწირს, რომელზეც წარმოებს ვარსკვლავებს შორის მზის ხილული წლიური მოძრაობა, ეკლიპტიკა ეწოდება. როგორც ნახაზის განხილვა უჩვენებს, ეკლიპტიკა იმავე სიბრტყეში ბევს, რა სიბრტყეშიც მდებარეობს მზის გარშემო დედამიწის გარემოქცევის წრეწირი, ე. წ. ორბიტა. მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობის ორბიტაზე გამავალ სიბრტყეს ეკლიპტიკის სიბრტყე ეწოდება.

შეიძლება ასეც ითქვას, რომ ეკლიპტიკა არის დიდი წრეწირი, რომელიც მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობის სიბრტყის ცის სფეროსთან გადაკვეთას წარმოადგენს.

სიტყვა „ეკლიპტიკა“ წარმოსდგება ბერძნულისაგან *εκλειψις*, რაც დაბნელება ნიშნავს. ძველთაგანვე ცნობილია, რომ მზისა და მთვარის დაბნელებები მაშინ ხდება, როცა მთვარე დედამიწის ორბიტის სიბრტყის — ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლობაშია (იხ. ქვევით).



§ 61. გაზაფხულისა და შემოდგომის დღედამტოლობის წერტილები. ეკლიპტიკა ორ დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილში გადაკვეთს ეკვატორს. ეს ნახევრებია როგორც 90-ე, ისე 91-ე ნახაზებზე. ამ უკანასკნელზე ეკვატორი  $RQ$  და ეკლიპტიკა  $KL$ -ით არის აღნიშნული. გადაკვეთის წერტილები აღნიშნულია  $\Upsilon$  და  $\varpi$  ნიშნებით. პირველ ნიშანს ვიცნობთ უკვე, ეს ე. წ. ვერძის წერტილია, ანუ გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილი. მოძრაობს რა მზე წლის განმავლობაში ეკლიპტიკის გასწვრივ, ამ წერტილს იგი 21 მარტს გაივლის. დღედამტოლობაც იმიტომ არის ამ დროს, რომ მზე ერთდრო-



ნახ. 90

ულად ეკლიპტიკაზეც იმყოფება და ეკვატორზეც, მაშასადამე, მის დღედამტო პარალელს ეკვატორი წარმოადგენს.

$\varpi$  გამოხატავს სასწორის ნიშანს და შემოდგომულია იმიტომ, რომ სათანადო წერტილი დაკავშირებულია „სასწორის“ თანავარსკვლავედთან. ამ წერტილში, რომელიც  $\Upsilon$ -დან  $180^\circ$ -ითაა დაშორებული, მზე იმყოფება ექვსი თვის შემდგომ — 23 სექტემბერს. ამდღეს შემოდგომის დღედამტოლობაა.

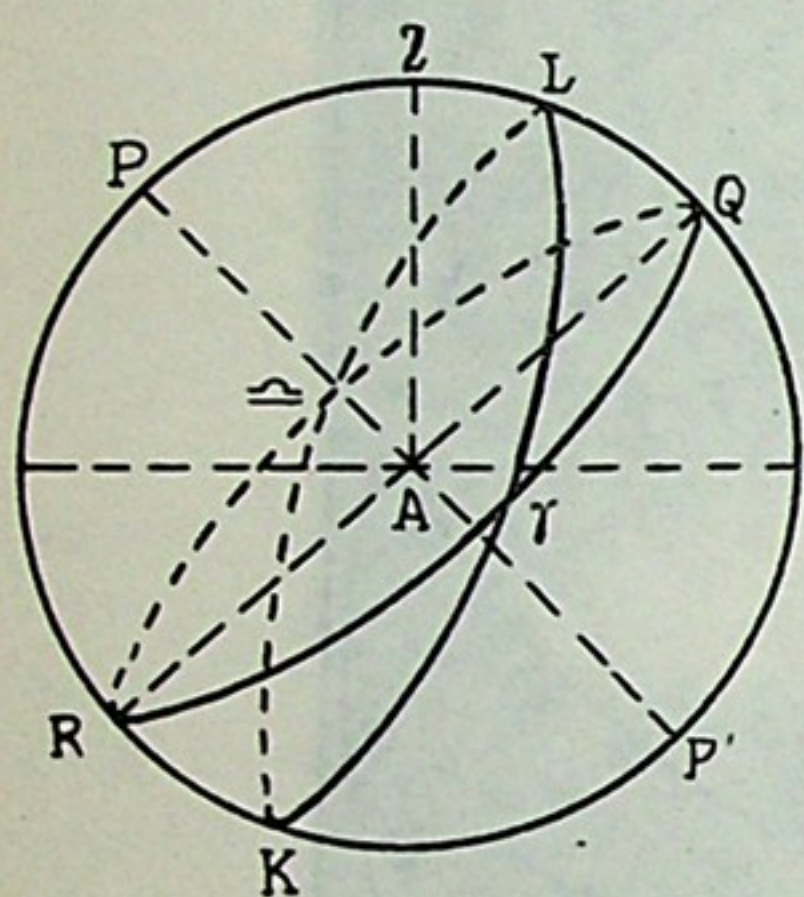
დღედამტოლობას ბუნიობასაც უწოდებენ და, მაშასადამე,  $\Upsilon$  და  $\varpi$ -ს გაზაფხულისა და შემოდგომის ბუნიობის წერტილები შეგვიძლია ვუწოდოთ.

§ 62. ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობის წერტილები.  $L$  და  $K$  ის წერტილებია ეკლიპტიკაზე, რომელზეც მზე 22 ივნისსა და 22 დეკემბერს იმყოფება,



შესაბამისად. როცა მზე ეკლიპტიკის გასწვრივ წლიურ მსვლელობაში  $L$  წერტილში მოექცევა, ამ დროს მისი დღედამური პარალელი მაქსიმალურადაა დაშორებული ეკვატორს ჩრდილოეთიდან და ამის შემდგომ იგი კვლავ ეკვატორთან მიახლოებას იწყებს. 22 ივნისამდე მზის საშუალო სიმაღლე სულ მატულობდა, ამ დღისათვის მზე თითქოს შეჩერდა, შედგა ანუ „დ ა ი ბ უ დ ა“, და მერე კვლავ კლება იწყო. ამიტომ უწოდებენ ამ დროს მ ზ ე დ გ ო მ ა ს ანუ მ ზ ე ბ უ დ ო ბ ა ს და, სახელდობრ, ზ ა ფ ხ უ ლ ი ს მ ზ ე ბ უ დ ო ბ ა ს. ანალოგიური მზედგომაა 22 დეკემბერს — ე. წ. ზ ა მ თ რ ი ს მ ზ ე ბ უ დ ო ბ ა. ამ დროს მზე ეკლიპტიკის  $K$  წერტილშია; მისი დღედამური პარალელი კვლავ მაქსიმალურადაა დაშორებული ეკვატორს, ოღონდ მის სამხრეთით, და მზის საშუალო სიმაღლე ჰორიზონტიდან უმცირესია.

თავის ადგილას ჩვენ გავეცანით დღელამტოლობის კოლურის ცნებას. ახლა დავუმატოთ, რომ დიდი წრეწირი, რომელიც გადის სამყაროს პოლუსებსა და



53b. 91

მზებუდობის წერტილებზე, წოდებულია მზებუდობათა კოლურად.  $K$  და  $L$  წერტილებს ვუწოდებთ მზებუდობათა წერტილებს, მზებუდობათა წერტილებზე გამავალ პარალელებს — მობრუნების წრეებს.

§ 63. შხის პირდაპირი აღვლენისა და დახრილობის ცვლილება წელიწადის განმავლობაში. თუ 21 მარტს შხის პირდაპირი აღვლენა 0 საათია, 22 ივნისს ( $L$  წერტილი) იგი 6 საათი იქნება ( $90^\circ$ ), 23 სექტემბერს ( $\mu$  წერტილში)—12 საათი ( $180^\circ$ ), ხოლო 22 დეკემბერს ( $K$  წერტილში)—18 საათი ( $270^\circ$ ).

წლის განმავლობაში შხის დახრილობაც იცვლება. ეს უკვე იქიდანაც ჩანს, რომ, რო-

გორც ვიცით, იცვლება შვის საშუადღეო სიმაღლე ჰორიზონტიდან ანუ მისი ზენიტური მანძილი. გავიხსენოთ ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება დამკვირ-  
ვებლის ადგილის განედსა, მნათობის ზენიტურ მანძილსა და დახრილობას  
შორის:

$$\delta = \varphi - z.$$

აქედან პირდაპირ გამომდინარეობს, რომ შხის დახრილობა იცვლება წლის განმავლობაში.

არსებითად ეს იმ ფაქტიდანაც ჩანს, რომ ეკლიპტიკა და ხრილია ეკვატორისადმი, როგორც ეს 90-ე ნახაზზე ჩანს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეკლიპტიკის სხვადასხვა წერტილი სხვადასხვაგვარად არის დაშორებული ეკვატორს. ამასთანავე კი მზე მუდამ ეკლიპტიკაზეა, მის რომელიმე წერტილში. მაშასადამე, მისი რკალური დაშორება ეკვატორიდან სხვადასხვაა. სხვა სიტყვებით: მზის დახრილობა იცვლება წელიწადის განმავლობაში, მაგრამ რა ფარგლებში?

ეს ფარგლები განპირობებულია იმ კუთხით, რომლითაც ეკლიპტიკა დახრილია ეკვატორისადმი. ეს კუთხე (91-ე ნახაზზე  $L\Gamma Q$ ) ეტოლება  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს. ახლა ადვილი მისახვედრია, რომ მზის დახრილობის ცვალებადობის ფარგლები  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$  და  $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია ( $23\frac{1}{2}^{\circ}$  ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და სამხრეთით).

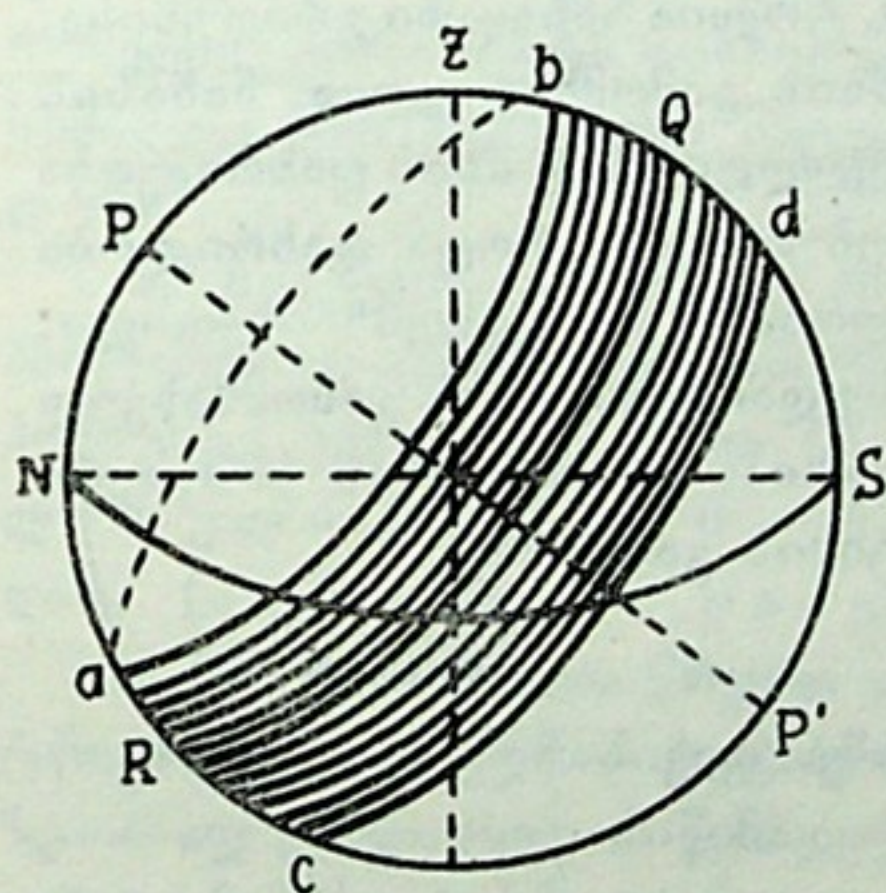


21 მარტს, როცა მზე ეკვატორზეა, მისი დახრილობა  $0^{\circ}$ -ია, შემდგომ მა-  
ტულობს 22 ივნისამდე, როცა  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  გახდება. ამის შემდეგ იგი კლებულობს,  
23 სექტემბერს კვლავ  $0^{\circ}$ -ს უტოლდება, ეკვატორის გადაკვეთისას, და 22 დეკემბ-  
რისათვის —  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  ხდება. ამის შემდგომ კვლავ მატულობს შემდეგი წლის  
22 ივნისამდე და ა. შ.

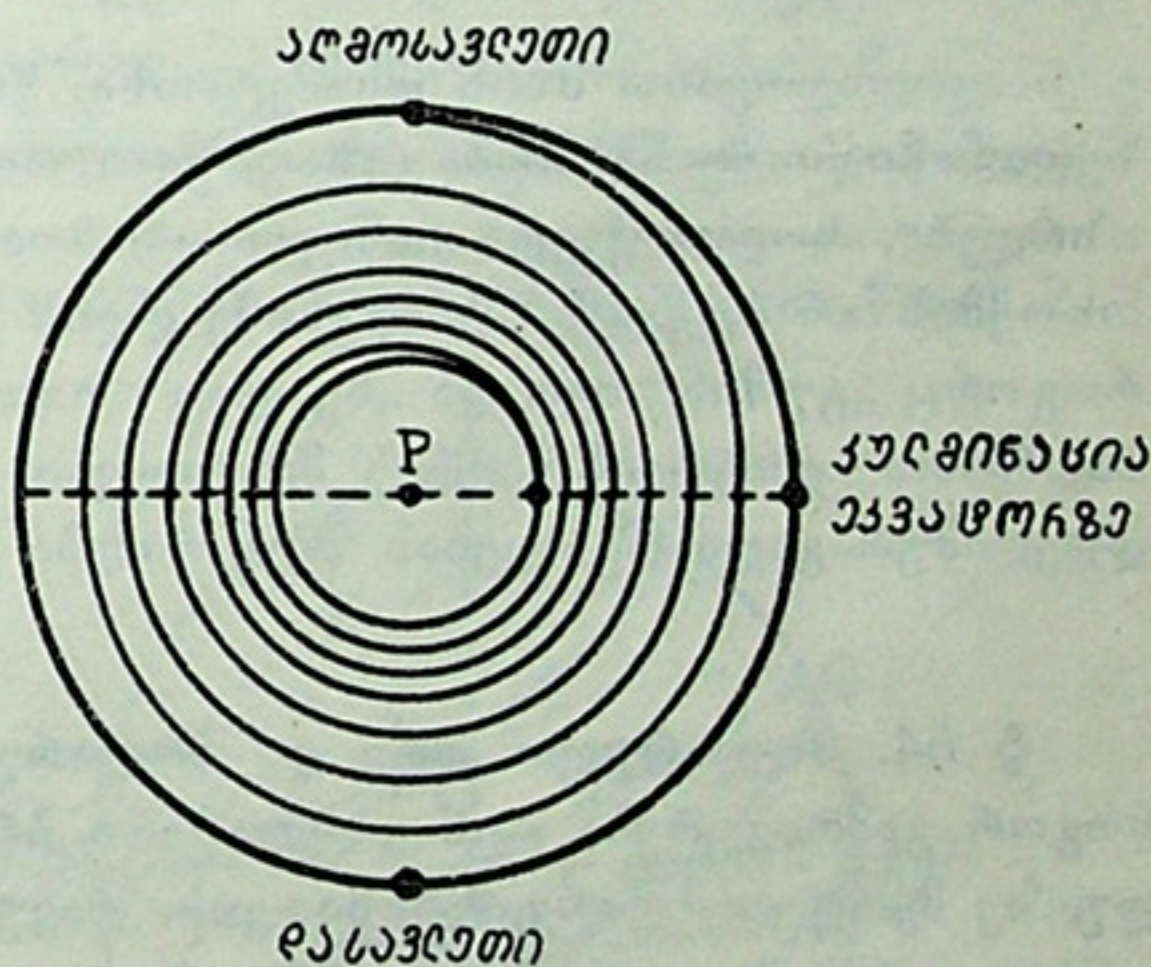
ახლა ვნახოთ, როგორ უნდა წარმოვიდგინოთ შეთავსებულად ცის სფეროს  
გამომსახველ ნახაზზე მზის ორგვარი მოძრაობა—დღედამური და წლიური, მისი  
ორივე ეკვატორული კოორდინატის ერთდროული და განუწყვეტელი ცვლილე-  
ბის გათვალისწინებით.

მზე ყოველდღე წრეწირს (დღედამურ პარალელს) შემოწერს დამკვირვებ-  
ლის გარშემო; ამავე დროს ყოველდღიურად იგი ეკლიპტიკის გასწვრივაც გადა-  
ადგილდება დაახლოებით  $1^{\circ}$ -ით და ყოველ მეორე დღეს მისი დღედამური პა-  
რალელი აღარ თანხვდება წინააღმდეგ პარალელს; თითქოს მზე ხ ვ ი ა ს ე ბ რ  
მოძრაობას ასრულებდეს ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და შემდგომ—უკან, ეკ-  
ვატორზე გავლით, სამხრეთით და მერე კვლავ ეკვატორისაკენ.

თუ მოვიხსენიებთ ამ სურათის ნახაზზე წარმოდგენას, უნდა მოვიყვანოთ  
შემდეგი 92-ე ნახაზი, სადაც 365 დღედამური პარალელი უნდა შემოვხაზოთ  
წელიწადის 365 დღე-ღამის შესაბამისად, მაგრამ ნახაზზე ეს მოუხერხებელია და  
პრაქტიკულად შეუძლებელიცაა, რის გამოც ხოლოდ რამდენიმე ასეთი  
პარალელია ნაჩვენები. ოღონდ უნდა გვახსოვდეს, რომ სინამდვილეში ასეთ  
წყვეტილ და ცალ-ცალკე მდებარე პარალელებთან არა გვაქვს საქმე; აქ  
პარალელიდან პარალელზე გადასვლა უწყვეტად ხდება, რაც ხ ვ ი ა ს ე ბ რ  
ანუ ს პ ი რ ა ლ უ რ მოძრაობას შეესაბამება.



ნახ. 92



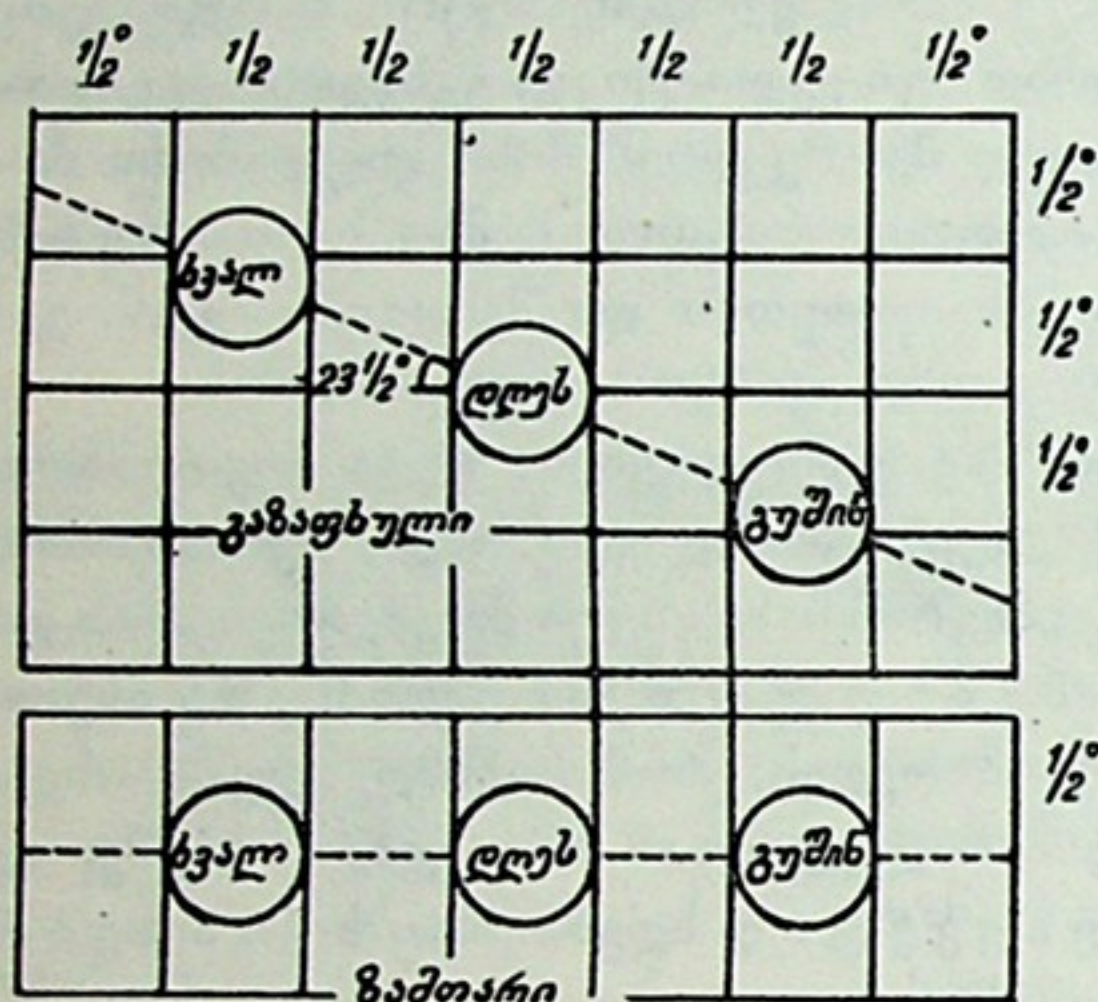
ნახ. 93

მეტი სიცხადისათვის სხვა მხრივაც შევხედოთ მოვლენას. წარმოვიდგინოთ  
ცის ჩრდილოეთი ნახევარსფერო ეკვატორის სიბრტყეზე დაგეგმილებულად  
(ნახ. 93). მაშინ ნახაზის შუა წერტილი P პოლუსს შეესაბამება, გადამკვეთი ხა-  
ზი მერიდიანის პროექციაა, ხოლო გარე სქელი ხაზი—თვით ეკვატორი. შიდა  
წრეწირი ზაფხულის მზებუდობის შესაბამისი დღედამური პარალელია.



შედარებით წვრილი ხვია ხაზით გამოხატულია მზის წლიური ხვია ცაზე, უფრო სწორად—მისი გეგმილი ეკვატორის სიბრტყეში, ოღონდ, რატომ უნდა, გამარტივების აუცილებლობის გამო, ხვიას მხოლოდ რამდენიმე შტოა აქ წარმოდგენილი. სქელი წერტილები მერიდიანის გეგმილზე წარმოადგენს მზის ზედა კულმინაციის ადგილებს დღედამტოლობისა და ზაფხულის მზედგომის დღეებში.

ხვიას ერთი ტოტის მეორე ტოტისაგან დაშორებას ანუ, სხვა სიტყვებით, პარალელის პარალელისაგან დაშორებას მზის დახრილობათა განსხვავება განაპირობებს. რადგანაც მზის დახრილობის ყოველდღიური ცვლილება 22 ივნის-



ნახ. 94

სა და 22 დეკემბრის ახლო ერთობ მცირეა, ამიტომ ამ დღეების შესაბამისი პარალელები უფრო მეტად თავმოყრილი და, მაშასადამე, ნაკლებადაა დაშორებული ერთმანეთისაგან. მზის საშუალოდ სიმაღლეც ნელი ტემპით იცვლება და სწორედ ეს აპირობებს მზებუდობას ანუ მზედგომას.

აქ სასარგებლო იქნება განვიხილოთ შემდგომი 94-ე ნახაზიც.

სქემატურად მოცემულია ცის ერთი პატარა უბანი, ეკვატორული კოორდინატების ბადით დაფარული. ყოველი უჯრედის გვერდი, კუთხურ ერთეულებში გამოხატული, ტოლია ნახევარი გრადუსისა,

ე. ი. დაახლოებით მზის დიამეტრისა. წრეები მზის გამომხატველია. ნახაზის ზედა ნაწილი შეესაბამება გაზაფხულს, როცა ყოველდღიურად მზის დახრილობა იზრდება, ხოლო ქვედა ნაწილი—ზამთარს, მზებუდობას, როცა დახრილობა თითქმის არ იცვლება რამდენიმე დღის განმავლობაში და „დღეს“ ისეთივეა, როგორც „გუშინ“ იყო და „ხვალაც“ თითქმის ასე დარჩება. მზის გამომსახველ ბადროთა ცენტრებს შორის მანძილები 1 გრადუსია; ეს ხომ მზის საშუალო დღედამურ გადაადგილებას შეესაბამება ეკლიპტიკის გასწვრივ!

§ 64. პოლარული დღე და პოლარული ღამე. თავის ადგილზე ვნახეთ, როგორ გამოიყურება ცის დღედამური ბრუნვა დედამიწის ეკვატორზე და პოლუსზე მყოფ დამკვირვებლისათვის. დავუბრუნდეთ კვლავ ამ საკითხს, მაგრამ განსაკუთრებით ყურადღება მზის დღედამურსა და წლიურ მოძრაობას მივაქციოთ.

ვთქვათ, დედამიწის ეკვატორზე ვიმყოფებით (ნახ. 42-ა). აქ ყოველი დღედამური პარალელი ჰორიზონტის მართობულია და თავისი ერთი ნახევრით ჰორიზონტის ზემოთაა, ხოლო მეორე ნახევრით—მის ქვემოთ. მზის ყოველდღიური გზა ან თვით ეკვატორზეა (21 მარტს და 23 სექტემბერს), ან ეკვატორის ჩრდილოეთით (21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე), ანდა მის სამხრეთით (23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე), მაგრამ ყოველთვის ერთი ნახევრით—ჰორიზონტის ზემოთ.

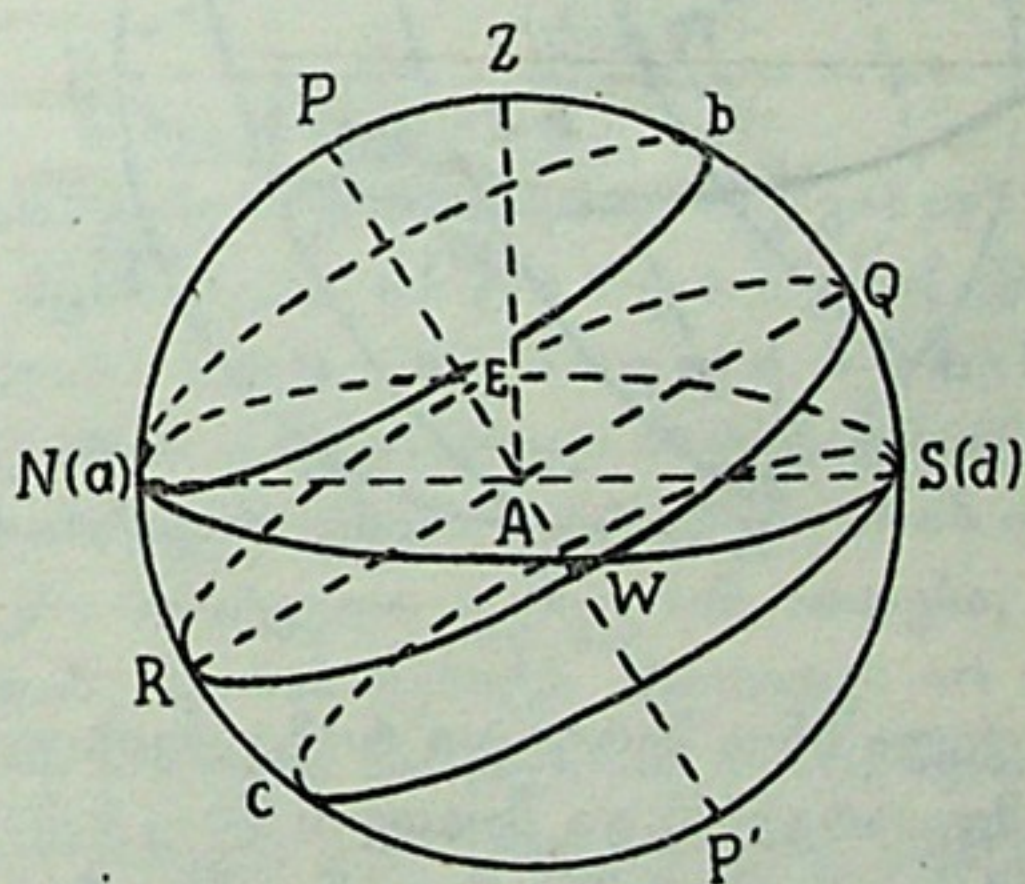


მაშასადამე, დღისა და ღამის ხანგრძლივობის წლიური ცვალებადობა, რაც ალწერილი გვექონდა ზემოთ და რისი მოწმენიც ჩვენ ვართ — ე. წ. ზომიერი სარტყელის მცხოვრებნი, ეკვატორის მცხოვრებლებისათვის არ არსებობს. იქ მთელი წლის განმავლობაში დღე და ღამე თანატოლია. ორჯერ წელიწადში (21 მარტსა და 23 სექტემბერს) მზე შუადღისას პირდაპირ ზენიტში გადადის; ამ მომენტში საგნები არ იძლევა ჩრდილს. ნახევარი წლის განმავლობაში (შემოდგომა-ზამთარში) მზის ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტიდან სამხრეთით, ხოლო მეორე ნახევრის განმავლობაში (გაზაფხულ-ზაფხულში) — ზენიტსა და ჩრდილოეთ პოლუსს შორის. ამ დროს, შუადღისას საგნების ჩრდილი მიმართულია სამხრეთით!

სხვა სურათია დედამიწის პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლის თვალწინ. აქ მზე 21 მარტის შემდეგ, ე. ი. მას შემდგომ, რაც ის ეკვატორის ჩრდილოეთით მდებარე პარალელებზე გადავა, სულ მუდამ ჰორიზონტის ზემოთ იქნება სექტემბრამდე (ნახ. 42-ბ). მართალია, მისი სიმაღლე ჰორიზონტიდან შედარებით მცირეა და  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს არ აღემატება (საშუადღეო სიმაღლის ამ მნიშვნელობას მზე 22 ივნისს მიაღწევს), მაგრამ 23 სექტემბრამდე სულ ჰორიზონტის ზემოთ იქნება და დამკვირვებელს ყოველდღიურად გარშემოუვლის ვერტიკალური ღერძის გარშემო, თითქმის ჰორიზონტის პარალელურად. თითქმის იმიტომ, რომ, უფრო მკაცრად თუ ვიტყვით, მზის ხილული წლიური მოძრაობა ხვია სეზონი მოძრაობაა, როგორც ეს ზემოთ აღვწერეთ; მოძრაობს რა დღე-ღამის განმავლობაში საერთოდ ჰორიზონტის პარალელურად (პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის), ამავე დროს ჰორიზონტიდან სიმაღლესაც იცვლის (იზრდება მისი დახრილობა — 22 ივნისამდე, — ე. ი. იზრდება მისი დაშორება ეკვატორიდან, რომელიც ჰორიზონტს თანხვდება). ამგვარად, 21 მარტიდან 22 ივნისამდე მზის სიმაღლე ჰორიზონტიდან მატულობს; შემდგომ — 23 სექტემბრამდე — კლებულობს.

23 სექტემბრიდან მზე ჰორიზონტის ქვეშ ჩაეშვება და შემდგომი წლის 21 მარტამდე არ გამოჩნდება. ამიტომ პოლუსზე ექვსი თვე დღეა (პოლარული დღე) და 6 თვე — ღამე (პოლარული ღამე)\*.

§ 65. პოლარული წრეები და ტროპიკები დედამიწის ზედაპირზე. ახლა ვთქვათ, რომ დამკვირვებელი იმყოფება დედამიწის ზედაპირზე იმ ადგილას, რომლის გეოგრაფიული განედი  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. ამ ადგილიდან პოლუსის სიმაღლე ჰორიზონტიდან იგივე  $66\frac{1}{2}^{\circ}$  იქნება. 95-ე ნახაზზე  $ZQ$  რკალი ასევე  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. ხოლო მზის დედამიწის პარალელები, რომლებიც შეესაბამება ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობებს ( $N(a)b$ ) და ( $S(d)c$ ), როგორც ეს ადვილად გასაგებია, ეხება



ნახ. 95

\* რეურაქციის გამო (იხ. ქვემოთ) მზე თავისი ბადროს ზედა კიდიტ უკვე 19 მარტს გამოჩნდება ჰორიზონტზე, ხოლო 36 საათის შემდეგ ქვედა კიდიტაც ამოვა. მაშასადამე, დღე-ღამე ნახევრის განმავლობაში იგი ჰორიზონტის ხაზზე იქნება.



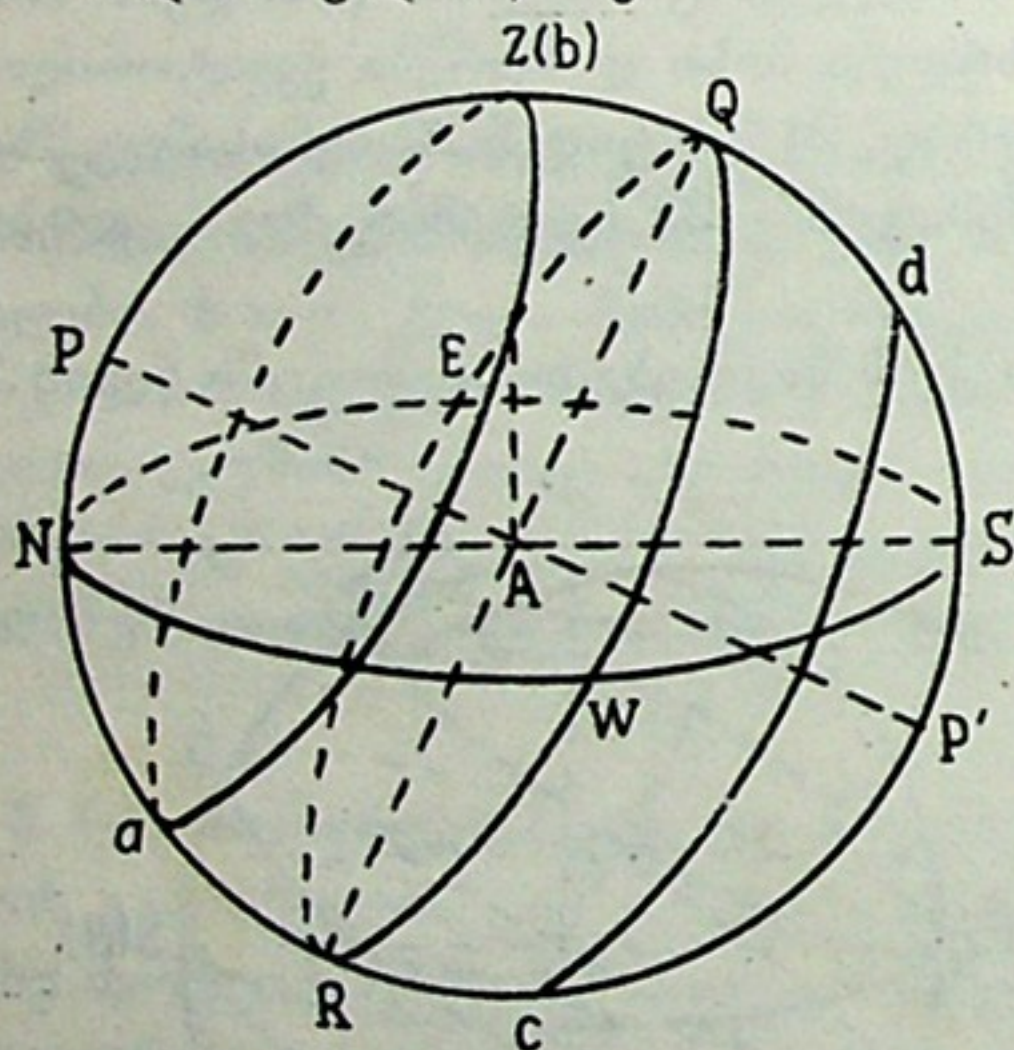
ჰორიზონტს, პირველი — ზემოდან  $N$  წერტილში, ხოლო მეორე — ქვემოდან  $S$  წერტილში (ამიტომ აღვნიშნეთ ეს წერტილები  $N(a)$  და  $S(d)$ -თი).

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ამ განედზე ზაფხულში ერთი დღე-ღამე მაინც არის ისეთი, როდესაც მზე მთელი 24 საათის განმავლობაში არ ჩადის ჰორიზონტის ქვეშ. ხოლო ზამთარში ერთი დღე-ღამე მაინც მოიპოვება ისეთი, რომ მზე მთელი 24 საათის განმავლობაში არ ამოდის ჰორიზონტის ზევით.

დედამიწის ზედაპირის უფრო ჩრდილოეთით მდებარე ადგილებში დღისა (ზაფხულში) და ღამის (ზამთარში) ხანგრძლივობა მატულობს და რაც უფრო ჩრდილოეთით იქნება ეს ადგილი, მით უფრო ხანგრძლივია უგრძესი დღე ზაფხულში და უგრძესი ღამე — ზამთარში. თვით პოლუსზე, როგორც ზემოთ ვნახეთ, დღე და ღამე ნათეს უწყვეტად გრძელდება.

$66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის პარალელის უფრო სამხრეთით მდებარე ადგილებში შეუძლებელია, რომ დღე ან ღამე 24 საათს გრძელდებოდეს. მართლაც, თუ 95-ე ნახაზის მსგავს ნახაზს ავაგებთ ადგილისათვის, რომლის გეოგრაფიული განედი  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე ნაკლებია, ვნახავთ, რომ მზის დედამიწის ყველა პარალელი (დახრილობის  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$  და  $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს შორის მდებარე) ჰორიზონტთან გადაიკვეთება. მაშასადამე, დღე-ღამის რაღაც გარკვეული ნაწილის განმავლობაში მზე ჰორიზონტის ზევით იმყოფება, ხოლო დანარჩენი ნაწილის განმავლობაში — მის ქვეშ, ე. ი. არც დღისა და არც ღამის ხანგრძლივობა არ აღწევს 24 საათს.

დედამიწის პარალელს, რომლის გეოგრაფიული განედი  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია, ეწოდება პოლარული წრე.



ნახ. 96

ახლა ვთქვათ, რომ იმ ადგილას ვიმყოფებით, სადაც გეოგრაფიული განედი  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. აქ პოლუსის სიმაღლეს ჰორიზონტიდან  $NP$  და  $ZQ$  რკალიც ტოლი იქნება  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ისა (ნახ. 96). ზაფხულის მზებუდობის შესაბამისი მზის დედამიწის პარალელი, რომელიც  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით არის დაშორებული ეკვატორს (რკალი  $aZ(b)$ ), ზენიტზე გადის. მაშასადამე, ამ ადგილას წელიწადში ერთხელ შუადღისას, მზე იმდენად მაღლაა ჰორიზონტიდან, რომ ზენიტს აღწევს.

ყველა სხვა წერტილი რომ განვიხილოთ, რომლებიც კიდევ უფრო სამხრეთით მდებარეობს, და მათთვის 96-ე ნახაზის მსგავსი ნახაზი ავაგოთ, დავრწმუნდებით, რომ აქ მზე წელიწადში ორჯერ გაივლის ზენიტზე; ერთხელ — გაზაფხულისა და ზაფხულის მომენტებს შორის, როცა მზის დახრილობა მატულობს  $0^{\circ}$ -დან  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -მდე, და მეორედ — ზაფხულისა და შემოდგომას შორის, როცა იგი კვლავ  $0^{\circ}$ -მდე კლებულობს.

დედამიწის პარალელს, რომლის გეოგრაფიული განედი  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია, ეწო-



დება ტროპიკი. მას კირჩხიბის ტროპიკსაც უწოდებენ, რამდენადაც კირჩხიბის თანავარსკვლავედში იმყოფებოდა მზე მზებუდობისას იმ ეპოქაში (დაახლოებით ორი ათასი წლის წინათ), როცა ძველ საბერძნეთში შესაბამისი ძირითადი ასტრონომიული ცნებების სახელწოდებები და ტერმინები დგინდებოდა. ეს ტროპიკი ესატყვისება მზის ზაფხულის მზებუდობის პარალელს.

ჩვენ განვიხილეთ დედამიწის მხოლოდ ჩრდილოეთი ნახევარსფერო. სამხრეთ ნახევარსფეროსათვის მსგავს მოვლენებს ექნება ადგილი და მსგავსი წრეები — პოლარული წრე და ტროპიკი — იქაც იგულისხმება. ცნობილია სამხრეთ ნახევარსფეროში,  $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის პარალელზე თხისრქის ტროპიკი (ზამთრის მზებუდობისას, თხისრქის თანავარსკვლავედში მზის მდებარეობის შესაბამისად).

ამგვარად, მთელი დედამიწის სფერო ისე წარმოგვიდგება, როგორც ეს 97-ე ნახაზზეა გამოხატული.

დედამიწის ზედაპირის იმ ნაწილს, რომელიც პოლარულ წრესა და პოლუსს შორისაა მოთავსებული, ცივი სარტყელს ეწოდება. როგორც ნახაზზე ვხედავთ, ცივი სარტყელი ორია — ჩრდილოეთისა და სამხრეთის.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს  $tp$  ტროპიკსა და სამხრეთ ნახევარსფეროს  $t'p'$  ტროპიკს შორის მოთავსებულ ზოლს ეწოდება ცხელი სარტყელი. დედამიწის ეკვატორი  $eq$  ამ სარტყელს შუაზე ჰყოფს.

პოლარულ წრესა და ტროპიკს შორის მოთავსებული ნაწილი დედამიწის ზედაპირისა ზომიერი სარტყელია. ასეთიც ორია: ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროზე.

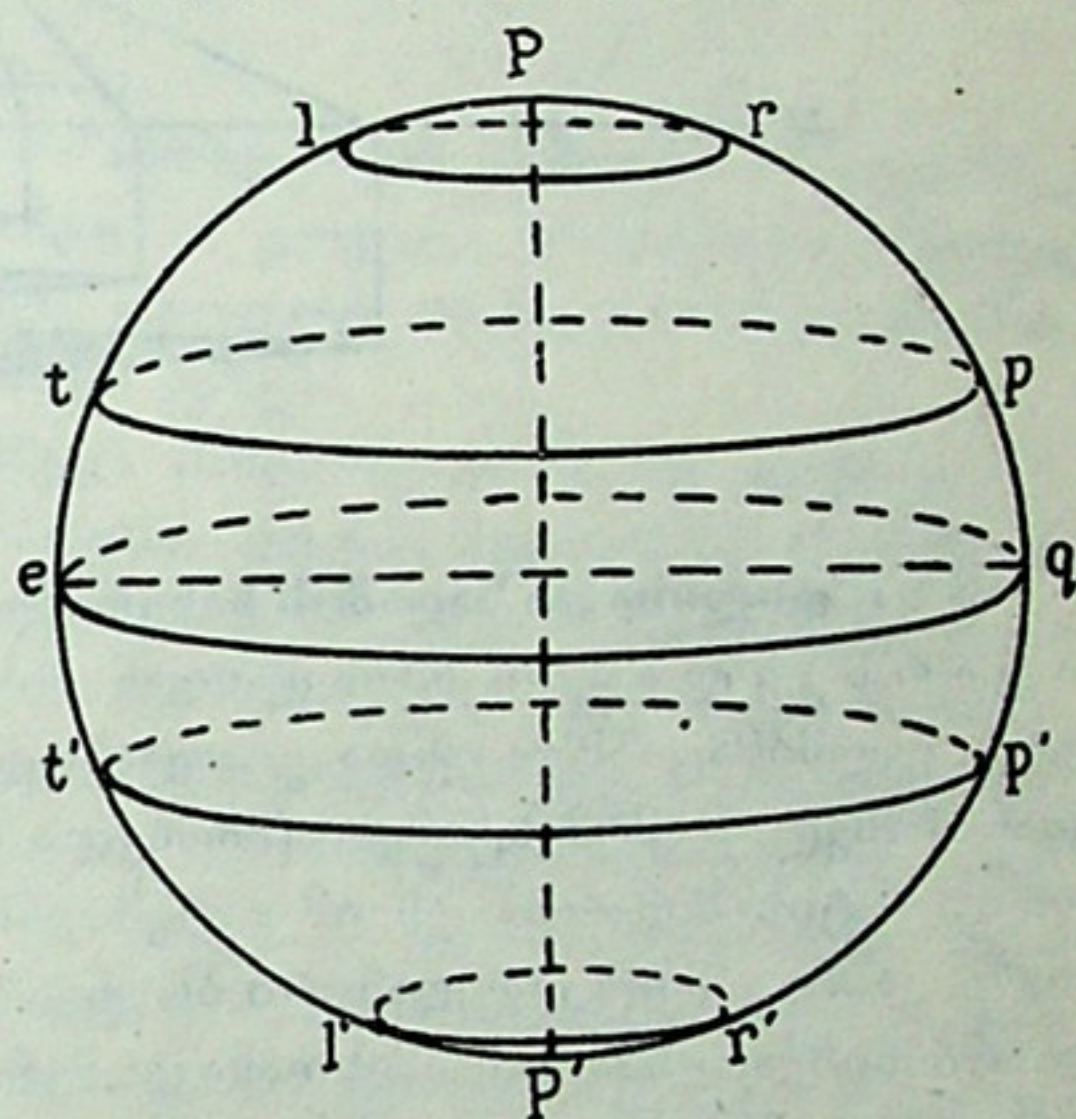
დედამიწის სხვადასხვა ნახევარსფეროს ერთსა და იმავე განედზე (მაგ. ჩრდილო და სამხრეთი ტროპიკი) მცხოვრებთ ანტიხტონები ეწოდება.

როგორც ვნახეთ, ცივი სარტყელის ასტრონომიული ნიშანი ანუ მახასიათებელი ისაა, რომ იქ არის დღეები, როცა მზე სრულიად არ ჩადის ან სრულიად არ ამოდის პორიზონტიდან. ცხელ სარტყელში არის დღეები, როცა მზე ზენიტზე გაივლის. ზომიერი სარტყელი კი მით ხასიათდება, რომ იქ მზე ყოველ დღე ამოდის და ჩადის, მაგრამ ზენიტს არასოდეს არ აღწევს.

ჩვენ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზომიერი სარტყელის მცხოვრებნი ვართ. ამ სარტყელის საზღვრებია: ჩრდილოეთიდან — პარალელი გეოგრაფიული განედით  $+66\frac{1}{2}^{\circ}$  და სამხრეთიდან — პარალელი განედით  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ .

საქართველოს საბჭოთა სოციალისტური რესპუბლიკა მდებარეობს  $+41^{\circ}.1$  და  $+43^{\circ}.6$  განედებს შორის.

**§ 66. ჩრდილის სიგრძე შუადღისას.** 98-ე ნახაზზე გამოხატულია პორიზონტულ ზედაპირზე  $HH$  ამართული ანძა (სვეტი, სარი). ცალკეა, თუმცა იმავე ნახაზზე, გამოხატული მისი ჩრდილი შუადღისას, მზებუდობისა და დღედამტო-

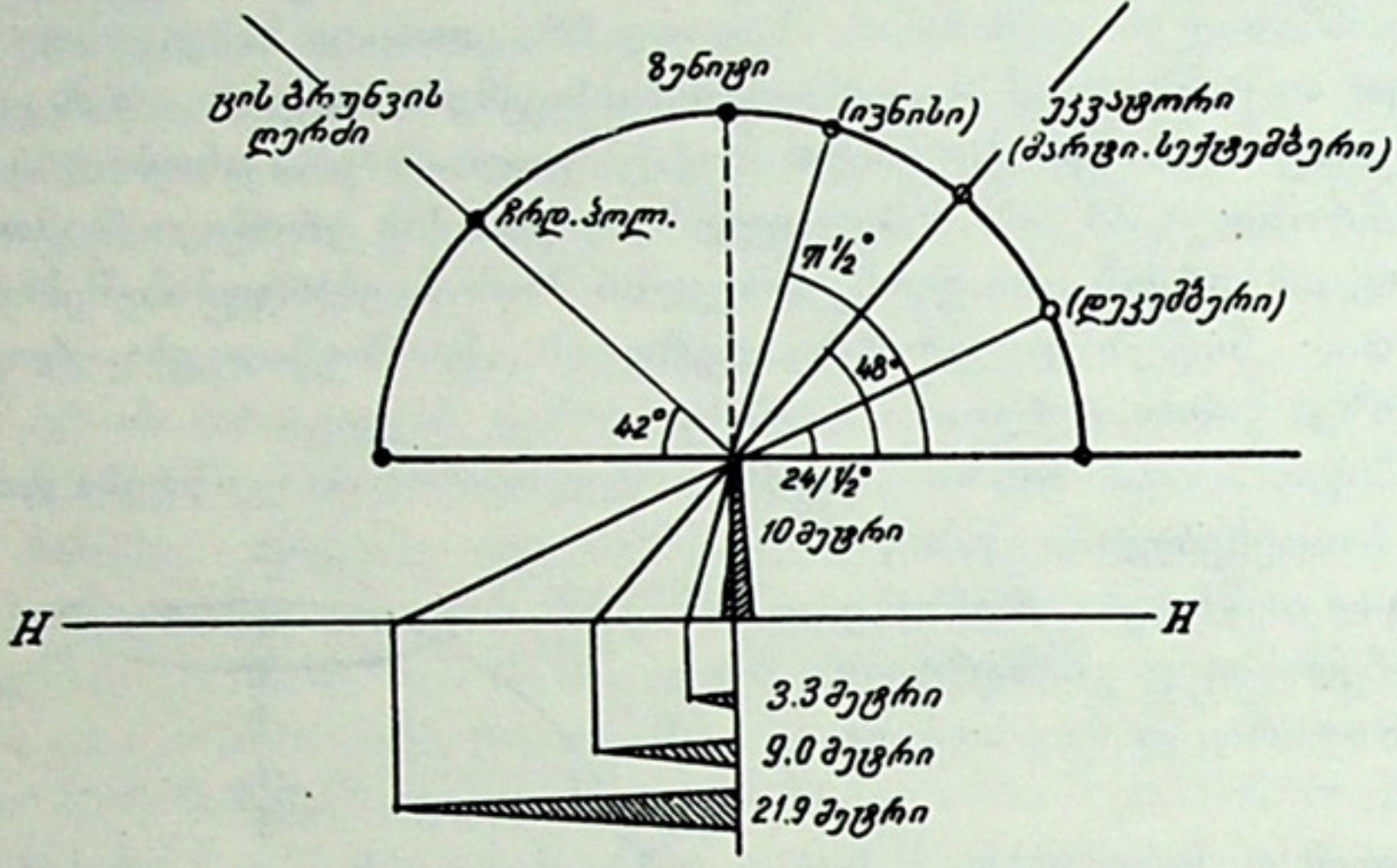


ნახ. 97





ლობის დღეებში. ილუსტრაცია შეეხება დამკვირვებლის ადგილს, რომლის განედია  $42^\circ$ -ია. ნახაზზე აღნიშნული ჩრდილის სიგრძეები შეესაბამება 10 მეტრის სიმაღლის სვეტს. მკითხველს შეუძლია თვითონ გამოითვალოს და შეამოწმოს მათი მნიშვნელობები. ამ ნახაზის დაწვრილებითი გარჩევა სასარგებლო სავარჯიშო იქნება.



ნახ. 98.

**§ 67. დილისა და საღამოს ხანგრძლივობათა შესახებ.** დროის ხანგრძლივობა ვარსკვლავის ამოსვლიდან მის მიერ პერიდიანის გადაკვეთამდე ანუ ზედა კულმინაციამდე უნდა ეტოლებოდეს ხანგრძლივობას ზედა კულმინაციიდან ჩასვლის მომენტამდე (ამოსვლა და ჩასვლა იგულისხმება ჭეშმარიტი პორიზონტის მიმართ). ეს იმ გარემოებითაა განპირობებული, რომ ვარსკვლავიერი ცამრგვალის დედამიწის ბრუნვა (ანუ დედამიწის დერძული ბრუნვა) თანაბარი სიჩქარისაა და, ამასთანავე, პერიდიანის სიბრტყე სიმეტრიულად მდებარეობს აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილების მიმართ.

ის, რაც ვარსკვლავზე ითქვა, ვერ გავრცელდება მზეზე, რადგანაც, ჯერ ერთი, დასავლეთიდან აღმოსავლეთით ვარსკვლავების მიმართ მზის გადაადგილების სიჩქარე ცვალებადია და, თუ დიდ სიზუსტეს დავიცავთ, ამა თუ იმ შემთხვევაში, უნდა გავითვალისწინოთ ამ სიჩქარის სხვადასხვაობა ერთი და იმავე დღის დილისა და ნაშუადღევს საათებში. მეორეც, მზის დახრილობა იცვლება, განსაკუთრებით შესამჩნევად—გაზაფხულსა და შემოდგომაზე, რის გამოც, მაგალითად, დახრილობის ზრდის შემთხვევაში, მზემ შეიძლება რამდენადმე დააგვიანოს ჩასვლა და მით საღამო (დრო შუადღის მომენტიდან მზის ჩასვლამდე) გახანგრძლივდეს.

მაგრამ, თუ ამ ეფექტებს სულაც უგულებელვყოფთ, როგორც ძალიან მცირესა და ჩვეულებრივ პირობებში შეუმჩნეველთ, მაინც არსებობს დილისა და საღამოს ხანგრძლივობათა განსხვავება, რომელთაც ადამიანი ამჩნევს, განსაკუთრებით იანვარ-თებერვალში, როცა დღე მატულობს, მაგრამ უფრო მეტად—საღამოს შუალედის გახანგრძლივებით, და ოქტომბერ-ნოემბერში, როცა იგი კლებულობს, უფრო მეტად, ადრე დაღამების ხარჯზე, ვიდრე გათენების დაგვიანების გამო. ასეთი არასიმეტრიულობის მიზეზი დროის განტოლების არსებობაშია.



აღნიშნოთ  $r$  და  $s$ -ით, შესაბამისად, მზის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტები, საშუალო მზისმიერი დეკრეტული დროით მოცემული.  $y$ -ით აღნიშნული გვექონდა დროის განტოლება.

საშუალო შუადღე დეკრეტული დროით, როგორც ვიცით, 13 საათია. მაშინ:

13 სთ  $-r = r' =$  დროის შუალედი მზის ამოსვლიდან საშუალო შუადღემდე.

24 დეკემბრამდე საშუალო შუადღე ჩამორჩენილია ჭეშმარიტს, ამიტომ:

13 სთ  $-r - y = r' - y =$  დროის შუალედი მზის ამოსვლიდან ჭეშმარიტ შუადღემდე.

ასევე,

$s - 13$  სთ  $= s' =$  დროის შუალედი საშუალო შუადღიდან მზის ჩასვლამდე.

$s - 13$  სთ  $+ y = s' + y =$  დროის შუალედი ჭეშმარიტი შუადღიდან მზის ჩასვლამდე. ცხადია, რომ  $r' - y = s' + y$ , რამდენადაც ეს შუალედები ჭეშმარიტი შუადღის მიმართ სიმეტრიულია.

ამის შემდეგ დავწერთ:

$$r' - s' = 2y.$$

მაშასადამე, დროის შუალედები მზის ამოსვლიდან საშუალო შუადღემდე და საშუალო შუადღიდან მზის ჩასვლამდე არ ყოფილა თანატოლი, არამედ ერთიმეორისაგან განსხვავებულია  $2y$ -ით. მხოლოდ ოთხჯერაა წელიწადში, როცა  $y = 0$ , ეს ორი შუალედი ერთიმეორის ტოლი.

ზამთრის მზებუდობისას, 22 დეკემბრის მახლობლობაში,  $y$  კლებულობს (ნახ. 77); დღის ხანგრძლივობა იწყებს მატებას, მაგრამ ძალიან მცირედ (მზის დახრილობის ცვლილება მზებუდობის ახლო, როგორც უნდა გვახსოვდეს, მცირეა). ამიტომ დღის ნახევარხანგრძლივობა (ნაშუადღევი) შეგვიძლია ჩავთვალოთ რამდენიმე დღის მანძილზე მუდმივად; მაშინ, რამდენადაც  $y$  კლებულობს, იმდენად  $s'$  უნდა იზრდებოდეს და, მაშასადამე, მზის ჩასვლა საშუალო დროით სულ უფრო გვიან უნდა ხდებოდეს. მეორე მხრივ,  $(r' - y)$ -იც მუდმივად უნდა ჩავთვალოთ და მაშინ  $r'$  უნდა კლებულობდეს, ე. ი. მზის ამოსვლა არათუ ადრე უნდა ხდებოდეს, არამედ გვიანდებოდეს! დღე კი მატულობს, ოღონდ—მხოლოდ ნაშუადღევის (საღამოს) გახანგრძლივების ხარჯზე. აი რატომაა, რომ დაკვირვებული ადამიანი აშკარად ატყობს და უკვირს კიდევ, რომ, მაგალითად, დეკემბრის ბოლოს და იანვრის პირველი ნახევრის განმავლობაში,\* როცა, როგორც მან იცის, დღე მატულობს, მაინც გვიან თენდება. შეიძლება შეგვიძინევია კიდევ და ადვილია ანალოგიური მსჯელობით ისიც ვნახოთ, რომ ზაფხულის მზებუდობის ანუ 21 ივნისის შემდგომ ორიოდე კვირის განმავლობაში დღის ხანგრძლივობის შემცირება დღის შუალედის ხარჯზე ხდება.

\*  $y$ -ის კლება 11 თებერვლამდე გრძელდება, მაგრამ 12 იანვრის შემდგომ მზის დახრილობის ზრდის გავლენა იჩენს თავს და დღის ხანგრძლივობის ზრდა დღის ხარჯზეც ხდება.



თ ა ვ ი VI

**დედამიწის სრბოლა მზის გარშემო**

§ 68. **დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო.** ზემოთ ვნახეთ, როგორ იცვლება დღისა და ღამის ხანგრძლივობა დედამიწის სხვადასხვა სარტყელში და შევისწავლეთ ამ ცვალებადობის გეომეტრიული მიზეზი. ამასთანავე გამოვარკვიეთ, რომ მზის დახრილობაც იცვლება წლის განმავლობაში და ამ ცვალებადობის ფარგლებია  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$  და  $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ . დასასრულს ისიც ვნახეთ, რომ არსებობს ასტრონომიული ნიშნები, რომელთა მიხედვით შეგვიძლია დედამიწის სფეროს ზედაპირი ერთგვარ თერმულ ანუ კლიმატურ სარტყელებად დავყოთ. ყურადღებას იქცევს ის გარემოება, რომ ამ სარტყელებს შემოსაზღვრავენ დედამიწის პარალელები, რომელთა განედებია  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  და  $66\frac{1}{2}^{\circ}$  ( $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის დამატება  $90^{\circ}$ -მდე).

რა კავშირია ამ პარალელებსა და მზის მაქსიმალურ დახრილობას ( $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ) შორის? რა საერთო ფიზიკური საფუძველი უძევს ყველა ზემოთ დახასიათებულ მოვლენას?

აღწერილი ფაქტები საერთო ახსნას პოულობს შემდეგ ორ მოვლენაში: 1) დედამიწა სრბოლავს მზის გარშემო; 2) მისი საკუთარი ბრუნვის ღერძი ერთგვარად დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი და ეს დახრა უცვლელია.

ცალ-ცალკე და დაწვრილებით განვიხილოთ დასახელებული მოვლენები. დედამიწას ორი მთავარი მოძრაობა ახასიათებს. პირველია ის, რომ იგი ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ამ ბრუნვის სიჩქარე ისეთია, რომ 24 საათის განმავლობაში დედამიწა ერთხელ სრულად შემობრუნდება ღერძის გარშემო. ეს ბრუნვა იწვევს მოჩვენებით, ხილულ მოვლენას, თითქოს მთელი ცა ყოველდღიურად შემობრუნდება ჩვენს გარშემო აღმოსავლეთიდან დასავლეთით. ამ ბრუნვის შედეგი კი დღისა და ღამის ცვლაა; მზისკენ მიქცეულ მხარეზე დღეა, ხოლო მოპირდაპირეზე—ღამე.

მეორე მოძრაობა იმაში გამოიხატება, რომ დედამიწა მზის გარშემო სრბოლავს ანუ მზის გარშემო მოიქცევა. დაახლოებით 150 მილიონი კილომეტრით მზეს დაშორებული დედამიწა მზის გარშემო თითქმის წრიულ გზას შემოწერს. ამ გარემოქცევის სიჩქარე ისეთია, რომ დედამიწა ერთ სრულ წრეწირს ერთი წელიწადის (დაახლოებით 365 დღე-ღამის) განმავლობაში ასრულებს. მაშასადამე, ყოველ წამში იგი 30 კილომეტრამდე მანძილს გადის.

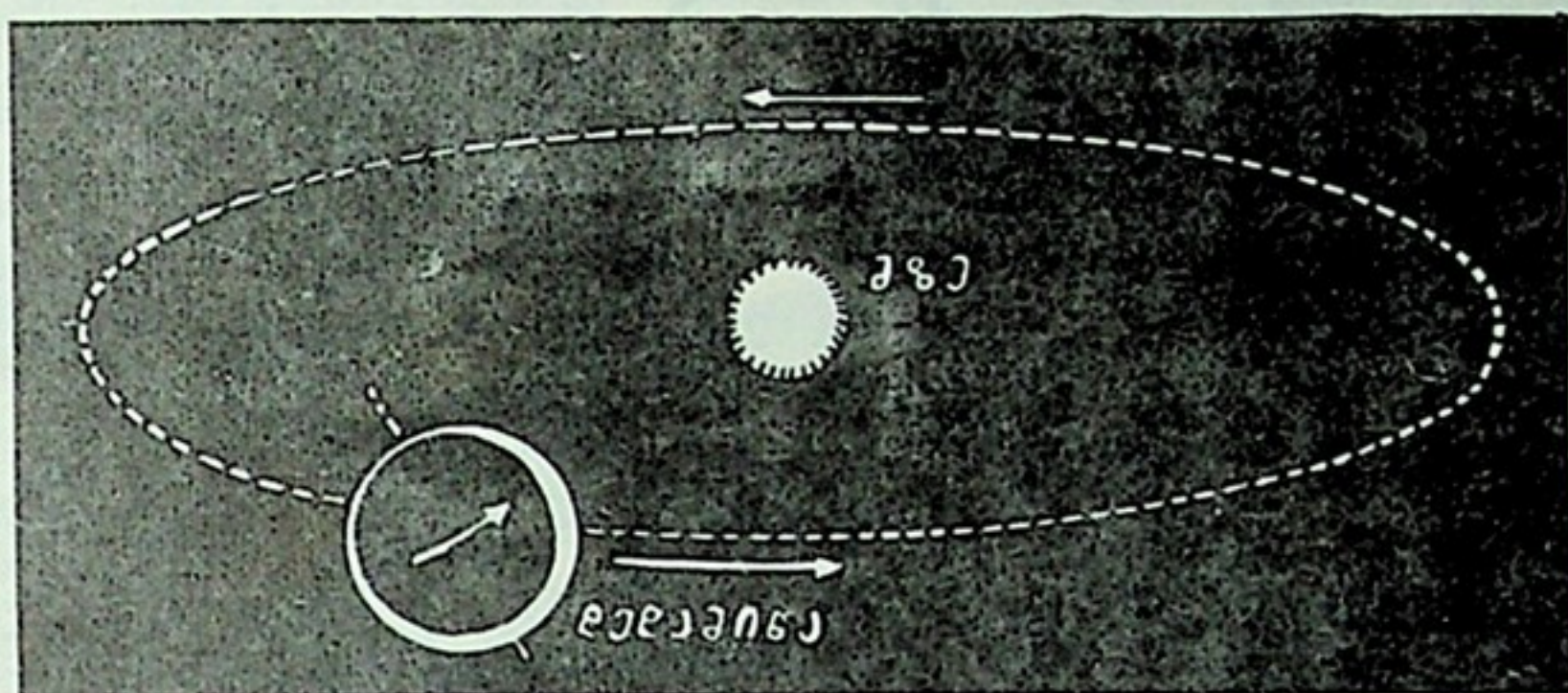
ერთი სიტყვით, ბრუნავს რა თავისი ღერძის ირგვლივ, დედამიწა შემოირბენს აგრეთვე მზის გარშემო და ვიდრე მთელ წლიურ წრეს შემოწერდეს, 365-ჯერ შემობრუნდება საკუთარი ღერძის ირგვლივ, ე. ი. 365 დღე-ღამე გაივლის.



მზის გარშემო დედამიწის ნამდვილი მოძრაობა მზის იმ ხილულ, მოჩვენებით გადანაცვლებაში გამოიხატება ცაზე, ვარსკვლავების ფონზე, რომელიც დაწვრილებით დავასურათეთ ზემოთ 88-ე ნახაზით.

დედამიწის ორი ნამდვილი მოძრაობის (საკუთარი ღერძის ირგვლივ და მზის გარშემო) ილუსტრაციას წარმოადგენს 99-ე ნახაზი.

მაგრამ, თუ საკითხს მკაცრად და უფრო ზუსტად განვიხილავთ, ვერ ვიტყვით, რომ დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო ზუსტად წრიულია; იგი ერთ-



ნახ. 99

გვარად გაწელილია, სინამდვილეში ელიფსურია. მზე ამ ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში იმყოფება; დედამიწიდან მზემდე მანძილი ყოველ მომენტში, ანუ ელიფსის ნებისმიერ წერტილში, სათანადო რადიუს-ვექტორით გამოიხატება. დედამიწიდან მზემდე მანძილი, ცხადია, წლის განმავლობაში იცვლება, თუმცა შედარებით მცირე ფარგლებში. ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობა — 150 მილიონი კილომეტრი — მხოლოდ საშუალო და ისიც მიახლოებითი მნიშვნელობაა. როცა დედამიწა ელიფსის იმ ფოკუსის ახლო იმყოფება, რომელშიც მოთავსებულია მზე, მზე-დედამიწის მანძილი უმცირესია და დაახლოებით  $147.1 \cdot 10^6$  კმ-ია; უდიდესი მანძილი კი  $152.1 \cdot 10^6$  კმ-ს უახლოვდება.

ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწის სრბოლის ელიფსი არაა დიდად გაწელილი, ე. ი. მისი ექსცენტრისიტეტი მცირეა.

**§ 69. დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი.** იმისთვის, რომ სრული პასუხი გავცეთ წინა პარაგრაფში დასმულ კითხვას, უნდა განვმარტოთ მეორე მოვლენა, რომელიც დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრასა და სივრცეში მის მდებარეობას შეეხება.

დედამიწის ბრუნვის ღერძი დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი და ამ დახრის კუთხე ყოველთვის ერთი და იგივეა; არ იცვლება არც მისი სიდიდე ( $66\frac{1}{2}^\circ$ ) და არც ღერძის მიმართულება\*.

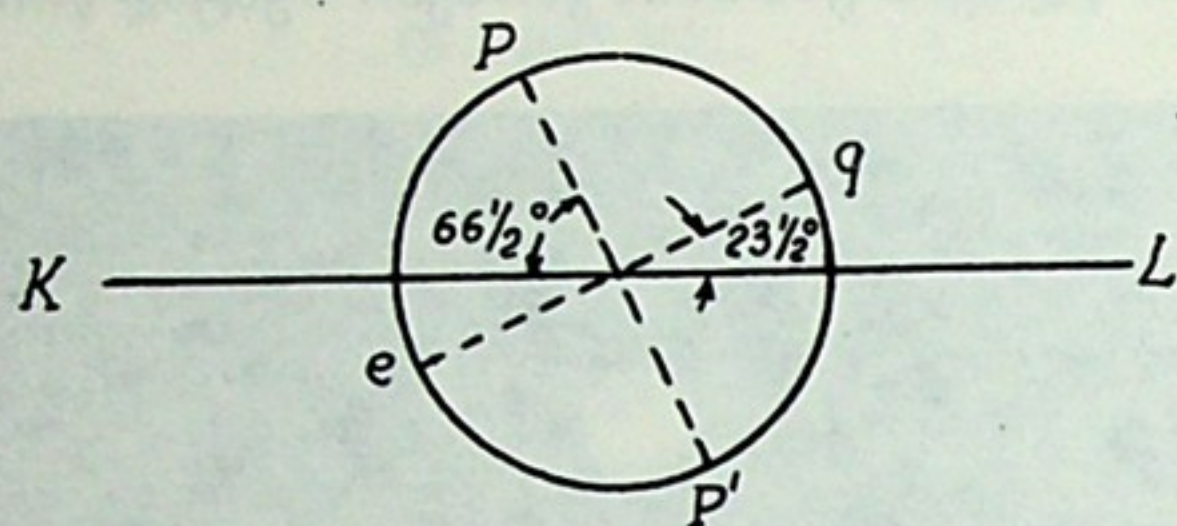
მე-100 ნახაზზე  $KL$  წრფეწირი ეკლიპტიკის სიბრტყეს გამოსახავს. ამავე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწა, რომლის ბრუნვის ღერძი  $pp'$   $66\frac{1}{2}^\circ$ -იან კუთხეს ადგენს  $KL$ -თან. მაშასადამე, კუთხე დედამიწის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას

\* სინამდვილეში იცვლება, ოღონდ ერთობ ნელა, დროის ძალიან დიდ მონაკვეთებზეც შეუმჩნევლად (იხ. ქვემოთ).



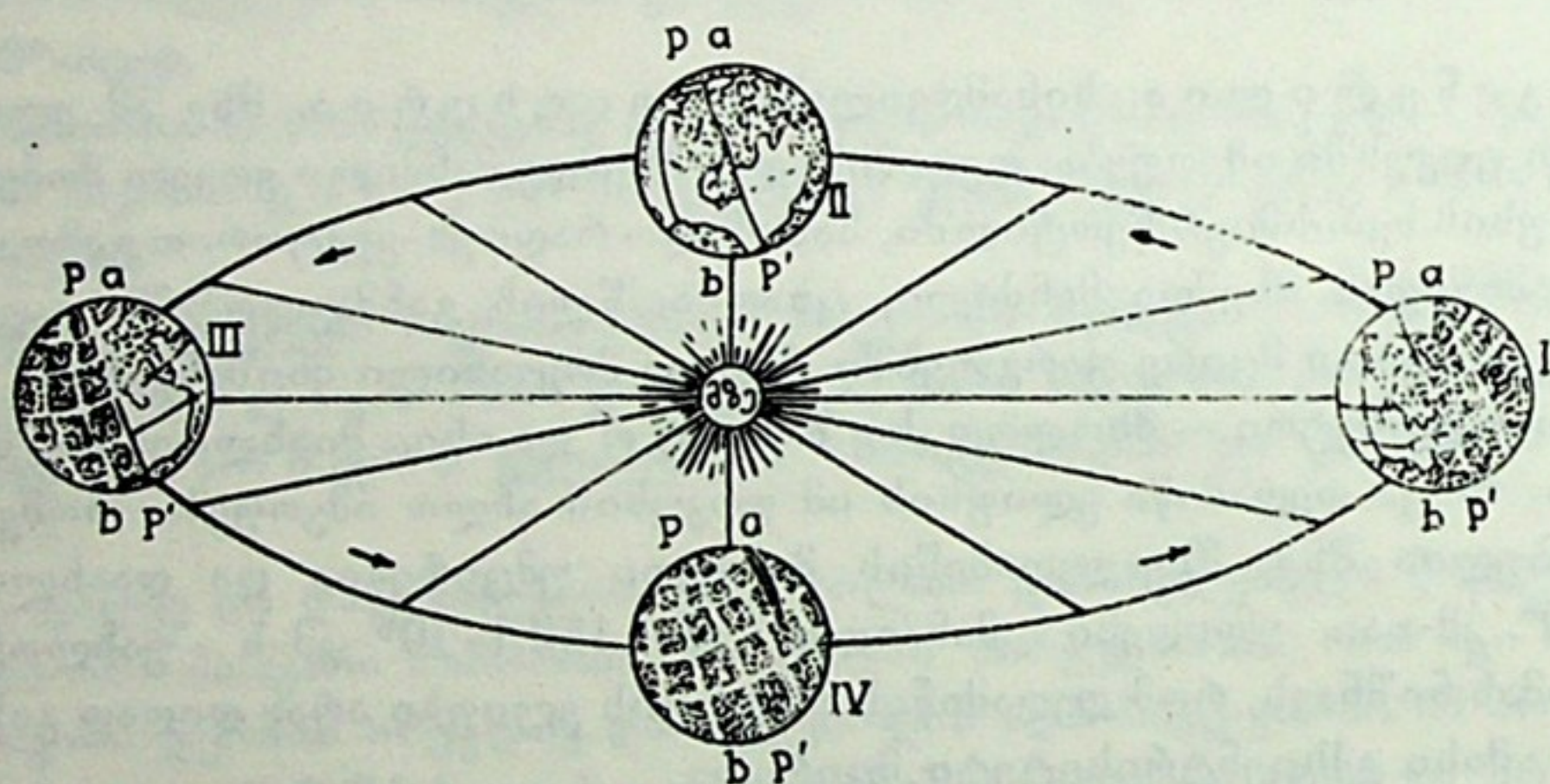
შორის  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. რამდენადაც ცის ეკვატორი წარმოადგენს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთას ცის სფეროსთან, აქედან ვასკვნით, რომ ცის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთხეც  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია.

არსებითად მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი მუდმივია და უცვლელადაა მიმართული, სადაც არ უნდა მდებარეობდეს დედამიწა თავის წლიურ გზაზე მზის გარშემო,



ნახ. 100

ე. ი. წლების მანძილზე ღერძი  $PP'$  მუდამ ერთნაირად არის მიმართული და მუდამ თავისი თავის პარალელური რჩება.



ნახ. 101

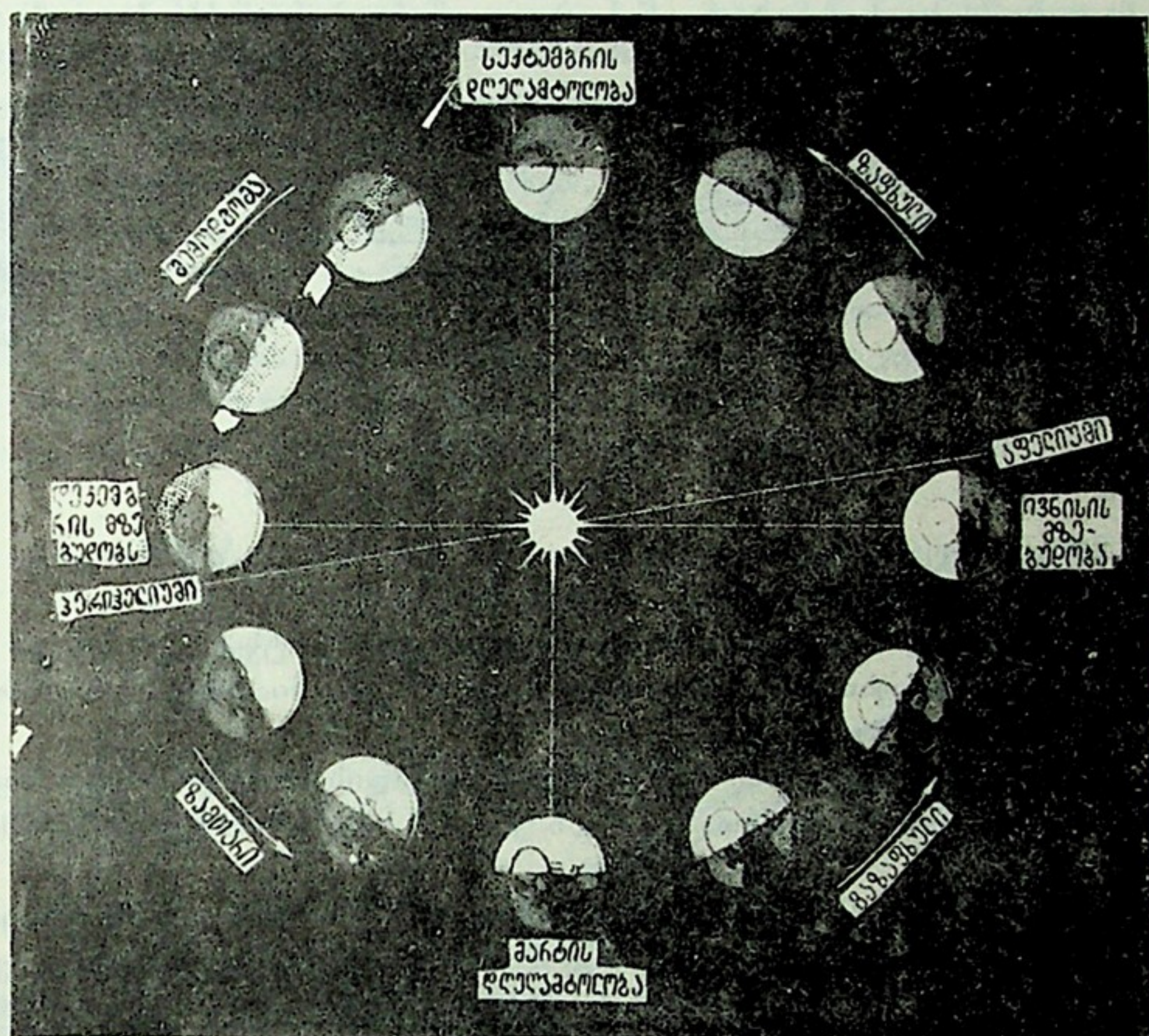
უფრო ნათლად ეს დასურათებულია 101-ე ნახაზზე, სადაც დედამიწის გზაზე მზის გარშემო დედამიწა აღნიშნულია მის ოთხ (I, II, III, IV) მდებარეობაში და ყველგან  $PP'$  ღერძის მიმართულება ერთი და იგივეა.

ახლა სასარგებლოა, დავხედოთ შემდეგ 102-ე ნახაზსაც და ზემოთ მოყვანილთან ერთად აღვიქვათ იგი.

როგორც ვიცით, ღერძი  $PP'$  ამავე დროს სამყაროს ღერძის მიმართულებასაც გამოხატავს და მიუთითებს პოლარული ვარსკვლავისაკენ, რომლის გარშემო მთელი ცის სფერო ხილულ დედამიწურ ბრუნვას ასრულებს. როგორც დაკვირვება გვარწმუნებს, წლის განმავლობაში პოლარული ვარსკვლავის მდებარეობა უცვლელია, რაც იმას მოწმობს, რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის მიმართულება მართლაც ერთი და იგივეა.



§ 70. წელიწადის დრონი (სეზონები). მდებარეობაში, რომელიც 101-ე ნახაზზე აღნიშნულია  $I$ -ით, დედამიწა იმყოფება 22 ივნისს. ამ დროს წრეწირი, რომელიც დედამიწის განათებულსა და გაუნათებელ ნახევარსფეროების მიჯნას წარმოადგენს ( $ab$ ), ისე მდებარეობს, რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის ჩრდილოეთი ნახევარი განათებული ნახევარსფეროს მხარეზეა და ჩრდილოეთი პოლუსი



ნახ. 102

$p$  მზის აკენ არის გადახრილი  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით ( $ap$  რკალი  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს ეტოლება). ამიტომ ჩრდილოეთ პოლარულ წრეში მზე სრულიად არ ჩადის პორიზონტის ქვეშ; დედამიწა თავისი ღერძის იგრვლივ თუნდაც მთლიანად რომ შემობრუნდეს (ე. ი. განვლოს 24 საათმა), ღერძის აღნიშნული დახრის გამო ეს სარტყელი მზით განათებული რჩება.

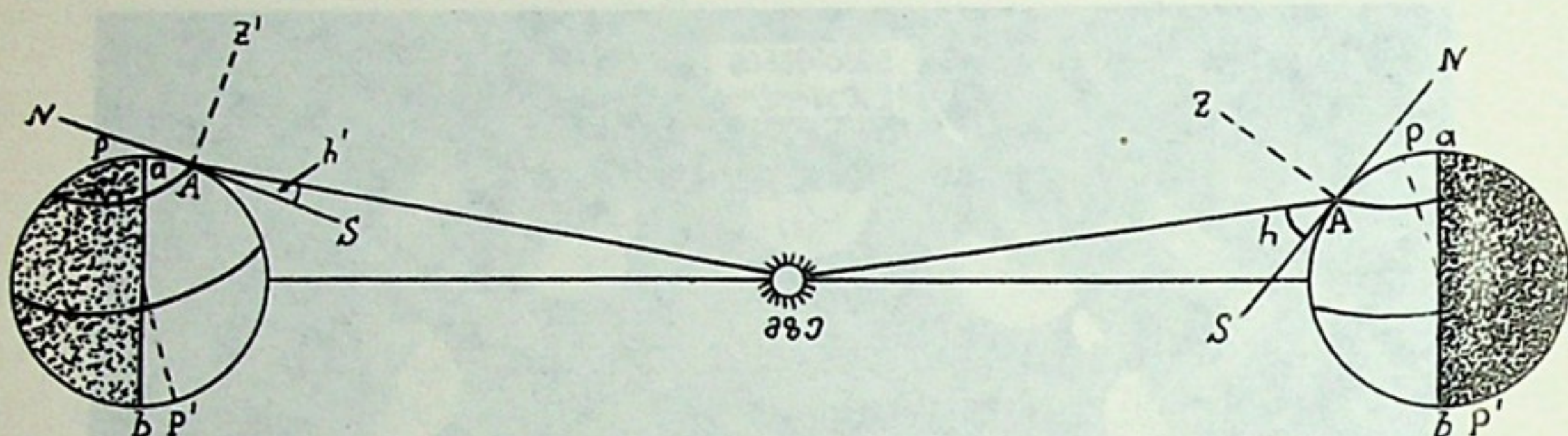
რაც შეეხება ჩვენი ჩრდილოეთი ნახევარსფეროს ზომიერ სარტყელს, აქ მზე შუადღისას საკმაოდ მაღლაა პორიზონტიდან. ეს 101-ე ნახაზზე ჩანს, მაგრამ მეტი თვალსაჩინოებისათვის მოყვანილია 103-ე ნახაზიც, სადაც დედამიწის I მდებარეობა უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ. აქ  $A$  დამკვირვებლისათვის გავლებულია პორიზონტი  $NS$  (როგორც დედამიწის სფეროს მხები  $A$  წერტილში) და შვეული მიმართულება  $AZ$ .  $A$  წერტილის გეოგრაფიული განედი საკმაოდ მაღალია —  $60^{\circ}$ -მდე.  $A$  ეკვატორსა და პოლუსს შორისაა.

$A$  დამკვირვებლის მერიდიანს წარმოადგენს  $pAp'$  წრეწირი. მის სიბრ-





ტყეში იმყოფება ამ დროს მზე. მაშასადამე, სურათი შეესაბამება  $A$ -ნათვის შუადღის მომენტს. მზის სიმაღლე ჰორიზონტიდან გამოიხატება  $h$  კუთხით, რომელიც საკმარისად დიდია და სწორი კუთხის თითქმის  $2/3$ -ს შეადგენს. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ამ დროს მზე ჰორიზონტიდან ძალიან მაღლაა და ცხელა. დღე უფრო გრძელია, ვიდრე ღამე. ეს იქიდან ჩანს, რომ დედამიწის ჩრდი-



ნახ. 103

ლოეთ ნახევარსფეროს პარალელები მათი მეტი ნაწილით განათებულ ნახევარსფეროში იმყოფება (ნახაზზე —  $ab$ -ს მარცხნივ).

სამხრეთ ნახევარსფეროში, პირიქით, პოლარული სარტყელი და მასთან ერთად სამხრეთი პოლუსი ( $p'$ ) გაუნათებელ ნახევარსფეროშია მოქცეული და ამიტომ აქ მზე სულაც არ ამოდის ამ დროს.

დედამიწის I მდებარეობა შეესაბამება წელიწადის იმ დროს, როცა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში (ჩვენთან) ზაფხულია, ხოლო სამხრეთში — ზამთარი.

განვიხილოთ ახლა III მდებარეობა იმავე 101-ე ნახაზზე. ეს მდებარეობა 22 დეკემბერს შეესაბამება. ამ დროს დედამიწის განათებული და გაუნათებელი ნახევარსფეროების მოსაზღვრე წრეწირი ( $ab$ ) ისე მდებარეობს, რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის ჩრდილოეთი ბოლო გაუნათებელი ნახევარსფეროს მხარეზეა, ჩრდილოეთი პოლუსი ( $p$ ) მზის საწინააღმდეგო მხარეზეა გადახრილი  $23\frac{1}{2}^\circ$ -ით ( $ap$  რკალი), სამხრეთისაკი — მზისაკენ არის მიქცეული იმავე სიდიდით. ამის გამო ჩრდილოეთ პოლარულ სარტყელში მზე სრულიად არ ამოდის ჰორიზონტის ზემოთ, არ ჩანს, მაშასადამე, ღამეა.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზომიერ სარტყელში ამ დროს მზე შუადღისას საკმაოდ დაბლაა. უფრო თვალსაჩინოდ ეს 103-ე ნახაზზე ჩანს (მარცხნივ).  $A$  დამკვირვებელი იმავე  $60^\circ$ -იან განედზეა. მზის სიმაღლე ჰორიზონტიდან  $h'$  კუთხით გამოიხატება. ეს უკანასკნელი  $h$ -თან შედარებით შესამჩნევად ნაკლებია. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ამ დროს მზე დაბლაა და ცივია; დღე მოკლეა და ღამე — გრძელი; მართლაც, დედამიწის პარალელები დიდ ნაწილით გაუნათებელ ნახევარსფეროშია.

სამხრეთ ნახევარსფეროში, პირიქით — პოლარული სარტყელი და სამხრეთი პოლუსი განათებულ ნახევარსფეროშია. ამიტომ იქ მზე არ ჩადის ჰორიზონტის ქვეშ ამ დროს და, მაშასადამე, დღეა.

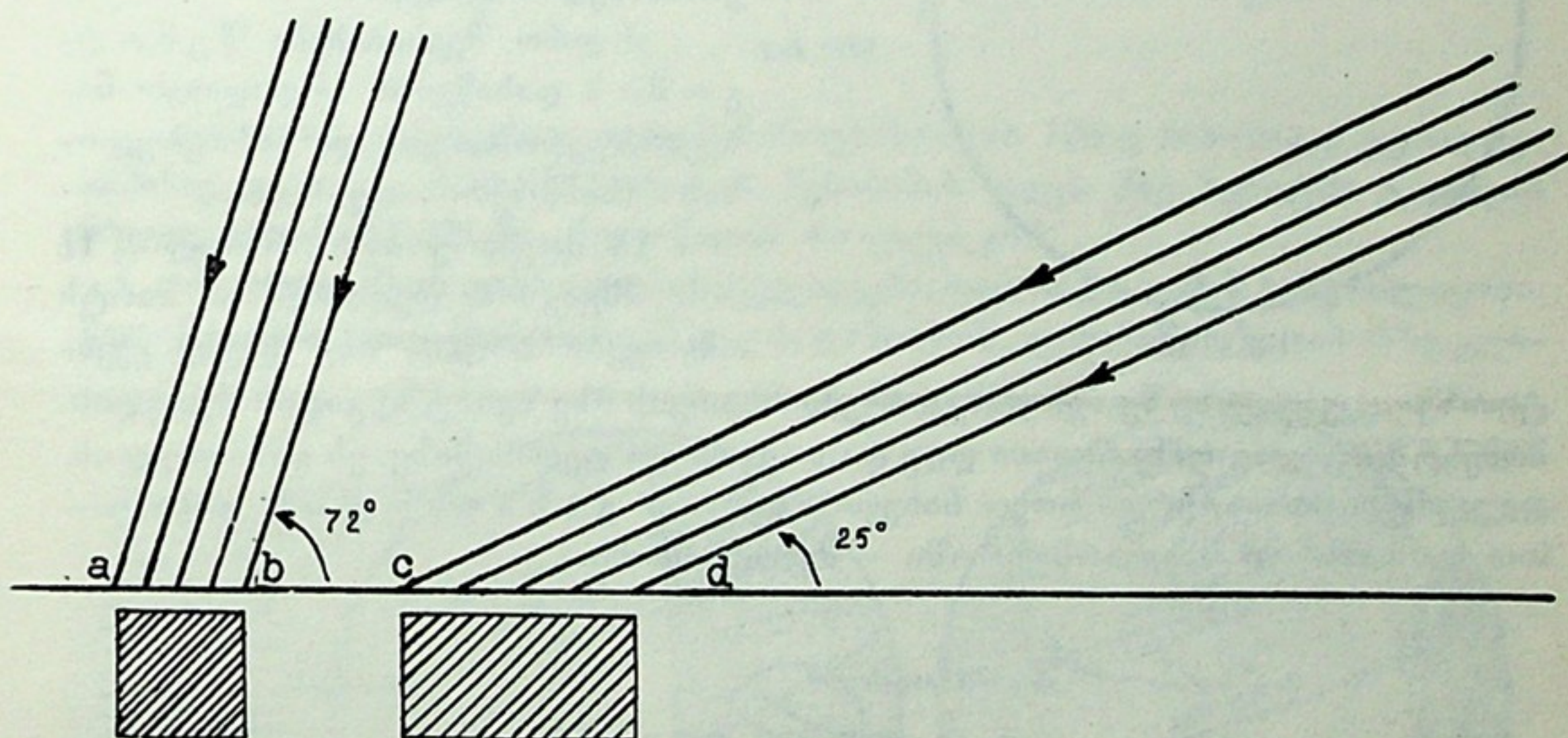
დედამიწის III მდებარეობა შეესაბამება წელიწადის იმ დროს, როცა ჩრდი-



ლოეთ ნახევარსფეროში (ჩვენთან) ზ ა მ თ ა რ ი ა, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში — ზაფხული.

ზემოთ აღწერილი 2 სეზონი — ზაფხული და ზამთარი — ერთსა და იმავე ნახევარსფეროში ნახევარი წლით არის დაშორებული ერთიმეორისაგან, რამდენადაც ისინი შეესაბამებიან დედამიწის ორ — დაახლოებით ელიფსის დიდ ღერძზე ერთიმეორის მოპირდაპირე — მდებარეობას.

ყურადღებამისაქცევია ის გარემოება, რომ დედამიწა უფრო ახლო იმყოფება მზესთან III მდებარეობაში, ვიდრე I-ში. მაგრამ ჩვენთან სწორედ ამ ახლო მდებარეობაშია ცივი სეზონი — ზამთარი. რატომ ხდება ასე? სიტბოზე, რომელსაც მზისგან ვღებულობთ, დედამიწა-მზის მანძილის მცირე ცვალებადობას არ ჰქონია შესამჩნევი გავლენა. მთავარი ისაა, თუ როგორ იცვლება მზის სიმაღლე ჰორიზონტიდან. როგორც ვნახეთ, სწორედ უმცირესი მანძილის მომენტში (მდებარეობა III) მზე ჩვენთან — ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მცხოვრებლებთან — უფრო დაბლაა და ეს იმიტომ, რომ გადახრილია მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით დედამიწის ბრუნვის ღერძის ჩრდილოეთი ნახევარი. ამ დროს მზის სხივები ჩვენს ზომიერ სარტყელს შეეუღლად როდი ეფინება, არცთუ ახლოა ამ სხივების მიმართულება შეეუღლთან, არამედ შეესაბამება დაახლოებითა და, ამის შედეგად, გათბობა ნაკლებია, ცივა, ზამთარია.



ნახ. 104

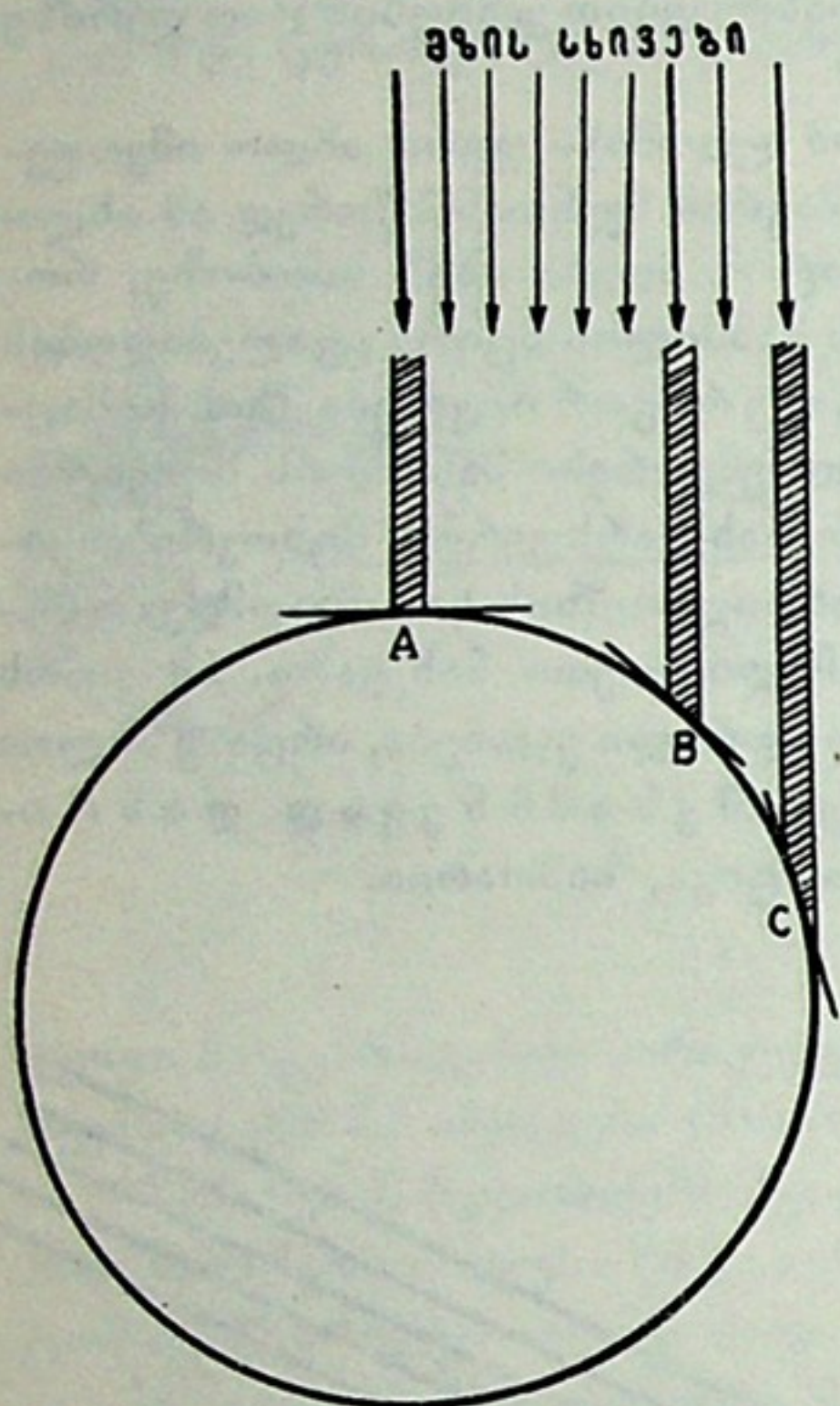
მოვიყვანოთ 104-ე ნახაზი, რომელიც თვალნათლივ გვიჩვენებს ჰორიზონტიდან მზის სიმაღლის ცვლილების ტემპერატურულ ეფექტს.

როცა „მზე მაღალია“ ( $h=72^\circ$ ), მისი სხივთკონა, რომელიც, მაგალითად, ერთი კვადრატული მეტრის განივისაა, ნიადაგზე ერთ კვადრატულ მეტრზე ოდნავ მეტ ფართობს ეფინება და მისი სიტბო ამ ფართობზე იყრის თავს. მეორე შემთხვევაში, როცა „მზე დაბალია“ ( $h=25^\circ$ ), იმავე განივის სხივთკონა დაახლოებით ხუთ კვ მეტრის ფართობზე ვრცელდება და მისი სიტბო ამ უფრო დიდ ფართობზე ნაწილდება, მაშასადამე, ფართის თითო ელემენტზე ნაკლები სიტბო მოდის. ჩვენს მაგალითში სხივთკონის დახრის კუთხეები ( $72^\circ$  და  $25^\circ$ ) შეესაბამება საქართველოს ტერიტორიაზე მზის უდიდეს (22 ივნისს) და უმცირეს (22 დეკემბერს) საშუალოდ სიმაღლეს. ადვილი მისახვედრია, რომ  $ab = \sec 18^\circ$  და



$cd = sec 65^\circ$ . მკითხველს შეუძლია თვითონ გამოითვალოს სათანადო ფართობები.

ერთგვარად განსხვავებულ ილუსტრაციას იმავე მოვლენის ასახსნელად შემდგომი 105-ე და 106-ე ნახაზები წარმოადგენენ. დამატებით განმარტებას ისინი არ საჭიროებენ.



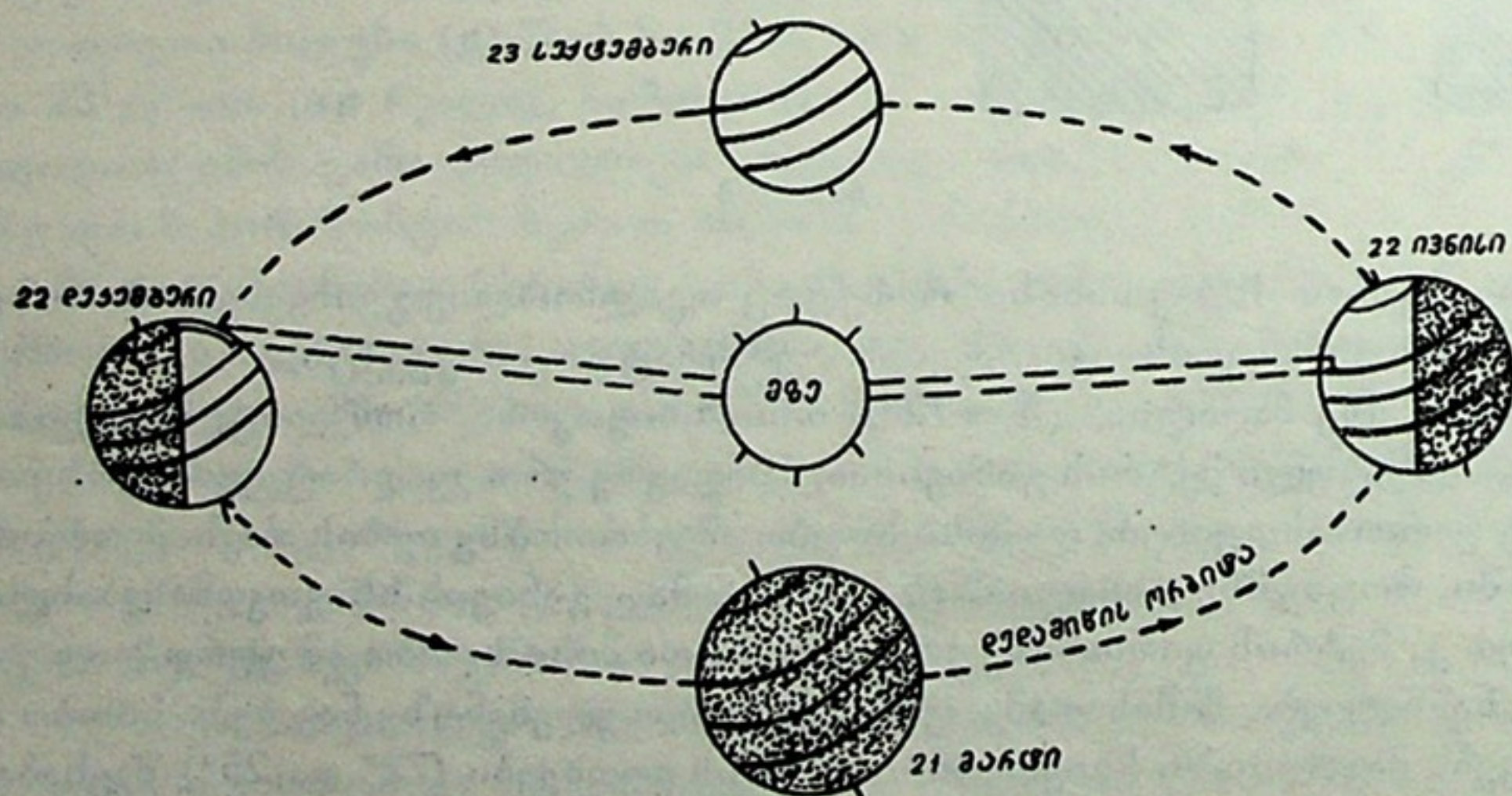
ნახ. 105

II მდებარეობაში დედამიწა 23 სექტემბერს იმყოფება. ამ დროს მზე ეკვატორის მცხოვრებისათვის შუადღზე ზუსტად ზენიტში გადის. წრეწირი, რომელიც დედამიწის განათებულ და გაუნათებელ ნახევარსფეროებს ჰყოფს, სწორედ ორივე პოლუსზე გადის. 101-ე ნახაზზე ეს წრეწირი თვით ნახაზის სიბრტყეში უნდა წარმოვიდგინოთ, დედამიწის გამომსახველი წრის თანხვედნილი. ამ დროს თითქმის მთელ დედამიწაზე დღისა და ღამის ხანგრძლივობა ერთმანეთის ტოლია.

ეს დრო შეესაბამება შემოდგომის დასაწყისს ჩრდილოეთ ნახევარსფეროსათვის და გაზაფხულისას — სამხრეთისათვის.

IV მდებარეობაში, რომელიც II-ის მსგავსია, დედამიწა 21 მარტს იმყოფება. ახლაც მზე კვლავ ეკვა-

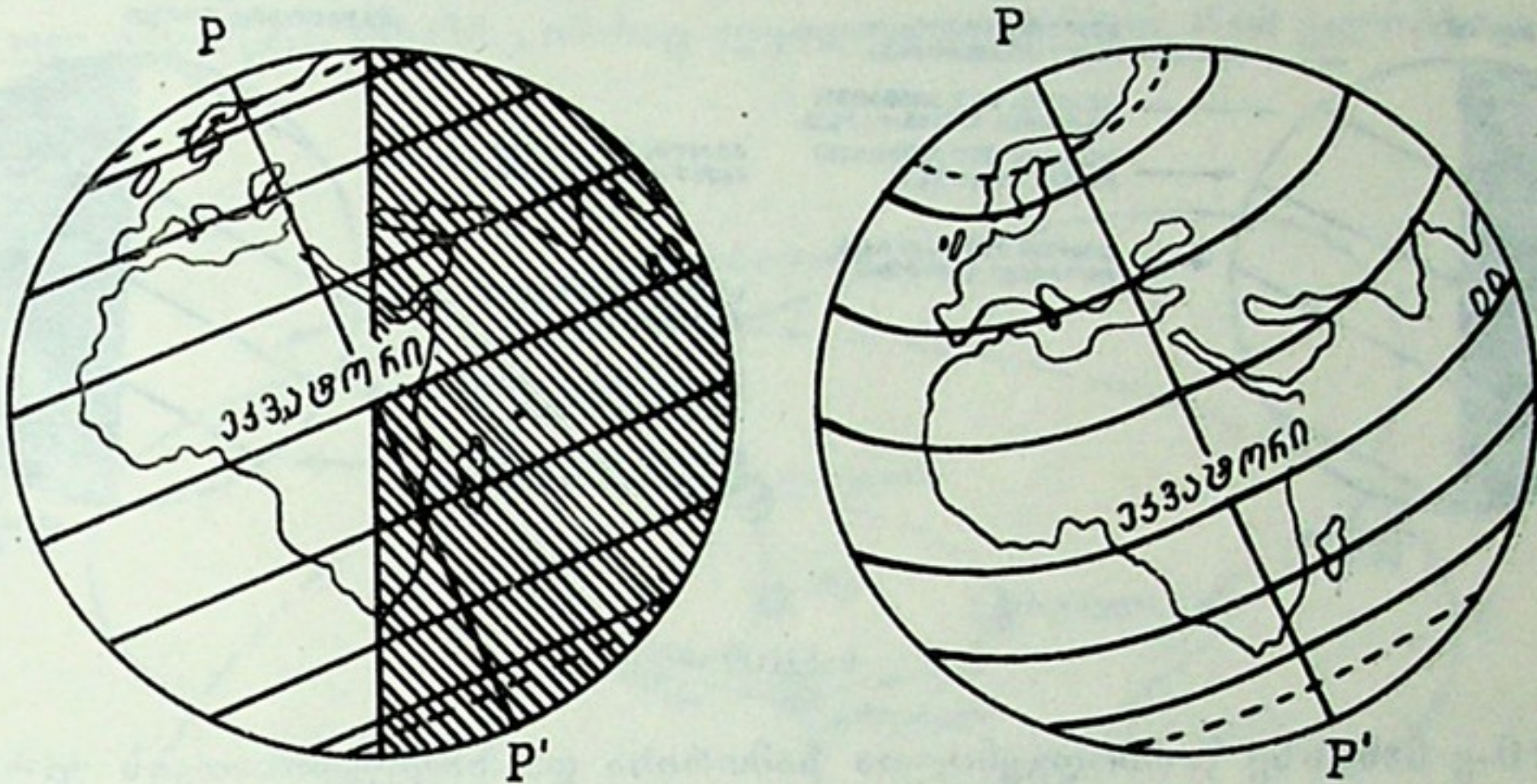
ტორზეა. ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მზე ზენიტში გადის შუადღის მომენტში. კვლავ თანატოლია დღე და ღამე მთელ დედამიწაზე. ეს გაზაფხულის დღედამტოლობაა. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გაზაფხულის დასაწყისია და სამხრეთ ნახევარსფეროში — შემოდგომისა.



ნახ. 106



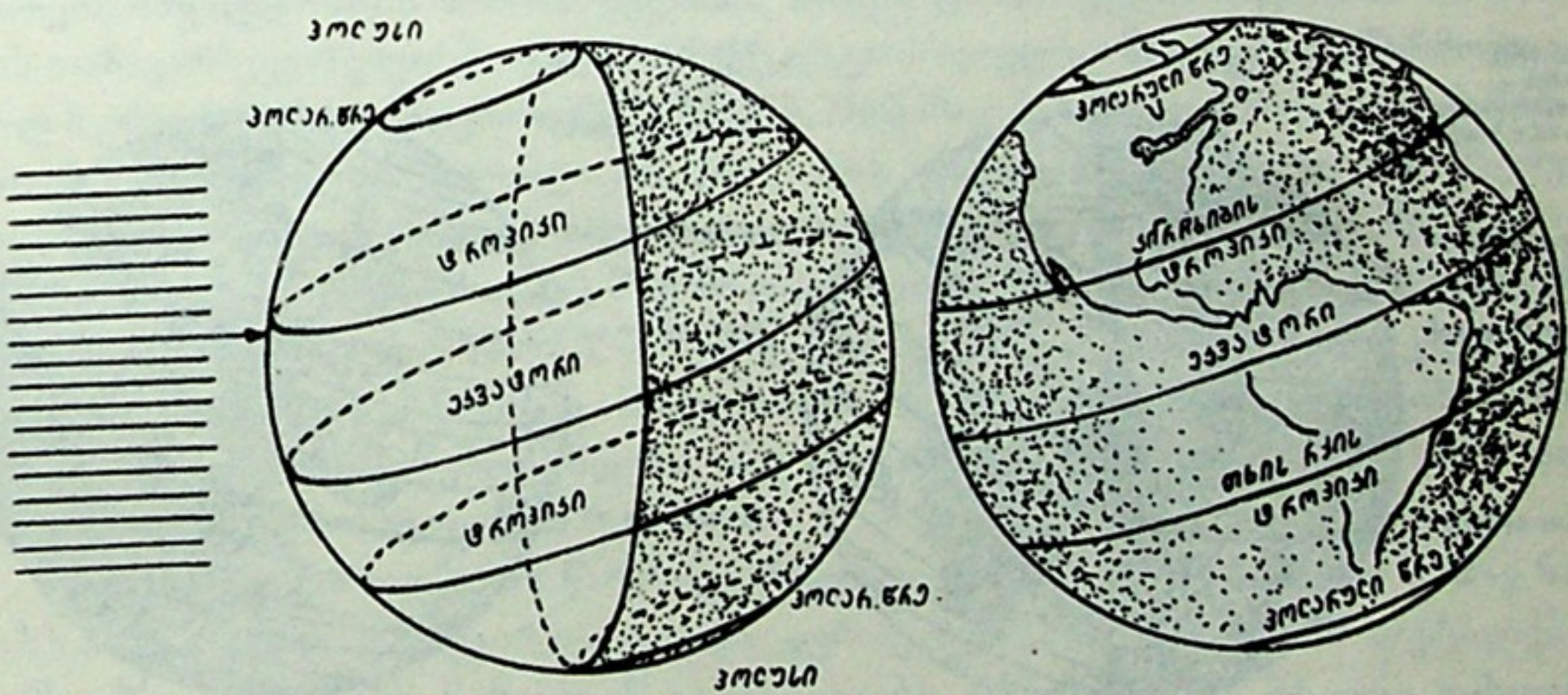
მოვიყვანოთ 107-ე ნახაზი, სადაც გამოხატულია, თუ როგორ არის განათებული მზით დედამიწა ზაფხულის მზებუდობისა (მარცხნივ) და გაზაფხულის ან შემოდგომის დედამეტოლობის დროს (მარჯვნივ; დღისა და ღამის გამყოფი წრე-წირი გადის ორივე პოლუსზე).



ნახ.107

დაბოლოს, დავხედოთ თვალსაჩინოებისათვის 108-ე ნახაზსაც. ყურადღება მისაქცევია ის, რომ ამ სურათის შესაბამის დღეს მზე ზენიტში გადადის ჩრდილოეთის ტროპიკზე. წელიწადის რა დღეა ეს?

ამგვარად, მზის დახრილობის ცვლილება, დღისა და ღამის ხანგრძლივობა, წელიწადის დროთა (სეზონების) ცვლა, დაბოლოს, დედამიწის ზედაპირზე კლი-



ნახ.108

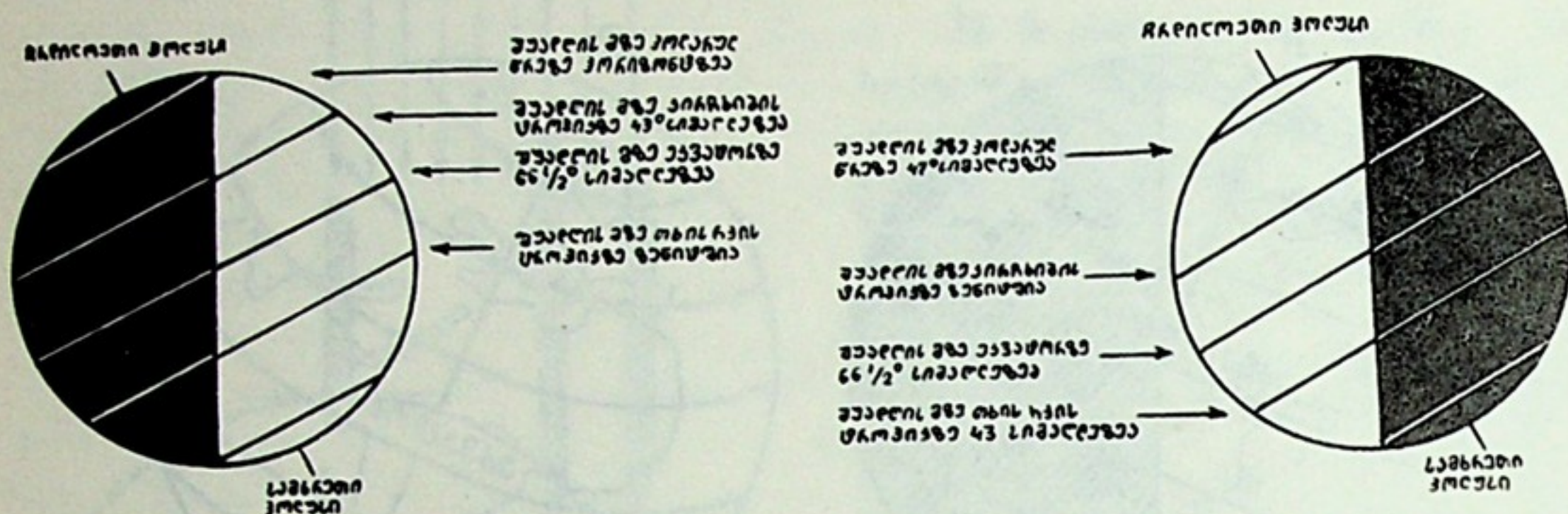
მატური სარტყელების განლაგებაც განპირობებულია მით, რომ დედამიწა თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავს, მზის გარშემო სრბოლავს და ამასთანავე მისი საკუთარი ბრუნვის ღერძი სულ ერთი, უცვლელი მიმართულებითა და ეკლიპტიკისადმი უცვლელი კუთხით არის დახრილი. ღერძის დახრის კუთხე რომ სხვა სიდიდის ყოფილიყო, სხვა იქნებოდა კლიმატური პირობების განაწილებაც დედამიწაზე.

იმისათვის, რომ გასამეორებლად მოგავლოთ თვალი განვლილ მასალას და



განვამტკიცოთ შეძენილი წარმოდგენები, სასარგებლოა ყურადღებით განვი-  
ხილოთ შემდეგი ნახაზები.

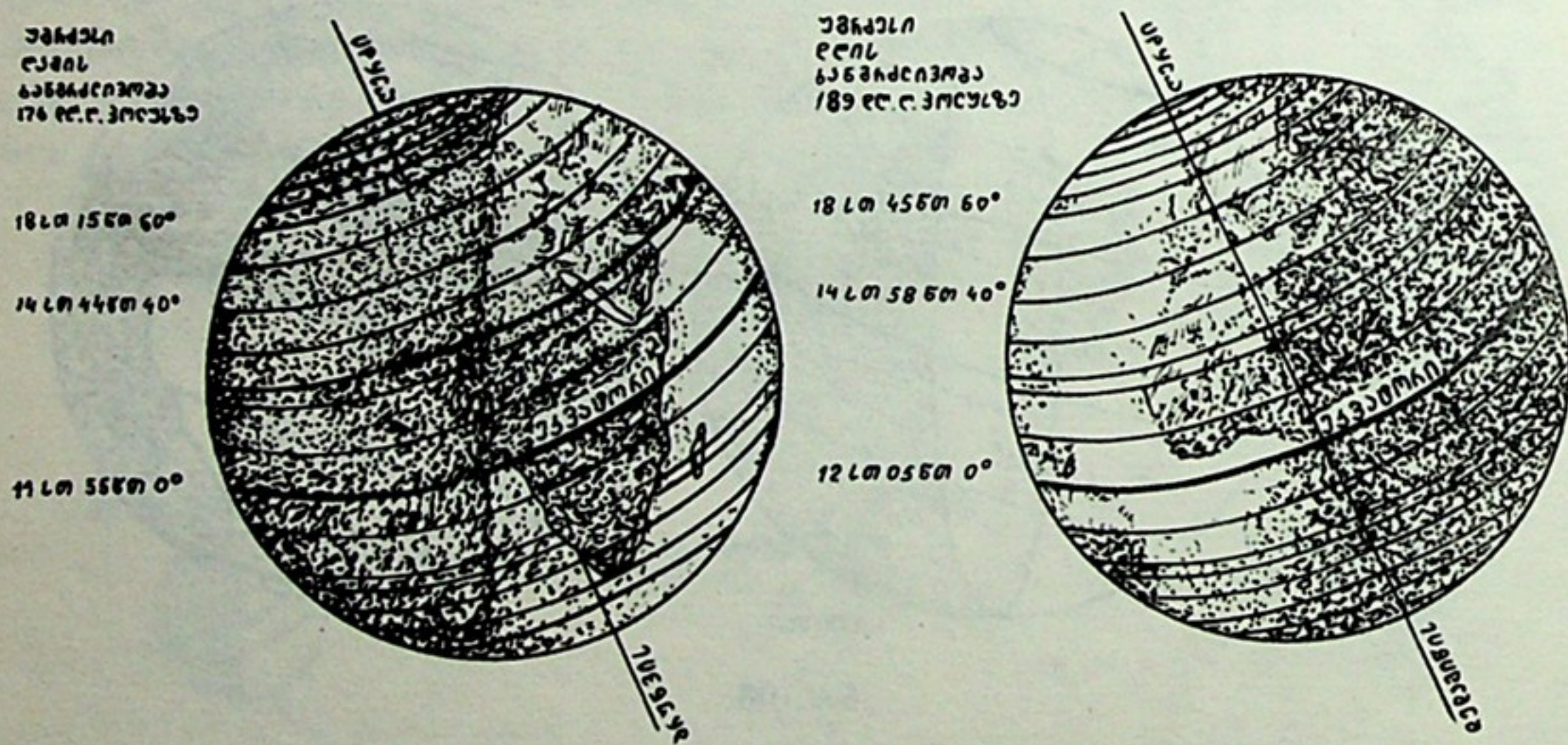
109-ე ნახაზის მარცხენა ნაწილი შეესაბამება ჩრდილოეთ ნახევარსფერო-  
სათვის ზამთარს, ხოლო მარჯვენა—ზაფხულს. ნახაზი არ მოითხოვს დამატებით  
განმარტებას.



ნახ.109

110-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ზამთრისა და ზაფხულისათვის უგრძესი  
დამისა და უგრძესი დღის ხანგრძლივობანი დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსის,  
ეკვატორისა და  $60^\circ$  და  $40^\circ$  განედებისათვის, შესაბამისად.

მკითხველმა თვითონ ახსნას, აქ რატომ განსხვავდება ერთიმეორისაგან  
უგრძესი დამისა და უგრძესი დღის ხანგრძლივობანი ან რატომ განსხვავდება  
დღის და დამის ხანგრძლივობა ეკვატორზე 12 საათისაგან (ამ უკანასკნელ კით-  
ხვას მკითხველი უპასუხებს მას შემდეგ, რაც რეფრაქციის მოვლენას გაეცნობა).



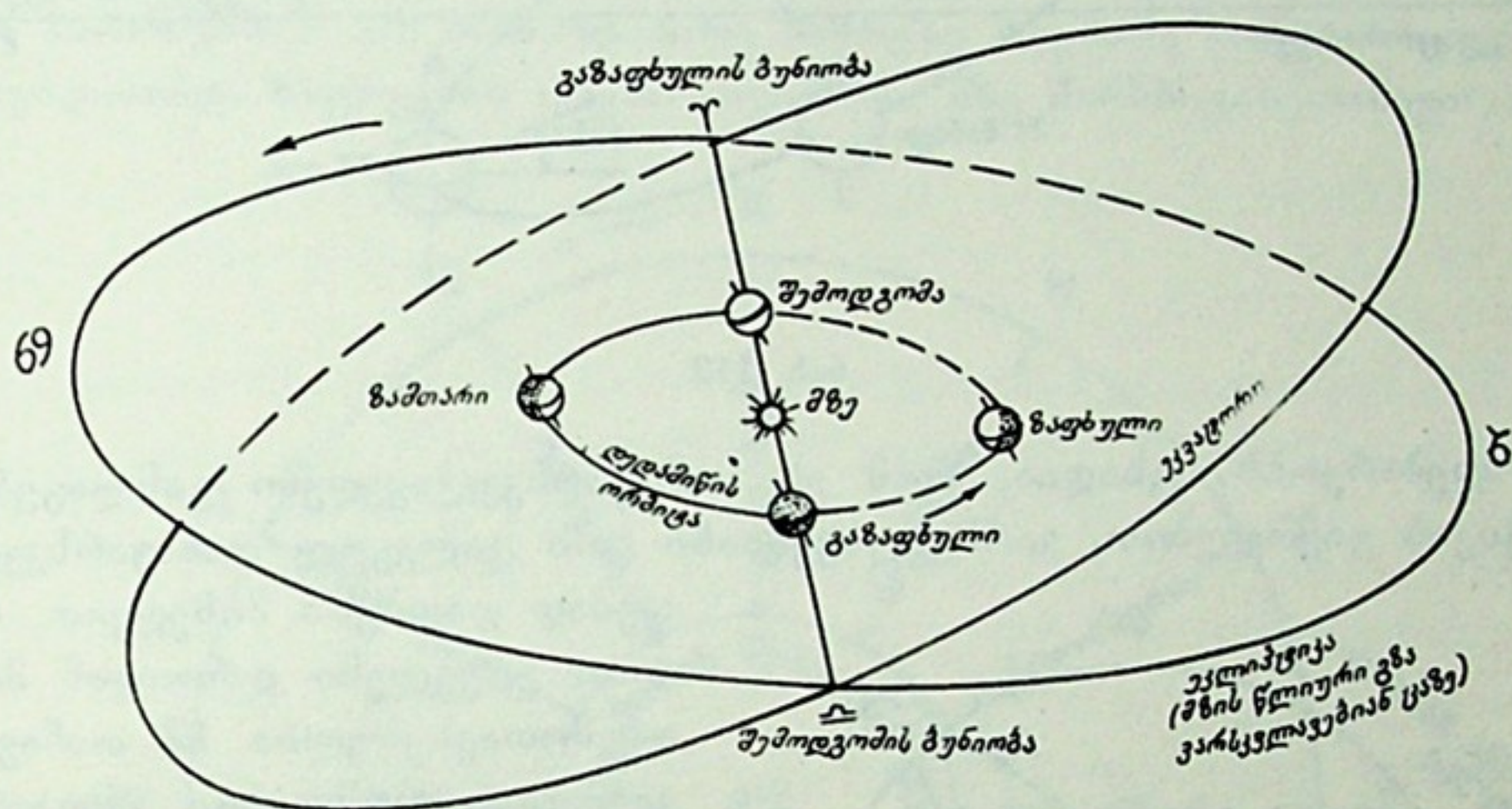
ნახ.110

§ 71. შხის თანმიმდევრული მდებარეობანი ეკლიპტიკაზე. ზოდიაქოს თანა-  
ვარსკვლავულები. 111-ე ნახაზზე წარმოდგენილი გვაქვს ეკლიპტიკისა და ცის  
ეკვატორის სიბრტყეები. ეკლიპტიკის სიბრტყეში, ეკლიპტიკის წრეწირის შიგ-  
ნით შემოხაზულია დედამიწის ორბიტა, აღნიშნულია დედამიწის 4 სეზონური



მდებარეობა, ნახვენებია მისი ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი. ისრები უჩვენებს დედამიწის წლიური მოქცევისა და ვარსკვლავებიან ცაზე მზის წლიური გადაადგილების მიმართულებებს.

მივაქციოთ ყურადღება, მაგალითად, დედამიწის მდებარეობას ზაფხულში. ამ დროს მზე იმყოფება ცაზე მარჩბივისა ან კირჩხიბის თანავარსკვლავედში (დ); შუადამის მახლობლობაში, კულმინაციაშია მშვილდოსნის და თხისრქის თანავარსკვლავედი (ზ). ნახაზზე იმასაც აღვიღად გავარჩევთ, რომ ეკლიპტიკა ეკვა-



ნახ.111

ტორზე უფრო დაბლა, სამხრეთით მდებარეობს. ზამთარში, პირიქით, მზე დაიბნირება მშვილდოსნის მიმართულებით, ხოლო ღამით კულმინაციაშია მარჩბივის თანავარსკვლავედი და ეკლიპტიკა ეკვატორზე უფრო მაღლაა. აქ წარმოდგენილ სურათზეც ყურადღებასაქცევია ის, რომ მზე, მას შემდეგ რაც ვერძის წერტილს (წ) გაივლის, ეკლიპტიკის წრეწირის იმ ნაწილზე მსვლელობს, რომელიც ეკვატორის „ზემოდან“ ანუ ჩრდილოეთ მხარეზე მდებარეობს. შემოდგომის ბუნიობის წერტილში (ს) მზე ჩრდილოეთიდან სამხრეთ ნახევარსფეროში გადადის. როგორც დედამიწის ნამდვილი მოძრაობა, ისე მზის პერსპექტიული გადაადგილება ცაზე, წლის განმავლობაში, საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ხდება, თუ ჩრდილოეთიდან ვუყურებთ, ანუ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით.

ცოტა სხვაგვარად არის წარმოდგენილი თითქმის იგივე სურათი 112-ე ნახაზზე. თუ მასაც დავაკვირდებით და ყურადღებას მივაქცევთ იმ დეტალებს, რომლებიც ამ ნახაზს წინასაგან განასხვავებს, კიდევ უფრო მტკიცე გახდება ჩვენი წარმოდგენა განხილულ საკითხზე.

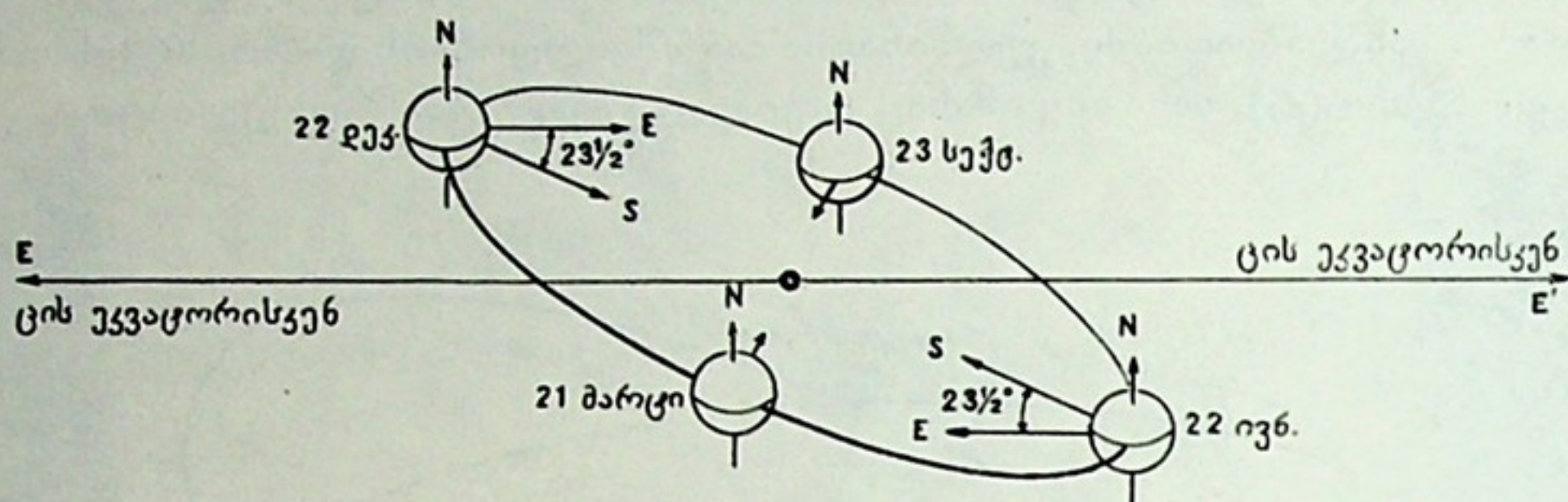
ამის შემდეგ განვიხილოთ უფრო სრული 113-ე ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია მზე, დედამიწა მისი წლიური ორბიტითურთ და ცის სფერო, მასზე შემოწერილი ეკვატორისა და ეკლიპტიკის წრეებით.

წინა ორი ნახაზისაგან ეს უკანასკნელი მით განსხვავდება კიდევ, რომ სხვაგვარად ორიენტირებულია. წინა ნახაზს ვუყურებდით ისე, თითქოს გაზაფხულის წერტილში მდებარე დედამიწის გამოსახულება იყო მკითხველთან უფრო ახლო;



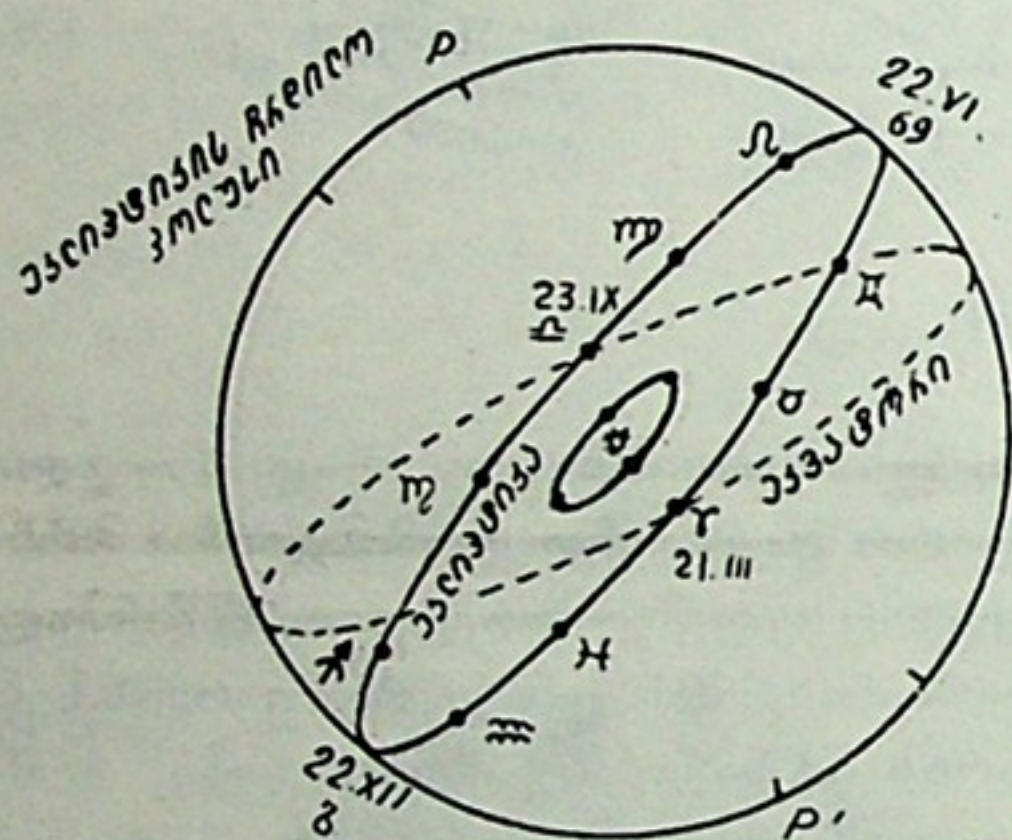
უკანასკნელს კი ისე, თითქოს შემოდგომის წერტილში მდებარე დედამიწა უფრო ახლო.

ეკლიპტიკის გასწვრივ მოცემულია 12 სხვადასხვა სახის პირობითი ნიშანი, აღნიშვნა იმ თანავარსკვლავედებისა, რომლებშიც მზე წელიწადის სხვადასხვა



ნახ. 112

დროს მდებარეობს. ცხადია, რომ ეს თანავარსკვლავედები განლაგებულია ეკლიპტიკის გაყოლებით, ვარსკვლავებიანი ცის ცალკეულ თანავარსკვლავე-



ნახ. 113

დებად დაყოფის მიხედვით, რომელიც უძველესი დროიდან მოდის. აქ მოთავსებულია 12 თანავარსკვლავედი, რომლებიც უმთავრესად ცხოველების ფიგურებს ემსგავსება და ცხოველებისვე სახელებს ატარებს.

ამიტომ, იმ წრიულ ზოლს, რომელშიც მოთავსებულია ეს თანავარსკვლავედები, ზოდიაქოს უწოდებენ, რაც „ცხოველთა წრეს“ ნიშნავს (ბერძნ. სიტყვა ჯად $\alpha\kappa\omicron\varsigma$ ) ნახაზზე ზოგან აღნიშნულია ის თარიღებიც, რომლებშიც მზე იმყოფე-

ბა შესაბამის თანავარსკვლავედებში.

ეს თანავარსკვლავედები და მათი შესაბამისი აღნიშვნები შემდეგია:

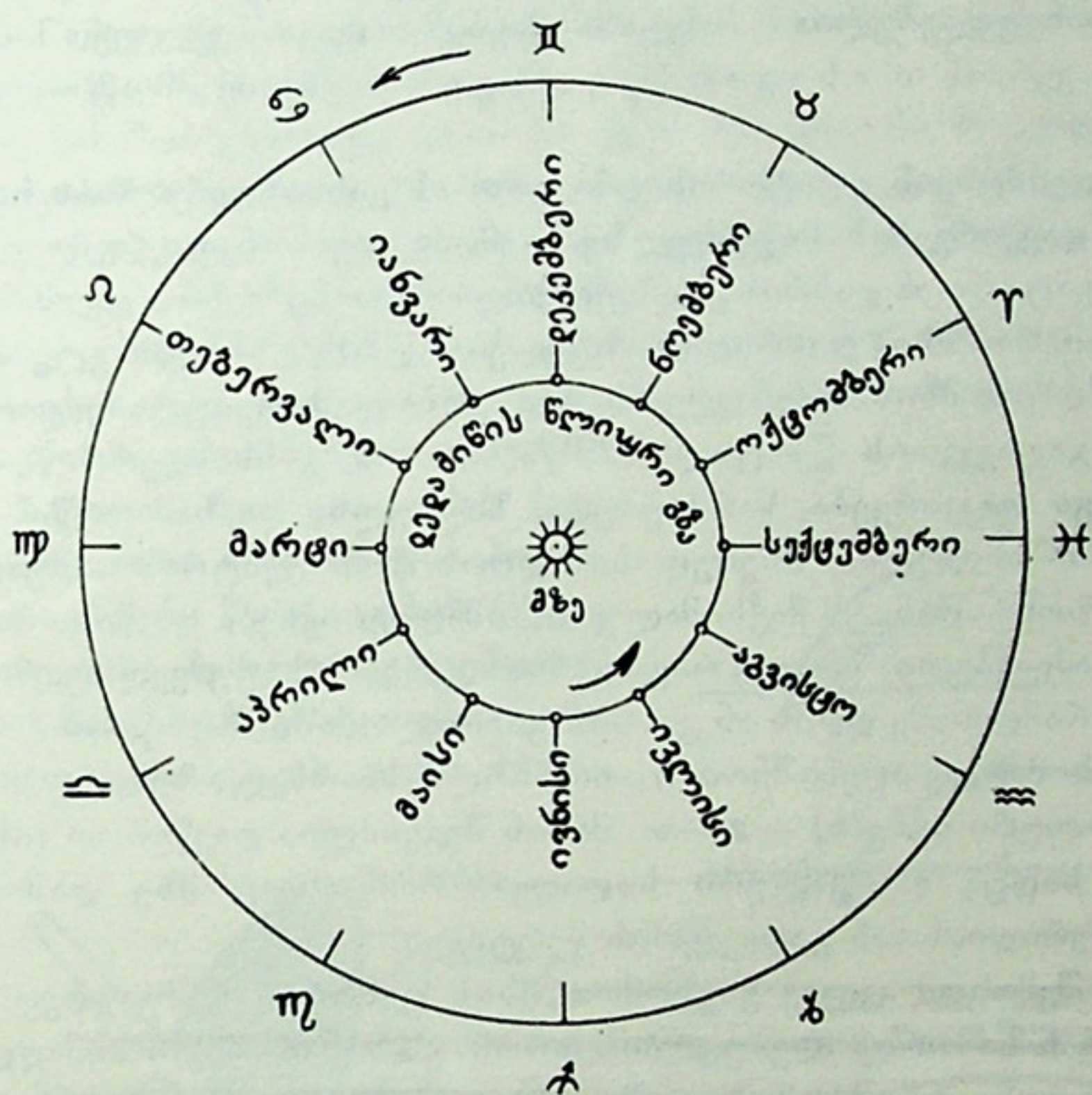
თევზები ♈	მარცხენი ♉	ქალწული ♊	მშვილდოსანი ♋
ვერძი ♌	კირჩხიბი ♍	სასწორი ♎	თხისრქა ♏
კურო/♐	ლომი ♑	დრიანკალი ♒	მერწყული ♓

თითოეულ თანავარსკვლავედს, ზოდიაქოს ზოლის გასწვრივ, დაახლოებით 30° უკავია. მაშასადამე, მზე, რომელმაც მთელი ზოდიაქოს სარტყელი 12 თვეში უნდა გაიაროს, დაახლოებით თითო თვეს იმყოფება თითოეულ თანავარსკვლავედში. ამიტომ ძველად ყოველ თვეს ზოდიაქოს სათანადო ნიშნით აღნიშნავდნენ, მაგალითად, გაზაფხულის თვეს მარტს — ვერძის ნიშნით, რადგანაც დაახლოებით 2 ათასი წლის წინ მარტში მზე სწორედ ამ თანავარსკვლავედზე გადიოდა. ეგრეთ წოდებული პრეცესიის მოვლენის გამო (იხ. ქვევით) მზის ცაზე ხილული მოძრაობის კანონზომიერებაში ერთგვარი ნელი ცვლილება ხდება. ჩვენს



ეპოქაში მზე მარტის თვეში იმყოფება ვერძის მეზობელ — თევზების თანავარსკვლავედში. მიუხედავად ამისა, მარტისა და ყველა სხვა თვის აღნიშვნები ძველებური რჩება. თევზებს, ვერძსა და კუროს გაზაფხულის თანავარსკვლავედებს უწოდებენ; მარჩბივს, კირჩხიბსა და ღომს — ზაფხულისას; ქალწულს, სასწორსა და ღრიანკალს — შემოდგომისას; მშვილდოსანს, თხისრქასა და მერწყულს — ზამთრისას.

ცხადია, რომ ის თანავარსკვლავედი, რომელშიც მოცემულ დროს მზე იმყოფება დაკვირვებისათვის ამ დროს მიუწვდომელია, სამაგიეროდ, ამ მხრივ საუკეთესო პირობებშია მის მოპირდაპირე მხარეზე მდებარე თანავარსკვლავედი. ასე, მაგალითად, ზაფხულის თვეში — ივნისში, მზე მარჩბივის თანავარსკვლა-



ნახ. 114

ვედშია და ეს უკანასკნელი ვერ დაიკვირვება — დღისითაა ცაზე. სამაგიეროდ, მშვილდოსანი, რომელიც ივნისში ზედა კულმინაციაში შუალამის მახლობლობაშია, დაკვირვებისათვის ხელსაყრელ პირობებშია. ამ თანავარსკვლავედს მზე დეკემბერში მიაღწევს; მაშასადამე, ეს ზამთრის მზებუდობის თანავარსკვლავედია, და, ცხადია, დეკემბერში იგი არ გამოჩნდება; სამაგიეროდ კი მარჩბივი კარგ პირობებში დაინახება.

ახლა შეგვიძლია მოვისაზროთ, რატომ მდებარეობს ეკლიპტიკის წრეწირი დაბლა ჰორიზონტის მიმართ ზაფხულის დამეებში და რატომაა იგი მაღლა ზამთრის დამეებში.

დასასრულს განვიხილოთ 114-ე ნახ., რომელზეც, ეკლიპტიკის სიბრტყეში მოცემულია სქემატური სურათი მზისა, დედამიწის ორბიტითურთ, და ეკლიპტიკისა ცაზე. აღნიშნულია დედამიწის მდებარეობანი მის ორბიტაზე წელიწადის სხვადასხვა თვეში და, სათანადოდ, — მზის მდებარეობანი ზოდიაქოს თანავარს-





კვლავედებში. ამ სურათის მიხედვით ყოველთვის გავარკვევთ, რა თვეშია და რა დღეა მზე და რომელი თანავარსკვლავედი მოჩანს მაშინ ცაზე ღამის განმავლობაში. ეს იგივე ნახაზია, რაც 113-ე. იმ განსხვავების გარდა, რომ ის წარმოდგენილია სფეროზე, ხოლო ეს — ეკლიპტიკის სიბრტყეზე, არის ერთგვარი განსხვავება მათ შორის, რომლის გამო ერთი შეხედვით მკითხველს მოეჩვენება, რომ ამ ნახაზსა და მის წინას შორის ერთგვარი წინააღმდეგობრიობაც კი არსებობს. სახელდობრ, 113-ე ნახაზზე მზე მდებარეობს ვერძის წერტილში 21 მარტს. 114-ე ნახაზზე კი — აპრილში. საქმე ისაა, რომ ნახაზზე ვერძის ნიშანი აღნიშნავს მზის მდებარეობას გაზაფხულის დღედამტოლობის მომენტში ანუ ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის წერტილში. ეს ნიშანია გეომეტრიული წერტილის აღმნიშვნელი. რეალურად ეს წერტილი პრეცესიის გამო, როგორც ზემოთ ვთქვით, გადანაცვლებულია და ახლა თევზების თანავარსკვლავედში იმყოფება; რაც შეეხება ვერძის თ ა ნ ა ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ე დ ს, მზე იქ 20 აპრილის შემდეგ აღმოჩნდება.

**§ 72. ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის განსაზღვრა მზის საშუალო სიმაღლეზე დაკვირვების საფუძველზე.** ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ ეკლიპტიკის სიბრტყის ეკვატორთან დახრის კუთხე დაახლოებით  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია და ამაში იმითაც დავრწმუნდით, რომ მზის დახრილობა იცვლება  $\pm 23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის ფარგლებში ან, რომ მზებუდობის დროს მზის საშუალო მდებარეობა დაშორებულია ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილს  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით. ამ განსაზღვრას საფუძველად უძველეს შემდეგი დაკვირვება, წარმოებული ზაფხულსა და ზამთარში.

გავზომოთ ზაფხულის მზებუდობის დროს მზის ცენტრის საშუალო სიმაღლე პორიზონტიდან. ეს მაქსიმალური სიმაღლე იქნება და მისი მაქსიმუმის დადგენა შესაძლებელია მთელი რიგი განსაზღვრების საფუძველზე, რომლებსაც ვაწარმოებთ რამდენიმე დღის ან კვირის განმავლობაში მზებუდობის ახლო პერიოდში. ეს სიმაღლე აღვნიშნოთ  $h_1$ -ით, ხოლო სათანადო ზენიტური მანძილი (ეს კი მინიმალური იქნება) —  $z_1$ -ით. მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ (იხ. გვ. 96):  $z_1 = \varphi - \varepsilon$ , სადაც  $\varepsilon$  რეალური სიდიდეა, რომლითაც მზე დაშორებულია ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილს.

ნ თვის შემდგომ კვლავ გავზომოთ მზის ცენტრის საშუალო სიმაღლე პორიზონტიდან ზამთრის მზებუდობის დროს. ეს მინიმალური სიმაღლე იქნება და მინიმუმის დადგენა ამ შემთხვევაშიც რიგი თანმიმდევრული განსაზღვრების საფუძველზე შეიძლება. აღვნიშნოთ ეს სიმაღლე  $h_2$ -ით. ან სათანადო ზენიტური მანძილი (ეს უკვე მაქსიმალური მნიშვნელობის იქნება) —  $z_2$ -ით.

დაიწერება:

$$z_2 = \varphi + \varepsilon$$

აქედან

$$\varepsilon = \varphi - z_1,$$

$$\varepsilon = z_2 - \varphi,$$

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

როგორც ვხედავთ, ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის განსაზღვრისათვის საჭირო ყოფილა მზის ბადროს ცენტრის ზენიტური მანძილის განსაზღვრა



წელიწადის ორ გარკვეულ მომენტში და მიღებული სიდიდეების; უბრალოდ, ნახევარსხვაობის აღება.

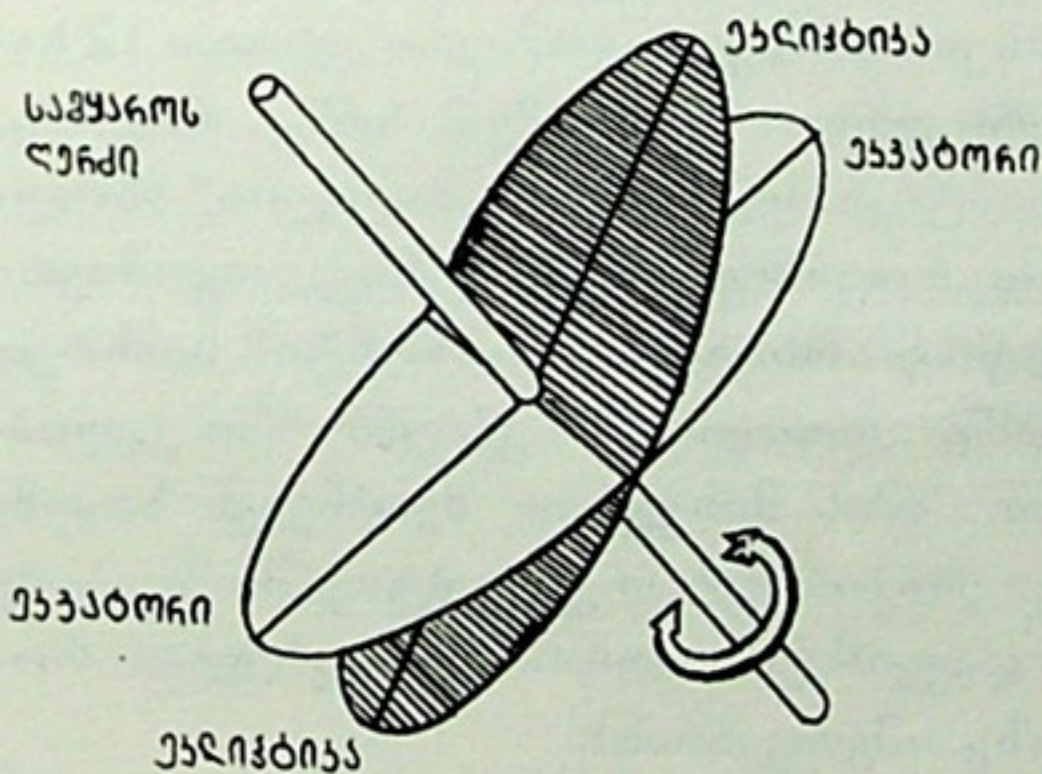
ასეთი მეთოდით ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის კუთხე ჯერ კიდევ უძველეს დროში განუსაზღვრავთ.

§ 73. **ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი.** ეკლიპტიკის სიბრტყე დახრილია სამყაროს ღერძის მიმართ  $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით (ცის ეკვატორისადმი  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით). თუ ცის დღელამური ბრუნვისას ცის ეკვატორი მუდამ ერთ სიბრტყეში რჩება (რამდენადაც იგი დღელამური ბრუნვის ღერძის მართობულია), ეს არ ითქმის ეკლიპტიკაზე. ეკლიპტიკა ცის დღელამურ ბრუნვაში „შემოწერს“ მთელ სფერულ ფენას, რომელიც ეკვატორისადმი სიმეტრიულია და შემოისაზღვრება მის ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან მზის ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობათა პარალელებით. ამავე დროს ეკლიპტიკის პოლუსი შემოწერს სამყაროს პოლუსის ირგვლივ წრეწირს, რომლის რადიუსი  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია.

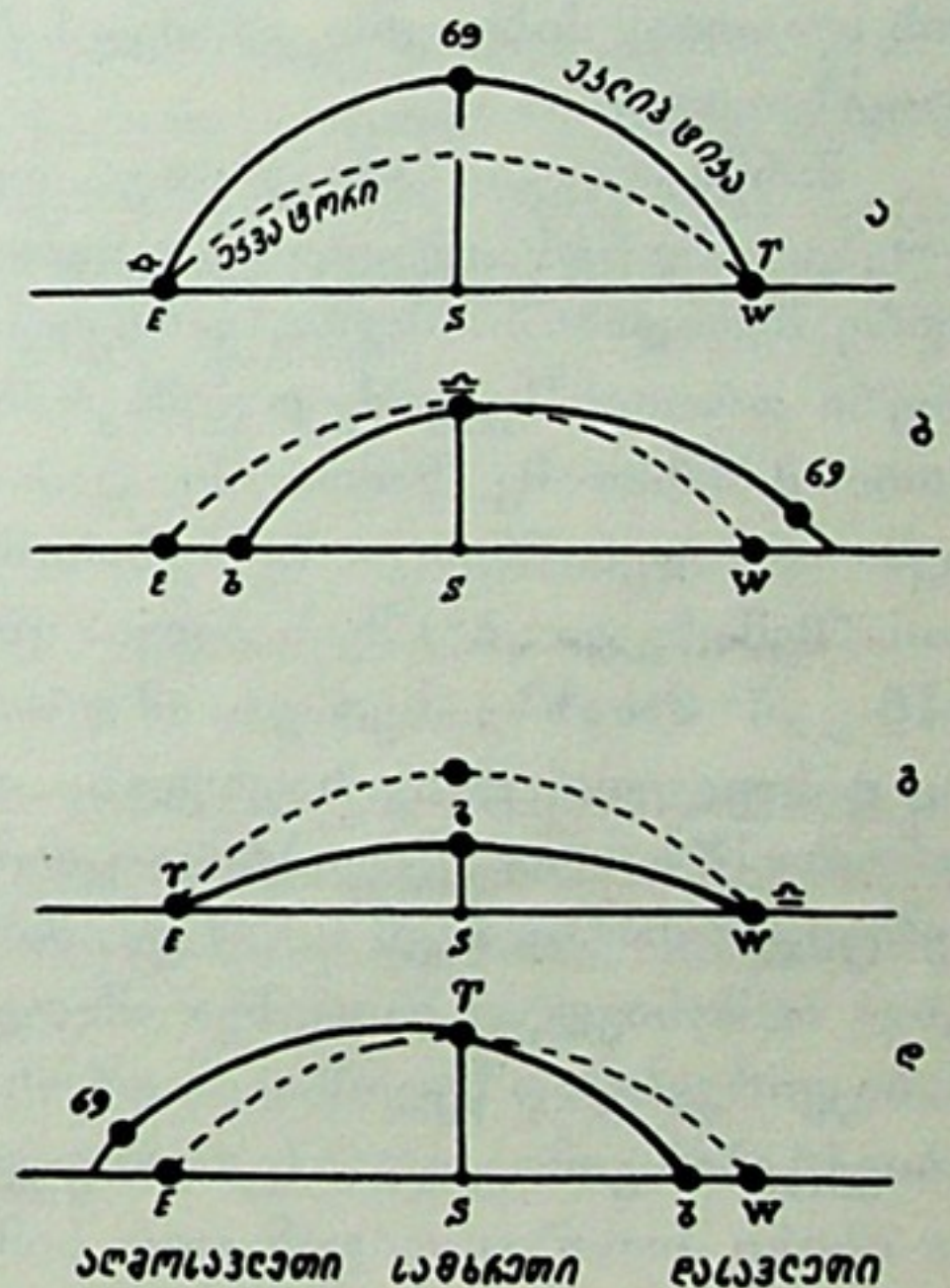
115-ე ნახაზის განხილვა საკითხს უფრო ნათლად წარმოგვიდგენს. ღერძის ირგვლივ ცის ბრუნვაში ეკვატორის სიბრტყე თავისსავე სიბრტყეში რჩება ანუ სივრცეში უცვლელი მიმართულება აქვს, ეკლიპტიკის სიბრტყე კი (დაშტრიხულია), მართლაც, სფერულ ფენას შემოწერს.

ასეთ ვითარებაში ეკლიპტიკის დახრა დაკვირვების ადგილის პორიზონტისადმი თავისებურად იცვლება. რა თქმა უნდა, ამავე დროს ეკლიპტიკა, როგორც დიდი წრეწირი, ერთი ნახევრით პორიზონტის ზევითაა, მეორეთი — მის ქვევით. ოღონდ მისი ორიენტაცია პორიზონტის საყრდენი წერტილების (ქვეყნის მხარეების) მიმართ ცვალებადია.

116-ე ნახაზზე სქემატურადაა წარმოდგენილი ეკლიპტიკის ოთხი ძირითადი მდებარეობა, ერთგვარ პროექციაში სამხრეთის წერტილის მხები, პორიზონტის მართობულ სიბრტყეზე. ე. ი. უნდა წარმოვიდგინოთ, რომ პირით სამხრეთისაკენ ვართ მიბრუნებული და ვუყურებთ სამხრეთის ცას (ნახაზზე  $S$  სამხრეთის წერტილია, პუნქტირი — ეკვატორის, უწყვეტი ხაზი კი ეკლიპტიკის პროექციაა ცაზე. აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებიც  $E$  და  $W$  აქვეა დაგეგმილებული). „ა“ შეესაბამება ვარსკვლავთმძიერი დროის 6 საათს, როცა



ნახ. 115



ნახ. 116

თადი მდებარეობა, ერთგვარ პროექციაში სამხრეთის წერტილის მხები, პორიზონტის მართობულ სიბრტყეზე. ე. ი. უნდა წარმოვიდგინოთ, რომ პირით სამხრეთისაკენ ვართ მიბრუნებული და ვუყურებთ სამხრეთის ცას (ნახაზზე  $S$  სამხრეთის წერტილია, პუნქტირი — ეკვატორის, უწყვეტი ხაზი კი ეკლიპტიკის პროექციაა ცაზე. აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებიც  $E$  და  $W$  აქვეა დაგეგმილებული). „ა“ შეესაბამება ვარსკვლავთმძიერი დროის 6 საათს, როცა



გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის (წ) საათ-კუთხე 90°-ია და, მაშასადამე, წ იმყოფება დასავლეთის წერტილში. შემოდგომის დღელამტოლობის წერტილი (ჟ) აღმოსავლეთის წერტილშია და კირჩხიბი (ფ)—ზედა კულმინაციაში, ეკვატორიდან „ზევით“ ჩრდილოეთით.

6 საათით გვიან ანუ ვარსკვლავთმძიერი დროით 12 საათზე („ბ“) ზედა კულმინაციაში მოვა ჟ, ხოლო ფ დასავლეთით მოექცევა, მაგრამ არა დასავლეთის წერტილში; ეკლიპტიკა გადაკვეთს პორიზონტს სადღაც ჩრდილო-დასავლეთით (მიაქციეთ ამას ყურადღება! გაიხსენეთ, რომ ეკლიპტიკა თავის სიბრტყეში კი არ ბრუნავს, როგორც ეკვატორი).

ვარსკვლავთმძიერი დროის 18 საათზე („გ“) წ აღმოსავლეთის, ხოლო ჟ დასავლეთის წერტილში მოექცევა. ზედა კულმინაციაში იქნება ფ-ის მოპირდაპირე წერტილი ზ (თხისრქა), მაგრამ ეკვატორის „ქვევიდან“ მოქცეული, მის სამხრეთით.

„დ“ ასურათებს ეკლიპტიკის მდებარეობას პორიზონტის ზევით 24 ანუ 0 საათზე, როცა წ ზედა კულმინაციაშია.

როგორც ვნახეთ, ეკლიპტიკის ორიენტირება პორიზონტის მიმართ წ-ს მდებარეობასთან არის დაკავშირებული. ამის გამო ეს ორიენტირება იცვლება ვარსკვლავთმძიერი დღე-ღამის განმავლობაში. მაგრამ, რამდენადაც მზისმიერ დღე-ღამეს ვარსკვლავთმძიერისაგან განსხვავებული სვლა აქვს, ამიტომ წლის განმავლობაში წ-ს მდებარეობა, მაგალითად, დილით ერთნაირი როდია. ეს იმას ნიშნავს, რომ ეკლიპტიკის მდებარეობაც განსხვავდება არა მარტო დღე-ღამის საათების მიხედვით, არამედ სეზონურადაც—ზამთარ-ზაფხულს, შემოდგომა-გაზაფხულს.

მართლაც, ვთქვათ, „ა“ სურათი ვარსკვლავთმძიერი დროის 6 საათს შეესაბამება. ამ დროს ეკლიპტიკა ეკვატორის ზევით მდებარეობს, „მაღალია“, მეტადრე, მერიდიანში. მაგრამ ვარსკვლავთმძიერი დროით 6 საათს შეესაბამება მზისმიერი დროით შუაღამე დეკემბერში\*, როცა მზის პირდაპირი აღვლენა 18 საათია. მაშასადამე, ზამთარში, ღამით, ცაზე სამხრეთის ეკლიპტიკა მაღლაა. ეს ზემოთაც აღვნიშნეთ და 111-ე ნახაზზე ვნახეთ. ვარსკვლავთმძიერი დროით 12 საათს (შემთხვევა „ბ“) შეესაბამება მზისმიერი დროით შუაღამე მარტში. როგორც 116-ე „ბ“ ნახაზზე ვხედავთ, ამ დროს ეკლიპტიკა შედარებით „მაღალია“ მხოლოდ დასავლეთის ცაზე. ზაფხულში, ივნისში, როცა შუაღამეზე ვარსკვლავთმძიერი დროით 18 საათია, ეკლიპტიკა ეკვატორის წრეწირისა და პორიზონტის სამხრეთ წერტილს შორის ძევს („გ“) და, მაშასადამე, „დაბალია“. სექტემბერში ეკლიპტიკა აღმოსავლეთ მხარეზეა ამაღლებული. ამის მიხედვით შეარჩევნებოდა დასაკვირვებლად წელიწადის დროს, როცა ესაჭიროებათ ეკლიპტიკაში მდებარეობიექტების გამოკვლევა (ცის სხეულების დაკვირვება უფრო ხელსაყრელია, როცა ისინი პორიზონტიდან დიდ სიმაღლეზე იმყოფებიან).

ეკლიპტიკის ორიენტაცია პორიზონტის მიმართ არ ეკუთვნის ადვილად წარმოსადგენ მოვლენათა რიცხვს. ამიტომ სავარჯიშოდ მოვიყვანოთ ერთი ტაბულა, რომლის მიხედვით მკითხველმა თავის წარმოდგენაში სათანადო სურათები ააგოს (116-ე ნახაზის დახმარებით). ეს ტაბულა დამკვირვებლისთვისაც პრაქტიკულად სასარგებლოა. ტაბულაში ამოვიკითხავთ იმას, თუ წელიწადის

\* აქ და ქვევით დროს ვანგარიშობთ მიახლოებით და ამიტომ თვის დღეებს აღარ ვუწვენებთ.



რა დროს, სადამოს და დილას, შუადამესა და შუადღეს, მდებარეობს ეკლიპტიკა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 116-ე ნახაზზე და შეესაბამება 6, 12, 18 და 24 საათს ვარსკვლავთმომიერი დროით.

ვარსკვლავთ- მომიერი დრო	სადამო	შუადამე	დილა	შუადღე
6 საათი	გაზაფხული	ზამთარი	შემოდგომა	ზაფხული
12 „	ზაფხული	გაზაფხული	ზამთარი	შემოდგომა
18 „	შემოდგომა	ზაფხული	გაზაფხული	ზამთარი
24 „	ზამთარი	შემოდგომა	ზაფხული	გაზაფხული

ამ ტაბულით შემდეგნაირად უნდა ვისარგებლოთ. ვთქვათ, გვსურს ვიცოდეთ, წელიწადის რა დროს არის ხელსაყრელი ეკლიპტიკის ზოლში მდებარე ობიექტებზე დაკვირვება, მაგალითად, სადამოობით, დასავლეთის ცაზე; მოვძებნოთ ტაბულაში ის სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება ნახაზზე ეკლიპტიკის მაღალ მდებარეობას სადამოთი, დასავლეთით; ეს ნახაზზე 12 საათს შეესაბამება; მაშინ 12 საათის სტრიქონში, სვეტში „სადამოს“ ვნახავთ, რომ ეს ზაფხულშია. თუ სხვა შემთხვევაში გვაინტერესებს დაკვირვება აღმოსავლეთით, მაშინ მოვძებნოთ ტაბულაში ის სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება ეკლიპტიკის მაღალ მდებარეობას აღმოსავლეთის ცაზე (ეს 24 საათის შესაბამისია) და ვნახავთ, რომ ასეთი სურათი გვაქვს ზამთარში სადამოს, შემოდგომაზე შუადამეს და ზაფხულში—დილით. შუადღის სვეტი მოყვანილია ტაბულაში სისრულისათვის, ხოლო პრაქტიკულად იგი არ გვესაჭიროება, რადგანაც შუადღეზე ეკლიპტიკაში მდებარე ობიექტებს ვერ დავაკვირდებით, თუ ეს თვით შუე არაა (თუმცა, ზოგ შემთხვევაში კაშკაშა ვენერასაც აკვირდებიან დღისით, ხოლო ვენერა როგორც პლანეტა ყოველთვის ახლოა ეკლიპტიკასთან (იხ. ქვემოთ).



თ ა 3 0 VII

**წელთაღრიცხვა. კალენდარი**

§ 74. **ტროპიკული წელიწადი.** დროის შუალედს, რომლის განმავლობაში დედამიწა ერთხელ შემოუვლის გარშემო მზეს ანუ ერთხელ გაირბენს მთელს თავის ორბიტაზე, ვუწოდებთ წელიწადს და ვთვლით, რომ იგი ეტოლება 365 დღე-ღამეს. პირველი მიახლოებით ეს ასეა, მაგრამ დედამიწის წლიურ მოქცევასთან დაკავშირებული ასტრონომიული მოვლენების ხასიათი და ასტრონომიულ ამოცანათა გადაწყვეტის სიზუსტე მოითხოვს უფრო მკაცრად და ზუსტად განისაზღვროს დროის ეს შუალედი.

რადგანაც დედამიწის ნამდვილი სრბოლა მზის გარშემო თავის ანარეკლს პოულობს ცაზე მზის ხილულ მოძრაობაში, შეგვიძლია დედამიწის წლიური გარემოქცევის შენიშვნა და ფიქსაცია მზეზე დაკვირვებით ანუ ც ა ზ ე მ ზ ი ს მ დ ე ბ ა რ ე ო ბ ა თ ა განსაზღვრით. არსებითად, ერთადერთი გზა დედამიწის მდებარეობის განსაზღვრისათვის მის ორბიტაზე ისაა, რომ ცას დავაკვირდეთ და მზის მდებარეობა განვსაზღვროთ ვარსკვლავების მიმართ.

როგორც ვიცით, წელიწადში ერთხელ, სახელდობრ, გაზაფხულის დღედამტოლობის მომენტში (21 მარტს) მზე ვერძის წერტილში ანუ სამყაროს ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის ერთ-ერთ წერტილში იმყოფება. ასტრონომიაში მოიპოვება პრაქტიკული მეთოდები, რომელთა მიხედვით ხერხდება მზის ბადროს ცენტრის ვერძის წერტილში (V) გავლის მომენტის ზუსტი დადგენა.

ასტრონომიაში წელიწადის დასაწყისადაც სწორედ ამ მომენტს თვლიან, ხოლო დროის შუალედს გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილზე მზის ბადროს ცენტრის ორ თანმიმდევარ გავლათა მომენტებს შორის წელიწადად მიიჩნევენ და ასე განსაზღვრულ წელიწადს ტროპიკულ წელიწადს უწოდებენ.

უფრო ზუსტი ხანგრძლივობა ტროპიკული წელიწადისა 365 დღე-ღამე კი არაა, არამედ 365 დღე-ღამე, 5 საათი, 48 წუთი და 46 წამი. სხვა სიტყვებით, ტროპიკული წელიწადი დღე-ღამეების არა მთელი, არამედ წილადი რიცხვით გამოიხატება: 365.2422.

როცა ვამბობთ, ტროპიკული წელიწადი შეიცავს 365.2422 დღე-ღამეს, ვგულისხმობთ მზის მიერ დღე-ღამეს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ხილულ დღედამურ შემობრუნებათა ასეთ რიცხვს შეასრულებს მზე დედამიწის ირგვლივ ამ ხნის განმავლობაში, ე. ი. მზე 365-ჯერ გაივლის ზედა კულმინაციას და კიდევ გადაადგილდება ცაზე, დაახლოებით, 360°-ის ერთი მეოთხედით. მაგრამ ვარსკვლავები და აგრეთვე გაზაფხულის დღედამტოლობის V წერტილი ასრულებს ზუსტად ერთი შემობრუნებით მეტს (გავიხსენოთ ვარსკვლავთმძიერი და მზისმძიერი დღე-ღამის ცნებებთან დაკავშირებული მოვლენების აღწერა); მზე მოძრაობს ცის სფეროს დღედამური ბრუნვის შემხვედრი მიმარ-



თულებით, ყოველდღიურად მისი კულმინაცია დაახლოებით 4 წუთით ჩამორჩება ო წერტილის კულმინაციას. სხვა სიტყვებით, როცა ვარსკვლავი  $360^{\circ}$ -ს შემოწერს დედამიწის ირგვლივ, მზე მხოლოდ  $359^{\circ}$ -ს შემოწერს, ან კიდევ, მზე თუ  $360^{\circ}$ -ს შეასრულებს, ვარსკვლავი  $361^{\circ}$ -ს შემოწერს. ერთი წლის მანძილზე ასე თითო გრადუსით ჩამორჩენაში, რაც დროში ყოველდღიურად 4 წუთით გამოიხატება, მზე „კარგავს“ ერთ დღელაშურ შემობრუნებას (დაახლოებით 4 წთ გამრავლებული  $365$ -ზე, იქნება  $24$  საათი, რაც  $360^{\circ}$ -ს შეესაბამება).

ამიტომ შეგვიძლია ვთქვათ:

ა) 1 ტროპიკული წელიწადი შეიცავს  $365.2422$  საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს;

ბ) 1 ტროპიკული წელიწადი შეიცავს  $366.2422$  ვარსკვლავთმიერ დღე-ღამეს.

ასტრონომიული ნიშნის მიხედვით წელიწადი იწყება 21 მარტს— გაზაფხულის დღელამტოლობის მომენტით; ჩვენი ყოველდღიურად სახმარი კალენდარით კი—1 იანვრის 0 საათზე. ეს უკანასკნელი მომენტი, როგორც წელიწადის დასაწყისი, ისტორიულად შემორჩენილია და იგი თითქმის 10 დღე-ღამით ჩამორჩება ზამთრის მზებუდობის მომენტს, რომელიც აგრეთვე შეიძლებოდა ჩაგვეთვალა წელიწადის დასაწყისად, რამდენადაც მასაც გარკვეული ასტრონომიული ნიშანი, ასტრონომიული მოვლენა განსაზღვრავს. მაშინ წელიწადი იქნებოდა პერიოდი ზამთრის მზებუდობის მომენტიდან მომდევნო ზამთრის მზებუდობამდე.

ახლა კი სამოქალაქო წელიწადი მაშინ იწყება, როცა მზის პირდაპირი აღვლენა დაახლოებით 18 სთ 45 წუთია. ჩავიხედოთ 1982 წლის ქართულ ასტრონომიულ კალენდარში (წელიწდეულში). 33-ე გვერდზე, მზის ცხრილში ვიპოვიოთ 1 იანვრისათვის მზის პირდაპირი აღვლენის მნიშვნელობას: 18 სთ 44 წთ 34 წმ.

§ 75. **დამოკიდებულება საშუალო მზისმიერ დროსა და ვარსკვლავთმიერ დროს შორის.** როგორც ვიცით, გაზაფხულის დღელამტოლობის მომენტში (21 მარტს) მზე ე. წ. ვერძის ო წერტილში იმყოფება. ვთქვათ, ამ დღის შუაღამეს ვიწყებთ მზისმიერი და ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამეების თვლას.

წლის განმავლობაში მზისა და ო წერტილის ურთიერთმდებარეობა უწყვეტლივ იცვლება (მზე, გადაინაცვლებს რა ეკლიპტიკის გასწვრივ, შორდება ო-ს). ამიტომ მზის ზედა კულმინაცია ანუ შუაღამე როდის მოდის ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის სულ მუდამ ერთსა და იმავე მომენტზე. მაშასადამე, მზისმიერი და ვარსკვლავთმიერი დრო ერთიმეორისაგან განსხვავებულია. თუ ჩავთვლით, რომ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისი ო წერტილის ქვედა კულმინაციით აღინიშნება, როგორც მზისმიერისა, მაშინ 21 მარტს, შუაღამეს, მზისმიერსა და ვარსკვლავთმიერ დროთა შორის სხვაობა ნულის ტოლია. ერთი დღე-ღამის შემდგომ მზისმიერი საათი დაახლოებით 4 წუთით (უფრო ზუსტად 3 წთ 56 წმ-ით) ჩამორჩება ვარსკვლავთმიერს, როგორც ეს თავის დროზე ვნახეთ და მისი მიზეზიც ავხსენით. კიდევ ერთი დღე-ღამის გავლის შემდეგ ეს ჩამორჩენა 8 წთ იქნება. ერთ თვეში იგი დაახლოებით  $4 \cdot 30 = 120$  წთ ანუ 2 სთ-ს მიაღწევს. 21 აპრილს სხვაობა ამ დროთა შორის ან, სხვა სიტყვებით, ვარსკვლავთმიერი დროის წინსწრება მზისმიერ დროსთან შედარებით, 2 საათი იქნება, 21 მაისს—4, 23 სექტემბერს—12 სთ და ა. შ. ბოლოს, მომდევნო წლის 21 მარტს ანუ 12 თვის შემდგომ ვარსკვლავთმიერი დრო მთელი დღე-ღამით გაუსწრებს მზისმიერს; მზე, შემოუვლის რა მთელს ეკლიპტიკას, კვლავ ო წერტილში მოვა, და თუ



21 მარტიდან მომდევნო 21 მარტამდე 365 შხისმიერი დღე-ღამე გადაითვალა, ვარსკვლავთმომერი დღე-ღამეები ერთით მეტი ანუ 366 გადაითვლებოდა.

მაშასადამე, როგორც ზემოთაც ვნახეთ, ერთი ტროპიკული წელიწადი უდრის 365.2422 შხისმიერ დღე-ღამეს ან 366.2422 ვარსკვლავთმომერი დღე-ღამეს.

ზემოთ მოყვანილი ანგარიშით (4 წთ წინსწრება ყოველდღიურად) უბრალოდ გამოვითვლით დაახლოებით ვარსკვლავთმომერი დროს ნებისმიერი დღისათვის, ოღონდ გასათვალისწინებელია ის, რომ შხისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად შუაღამე (შხის ქ ვ ე დ ა კულმინაცია) არის მიჩნეული, ვარსკვლავთმომერი დღე-ღამის დასაწყისად კი — შუადღე (წ წერტილის ზ ე დ ა კულმინაცია). ამიტომ 21 მარტს, შუაღამეს შხისმიერი დრო 0 სთ-ია, ხოლო ვარსკვლავთმომერი დრო — 12 სთ. 23 სექტემბერს, შუაღამეს, როცა მზე,  $\oplus$  წერტილთან ერთად, ქვედა კულმინაციაშია, წ ზედა კულმინაციაშია ( $\oplus$  და წ წერტილები ცის სფეროზე დიამეტრულად მოპირდაპირედ მდებარეობენ) და ვარსკვლავთმომერი დროით 0 საათია. აქ მოყვანილ ცხრილში მოცემულია საშუალო (შხისმიერი) შუაღამის შესაბამისი ვარსკვლავთმომერი დროის მნიშვნელობა დღედამტოლობის, მზებუდობისა და, აგრეთვე, ზოგი სხვა დღეებისათვის:

21 მარტი—12 სთ	23 სექტემბერი—0 სთ
21 აპრილი—14	23 ოქტომბერი—2
21 მაისი—16	23 ნოემბერი—4
22 ივნისი—18	22 დეკემბერი—6
22 ივლისი—20	21 იანვარი—8
22 აგვისტო—22	21 თებერვალი—10

ეს მნიშვნელობები მიახლოებითი და დამრგვალებულია და მხოლოდ სახელდახელო, მიახლოებითი ანგარიშისათვის გამოიყენება.

რა დრო იქნება ვარსკვლავთმომერი ანგარიშით 22 ივნისს საშუალო დროის 9 საათზე? ამ დღეს, შუაღამეს ვარსკვლავთმომერი დროით 18 საათია. დავუმატოთ ამას შუაღამიდან განვლილი 9 სთ, გვექნება 27 ანუ 3 სთ შემდგომი დღისა. მაგრამ ეს ანგარიში მიახლოებითია. საქმე ისაა, რომ რაკი პასუხს ვარსკვლავთმომერი დროით ვეძებთ, ის 9 საათიც, რომელმაც შუაღამის შემდგომ განვლო, აგრეთვე, ვარსკვლავთმომერი ერთეულებში უნდა გამოვხატოთ. თუ შხისმიერი დროის 24 სთ ვარსკვლავთმომერი დროით 24 სთ და 4 წთ-ია, შხისმიერი 9 სთ იქნება ვარსკვლავთმომერი 9 სთ 1 წთ 30 წმ.

უფრო ზუსტი ანგარიშისათვის კი შემდგომ ფარდობებს უნდა მივმართოთ:

365.2422 საშ. შხისმ. დღ-ღ. = 366.2422 ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს

$$1 \text{ საშ. შხისმ. დღე-ღამე} = \frac{366.2422}{365.2422} \text{ ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს} = 1.002738$$

ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს.

$$1 \text{ ვარსკვლავთმ. დღე-ღამე} = \frac{365.2422}{366.2422} \text{ საშ. შხისმ. დღე-ღამეს} = 0.997270$$

შხისმ. დღე-ღამეს.

რიცხვი 1.002738 გამოიყენება როგორც მამრავლი შხისმიერი დროის შუადღეების ვარსკვლავთმომერი საათებში, წუთებსა და წამებში გადასაყვანად, ხოლო



რიცხვი 0.997270—ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედებისა საშუალო მზისმძიერი საათებში, წუთებსა და წამებში გადასაყვანად.

ამგვარად, თუ საშუალო მზისმძიერი ერთეულებში გამოხატული დროის შუალედი  $\Delta T$ -თი აღვნიშნეთ, ხოლო ვარსკვლავთმძიერი ერთეულებში გამოხატული —  $\Delta s$ -ით, მაშინ

$$\Delta s = 1.002738 \Delta T,$$

$$\Delta T = 0.997270 \Delta s.$$

აქედან შემდეგიც გამომდინარეობს:

24 სთ საშ. მზისმ. დროით	=	24 სთ 03 წთ 56.555 წმ ვარსკვლავთმ. დროით
1 სთ „ „ „	=	1 სთ 00 წთ 09.856 წმ „ „
6 წთ „ „ „	=	06 წთ 01 წმ „ „
24 სთ ვარსკვლავთმ. დროით	=	23 სთ 56 წთ 04.090 წმ საშ. მზისმ. დროით
1 სთ „ „ „	=	59 წთ 50.170 წმ „ „ „
6 წთ „ „ „	=	5 წთ 59 წმ „ „ „

ზუსტი ანგარიშისათვის შეგვიძლია გავითვალისწინოთ, რომ	
1 წთ საშ. მზისმ. დროით	= 1 წთ 00.164 წმ ვარსკვლავთმ. დროით,
1 წმ „ „ „	= 01.003 წმ „ „
1 წთ ვარსკვლავთმ. დროით	= 59.836 წმ საშ. მზისმ. დროით
1 წმ „ „ „	= 0.997 წმ „ „ „

სახელდახელო ანგარიშისათვის კი საკმარისია დავიხსოვოთ და გამოვიყენოთ, რომ საშუალო მზისმძიერი დროის ყოველ 1 საათს 10 წამი (9.856 წმ) დავუმატოთ მზისმძიერი შუალედის ვარსკვლავთმძიერი დროზე მიყვანისას, ხოლო შებრუნებულ პროცესში ვარსკვლავთმძიერი შუალედის ყოველ 1 საათს 10 წამი (9.830 წმ) დავაკლოთ.

თუ აქამდე მზისმძიერი და ვარსკვლავთმძიერი დღე-ღამეთა განსხვავებას მიახლოებითი ანგარიშისათვის 4 წუთად ვთვლიდით, ახლა შეგვიძლია უფრო ზუსტი მნიშვნელობა ვიხმაროთ და ჩავთვალოთ ეს განსხვავება 3 წუთად და 56 წამად.

შესაძლებელია უფრო ზოგადი გამოსახულებების დაწერაც. ფარდობა  $\frac{366.2422}{365.2422}$  წარმოვადგინოთ ასე:  $\frac{365.2422 + 1}{365.2422} = 1 + \frac{1}{365.2422}$ .

უკანასკნელი წილადი აღვნიშნოთ  $\mu$  ასოთი. ანალოგიურად, ფარდობისათვის

$\frac{365.2422}{366.2422}$  გვქვინება:  $1 - \frac{1}{366.2422}$  აღვნიშნოთ წილადი  $\nu$  ასოთი. მაშინ

დაიწერება:

$m$  შუალედი საშუალო დროისა ეტოლება  $m(1 + \mu)$  ვარსკვლავთმძიერი შუალედს;  $n$  ვარსკვლავთმძიერი შუალედი დროისა ეტოლება  $n(1 - \nu)$  საშუალო შუალედს.

ასე შეგვიძლია ნებისმიერი ერთეულის (შუალედის) ესა თუ ის რაოდენობა, გამოსახული ერთ სისტემაში (მაგალითად, საშუალო დროში), გადავიყვანოთ სხვა ერთეულებში (ვარსკვლავთმძიერში).

მაგალითად, 2 საშუალო დღე-ღამე ეტოლება  $2 + 2\mu = 2 + \frac{2}{365.2422}$

ვარსკვლავთმძიერ დღე-ღამეს. 1 საშუალო საათი ეტოლება  $(1 + \mu)$  ვარსკვლავთმძიერ საათს. ამავე დროს შევნიშნოთ, რომ  $\mu$  ეტოლება 3 წთ 56.56 წმ-ს დღე-ღამე-



ში და 9.86 წმ-ს საათში. ასევე: v ეტოლება 3 წთ 55.91 წმ-ს დღე-ღამეში, ხოლო 9.83 წმ-ს საათში. ეს იმაზეა დამოკიდებული, თუ დროის რა ერთეულს გვოფთ 365.2422 ან 366.2422-ზე: დღე-ღამეს, საათს თუ სხვ. მართლაც, თუ 24 საათს გავყოფთ 365.2422-ზე (ანუ გავამრავლებთ  $\mu$ -ზე), მივიღებთ 3 წთ 56.56 წმ-ს. თუ საათს გავყოფთ 366.2422-ზე (ანუ გავამრავლებთ  $\nu$ -ზე), მივიღებთ 9.83 წმ-ს.

ზემომოყვანილ დამოკიდებულებათა საფუძველზე გამოთვლილია ცხრილები საშუალო მზისმიერი დროის შუალედების (საათების, წუთების, წამების) გადასაყვანად ვარსკვლავთმიერი დროის შუალედებში და, პირიქით. ასეთი ცხრილები მოიპოვება ასტრონომიულ წელიწდეულებში, ცნობარებსა და ზოგჯერ სახელმძღვანელოებშიც.

აქვე მოვიყვანოთ ეს ცხრილები შემოკლებული სახით.

(ცხრილი ა)

**საშუალო დროის შუალედების ვარსკვლავთმიერი დროის  
შუალედებად გარდაქმნა**

საათი			წუთი		წამი	
საშუალო დრო	შესწორება ემატება	საშუალო დრო	შესწორება ემატება	საშუალო დრო	შესწორება ემატება	
1 საათი	0 წთ 9.856 წმ	1 წთ	0.164 წმ	10 წმ	0.027 წმ	
6	0 59.139	15	2.464	20	0.055	
12	1 58.278	30	4.928	30	0.082	
24	3 56.555	45	7.392	40	0.110	

(ცხრილი ბ)

**ვარსკვლავთმიერი დროის შუალედების საშუალო დროის  
შუალედებად გარდაქმნა**

საათი		წუთი		წამი	
ვარსკვლავთ- მიერი დრო	შესწორება აკლდება	ვარსკვლავთ- მიერი დრო	შესწორება აკლდება	ვარსკვლავთ- მიერი დრო	შესწორება აკლდება
1 საათი	0 წთ 9.830 წმ	1 წთ	0.164 წმ	10 წმ	0.027 წმ
6	0 58.977	15	2.457	20	0.055
12	1 57.955	30	4.915	30	0.082
24	3 55.909	45	7.372	40	0.109

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს 12 სთ 15 წთ 30 წმ საშუალო დროით და ეს შუალედი გარდასაქმნელია ვარსკვლავთმიერი დროის შუალედად. ა) ცხრილის მიხედვით გვექნება:

12 საათს შეესაბამება 1 წთ 58.28 წმ  
15 წუთს                   "                   2.46 წმ  
30 წამს                   "                   0.08 წმ

სულ ემატება 2 წთ 00.82 წმ



მაშასადამე, მოცემული შუალედი გამოიხატება 12 სთ 17 წთ 30.82 წმ-ით ვარსკვლავთმომიერი დროით.

ახლა ვთქვათ, გარდასაქმნელი გვაქვს საშუალო დროის შუალედად ვარსკვლავთმომიერი დროით მოცემული შუალედი: 6 სთ 30 წთ 40 წმ. ვისარგებლებთ რა ბ) ცხრილით, გვექნება შემდეგი სქემა:

$$\begin{array}{rcl} 6 \text{ სთ} & - & 58.98 \text{ წმ} \\ 30 \text{ წთ} & - & 4.92 \text{ წმ} \\ 40 \text{ წმ} & - & 0.11 \text{ წმ} \end{array}$$

სულ უნდა გამოაკლდეს 1 წთ 4.01 წმ

მაშასადამე, ვარსკვლავთმომიერი დროით მოცემული შუალედი გამოიხატება 6 სთ 29 წთ 35.99 წმ საშუალო დროით.

ზემოთ მოყვანილი ცხრილები, როგორც აღვნიშნეთ, მეტისმეტად შემოკლებულია შედარებით სახმარ ცხრილებთან, რომლებშიც არგუმენტებს წარმოადგენენ თითოეული საათი, წუთი და წამი, რის გამოც მათი ხმარება ძალიან მოხერხებულია.

თუ ცხრილები ხელთ არ გვექნება, გამოთვლებს იმის მეშვეობითაც ვაწარმოებთ, რაც ზევით დავწერეთ საშუალო მზისმომიერი და ვარსკვლავთმომიერი დროის ერთეულებს (საათებს, წუთებსა და წამებს) შორის დამოკიდებულებაზე. ვნახოთ ეს შემდეგ ორ მაგალითზე.

1) საშუალო მზისმომიერი დროით მოცემული შუალედი 14 სთ 26 წთ 30 წმ გამოვხატოთ ვარსკვლავთმომიერი დროით (ანგარიში ვაწარმოოთ წამის სიზუსტით).

$$\begin{array}{rcl} 14 \text{ სთ-ს} & \text{შეესაბამება} & (1 \text{ სთ } 00 \text{ წთ } 10 \text{ წმ}) \times 14 = 14 \text{ სთ } 2 \text{ წთ } 20 \text{ წმ} \\ 26 \text{ წთ-ს} & & (6 \text{ წთ } 01 \text{ წმ}) \times 4 + 2 \text{ წთ} = 26 \text{ წთ } 04 \text{ წმ} \\ 30 \text{ წმ-ს} & & = 30 \text{ წმ} \end{array}$$

პასუხი: 14 სთ 28 წთ 54 წმ ვ. დრ.

2) ვარსკვლავთმომიერი დროით მოცემული შუალედი 12 სთ 42 წთ 25 წმ გამოვხატოთ საშ. მზისმომიერი დროით.

$$\begin{array}{rcl} 12 \text{ სთ-ს} & \text{შეესაბამება} & (59 \text{ წთ } 50 \text{ წმ}) \times 12 = 11 \text{ სთ } 58 \text{ წთ} \\ 42 \text{ წთ-ს} & & (5 \text{ წთ } 59 \text{ წმ}) \times 7 = 41 \text{ წთ } 53 \text{ წმ} \\ 25 \text{ წმ-ს} & & = 25 \text{ წმ} \end{array}$$

პასუხი: 12 სთ 40 წთ 18 წმ საშ. მზისმ. დრ.

**§ 76. დროის სხვადასხვა ანგარიშის ურთიერთშედარება.** ვთქვათ, დამკვირვებელი იმყოფება გრინვიჩის მერიდიანიდან აღმოსავლეთით,  $n$  სარტყელში (ზოლში) მოთავსებულ  $\lambda$  გრძედზე (დადებითია).  $\lambda$  იყოს გამოხატული საათებით, წუთებითა და წამებით; მისი დეკრეტული დრო აღვნიშნოთ  $T_d$ -ით. ადგილობრივი, ზოლური და მსოფლიო დრო აღვნიშნული გვქონდა  $T_l$ ,  $T_n$  და  $T_0$ -ით. ამიტომ:

- ზოლური დრო  $T_n = T_d - 1$  სთ, ( $T_n - 2$ , თუ  $T_d$  საზაფხულო დროა).
- გრინვიჩის ანუ მსოფლიო დრო  $T_0 = T_d - n$  სთ,
- ადგილობრივი დრო  $T_l = T_0 + \lambda = T_n + (\lambda - n)$  სთ,
- ვარსკვლავთმომიერი დრო რომელიმე დღის საშუალო მზისმომიერი დროის





შუალამეს  $s_0 = 12 \text{ სთ} + (3 \text{ წთ } 56.6 \text{ წმ}) \cdot d'$ , სადაც  $d'$  არის დღე-ღამეების რიცხვი 21 მარტიდან აღებულ დღემდე.

ე) ვარსკვლავთმძიერი დრო რომელიმე დღის საშუალო მზისმძიერ  $t$  მომენტში  $s_t = 12 \text{ სთ} + (3 \text{ წთ } 56.6 \text{ წმ}) \cdot d' + t'$ , სადაც  $t'$  არის ვარსკვლავთმძიერი დროის ერთეულებით გამოხატული შუალედი შუალამიდან აღებულ  $t$  მომენტამდე.

ვ) თუ მოცემული გვაქვს რომელიმე დღისათვის რაიმე ვარსკვლავთმძიერი მომენტი, მის გამოსახატავად საშუალო მზისმძიერი დროით საჭიროა გავიგოთ, რას ეტოლება ვარსკვლავთმძიერი დრო ამ აღებული დღის საშუალო შუალამეზე. ამის შემდეგ ვიპოვოთ ინტერვალი შუალამის მომენტის ვარსკვლავთმძიერ დროსა და მოცემულ ვარსკვლავთმძიერ მომენტს შორის; ეს ინტერვალი, გამოხატული მზისმძიერი დროის ერთეულებით, იქნება საძიებელი მზისმძიერი დრო.

ასტრონომიულ წელიწდეულებსა და კალენდრებში მოცემულია წელიწადის ყოველი დღისათვის მსოფლიო დროის 0 საათის შესაბამისი ვარსკვლავთმძიერი დროის მნიშვნელობა; მისი გამოყენება აადვილებს ანგარიშს. ვთქვათ, გვჭირდება გავიგოთ ვარსკვლავთმძიერი დრო 1982 წლის 20 აპრილის 6 სთ 30 წთ გრინვიჩში ადგილობრივი დროით. 1982 წლის ასტრონომიულ კალენდარში 39-ე გვერდზე მოვნახავთ 20 აპრილის მსოფლიო დროს 0 სთ-ზე ვარსკვლავთმძიერი დროის მნიშვნელობას: 13 სთ 51 წთ 01 წმ. ამას უნდა დაემატოს ვარსკვლავთმძიერი დროის ერთეულებში გამოხატული საშუალო მზისმძიერი დროის 6 სთ 30 წთ-იანი ინტერვალი

$$\begin{array}{r} 6 \text{ სთ } 30 \text{ წთ} \\ + \quad 0 \text{ წთ } 59.14 \text{ წმ} \\ + \quad \quad \quad 4.93 \text{ წმ} \\ \hline 6 \text{ სთ } 31 \text{ წთ } 4.07 \text{ წმ} \end{array}$$

პასუხი იქნება:

$$\begin{array}{r} 13 \text{ სთ } 51 \text{ წთ } 01 \text{ წმ} \\ + 6 \quad 31 \quad \quad 04 \\ \hline 20 \text{ სთ } 22 \text{ წთ } 05 \text{ წმ} \end{array}$$

შედარებით უფრო რთულია შემდეგი ამოცანა. განვსაზღვროთ ვარსკვლავთმძიერი დრო თბილისში 1982 წლის 20 აპრილს, საზაფხულო დროით 23 სთ 15 წთ მომენტისათვის.

თუ საზაფხულო დრო 23 სთ 15 წთ-ია, მსოფლიო დროს მივიღებთ შემდეგნაირად:

23 სთ 15 წთ	
— 5	(თბილისის ზოლის ნომერი, 2 საათით გადიდებული დეკრეტის მიხედვით)
<hr/>	
18    15	(მსოფლიო დრო)
3	(შესწორება, საშუალო მზისმძიერი დროის შუალედის ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედში გადასაყვანად; იხ. ასტრ. კალენდარი, 1982, გვ. 130).
<hr/>	
18    18	(გრინვიჩის საშუალო დროის შუალამიდან გასული ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედი)



18	18	
13	51	(ვარსკვლავთმცერი დრო 0 სთ-ზე მსოფლიო დროით. იხ. ასტრ. კალენდარი, 1982, გვ. 39)
32	09	
— 24		
8	09	(ვარსკვლავთმცერი დრო გრინვიჩში)
+ 2	59	(თბილისის გრძედით)
11 სთ 08 წთ		(ამოცანის პასუხი).

**§ 77. წელთაღრიცხვა. კალენდარი.** დროის საზომ ძირითად ერთეულს დღე-ღამე წარმოადგენს, ხოლო დროის დიდი შუალედების გასაზომად ტროპიკული წელიწადი გამოიყენება, როგორც ერთეული. მაგრამ უნდა ითქვას, რომ ამ ერთეულს ისეთი თვისებები ახასიათებს, რომლებიც ერთგვარად ართულებს მის ხმარებას. თუმცა მაინც მას ვიყენებთ, რამდენადაც იგი განისაზღვრება ბუნებრივი პერიოდული, მუდამ ერთნაირად განმეორებადი მოვლენით—დედამიწის წლიური მოქცევით მზის გარშემო.

თავისებურება, რომელიც პრაქტიკულად ართულებს გამოყენებას, ისაა, რომ ტროპიკული წელიწადი შედგენილია დღე-ღამეთა არა მთელი, არამედ წილადი რიცხვისაგან. უფრო მეტიც: მისი ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობაც (365 დღე-ღამე 5 სთ 48 წთ 46 წმ ანუ 365.2422 დღე-ღამე) მხოლოდ მიახლოებითაა. უხერხულობა ისაა, რომ თუ ერთი წელიწადი დაიწყო შუაღამისას, იგი ისევ შუაღამისას კი არ დამთავრდება, არამედ—ნაშუაღამევის 5 სთ 48 წთ 46 წმ-ზე. მხოლოდ ამის შემდეგ დაიწყება მეორე, მომდევნო წელიწადი და კიდევ მომდევნო — მესამე წელიწადი დაიწყება დღის 11 სთ 37 წთ 32 წმ-ზე და ა. შ. ეს კი მეტისმეტად მოუხერხებელი და სამოქალაქო ცხოვრების პრაქტიკაში სრულიად მიუღებელი იქნებოდა.

ამიტომ თ ვ ღ ი ა ნ, რომ წელიწადი შეიცავს დღე-ღამეების მთელ რიცხვს. ასეთი, ერთგვარად პირობითი წელიწადი სამოქალაქო წელიწადია. მაგრამ სამოქალაქო წელიწადის ხანგრძლივობა ს ა შ უ ა ლ ო დ მაინც თუ არ იქნებოდა ტროპიკული წელიწადის ხანგრძლივობის ტოლი, წლების სამოქალაქო ანგარიში ანუ წ ე ლ თ ა ღ რ ი ც ხ ვ ა იმდენად დაშორდებოდა იმ ბუნებრივი მოვლენის განმეორებას, რომელსაც უნდა ემყარებოდეს იგი, რომ აღრიცხვის საქმე ერთობ აირ-დაირეოდა.

როგორ დავუახლოვოთ და შევუთავსოთ ერთმანეთს სამოქალაქო წელიწადი და ტროპიკული წელიწადი? ამ ორი ერთეულის დ ა ა ხ ლ ო ე ბ ა კარგა ხანია წარმოადგენს კაცობრიობის საზრუნავს და ეს საქმე იქცა ისტორიულ პრობლემად, რომელიც დაკავშირებულია წ ე ლ თ ა ღ რ ი ც ხ ვ ა ს თ ა ნ ანუ კ ა ლ ე ნ-დ ა რ თ ა ნ (რომაული სიტყვიდან *calendae*, რაც თვის პირველ რიცხვს ნიშნავს). ძველად კალენდარი საერთოდ წარმოადგენდა ასტრონომიის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას. ახლაც ეს ამოცანა როდია საბოლოოდ გადაწყვეტილი. დროის გაზომვის თავისებურება, შედარებით სხვა სიდიდეების (სიგრძის, წონის და სხვ.) გაზომვასთან, ისაა, რომ ყველა შემთხვევაში, გარდა დროისა, მიღებული



ლია ერთი ძირითადი საზომი ერთეული (მეტრი, გრამი და სხვ.); უფრო დიდი ან მცირე ერთეულები ამ ძირითადისაგან წარმოსდგება უბრალო ჯერადობის წესით (მაგალითად, ათასჯერ მეტრი კილომეტრია, მეტრის მეასედი-სანტიმეტრი). დროის შემთხვევაში ორი ძირითადი ერთეული მივიჩნიეთ: დღე-ღამე და წელიწადი. ამავე დროს კი ესენი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი, დედამიწის ორ სხვადასხვა მოძრაობასთან დაკავშირებული ბუნებრივი მოვლენების პერიოდული განმეორებადობით განისაზღვრება. წელიწადი როდია დღე-ღამის უბრალოდ ჯერადი სიდიდე. დღე-ღამეებისა და ტროპიკული წელიწადის უთანაზომობაშია წელთაღრიცხვის მთავარი სირთულე და სანამ დროის აღრიცხვისათვის ეს ორი ძირითადი ერთეული გამოიყენება, ეს სირთულე ყოველთვის იქნება და სხვადასხვა პრაქტიკული ხერხებით მეტ-ნაკლები ეფექტურობითა და მოხერხებულობით შეიძლება მისი მხოლოდ შემცირება.

სწორედ საკითხის ასე გადაწყვეტა წარმოადგენდა საზოგადოების საუკუნეობრივ საზრუნავს.

**§ 78. იულიუსისეული კალენდარი (ძველი სტილი).** ჯერ კიდევ 20 საუკუნის წინათ შემოღებულ იქნა წელთაღრიცხვის ერთგვარი სისტემა—**ე. წ. იულიუსისეული კალენდარი**, რომელსაც შემდგომ ძველი სტილის წელთაღრიცხვა ეწოდა. ამ სისტემის მიხედვით წელიწადის ხანგრძლივობა, როგორც წესი, მიღებულ იქნა 365 დღე-ღამედ, მაგრამ იმ პირობით, რომ ყოველი მეოთხე წელიწადის ხანგრძლივობა ერთი დღე-ღამით მეტი ყოფილიყო და, მაშასადამე, 366 დღე-ღამედ ითვლებოდა. ასეთ წელიწადს **ნაკიანი წელიწადი** ეწოდება. ამგვარად, იულიუსისეულ კალენდარში ყოველი 4 წელიწადის საშუალო ხანგრძლივობა  $365\frac{1}{4}$  დღე-ღამეა, რაც ძალიან ახლოა ტროპიკული წელიწადის ხანგრძლივობასთან (365.2422).

სწორედ ეს **სიახლოვე** წარმოადგენდა იმ დროს დიდ პროგრესს წელთაღრიცხვაში. იულიუსი რომაელი კეისარი იყო, რომელმაც კალენდრის ეს რეფორმა ბრძანებულებით გაატარა ეგვიპტელი ასტრონომის სოზიგენის რჩევით. წელიწადის თვეებად დაყოფა და მათი სახელწოდებანი ძველრომაული კალენდრიდან მოდიოდა იულიუსისეულში.

**§ 79. გრიგორიუსისეული კალენდარი (ახალი სტილი).** თუ 4 წელიწადის ან თუნდაც რამდენიმე ათეული წელიწადის მანძილზე ფაქტობრივი განსხვავება იულიუსისეულ საშუალოსა და ტროპიკულ წელიწადთა შორის უმნიშვნელოა (365 დღ 6სთ—365 დღ 5სთ 48წთ 46წმ = 11წთ 14წმ წელიწადში), საუკუნეების მანძილზე იგი იმდენად შესამჩნევი ხდება, რომ მისი უგულვებელყოფა შეუძლებელია.

ასე, სახელდობრ, 400 წლის განმავლობაში ეს მცირე ყოველწლიური სხვაობა უკვე 3 დღე-ღამის ტოლ შესამჩნევ ცდომილებად გროვდება ( $11\text{ წთ } 14\text{ წმ} \times 400 = 4493\text{ წთ} = 3\text{ დღ } 2\text{ სთ } 53\text{ წთ}$ ). ამასთან დაკავშირებით დღედამტოლობისა და მზებუდობის დღეები თანდათან გადადის სულ უფრო ადრინდელ კალენდარულ რიცხვებზე. თუ, მაგალითად, IV საუკუნეში გაზაფხულის დღედამტოლობა 21 მარტზე მოდიოდა და, მაშასადამე, ამ დღეს იწყებოდა გაზაფხული, VIII საუკუნეში იგი 17 მარტზე, ხოლო XVI საუკუნის შუაწლებისათვის უკვე 11 მარტზე მოვიდოდა.

ამგვარად, იულიუსისეული წელთაღრიცხვის მიხედვით იმ დროისათვის გაზაფხულის დასაწყისი 10 დღე-ღამით ჩამორჩებოდა ბუნებას.



ამან მოითხოვა იულიუსისეული წელთაღრიცხვის სისტემის რეფორმა. ასეთი რეფორმა გაატარა 1582 წელს რომის პაპმა გრიგორიუს XIII-ემ. რეფორმა იმაში გამოიხატა, რომ 1582 წლის 4 ოქტომბრის მომდევნო დღე ჩათვალებს არა 5 ოქტომბრად, არამედ 15 ოქტომბრად. ამით მოიხსნა იულიუსისეული რეფორმის შემდგომ განვლილი საუკუნეების მანძილზე დაგროვილი ცდომილება და შემდეგი წლის გაზაფხულს ბუნებრივი დასაწყისი (მზის გავლის დღე— $\Upsilon$  წერტილზე) კვლავ 21 მარტს დაუბრუნდა. ამ ახალ წელთაღრიცხვას ახალი სტილი დაერქვა.

მაგრამ ამით როდი ამოწურულა გრიგორიუსისმიერი რეფორმა. საჭირო იყო კიდევ ისეთი წესის დადგენა, რომელიც შეამცირებდა მომავალში იმავე ცდომილების დაგროვებას. იმ მიზნით, რომ ცდომილება კიდევ არ დაგროვილიყო ისე, როგორც მანამდე გროვდებოდა 3 დღე-ღამის სიდიდით ყოველ 4 საუკუნეში, გადაწყდა, რომ სამი ნაკიანი წელიწადი ყოველი 400 წლის პერიოდში უბრალო წელიწადად ჩათვლილიყო.

გრიგორიუსის მიხედვით, ნაკიანად ითვლება ყოველი მეოთხე წელიწადი, სახელდობრ, ის წელიწადი, რომლის გამომსახველი რიცხვი უნაშთოდ იყოფა 4-ზე, გარდა იმ წლებისა, რომლებიც, თუმცა აგრეთვე იყოფა 4-ზე, მაგრამ შეიცავს მთელ საუკუნეებს, ხოლო მათი საუკუნეების რიცხვი 4-ზე უნაშთოდ არ იყოფა. ამგვარად, ნაკიანია შემდეგი წლები: 1960, 1964, 1968, 1972 და ა. შ. ნაკიანია აგრეთვე წლები: 1600, 2000, 2400 და ა. შ.; თითოეული მათგანი 366 დღე-ღამეს შეიცავს, თებერვალი 29 დღისაგან შედგება. ოღონდ არაა ნაკიანი შემდეგი წლები: 1700, 1800, 1900, 2100; ესენი 365 დღეს შეიცავენ, თებერვალი 28 დღისაგან შედგება.

წელთაღრიცხვის ასეთ წესს ანუ ე.წ. ახალ სტილს უპირატესობა აქვს ძველთან, რამდენადაც იგი კიდევ უფრო ნაკლებად დაშორებულია „ბუნებრივ წელთაღრიცხვას“ და ცდომილება, რომელიც ერთი დღე-ღამის სიდიდისაა, მხოლოდ 3300 წლის განმავლობაში დაგროვდება. ეს იქიდან ჩანს, რომ ახალი სტილის წელიწადის საშუალო ხანგრძლივობა, რომელიც გამოდის 365 დღ 5 სთ 49 წთ 12 წმ, ტროპიკული წელიწადისაგან მხოლოდ 26 წამით განსხვავდება (ძველი სტილის წელიწადი კი—11 წთ და 14 წმ-ით). ასეთი სიდიდით ყოველწლიური ჩამორჩენა პრაქტიკულად სრულიად შეუმჩნეველია საუკუნეების მანძილზე და, როგორც ვთქვით, და უბრალო ანგარიშიდან მიიღება, მხოლოდ 3300 წლის შემდგომ შეიმჩნევა ერთი დღე-ღამის განსხვავების სახით (ძველი სტილით კი ასეთი შეცდომა გროვდება ყოველ 128 წელიწადში). ასევე, მზებუდობისა და დღედამტოლობის დღეები გრიგორიუსისეულ კალენდარში მრავალი საუკუნის განმავლობაში არ განიცდის საგრძნობ გადანაცვლებას.

მაშასადამე, ახალი სტილი ერთგვარად აუმაჯობესებს წელთაღრიცხვას, მაგრამ სავსებით ზუსტს არც ის ხდის მას. წელიწადისა და დღე-ღამის უთანაზომობის გამო აბსოლუტურად ზუსტი კალენდარი შეუძლებელია, თუ იგი დროის ამ შუალედებს ემყარება.

გრიგორიუსისეული კალენდარი ანუ ახალი სტილი შემოღებულ იქნა საფრანგეთში, იტალიაში, ესპანეთსა და პორტუგალიაში XVI საუკუნის ოთხმოციან წლებში, ევროპის სხვა სახელმწიფოებში კი—შესამჩნევად უფრო გვიან. რევოლუციის წინაღობინდელ რუსეთში ახალი სტილი არ ყოფილა ხმარებაში; მისი შემოღების საკითხი მხოლოდ ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ გადაწყდა





და 1918 წლის 26 იანვრის დეკრეტით დადგენილ იქნა იგი ჩვენს სახელმწიფოში ამ დროისათვის იულიუსისეული კალენდრის ჩამორჩენა უკვე 13 დღე-ღამეს აღ-წევდა. ამ ჩამორჩენის გამოსასწორებლად 1 თებერვალი 14 თებერვლად გამოც-ხადდა. ამნაირად, მოსპობილ იქნა ჩამორჩენა „ბუნებრივი წელთაღრიცხვის“ მი-მართ და—განსხვავებაც ძველი რუსეთისა და სხვა სახელმწიფოების კალენ-დრებს შორის, რომელიც უკვე კარგა ხანია ართულებდა სახელმწიფოთა შორის ეკონომიურსა და კულტურულ ურთიერთობას.

იმისათვის, რომ ძველი სტილით მოცემული რომელიმე ისტორიული ფაქ-ტის თარიღი ახალი სტილით წარმოვადგინოთ, საჭიროა ძველი სტილის თა-რიღს მივუმატოთ იმდენი დღე, რამდენსაც იმ დროისათვის ახალსა და ძველ სტილს შორის სხვაობა წარმოადგენდა. ასე, ოქტომბრის სოციალისტურ რევოლუცია მოხდა 1917 წლის 25 ოქტომბერს ძველი სტილით და რადგან იმ დროს ძველი სტილი ახალს 13 დღით ჩამორჩებოდა, ეს დღე 7 ნოემბერს ემთხვევა.

ჩვენ თავის ადგილას მოვიყვანეთ თარიღები 21 მარტი, 23 სექტემბერი და 22 ივნისი, 22 დეკემბერი როგორც დღელამტოლობათა და მზებუდობათა დღეები, შესაბამისად. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ დღელამტოლობათა და მზებუდობა-თა მომენტები ერთგვარ ცვლილებებს განიცდის, გადაადგილდება, ე. ი. ხან ცო-ტა უფრო გვიან და ხან უფრო ადრე დგება და ზოგჯერ სხვა, დასახელებულთაგან განსხვავებულ დღეზედაც მოდის. აი, მაგალითად, გაზაფხულის დღელამტოლო-ბისა და ზამთრის მზებუდობის მომენტები თბილისის საშუალო დროით რამდე-ნიმე წლის მანძილზე:

1976 მარტის 20	14 სთ 49 წთ	დეკემბრის 21	20 სთ 35 წთ
1977	20 20 42	22	02 22
1978	21 02 33	22	08 20
1979	21 08 21	22	14 09
1980	20 14 09	21	19 55
1981	20 20 02	22	01 50
1982	21 01 55	22	07 38
1983	21 07 38	22	13 29

ამის პირველი და მთავარი მიზეზი სწორედ ტროპიკული წელიწადის კალენ-დარული წელიწადისაგან განსხვავებულობაა, რომელიც ზემოთ გვქონდა აღ-ნიშნული. თუ ეს მომენტები ყოველთვის ერთი მიმართულებით კი არ გადაი-ნაცვლებს, არამედ რაღაც საშუალოს გარშემო ირყევა, იმ გარემოებათა შედეგია, რომლებიც კალენდრის „მოწესრიგების“ ღონისძიებებს წარმოადგენენ (კერძოდ, ნაკიანი წელიწადის შემოღება). მკითხველმა ყურადღება მიაქციოს და თვითონ ახსნას ის, რომ ცხრილში მოყვანილი მომენტები, 1976 წლის შემდეგ თანმიმ-დევრულად იზრდება და 1980 წელს კი (ნაკიანი წელიწადია!) უკან ბრუნდება.

**§ 80. კალენდართან დაკავშირებული სხვა საკითხები.** თანამედროვე კალენ-დარი, რომელიც ხმარებაშია მთელს განათლებულ მსოფლიოში, არა მარტო იმ პრინციპული ხასიათის არასრულყოფილობით ხასიათდება, რომელზეც ზემოთ ვილაპარაკეთ, არამედ სხვა ნაკლოვანებებითაც არის დამძიმებული. ასეთებია, მაგალითად, თვეების არათანატოლი ხანგრძლივობა (ზოგი თვე შედგება 30, ზო-



გიც — 31 დღისაგან; ხოლო თებერვალი 28 ან 29 დღისაგან), კვარტალთა სხვადასხვა ხანგრძლივობა (90, 91, 92 დღე), თვეების რიცხვებსა და კვირის დღეებს შორის შეუთანხმებლობა და სხვ.

კალენდრის რეფორმის ბევრი პროექტი არსებობს. მათი მიზანია უმთავრესად კვარტალებისა და თვეების ხანგრძლივობათა მოწესრიგება, შვიდდღიანი კვირის დღეების თანმიმდევრობის შეთანხმება თვეების რიცხვების მსვლელობასთან და სხვ. მოიპოვება, მაგალითად, პროექტი, რომლის მიხედვით ყოველი კვარტალი კვირით უნდა იწყებოდეს და შაბათით მთავრდებოდეს. მაგრამ, ჯერჯერობით, ამ საკითხზე არავითარი საერთაშორისო შეთანხმება არაა მიღებული. ის კი ცხადია, რომ სახელმწიფოთა შორის დღევანდელ დონემდე განვითარებული ურთიერთობის პირობებში კალენდრის ყოველგვარი შემდგომი რეფორმა უთუოდ საერთაშორისო, საყოველთაო ღონისძიებას უნდა წარმოადგენდეს.

ჩვენ ვამბობთ: კოპერნიკი დაიბადა 1473 წელს, ან კიდევ: ოქტომბრის რევოლუცია მოხდა 1917 წელს. რას ნიშნავს თარიღის ასე გამოხატვა წლებით? საიდან, რა მიჯნიდან, რა მომენტიდან იანგარიშება წლები? წინათ, ძველ რომში წლები იანგარიშებოდა იმპერატორების მმართველობის მიხედვით, ან კიდევ, რომის დაარსებიდან — დროიდან, რომელიც გაურკვეველ წარსულში იკარგება. წლების ამჟამინდელი ანგარიშის ანუ მათი „დანომერის“ საწყისს წარმოადგენს აგრეთვე ლეგენდური წარსულის ბურუსით მოცული ქრისტეს დაბადების დღე, რაც 20 საუკუნის წინათ მოხდა. აქ არსებითი არაა, რა ისტორიული ფაქტი ან ამბავი მიიჩნევა საწყისად! არსებითია ის, რომ შეთანხმება იყოს ერთ საყოველთაოდ მიღებულ მომენტზე, საიდანაც ყველასათვის ერთნაირად აითვლება წლები.

ეს იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ წარმოებდეს ისტორიული ფაქტების ქრონოლოგია ანუ დროის მსვლელობაში თანმიმდევრული დათარიღება წელთაღრიცხვის ერთიან სისტემაში. ეს იმის საშუალებასაც იძლევა, რომ შეიძლებოდეს წლების სარწმუნო ანგარიში შორეული წარსულის სიღრმეებშიც, იმ ამბების მიმართ, რომლებიც ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყის მომენტამდე მოხდა. ამიტომ დღეს ყველას აკმაყოფილებს წელთაღრიცხვა ტრადიციულად დამკვიდრებული საწყისიდან.

ამ საწყისიდან წარმოებულ წელთაღრიცხვას ჩვენს ერას ვუწოდებთ. მაგალითად, ვამბობთ: ბერძენი ასტრონომი პტოლემეოსი ცხოვრობდა და მოღვაწეობდა II საუკუნეში ჩვენს ერაში ანუ ჩვენი ახალი წელთაღრიცხვით (ახ. წ.). სამაგიეროდ, ჰიპარქზე, რომელიც პტოლემეოსამდე 4 საუკუნით ადრე მოღვაწეობდა, ვიტყვით, რომ ცხოვრობდა II საუკუნეში ჩვენს ერამდე, ჩვენს წელთაღრიცხვამდე ანუ ძველი წელთაღრიცხვით (ძვ. წ.). რუსულ წიგნებში ამ ცნებების შემოკლებული აღნიშვნები შეიძლება შეგვხვდეს: *н. э.* და *до н. э.*, რაც შესაბამისად ნიშნავს „ჩვენი წელთაღრიცხვით“ და „ჩვენს წელთაღრიცხვამდე“. ხშირად შეგვხვდება შესაბამისი საერთაშორისო აღნიშვნებიც: *A.D.* (*Anno Domini*) და *a. D.* (*ante Deum*).

ასტრონომიაში, სპეციალური მიზნებით, სხვა აღრიცხვაც იხმარება. ეს დღეების თანმიმდევრული ანგარიშია; მას იწყებენ პირობით აღებული მომენტიდან, რომელიც მოდის ჩვენს ერამდე 4713 წლის 1 იანვრის შუადღეზე. ასე ათვლილ დღეებს იულიუსის ეულ დღეებს უწოდებენ\*, თუმცა ამას არა აქვს რაიმე საერთო იულიუსის კალენდართან.

\* ამ სისტემის საფუძვლის შესახებ იხ. „ასტრონომიული კალენდარი“ 1961 წლისათვის (I გამოშვება), თბილისი, 1960, გვ. 113.



იულიუსისეული დღეები დალაგებულია ცხრილების სახით და ასეთი ცხრილები საშუალებას გვაძლევს ჩვენი კალენდრის ნებისმიერი დღე, — იქნება იგი პირველი საუკუნის თუ მიმდინარე XX საუკუნისა, — გამოვსახოთ იულიუსისეულ დღეებში, ე. ი. ვნახოთ, თუ რამდენმა დღემ განვლო ძვ. წ-ის 4713 წლის 1 იანვრიდან მოცემულ დღემდე. ეს მოხერხებულია, მაგალითად, ისეთი ასტრონომიული ამოცანების შესწავლისას, რომლებიც დაკავშირებულია ე. წ. ცვალებადი ვარსკვლავების სიკაშკაშის ცვლილების გამოკვლევასთან. მოხერხებულია იგი საერთოდ, რაიმე მოვლენის ხანგრძლივობის დღეებში გამოსახვისათვის. სათანადო ცხრილები ისეა შედგენილი, რომ მომდევარი წლების ყოველი თვის დასაწყისი დღისათვის მოცემულია იულიუსის დღის ნომერი. ამის მიხედვით შეიძლება ვიპოვოთ თვის ნებისმიერი რიცხვის შესაბამისი იულიუსისეული რიცხვი.

მოვიყვანოთ სულ მცირე ცხრილი იულიუსისეული დღეებისა წლის 1 იანვრის შუადღეზე:

1950 წ.	2433283
1960	2436935
1970	2440588
1980	2444240
1990	2447893
2000	2451545

ვთქვათ, საჭიროა ვიცოდეთ რამდენმა დღემ განვლო 1981 წლის 31 ივლისის შხის დაბნელებიდან 1983 წლის 4 დეკემბრის შხის დაბნელებამდე. თუ არ მოგვეპოვება სპეციალური ცხრილები, მივმართოთ ქართულ „ასტრონომიულ კალენდარს“ 1981 წლისა და 1983 წლისათვის. პირველში, 45-ე გვერდზე ვიპოვოთ, რომ 31 ივლისს იულიუსისეული დღის ნომერია 2444816.5; მეორეში კი (გვ. 55) 4 დეკემბრისათვის 2445672.5. ცხადია, ამ ორ მოვლენას შორის განსხვავება დღეებში არის:  $2445672.5 - 2444816.5 = 856$ . თვის რიცხვი, მაგალითად, 2444816.5 იმას ნიშნავს, რომ 4713 წლის (ძვ. წ.) 1 იანვრიდან 1981 წლის 31 ივლისამდე განვლო 2 მილიონმა 444 ათასმა და 816 დღემ.

იმავე 1984 წლის ასტრონომიულ კალენდარში 45-ე გვერდზე ვიპოვოთ, რომ 15 ივლისს 0 საათზე იულიუსისეული აღრიცხვის დღის ნომერია 2445896.5.

აქამდე საუბარი გვქონდა შხისმიერ კალენდარზე, რომელშიც წელთაღრიცხვის საფუძველს ცაზე შხის წლიური მოქცევა შეადგენს. ასტრონომიისა და კაცობრიობის ისტორიაში ცნობილია შხისმიერი კალენდრის მრავალი სახესხვაობა. ე. წ. ძველევგვიპტური კალენდარი, რომელიც ჩვენს წელთაღრიცხვამდე IV ათასწლეულში ჩამოყალიბდა, შეიძლება ითქვას, ყველა შემდგომი შხისმიერი კალენდრის პირველსახეს წარმოადგენდა.

ცნობილია აგრეთვე მთვარის მიერ და მზემთვარის მიერ კალენდრები. მთვარის პერიოდული მოქცევა დედამიწის გარშემო, მისი ფაზების კანონზომიერი ცვლილება საფუძველს ქმნის დროის საზომი ერთეულისათვის — მთვარის თვისათვის. ეს პერიოდული მოვლენა იმდენად თვალსაჩინოა და ბუნებრივი, რომ მისთვის ძველთაგანვე მიუძღრთავთ როგორც დროის აღრიცხვის საშუალებებისათვის. მთვარისმიერი კალენდრის მაგალითს წარმოადგენს მუსლიმანური კალენდარი, ე. წ. ჰიჯრა. აზიის ზოგ ქვეყანაში მას ახლაც ხმარობენ, მისი დიდი მოუხერხებლობის მიუხედავად, რაც იმაში გამოიხატება, რომ იგი



შეუთავსებელია წელიწადისა და დღე-ღამის ხანგრძლივობასთან და სხვა ნაკ-  
ლიც აქვს.

ამასთან დაკავშირებით დაუმუშავებიათ წელთაღრიცხვის მზემთვარისეუ-  
ლი სისტემებიც. მათში დროის აღრიცხვა მთვარის მიხედვით შეთანხმებულია  
აღრიცხვასთან მზის მიხედვით. მზე-მთვარისმიერი კალენდრის უძველეს მაგა-  
ლითს წარმოადგენს ე. წ. ძველბაბილონური და ძველებრაული კალენდრები. რო-  
გორც ძველბაბილონური კალენდრის შემკვიდრებამ, ჩვენამდე მოაღწია შვიდ-  
დღიანმა კვირამ, რომელსაც როდი აქვს ასტრონომიული წარმოშობა როგორც  
დღე-ღამეს (დედამიწის ბრუნვა), თვეს (მთვარის მოქცევა დედამიწის გარშემო),  
წელიწადს (დედამიწის მოქცევა მზის ირგვლივ). თუმცა, კვირის დღეების ლათი-  
ნური წარმოშობის სახელწოდებები პლანეტების, მთვარისა და მზის სახელებ-  
თან არის დაკავშირებული. დღესდღეობით ყველაზე პროგრესულ კალენდრად  
რჩება ის, რომელსაც ხმარობს საბჭოთა კავშირი და ყველა სხვა, ეკონომიური,  
კულტურული და ტექნიკური ცხოვრების განვითარების თვალსაზრისით მოწი-  
ნავე სახელმწიფო.

ზემოთ შემოვიღეთ ტროპიკული წელიწადის ცნება. ასტრონომიულ  
პრაქტიკაში, რაც შეეხება ცის მექანიკის, მზის დაბნელებისა და სხვა ამო-  
ცანებს, გამოიყენება წელიწადის სხვაგვარად შემოღებული ცნებები: ს ი დ ე-  
რ უ ლ ი (ანუ ვარსკვლავიერი), ა ნ ო მ ა ლ ი ს ტ უ რ ი და დ რ ა კ ო ნ უ ლ ი  
წელიწადი.

სიდერული წელიწადი ეწოდება დროის შუალედს, რომელსაც მზე ანდო-  
მებს ცაზე ვარსკვლავთშორის ხილული წლიური მოძრაობისას აღებული ვარსკ-  
ვლავის მიმართ ერთ სრულ გარემოქცევას, რაც გამოწვეულია სივრცეში დედა-  
მიწის ნამდვილი გარემოქცევით მზის მიმართ. მისი ხანგრძლივობაა 365.2564  
დღე-ღამე, როგორც ვხედავთ, ოდნავ მეტი ვიდრე ტროპიკულისა. უკანასკნელის  
ხანგრძლივობას ამცირებს ვერძის წერტილის მოძრაობა ეკლიპტიკაზე მზის  
„შესახვედრად“, რაც გამოწვეულია დედამიწის პრეცესიით (იხ. ქვემოთ).

ანომალისტური წელიწადი ეწოდება დროის შუალედს თავისი ორბიტის  
პერიჰელიუმში დედამიწის ორ თანმიმდევრულ გავლას შორის. იგი ეტოლება  
365.2596 დღე-ღამეს.

დრაკონული წელიწადი დროის ის ხანგრძლივობაა, რომელიც გადის  
მთვარის ორბიტის ერთსა და იმავე კვანძში ცაზე მზის ორ თანმიმდევრულ  
გავლათა შორის (346.6200 დღე-ღამე). იხ. ქვემოთ ანომალისტური და დრა-  
კონული თვეები.



## თავი VIII

### პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები

**პრაქტიკული ასტრონომია** გვასწავლის ცის სხეულების დაკვირვების პრაქტიკულ მეთოდებსა და ხელსაწყოებს, რომლებიც გამოიყენება მნათობების კოორდინატების განსაზღვრის, ზუსტი დროის გაზომვის, დედამიწის ზედაპირზე ადგილის განედისა და გრძედის გამოთვლის და სხვა ამგვარი მიზნებისათვის. დაკვირვებები დაკავშირებულია გეოგრაფიული რუკების შედგენასთან, გეოდეზიის, ზღვაოსნობისა და საშტურმანო საქმის ამოცანებთან და თვით მნათობთა მოძრაობის შესწავლასთან. პრაქტიკული ასტრონომია არ მოიცავს ისეთ დაკვირვებებს, რომლებიც ცის სხეულების ფიზიკური თვისებების შესწავლას ემსახურება.

მნათობთა პორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა ხდება უნივერსალური ინსტრუმენტით ან თეოდოლიტით, რომლის ხმარების წესებს უკვე გავეცანით. ქვემოთ გავეცნობით სხვა იარაღებსაც, რომლებიც მნათობთა ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

**§ 81. მნათობის კოორდინატების განსაზღვრა მერიდიანში დაკვირვებით.**  
**საათი.** კოორდინატები, კერძოდ, ეკვატორულ სისტემაში, შედარებით მარტივად განისაზღვრება მნათობის მერიდიანში გავლის მომენტში ანუ კულმინაციის დროს და უფრო ხშირად — ზ ე დ ა კულმინაციის მომენტში.

გავეცნოთ ჯერ დახრილობის განსაზღვრის მეთოდს. წინათ გამოვიყვანეთ დამოკიდებულება:

$$\delta = \varphi - z$$

რომელიც სამართლიანია შემთხვევისთვის, როცა მნათობი მერიდიანზეა და ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტსა და ეკვატორს შორის. აქედან პირდაპირ გამომდინარეობს, რომ თუ გ ა ვ ზ ო მ ა ვ თ მნათობის სიმაღლეს (თეოდოლიტით) მისი ზედა კულმინაციის მომენტში, მარტივად გ ა მ ო ვ ი თ ვ ლ ი თ მის დახრილობას, ოღონდ ცნობილი უნდა იყოს დაკვირვების ადგილის გეოგრაფიული განედის მნიშვნელობა. ადგილის განედის განსაზღვრა შესაძლოა ისე, რომ არ დაგვჭირდეს მნათობის დახრილობის წანასწარი ცოდნა (პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლის გაზომვის საფუძველზე). ამგვარად, დახრილობის განსაზღვრის ამოცანა გადაწყვეტილია.

მნათობის პირდაპირი აღვლენის განსაზღვრის პრინციპად ის გარემოება უნდა მივიღოთ, რომ, როგორც ვიცით, ვარსკვლავთმძიერი დრო ტოლია ზედა კულმინაციაში მყოფი მნათობის პირდაპირი აღვლენისა. მაშასადამე, საჭიროა ასტრონომიული საათით ზუსტად აღვნიშნოთ ვარსკვლავთმძიერ დროში გამოსახული ის მომენტი, როცა აღებული მნათობი მერიდიანს პკვეთს



(ზედა კულმინაციაში). ამ მომენტის მნიშვნელობა ამავე დროს მნათობის პირდაპირ აღვლენას შეესაბამება. ცხადია, იგულისხმება, რომ საათის ჩვენება სწორია. მაგრამ იმისათვის, რომ დარწმუნებული ვიყოთ საათის ჩვენების სისწორეში, საათი თვითონ უნდა იქნეს შემოწმებული ან დაყენებული სხვა ვარსკვლავის მიხედვით, რომლის პირდაპირი აღვლენა წინასწარ ცნობილია.

პრაქტიკულად, ზუსტი ასტრონომიული საათი როდი უჩვენებს უთუოდ ზუსტ დროს. არსებითია ის, რომ ყოველთვის ვიცოდეთ როგორ განსვავდება საათის ჩვენება ზუსტი დროისაგან ანუ როგორია ე. წ. საათის შესწორება.

მაგრამ თვით საათის შესწორებაც როდი რჩება მუდმივი; იგი იცვლება საათის თვისებებზე დამოკიდებულებით და აგრეთვე გარემოს ტემპერატურის, ჰაერის წნევის, სინოტივისა და სხვა ფაქტორების მოქმედებით. ამიტომ ობსერვატორიებში უხდებათ საათის შესწორების სისტემატური განსაზღვრა ასტრონომიული დაკვირვებებით.

დღე-ღამეში საათის შესწორების ცვლილებას ეწოდება საათის სვლა. რაც უფრო კარგი ხარისხისაა საათი და მდგრადი პირობების მქონე გარემოშია იგი მოთავსებული, მით მცირეა მისი სვლა. თუმცა არსებითი ის კი არაა, რომ სვლა მცირე იყოს; არსებითია, იყოს იგი თითქმის მუდმივი. თუ დღეღამური სვლის რყევა ნახევარსეკუნდზე მეტია, ასეთი საათი—ასტრონომიული თვალსაზრისით—ცუდი ხარისხისაა.

იმისათვის, რომ სახელმწიფოს ყველა დაწესებულებამ, რკინიგზამ, ყოველგვარმა სხვა ტრანსპორტმა, ქარხანამ, ექსპედიციამ და საერთოდ ყველა მცხოვრებმა იცოდეს და ხმარობდეს ზუსტ დროს, ზოგი ასტრონომიული ობსერვატორიები, რომელთაც ეს ევალებათ (კერძოდ, მოსკოვის შტერნბერგის სახელობის სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტიტუტი), რადიოთი ყოველდღიურად გადასცემენ ზუსტი დროის ხმოვან ნიშნებს გარკვეულ საათებში. ეს ე. წ. დროის სამსახური ს ფუნქციაა.

როგორც ვხედავთ, თუ დახრილობის გასაზომად საჭიროა მნათობის სიმაღლის ან ზენიტური მანძილის განსაზღვრა (თეოდოლიტით მერიდიანში), პირდაპირი აღვლენის გასაზომ იარაღს წარმოადგენს ვარსკვლავთმიერი დროით მომუშავე საათი. თუმცა, მის გვერდით, ცხადია, ასტრონომიული სამზერი იარაღიც უნდა ვიხმართ, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შევნიშნოთ მნათობის გავლა მერიდიანზე. ასეთი სამზერი მილი დაკვირვების დროს უძრავია, წინასწარ დაყენებულია მერიდიანში; მისი მხედველობის ველში გაჭიმულია ძაფი, რომლის მიმართულება მერიდიანისას თანხვდება. ველში მოძრაობს ვარსკვლავი (ცის დღეღამური ბრუნვის გამო) და აღნიშნული ძაფის მის მიერ გადაკვეთა ნიშნავს მნათობის მერიდიანზე გავლას; სწორედ ამ მომენტში უნდა აღვნიშნოთ ვარსკვლავთმიერი საათის ჩვენება.

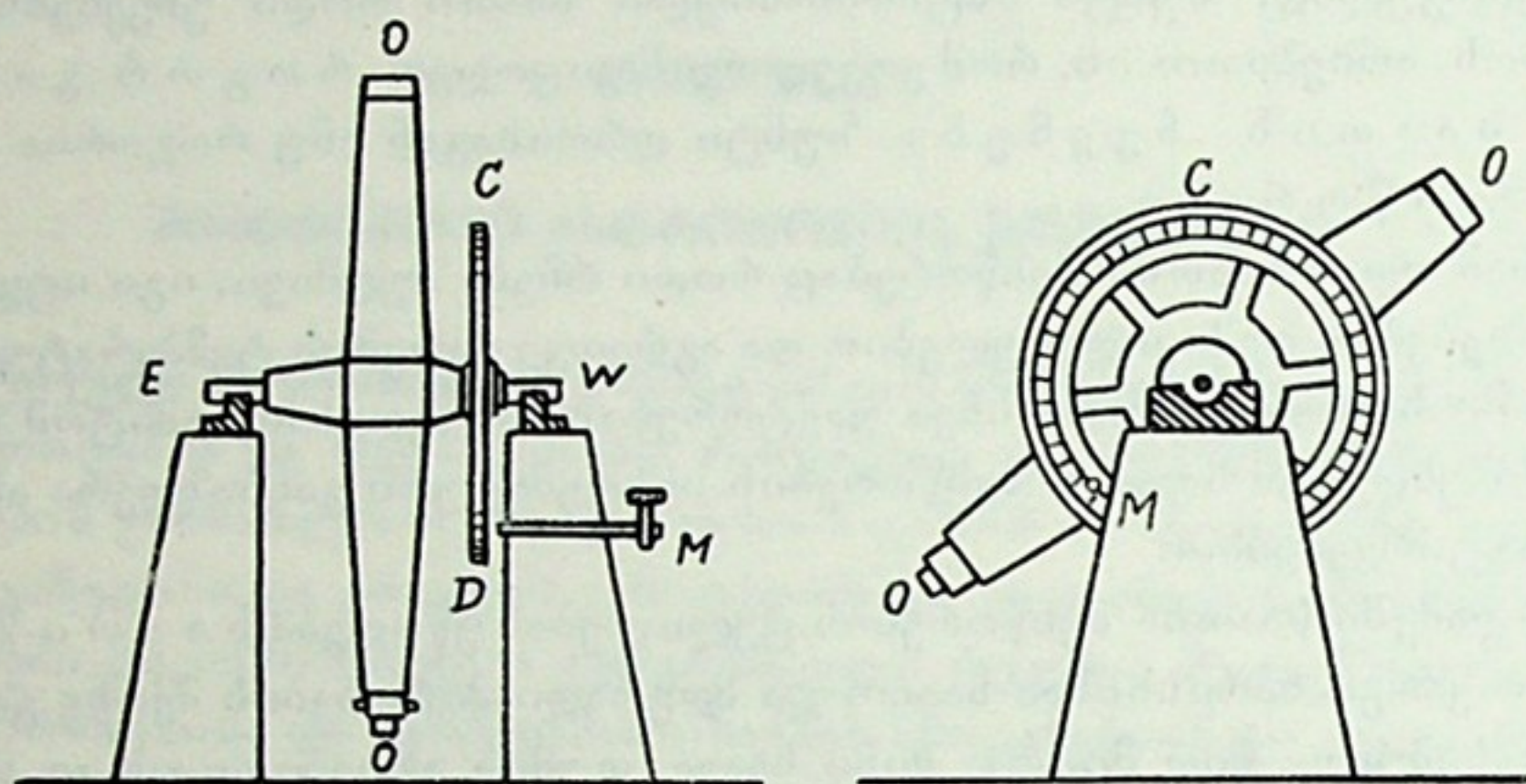
როგორც ვხედავთ, მნათობის პირდაპირი აღვლენის გაზომვა მოითხოვს დროის განსაზღვრას; ხოლო დრო განისაზღვრება ისეთი მნათობის მეშვეობით, რომლის პირდაპირი აღვლენა ცნობილია, მაშასადამე,—უკვე განსაზღვრულია. შეიძლება ახლა დაისვას საკითხი: როგორ მოვახერხეთ დროის დადგენა პირდაპირი აღვლენის ცოდნის გარეშე? ეს შესაძლებელი აღმოჩნდა სპეციალური მეტოდის გამოყენებით, როცა ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენა განისაზღვრება მზის პირდაპირი აღვლენის მეშვეობით, ხოლო ეს უკანასკნელი გამოითვ-





ლ ე ბ ა შხის დახრილობისა და ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის კუთხის მეშვეობით.

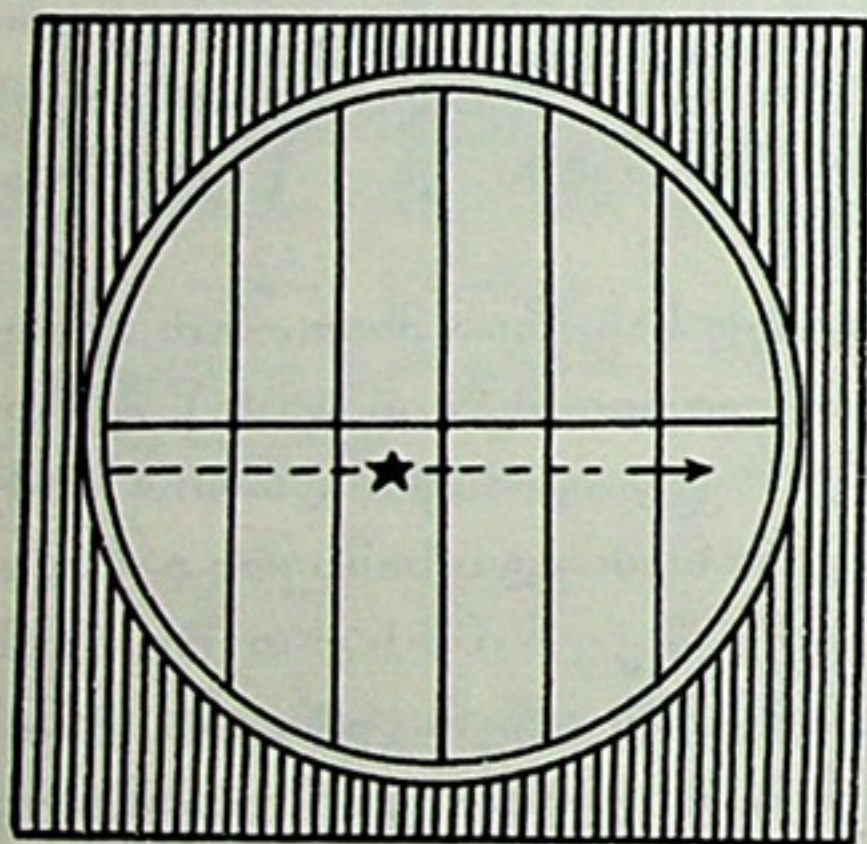
§ 82. **მერიდიანული წრე.** მნათობთა ეკვატორული კოორდინატების ზუსტი განსაზღვრისათვის გამოიყენება ე. წ. მერიდიანული წრე—იარაღი, რომლის საჭვრეტი მილი  $OO$  (ნახ. 117) ჩამოცმულია მის მართობულ  $WE$  დერძზე. ეს



ნახ. 117

დერძი ჰორიზონტალურად ძვეს მყარ ქვესადგამებზე. მისი ერთი ბოლო მიმართულია აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო მეორე—დასავლეთისაკენ.  $WE$  დერძის ბრუნვისას მილიც ბრუნავს და მისი ოპტიკური დერძის გაგრძელება ცის სფეროზე,

აღვილი მისახვედრია, შემოწერს მერიდიანს. ამიტომ მილში მხოლოდ იმ მნათობებს ვხედავთ, რომლებიც კულმინაციაშია.



ნახ. 118

ამ იარაღის მთავარი ნაწილი, რომელიც კოორდინატების გაზომვას უზრუნველყოფს, არის  $CD$  წრიული რგოლი. მას მერიდიანულ წრეს უწოდებენ, რადგანაც დამაგრებულია იმავე  $WE$  დერძზე მილის ოპტიკური დერძის პარალელურ სიბრტყეში და, ბრუნავს რა იმავე სიბრტყეში მილთან ერთად, მერიდიანის სიბრტყეში ძვეს. წრის კიდეების გაყოლებაზე მისი გარშემოწერილობა დიდი სიზუსტით დაყოფილია

რგალის გრადუსებად ან მინუტებად (როგორც უნივერსალურ ინსტრუმენტსა და თეოდოლიტში, ოდონდ—უფრო წვრილ ნაწილებად). მილის ბრუნვისას უძრავად დამაგრებული  $M$  მაჩვენებლის პირდაპირ მიმდევრობით დგება წრის სხვადასხვა დანაყოფი (დანაყოფები დანომრილია  $0^\circ$ -დან  $90^\circ$ -მდე,  $180^\circ$ -მდე ან  $360^\circ$ -მდე). როცა მილი ისეა მობრუნებული, რომ ცის ეკვატორის სიბრტყეში ძვეს და, მაშასადამე, თავისი მდებარეობით ეკვატორს მიუთითებს, მაჩვენებლის წინ წრის  $0^\circ$  უნდა იყოს, ე. ი. მაჩვენებელი ნულს უნდა უჩვენებდეს.

მილის მხედველობის ველში მოჩანს ვერტიკალურად და ჰორიზონტულად დალაგებული გაჭიმული წვრილი ძაფები—ძაფბადე ან ძაფჯვარი (ნახ. 118),



რომელიც პაწია ელექტრონათურით განათებულია დაკვირვების წარმოების დროს და, მაშასადამე, ოკულარში ერთდროულად ჩანს ვარსკვლავებთან ერთად. თუ იარაღი კარგად დაყენებულია ჰორიზონტსა (ამის შესამოწმებლად თარაზოებს ხმარობენ) და პერიდიანში, მაშინ ვერტიკალურ ძაფთა შორის შუა ძაფი პერიდიანს გამოსახავს.

პერიდიანული წრის გამოყენების პრინციპი ისაა, რომ ზუსტად აღვნიშნოთ შუა ძაფზე ვარსკვლავის გავლის მომენტი. ამ მიზნით გამოიყენება ქრონომეტრი ან ქრონოგრაფი.

ქრონომეტრი საგანგებო სიზუსტით დამზადებული მოზრდილი ზამბარიანი საათია, კარგად შემოწმებული და მუშაობის მკაცრ რეჟიმში მოქცეული. მისი სეკუნდის ისარი ყოველ ნახევარწამში გადაადგილდება და კარგად ისმის მკვეთრი დარტყმები (ბგერები). დამკვირვებელი აკვირდება ჭოგრის ველში ვარსკვლავის მოძრაობას, ამასთანავე ყურს უგდებს მის ახლო მოთავსებულ ქრონომეტრს, თვლის რომელიმე სრული მინუტიდან ქრონომეტრის დარტყმებს და ამგვარად აღნიშნავს გავლის მომენტს (წამს ან მის ნახევარს).

ქრონოგრაფი ხელსაწყოა, რომელიც განახორციელებს დროის მომენტების ელექტრულ რეგისტრაციას თანაბარი სიჩქარით მშვიდად მბრუნავ ქაღალდის ლენტზე. საათი, რომელიც შეერთებულია მასთან დენის გამტარი ელექტრომავთულებით, ავტომატურად აღნიშნავს სეკუნდებს. დამკვირვებელს კი აქვს საშუალება ვარსკვლავის ცენტრალურ ძაფზე გავლის მომენტში ჩართოს მომენტალურად მეორე კალამი და იმავე ლენტზე, დროის „სახაზავის“ გვერდით, ჩანიშნოს გავლის მომენტი.

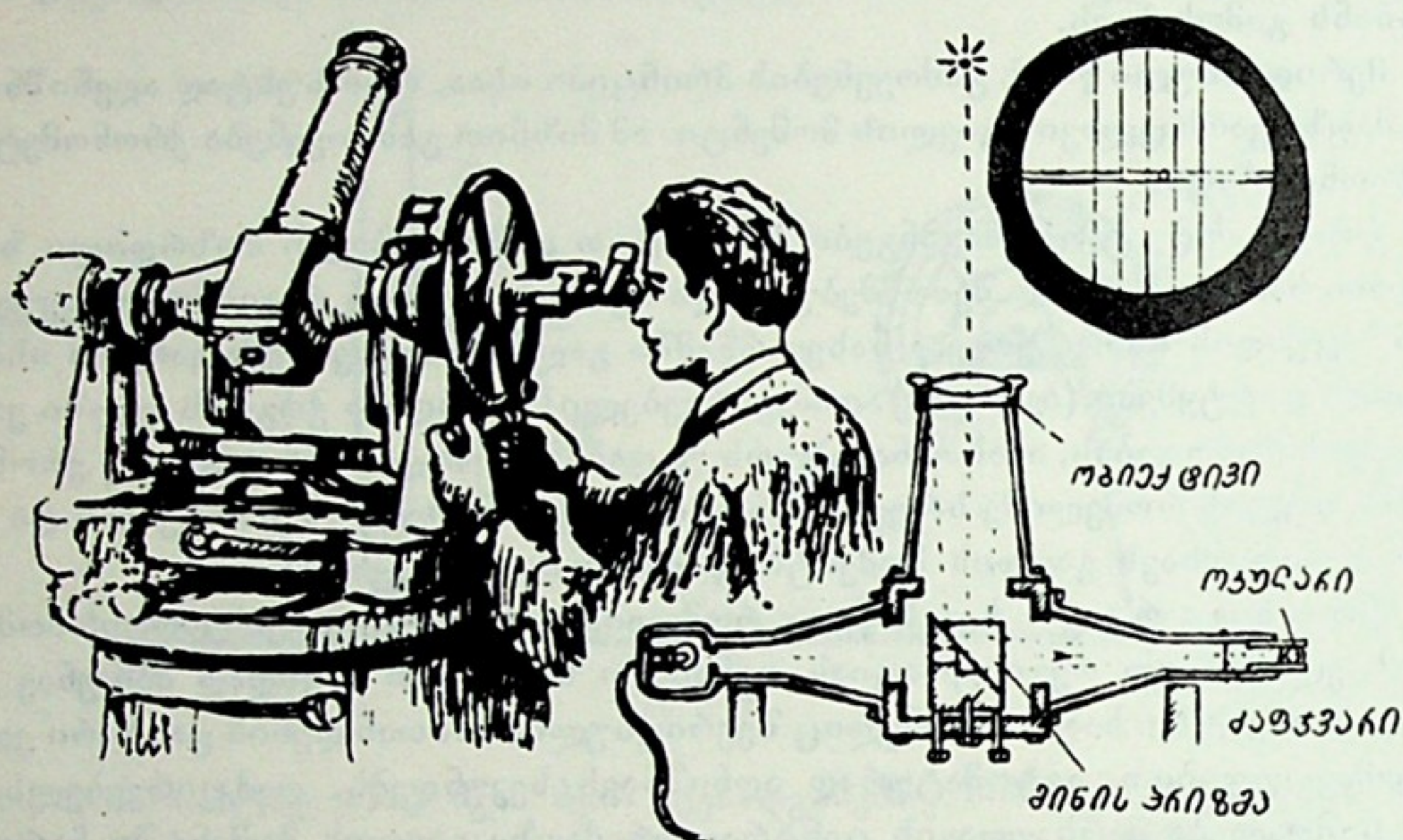
**§ 83. საპასაჟო ინსტრუმენტი.** საათის შესწორების განსაზღვრის, ე. ი. ზუსტი დროის განსაზღვრის მიზნით ხმარობენ ე. წ. საპასაჟო ინსტრუმენტს. სიტყვა „პასაჟი“ გავლას, ამ შემთხვევაში—მნათობის პერიდიანზე გავლას ნიშნავს და, მაშასადამე, ამ ინსტრუმენტზე დაკვირვების პრინციპიც ვარსკვლავის პერიდიანზე გავლის მომენტის აღნიშვნას ემყარება. საპასაჟო ინსტრუმენტს, პერიდიანული წრის მსგავსად, პერიდიანში დგამენ, ე. ი. მისი სამხერი მილი, აღმოსავლეთ-დასავლეთი მიმართულების ღერძზე მობრუნებისას, ცაზე პერიდიანს შემოწერს, პერიდიანული წრისაგან იგი მით განსხვავდება, რომ არა აქვს ზუსტი დანაყოფებიანი წრე. ეს უკანასკნელი არ ესაჭიროება, რადგანაც მისი დანიშნულება ის კი არაა, რომ კუთხე (სიმაღლე ჰორიზონტიდან ან ზენიტური მანძილი) გაზომოს, არამედ მხოლოდ მნათობის პერიდიანზე გავლის მომენტი აღნიშნოს (ნახ. 119).

გასაგებია, რომ საპასაჟო ინსტრუმენტის მხედველობის ველშიც უნდა იქნეს გაჭიმული ძაფბადე და გამოყენებული—მომენტების ზუსტი რეგისტრაციის წესი. კარგ სიზუსტეს უზრუნველყოფს ე. წ. მარეგისტრირებელი მიკრომეტრი, რომელსაც აგრეთვე კონტაქტი ან უპიროვნო მიკრომეტრსაც უწოდებენ.

ოკულარში ასეთ მიკრომეტრს წარმოადგენს ფოკალურ სიბრტყეში მოთავსებული მოძრავი ვერტიკალური ძაფი. მოძრაობაში იგი ხრახნით მოჭყავთ. ხრახნთან დაკავშირებულია დოლურა, რომელშიც ჩაყენებულია ერთიმეორისაგან გარკვეული მანძილებით დაშორებული და ელექტროდენის არაგამტარი მასალით იზოლირებული ლითონის თხელი ფირფიტები. დოლურას აწვება მსუბუქი ლითონის ზამბარა, რომელიც ელექტროდენის კონტაქტს უზრუნველყოფს. დაკვირ-



ვების წარმოების წუთებში, როცა ვარსკვლავის გამონასახი შემოვა ინსტრუმენტის მხედველობის ველში და მოთავსდება ძაფზე, დამკვირვებელი აამოძრავებს



ნახ. 119

ხრახნით ამ ძაფს ისე, რომ ძაფი ვარსკვლავს არ შორდებოდეს და მიჰყვებოდეს მას. ამ პროცედურაში ავტომატურად ხდება დენის ჩართვა და გამორთვა, რამდენადაც ხრახნის ბრუნვაში ბრუნავს დოლურაც და, სრიალებს რა საკონტაქტო ზამბარა, იგი ხან ლითონის ფირფიტებს შეეხება, ხან—იზოლატორს. დენის ჩართვა-გამორთვა სათანადოდ აღინიშნება ქრონოგრაფის ლენტზე. ასეთი წესი სიზუსტეს მატებს მერიდიანზე მნათობის გავლის მომენტის განსაზღვრას.

კიდევ უფრო მაღალი სიზუსტე მიიღწევა ვარსკვლავთ მერიდიანზე გავლის ფოტოელექტრული რეგისტრაციის წესით; მაღალი მგრძნობელობის ფოტოელემენტზე ვარსკვლავის გამოსხივების მოქმედება ელექტროდენს იწვევს; ფოტოელემენტის წინ მოთავსებულია ბადურა, რომელიც წარმოადგენს ლითონის ჭვრიტებიან ფირფიტას; იგი ძაფჯვარის როლს ასრულებს. გაივლის რა საშხერი მილის ველს, ვარსკვლავის გამოსხივება თანმიმდევრობით ნაწყვეტ-ნაწყვეტად აღძრავს დენს. რეგისტრაცია ისეთივეა, როგორც კონტაქტებისა, კონტაქტიანი მიკრომეტრის ხმარებისას. ასეთი მეთოდი სრულიად ობიექტურია და მისი გამოყენების პირობებში გამორიცხულია დამკვირვებლის პიროვნული ცდომილება.

**§ 84. ადგილის განედის განსაზღვრა.** ადგილის გეოგრაფიული განედის მიახლოებითი განსაზღვრის უმარტივესი ხერხი ისაა, რომ განვსაზღვროთ პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლე პორიზონტიდან, რომელიც, როგორც ვიცით, ადგილის განედის ტოლია:  $h_p = \varphi$ . თუმცა, პოლარული ვარსკვლავი არ იმყოფება ზუსტად პოლუსის წერტილში და ამ ხერხით სარგებლობისას ჩვენს განსაზღვრაში შეიძლება  $1^\circ$ -მდე ცდომილება შემოვიდეს, მაგრამ, თუ პოლარულ ვარსკვლავს დავაკვირდებით მის ზედა ან ქვედა კულმინაციაში, მაშინ განედი უფრო





ზუსტად განისაზღვრება. არსებობს ადგილის განედის განსაზღვრის უფრო ზო-  
გადი და ზუსტი მეთოდიც.

დავუბრუნდეთ 71-ე ნახაზს. იგი წარმოადგენს ცის სფეროს; მასთან გამო-  
ყოფილია პარალაქსური  $PZM$  სამკუთხედი, რომლისთვისაც მიღებული გვექონდა  
ფორმულა:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t.$$

$z$  გაიზომება ვარსკვლავის დაკვირვების მომენტში,  $\delta$  აიღება კატალოგიდან,  
რომელშიც თავმოყრილია შედარებით კაშკაშა ვარსკვლავების ეკვატორული  
კოორდინატები,  $t$  აღებული ვარსკვლავის საათ-კუთხეა. როგორც ვიცით,

$$s = t + \alpha$$

ანუ

$$t = s - \alpha.$$

$s$  ვარსკვლავიერი საათით აიღება (როგორც საათის ჩვენება + სათანადო შეს-  
წორება:  $s = T + u$ ). ამგვარად, მოყვანილ ფორმულაში მხოლოდ  $\varphi$  არის უცნობი  
და მისი მნიშვნელობის მოძებნა შესაძლებელია მარტივად.

განედის გამოსათვლელად დედამიწის მაღალგანედებიან პუნქტებში ხში-  
რად მიმართავენ დაკვირვებას მ ზ ე ზ ე ა ნ მ თ ვ ა რ ე ზ ე. კერძოდ, ეს ხდება პო-  
ლარული წრის შიგნით პოლარული დღის პერიოდში, როცა ცაზე არ ჩანს ვარს-  
კვლავები. ასეთ შემთხვევაში საქმეს ართულებს ის, რომ მნათობი წერტილოვა-  
ნი კი არაა, ბადროიანია; საჭიროა ამ ბადროს ც ე ნ ტ რ ი ს ზენიტური მანძილის  
(და მერიდიანზე გავლის მომენტის) პოვნა. ამისათვის უნდა გავზომოთ მზისა თუ  
მთვარის ბ ა დ რ ო ს ჯერ ზედა, შემდგომ—ქვედა კიდის ზენიტური მანძილი  
(დასავლეთ და აღმოსავლეთ კიდის მერიდიანზე გავლის მომენტები). რამდენა-  
დაც ამასობაში მნათობი მოძრაობს და, მაშასადამე, მისი დახრილობაც იცვლე-  
ბა, მეტადრე—მთვარისათვის, ამგვარი განსაზღვრისათვის მზისა და მთვარის  
დაკვირვების გამოყენება ამოცანას ართულებს და განსაზღვრის სიზუსტესაც ამ-  
ცირებს. ამიტომ ასეთი დაკვირვებების წარმოებას მოეთხოვება დიდი სიფრთხი-  
ლე და გულმოდგინება.

§ 85. **ადგილის გრძედის განსაზღვრა.** ზემოთ აღწერილი გვექონდა, რომ დე-  
დამიწაზე ორი პუნქტის გეოგრაფიულ გრძედთა სხვაობა ეტოლება ერთ რომელი-  
მე ფიზიკურ მომენტში ამ პუნქტებში დროის ჩვენებათა სხვაობას. აქედან უშუა-  
ლოდ დავასკვნით, რომ პუნქტის გეოგრაფიული გრძედის განსაზღვრის ამოცანა  
შეგვიძლია დავიყვანოთ ორ პუნქტს შორის ადგილობრივ დროთა ს ხ ვ ა ო ბ ი ს  
განსაზღვრამდე და, თუ პუნქტებიდან ერთ-ერთის გრძედი ც ნ ო ბ ი ლ ი ა, მეო-  
რისათვის მარტივად გამოიყენება იგი დროთა სხვაობის გამოთვლით.

ვთქვათ,  $\lambda_1$  არის ცნობილი გრძედი,  $\lambda_2$  საძიებელი. პირველ პუნქტში  
დრო იყოს  $(T_1 + u_1)$ , მეორეში— $(T_2 + u_2)$ , მაშინ

$$\Delta \lambda = (T_2 + u_2) - (T_1 + u_1);$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta \lambda.$$

ასე დაყვანილ ამოცანაში მთავარი სიძნელე ისაა, რომ გამოვარკვეოთ ერთსა და  
იმავე ფიზიკურ მომენტში რა ადგილობრივი დ რ ო ა ო რ ი გ ე პ უ ნ ქ ტ შ ი:  
პუნქტში, რომლის გრძედის განსაზღვრა განზრახული გვაქვს, და საწყის პუნქტ-  
ში, რომლის გრძედი ცნობილია და ჩვენს გამოთვლებში დასაყრდენია.





წინათ პუნქტის გრძედის განსაზღვრის მიზნით წამოწყებული ექსპედიციები გამოდიოდა საწყისი მერიდიანიდან, საიდანაც გაჰქონდათ ქრონომეტრი, რომელიც საწყისი მერიდიანის ზუსტ დროს უჩვენებდა; გამოსაკვლევ პუნქტამდე მგზავრობაში და ამის შემდეგაც ქრონომეტრის ისრებს არ გადასწევდნენ, რათა საწყისი მერიდიანის მიხედვით მომუშავე ქრონომეტრზე შენარჩუნებული ყოფილიყო მისი შესაბამისი დროის სვლა. თუ მერე იპოვიდნენ ადგილობრივ დროს გამოსაკვლევ პუნქტში და შეადარებდნენ აღნიშნული ქრონომეტრის ჩვენებას, უბრალოდ განისაზღვრებოდა გრძედთა შორის სხვაობა.

სხვა საშუალება, რომელსაც ხშირად იყენებდნენ, შემდეგში მდგომარეობს. არსებობს ისეთი ასტრონომიული მოვლენები, რომელთა დაწყების ან დამთავრების მომენტების წინასწარგამოთვლა დიდი სიზუსტით შეიძლება; ამავე დროს ეს მოვლენები ერთდროულად ხილვადია დედამიწის ფართო ტერიტორიიდან. ამგვარ მოვლენებს ეკუთვნის, მაგალითად, მთვარისა და იუპიტერის თანამგზავრების დაბნელებები. თუ ასეთი მოვლენის მომენტი წინასწარ გამოთვლილია საწყისი მერიდიანის, სახელდობრ, გრინვიჩის დროით, მაშინ, განსაზღვრავს რა დამკვირვებელი მოცემულ პუნქტში მოვლენის მომენტს თავისი, ადგილობრივი დროით, პოულობს დროთა სხვაობას და, მაშასადამე,—გრინვიჩიდან გრძედსაც. აღწერილი მეთოდი მაინც მოუხერხებელია თუნდაც იმიტომ, რომ მთვარის დაბნელება იშვიათად ხდება, ხოლო ისეთი მოვლენების დასაწყისისა და დასასრულის მომენტების ფიქსირება, როგორიცაა დაბნელებები, პრაქტიკულად როდი ხერხდება სავსებით დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით გრძედების განსაზღვრავად.

ჯერ XIX საუკუნის პირველ ნახევარში, როცა გამოგონილ იქნა და ხმარებაში შემოვიდა ელექტროტელეგრაფი, მეტადრეკი შემდგომ—რადიოს გამოყენებით, ერთიმეორისაგან დაშორებულ პუნქტებში საათის ჩვენების ერთდროული განსაზღვრის საქმე გაადვილდა და ხარისხითაც გაუმჯობესდა.

ამჟამად სხვადასხვა სახელმწიფოს არაერთი ძლიერი რადიოსადგური, ასტრონომიულ ობსერვატორიასთან ან ინსტიტუტთან დაკავშირებული, დღეში რამდენჯერმე გადასცემს ხმოვან რადიოსიგნალებს მსოფლიო დროით, სპეციალური განრიგით წინასწარ დადგენილ მომენტებში. ამ გადაცემით სარგებლობს რადიომიმღებთ ადჭურვილი ექსპედიცია, სადაც უნდა იყოს იგი, დასახლებულ პუნქტებს მოშორებულ ველებში, მთებში თუ ზღვა-ოკეანეში. მას უნდა ჰქონდეს თავისი საათი, რომელიც უჩვენებს მის ადგილობრივ დროს. მიიღებს რა რადიოსიგნალს ამ საათით, ე. ი. აღნიშნავს საკუთარი საათის ჩვენებას რადიოსიგნალის მომენტში, უბრალოდ გამოითვლის დროთა სხვაობას და, მაშასადამე, გრძედის მნიშვნელობასაც გრინვიჩის მერიდიანთან შედარებით.

**§86. ასტრონომიის გამოყენება გეოდეზია-კარტოგრაფიაში, ზღვაოსნობაში, თვითმფრინავმძღოლობასა და კოსმონავიგაციაში.** რომელიმე ადგილის ანუ პუნქტის გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრის ამოცანას მოკლედ უწოდებენ ასტრონომიული პუნქტის განსაზღვრას, როცა ეს განსაზღვრა განსაკუთრებულად დიდი სიზუსტით ხორციელდება. ასე განსაზღვრულ პუნქტებს ფიზიკურად აღნიშნავენ მკვიდრი ნიშნებით (რკინა-ბეტონის სვეტი, პირამიდა, პალო და სხვ.), რომლებიც დიდი დროით უძრავად—ოდნავი გადანაცვლების გარეშე—იქნება დაცული. ასეთი პუნქტები წარმოადგენს დედამიწის



ზედაპირის ვრცელი ფართობების კარტოგრაფიული აგეგმვის, ზუსტი გეოგრაფიული რუკების შედგენის გამოსავალ საფუძველს. ამის ნიადაგზე გამოიკვლევა ბევრი თეორიული და პრაქტიკული ამოცანა გეოდეზიისა — მეცნიერებისა, რომელიც შეისწავლის დედამიწის სიდიდესა და ფორმას და აგრეთვე დედამიწის ზედაპირის გეგმებსა და რუკებზე გამოსახვის მეთოდებს. ამ დარგის მონაცემებს, სხვა მეცნიერებათა მონაცემებთან ერთად, მაგალითად გრავიმეტრიასთან (მეცნიერება დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის ცვლილებების შესახებ), გეოლოგიასთან და სხვ., პრაქტიკული გამოყენება აქვს, კერძოდ, დედამიწის ქერქის ფიზიკური აგებულების, მასში სასარგებლო წიაღისეულის, ნავთობის, ქვანახშირის, რკინის მადნის განაწილების შესწავლის საქმეში.

ზღვასა და ჰაერშიც ხდება საჭირო კოორდინატების განსაზღვრა გემის თუ თვითმფრინავის ადგილსამყოფელ ადგილებში. განსაზღვრის მეთოდი და გამოსაყენებელი ხელსაწყოების პრინციპი, რაკი ამოცანა ერთია, ცხადია, ისეთივე უნდა იყოს ამ ორ შემთხვევაში, როგორც სახმელეთო განსაზღვრებში, მაგრამ მათ მაინც არსებითად ცვლის ის თავისებურებები, რომლებიც ახლავს ზღვაოსნობასა და თვითმფრინავმძღოლობას. ეს თავისებურებები ისაა, რომ, ჯერ ერთი, გემზე და თვითმფრინავზე ვერ გამოიყენებენ ისეთ ასტრონომიულ ხელსაწყოებს, რომლებიც მკვიდრად დადგმას მოითხოვს. სწორედ ასეთებია მერიდიანული წრე და საპასაჟო ინსტრუმენტი. ამიტომ ამ შემთხვევებისათვის ხმარობენ კუთხმზომ იარაღებს, რომლებიც არ მოითხოვენ მყარ სადგამს, თუმცა ნაკლებ სიზუსტეს უზრუნველყოფს. მეორე ისაა, რომ გემი და, მეტადრე, თვითმფრინავი ძალიან სწრაფად იცვლის თავის ადგილმდებარეობას.

თვით ამოცანა ადგილმდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრისა თავისებურად ისმება ასეთ პირობებში, რადგანაც კოორდინატების განსაზღვრა შედგება, ჯერ, დაკვირვების წარმოებისაგან (ვთქვათ, ზენიტური მანძილის გაზომვა) და მერე — გამოთვლების ჩატარებისაგან, რაც დროს მოითხოვს. იგი არცთუ ისე მცირეა, რამდენადაც დიდია დაკვირვებათა და გამოთვლათა მოცულობა. ზემოთ ძალიან მარტივად წარმოვადგინეთ განედისა და გრძედის განსაზღვრის მეთოდი, რადგანაც ვეცადეთ მხოლოდ პრინციპი და არსი გაგვემარტა. სინამდვილეში საქმე ასე მარტივი როდია. ასეთ განსაზღვრებს, ჯერ ერთი, ამყარებენ არა ერთი მნათობის დაკვირვებაზე, არამედ — რამდენიმეზე. მერიდიანზე გავლისათვის აკვირდებიან არა ერთი ძაფის გადაკვეთას, არამედ რამდენიმეს, რომლებიც პარალელურად დალაგებულია საშხერი მილის ველში. მეორეც, თვით იარაღის მუშაობისა და ჩვენებათა შესამოწმებლად და შესასწორებლად საჭირო ხდება რიგი მანიპულაციების ჩატარება. მაგალითად, თუ საპასაჟო ინსტრუმენტით აკვირდებიან ვარსკვლავის გავლას მერიდიანზე გავლის გაზომვებთან დაკავშირებულს ერთ ვარსკვლავზე, ერთი სერიის დაკვირვების შემდეგ მთელ ინსტრუმენტს შემოაბრუნებენ  $180^{\circ}$ -ით და იმეორებენ დაკვირვებას. ეს საჭიროა ცდომილების შესამცირებლად. ამის გარეშე შეუძლებელია განსაზღვრების აუცილებელი საიმედოობა და სიზუსტის დაცვა. ასეთ რთულ დაკვირვებებთან დაკავშირებული გამოთვლებიც დიდი მოცულობისაა და გართულებული. საბოლოო შედეგის მიღებას შეიძლება საათი და მეტი დროც დასჭირდეს.

რა აზრი ექნებოდა ასე გვიან შესრულებულ გამოთვლებს მოძრავი თვითმფრინავიდან წარმოებული დაკვირვების შემთხვევაში, თუ დაკვირვების მიზანს აღებულ მომენტში თვითმფრინავის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა წარმოადგენდა? აშკარაა, თვითმფრინავმძღოლობაში ანუ, როგორც ამას უწოდებენ, აერონავი-





გ ა ც ი ა შ ი ადგილსამყოფელის კოორდინატების განსაზღვრის მეთოდი, და ც მარტო ამ მიზეზით, არსებითად შეცვლილი უნდა იყოს. თუმცა ჩვენს დროში სწრაფქმედი ელექტრონული სათვლელი მანქანების არსებობა და გამოყენება შესაძინევად ცვლის მდგომარეობას, ასუსტებს რა გამოთვლების ხანგრძლივობის ფაქტორის უარყოფით მოქმედებას ანუ ამცირებს გამოთვლებისათვის საჭირო დროს. ეს არა მარტო აქ აღწერილს შეეხება, არამედ არაერთ სხვა ასტრონომიულ ამოცანასაც.

პრაქტიკული ასტრონომიის კურსში ან მისგან საგანგებოდ გამოყოფილ სპეციალიზებულ დისციპლინებში: ს ა ზ დ ვ ა ო ს ნ ო ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა ს ა და ს ა ა ვ ი ა ც ი ო ა ს ტ რ ო ნ ო მ ი ა შ ი დაწვრილებით განიხილავენ კოორდინატების განსაზღვრის სათანადო მეთოდებსა და ხელსაწყოებს. საავიაციო ასტრონომიის იარაღებმა და ხერხებმა, რომლებიც საბჭოთა კავშირში დამუშავდა, დიდი სამსახური გაუწია ჩვენს სახელმწიფოს, როცა ჩრდილოეთ პოლუსზე პირველი გაფრენები მოეწყო 1937 წელს, აგრეთვე დიდი სამამულო ომის დროს მტრის ზურგში შორეული გაფრენების წარმოებისას, დაბოლოს—არქტიკისა და ანტარქტიკის შესწავლასთან დაკავშირებულ ექსპედიციებს და სხვ.

კოსმოსური სივრცის მეცნიერულმა და ტექნიკურმა ათვისებამ, რაც მზარდი ტემპებითა და მასშტაბებით მიმდინარეობს, მოითხოვს ე. წ. კ ო ს მ ო ნ ა ვ ი გ ა ც ი ო ს ანუ კოსმოსურ, საპლანეტათშორისო სივრცეში სხეულის, ხომალდის ან ადამიანის ადგილსამყოფელის გაგნებისა და მოძრაობაში ორიენტირების მეთოდების დამუშავება.

ისეთი რთული კოსმოსური ექსპერიმენტების განხორციელებისას, როგორცაა, მაგალითად, მთვარის უკანა მხარის ფოტოგადაღება, ხელოვნური კოსმოსური სხეულის მოძრაობის მართვა, კოსმოსური ხომალდის წინასწარგამოთვლილ ტრაექტორიაზე გაყვანა, სხვადასხვა მანევრების შესრულება კოსმოსურ სივრცეში, შეპირისპირება და სხვ., აუცილებელია კოსმონავიგაციის მეთოდების გამოყენება.

ეს დარგი ახალია, მაგრამ იგი სწრაფად ვითარდება.

§ 87. მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა. როგორც ადგილის კოორდინატების განსაზღვრასთან, ისე სხვა მიზნებთან დაკავშირებულია სხვადასხვა პრაქტიკული ასტრონომიული ამოცანის ამოხსნის აუცილებლობა. ერთ-ერთი ასეთია მნათობის ამოსვლა-ჩასვლის მომენტების წინასწარგამოთვლა. ასეთ ამოცანასთან შეხვედრა თუნდაც მარტო იმიტომაც გარდაუვალი, რომ საჭიროა ვიცოდეთ, როდის ამოვა აღებული მნათობი, რათა მოვახერხოთ მისი დანახვა ჩვენს ცაზე და მასზე დაკვირვების წარმოება.

ამოსვლა-ჩასვლის მომენტების გამოთვლა ემყარება ზემომოყვანილ ფორმულას, რომელიც აკავშირებს მნათობის ზენიტურ მანძილს, ადგილის განედსა და ეკვატორულ კოორდინატებს:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos l.$$

რამდენადაც საქმე შეეხება მნათობის ამოსვლასა და ჩასვლას, მნათობის მდებარეობა უნდა წარმოვიდგინოთ ჰორიზონტზე. ამ სიტუაციაში სათანადო პარალელური სამკუთხედის  $M$  კუთხის წვერო ძვეს ჰორიზონტზე და სამკუთხედის გვერდი  $z$  ეტოლება  $90^\circ$ -ს. მაშასადამე, აქ მოყვანილ ფორმულაში  $z=90^\circ$ ;  $\cos z=0$  და ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\cos l = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$



ამ განტოლებიდან  $t$ -ს პოვნით გადაწყდება ჩვენი ამოცანა.  $t$  საათ-კუთხეა და, რაკი განტოლების ამოხსნა გვაძლევს უშუალოდ  $\cos t$ -ს მნიშვნელობას,  $t$  შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი:  $+t$  და  $-t$ . დადებითი მნიშვნელობით საათ-კუთხე დასავლეთისაა, მაშასადამე, ეს შემთხვევა შეესაბამება მნათობის ჩასვლას; უარყოფითი  $t$  შეესაბამება ამოსვლას. ჩასვლის ვარსკვლავთმცერი დრო იქნება  $s_1 = \alpha + t$ , ხოლო ამოსვლისა  $s_2 = \alpha - t$ .

შეიძლება ისეთ შემთხვევასაც შევხვდეთ, როცა ნამრავლი  $\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$  თავისი მნიშვნელობით 1-ზე მეტია. მაგრამ  $\cos t$  ხომ არ შეიძლება იყოს 1-ზე მეტი? როგორ ავხსნათ მაშინ ასეთი შემთხვევა? ცხადია,  $\varphi$ -ს და  $\delta$ -ს მნიშვნელობანი ისეთი ყოფილა, რომ მნათობი საერთოდ ჩაუსვლელი ან ამოუსვლელია. მაშასადამე, მისთვის არ იქნება შეხება ჰორიზონტის ხაზთან; ამოსვლა-ჩასვლის მომენტის განსაზღვრას აზრი არა აქვს. ასეთ შემთხვევაში, როგორც უნდა გვახსოვდეს, დაცულია პირობა:  $\delta \geq 90^\circ - \varphi$ .

ხომ შეიძლება, რომ  $t$  მეორე და მესამე კვადრანტში გადადიოდეს? როგორ გავარჩიოთ ეს შემთხვევები? თუ მნათობის დახრილობა დადებითია,  $t$  მეორე ან მესამე კვადრანტშია და აბსოლუტური სიდიდით იგი  $90^\circ$ -ზე (6 საათზე) მეტია, მნათობი ამოდის ჰორიზონტის აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის, ჩადის დასავლეთსა და ჩრდილოეთს შორის. თუ  $\delta$  უარყოფითია, მაშინ  $|t| < 90^\circ$  და ამოსვლისა და ჩასვლის ადგილები, შესაბამისად, აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებიდან ჰორიზონტის სამხრეთი წერტილისაკენ არის გადანაცვლებული.

იმ შემთხვევაში კი, როცა მნათობი ეკვატორზე მდებარეობს,  $\delta = 0^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 0$  და, მაშასადამე,  $\cos t = 0$ ;  $t = \pm 90^\circ$ . ეს იმას ნიშნავს, რომ ვარსკვლავი ამოდის ზუსტად აღმოსავლეთის და ჩადის ზუსტად დასავლეთის წერტილებში.

თავისთავად ცხადია, ჩვენს გამოსავალ ფორმულაზე დამყარებული მთელი მსჯელობა ძალაშია დამკვირვებლისათვის, რომელიც ეკვატორსა და პოლუსს შორის მდებარე განედიდან აკვირდება. თვით პოლუსიდან და ეკვატორიდან დაკვირვებისას სხვა სურათია.

ადვილად მიიღება ის ფორმულაც, რომლითაც მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის ადგილები გამოითვლება და დადგინდება. ამისათვის საჭიროა გამოთვლილ იქნეს ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების აზიმუტები.

იმავე პარალაქსური სამკუთხედისათვის სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულა დავწეროთ ისე, რომ მასში შედიოდეს  $A$  კუთხე (აზიმუტი) ან მისი დამატება  $180^\circ$ -მდე. ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos z + \sin(90^\circ - \varphi) \sin z \cos(180^\circ - A)$$

ანუ

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A.$$

აქაც:

$$z = 90^\circ; \cos z = 0, \sin z = 1.$$

საბოლოოდ გვქვია:

$$\sin \delta = -\cos \varphi \cos A$$

ანუ

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



ამ განტოლებას აზიმუტის ორი მნიშვნელობა აკმაყოფილებს:  $A$  და  $360^\circ - A$ . პირველი შეესაბამება ჩასვლას, მეორე — ამოსვლას. ამ ფორმულის ანალიზი ისევე შეგვიძლია ჩავატაროთ, როგორც ამოსვლა-ჩასვლის მომენტების გამოსათვლელი ფორმულისა.

განვიხილოთ ახლა შემთხვევა, როცა ამოცანა მზეს შეეხება. მაშინ  $t$ -ს მნიშვნელობები წარმოადგენს ამოსვლა-ჩასვლის მომენტებს ჭეშმარიტი მზისმიერი დროით. უნდა გამოვიყენოთ დაკვირვების დღის შესაბამისი დროის განტოლების მნიშვნელობა, რითაც მივიყვანთ მომენტებს საშუალო მზისმიერ დროზე. შემდგომ უნდა გადავიდეთ ზოლურ ან დეკრეტულ დროზე სათანადო შესწორებათა გათვალისწინებით.

მზე, ისევე როგორც მთვარე, ბადროიანი მნათობია და ეს სათანადოდ უნდა იქნეს გათვალისწინებული. ამოსვლა-ჩასვლის მომენტები და აზიმუტები გამოითვლება მათი ბადროების ზედა კიდის ჰორიზონტთან შეხების მომენტისათვის, რადგანაც სწორედ ეს სიტუაცია ითვლება მზის ან მთვარის ამოსვლა-ჩასვლად. მაგრამ მათი ეკვატორული კოორდინატები მოიცემა ბადროს ცენტრისათვის. მაშასადამე, თუ გვსურს გავითვალისწინოთ ეს გარემოება, ან უნდა ავაგოთ და გადავწყვიტოთ პარალაქსური სამკუთხედი იმ დაშვებით, რომ  $z = 90^\circ + R$ , სადაც  $R$  მზის (მთვარის) ბადროს კუთხური რადიუსია, დაახლოებით  $15-16'$ , ან გამოვიდეთ ისევ პირობიდან  $z = 90^\circ$ , მაგრამ, გამოვთვალოთ (ისევ კუთხური რადიუსის სიდიდის გათვალისწინებით) და გამოვიყენოთ ბადროს კიდეს ჰორიზონტთან შეხები წერტილის ეკვატორული კოორდინატები. სხვა სიტყვებით ეს იმას ნიშნავს, რომ მივიყვანოთ მზის (მთვარის) მოცემული კოორდინატები მისი კიდის სათანადო წერტილზე.

ბადროიანი მნათობები სხვა ასტრონომიულ ამოცანებსაც თავისებურად აყენებს; კერძოდ, მერიდიანზე მათი გავლის დაკვირვებაც მოითხოვს ბადროს რადიუსის გათვალისწინებას და ამდენად ეს ამოცანა მათ მიმართ გართულებულია ვარსკვლავებთან შედარებით.

**§ 88. დროის შუალედის განსაზღვრა, რომლის განმავლობაში ბადროიანი მნათობი გადის მერიდიანს.** ზედა კულმინაციაში მერიდიანზე გავლისას ბადროიანი მნათობი (მზე, მთვარე) ეხება მერიდიანს ჯერ თავისი დასავლეთი, შემდგომ — აღმოსავლეთი კიდით.  $120$ -ე ნახაზზე  $PZ$  მერიდიანის პროექციას წარმოადგენს.  $M_2$  არის მნათობის მდებარეობა მერიდიანის აღმოსავლეთით იმ მომენტში, როცა იგი ეხება მერიდიანს თავისი დასავლეთი კიდით. ამ დროს მნათობის ბადროს ცენტრის საათ-კუთხე არის  $t_2$ .  $M_1$  მნათობის მეორე მდებარეობაა, როცა მას მერიდიანი გადაუკვეთია, გადასულა ცის დასავლეთ მხარეზე და, ეხება რა მას თავისი აღმოსავლეთი კიდით, იწყებს მერიდიანიდან დაშორებას. ამ შემთხვევაში საათ-კუთხე არის  $t_1$ , რომელიც იმავე  $t_2$ -ის სიდიდისაა. შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ამ ორ შემთხვევაში მნათობის ბადროს ცენტრის საათ-კუთხე არის  $\pm t$ . ვთქვათ, მერიდიანთან შეხების ეს ორი მომენტი არის  $T_1$  და  $T_2$ . მაშინ საათის ჩვენებათა სხვაობა  $T_2 - T_1$  დროის ის შუალედია, რაც საჭიროა იმისათვის, რომ ბადროიანმა მნათობმა მერიდიანი გადაკვეთოს. ეს ამავე დროს  $2t$ -ს ეტოლება.

$2t$  შეგვიძლია გამოვითვალოთ  $M_1PM_2$  სამკუთხედიდან. ამ ტოლფერდა სამკუთხედის გვერდი  $M_1M_2$  ეტოლება მნათობის ბადროს კუთხურ დიამეტრს ( $2R$ ). კუთხეები  $M_2M_1P$  და  $M_1M_2P$  შეგვიძლია ჩავთვალოთ მართ კუთხეებად,



რამდენადაც  $t$  მეტად მცირეა (ბადროს სიმცირის გამო), და გამოვიყენოთ სწორი ტრიგონომეტრიიდან ცნობილი სინუსების ფორმულა:

$$\frac{\sin 2t}{\sin 2R} = \frac{\sin M_1 M_2 P}{\sin P M_1}.$$

კუთხეების  $2t$  და  $2R$  სიმცირის გამო, მათი სინუსები შევვიძლია შევცვალოთ  $2t$  და  $2R$  არგუმენტებით. ამასთანავე,  $\sin M_1 M_2 P = 1$ ;  $\sin P M_1 = \sin (90^\circ - \delta)$ . გვექნება:

$$\frac{2t}{2R} = \frac{1}{\cos \delta}$$

ანუ

$$2t = \frac{2R}{\cos \delta}.$$

$2R$  აქ გამოსახულია რკალის სეკუნდებში. იმისათვის, რომ დროში გამოვხატოთ, იგი 15-ზე უნდა გავყოთ. მივიღებთ:

$$2t = \frac{2R}{15 \cos \delta}.$$

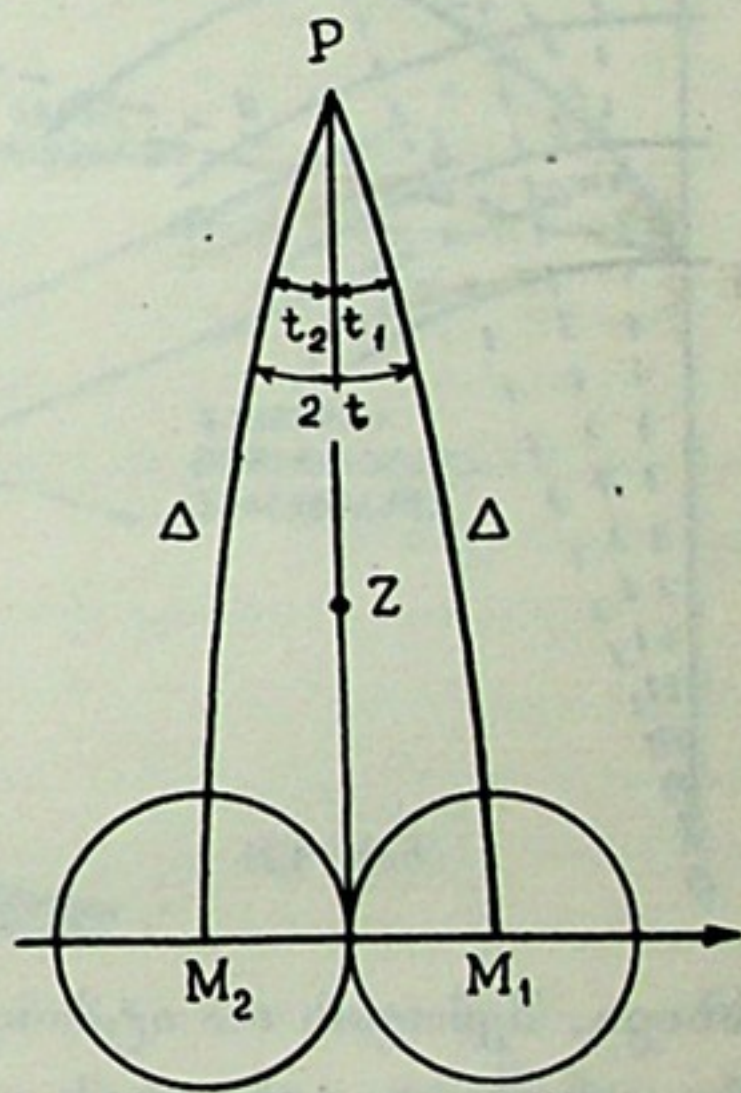
ასე გამოიხატება დროის შუალედი, რომელსაც ბადროიანი მნათობი მერიდიანზე გავლას ანდომებს.

განხილულ ამოცანაში იგულისხმება, რომ, ყოველ შემთხვევაში, მერიდიანის მახლობლად, მნათობის პირდაპირი აღვლენა (და დახრილობაც) უცვლელია. სინამდვილეში ეკვატორული კოორდინატების ცვალებადობის უგულებელყოფა არ შეიძლება, თუმცა მისი გათვალისწინება ცოტათი ართულებს ამოცანას. ბადროიანი მნათობები მზე, მთვარე და პლანეტებია. მზის და, მეტადრე, მთვარის პირდაპირი აღვლენა იმდენად იცვლება (იხ. ქვევით), რომ მერიდიანზე გავლის ხანგრძლივობაზე შესამჩნევად მოქმედებს. გავლის დროის შუალედის გამოსათვლელი ფორმულა, პირდაპირი აღვლენის ცვალებადობის გათვალისწინებით, ასეთ სახეს ღებულობს:

$$2t = \frac{2R}{15 \cos \delta} \left( 1 + \frac{\Delta \alpha}{3600} \right),$$

სადაც  $\Delta \alpha$  წარმოადგენს მნათობის პირდაპირი აღვლენის საათიერ ცვლილებას, რომლის სიდიდეს ასტრონომიულ ყოველწლიურებში იძლევიან. რაკი  $2t$  სეკუნდებში გამოისახება,  $\Delta \alpha$ -ც ერთ სეკუნდზე მისაყვანია, ამიტომ ვყოფთ მას 3600-ზე (სეკუნდების რაოდენობა საათში).

**§ 89. ასტრონომიული რეფრაქცია.** მნათობზე დაკვირვება, ცაზე მისი მდებარეობის ან მოძრაობის შესწავლის მიზნით, მოითხოვს დამკვირვებლიდან მნათობზე მიმართულების დადგენას. იგულისხმება ის მიმართულება, რომელიც



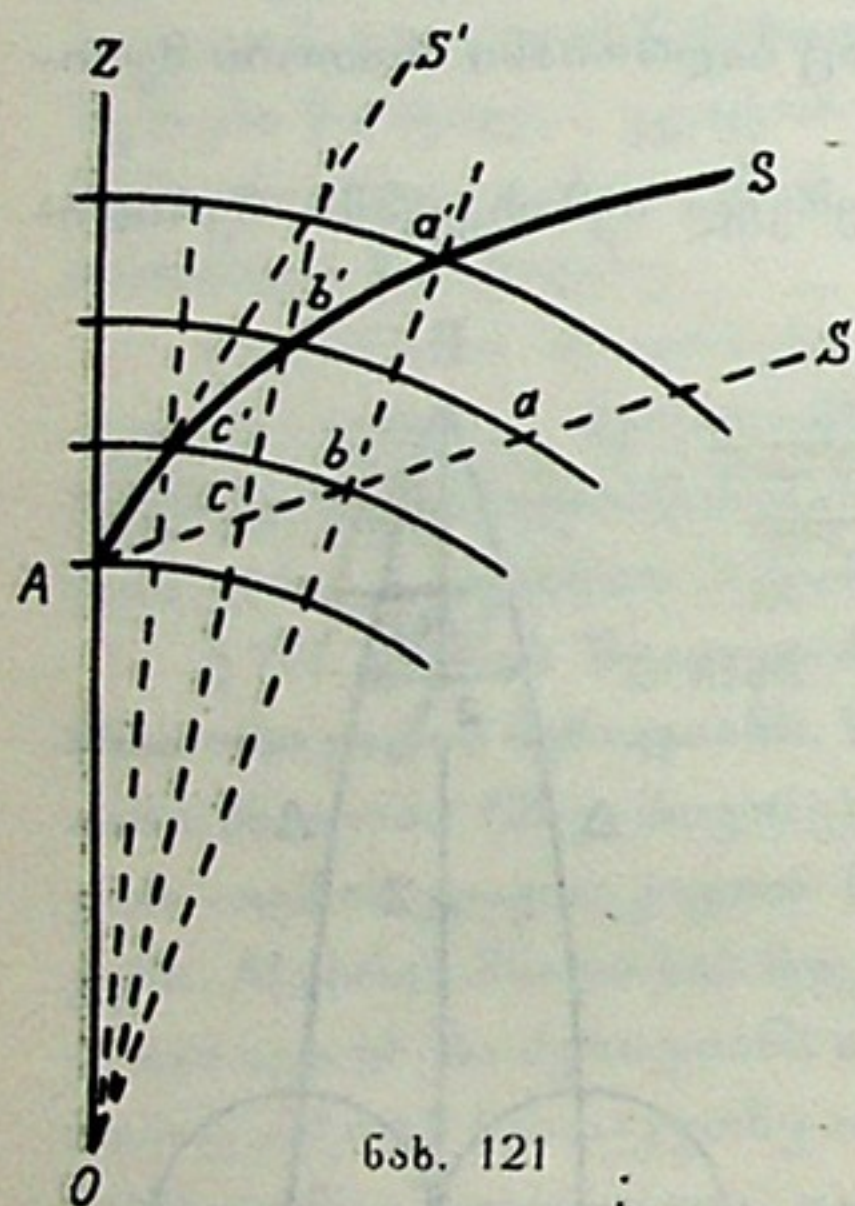
ნახ. 120





აქვს ჩვენს თვალთახედვის ხაზს, როცა მნათობს ვუყურებთ საჭვრეტ მილში, იგულისხმება მნათობიდან ჩვენთან მოსული სხივის მიმართულება. რაკი სწორხაზოვნად ვრცელდება, წრფე, რომელიც აერთებს დამკვირვებლის თვალს მნათობთან, გამოხატავს აღნიშნულ მიმართულებას. ეს მიმართულება ერთგვარად დადგინდება ამ წრფის მიერ ჰორიზონტთან შექმნილი კუთხით (მნათობის სიმაღლე ჰორიზონტიდან).

სინამდვილეში, მნათობის სინათლის სხივი სწორხაზოვნად მხოლოდ უპაე-რო სივრცეში ან ერთგვაროვან გარემოში ვრცელდება. მაგრამ სხივმა, ვიდრე ჩვენს თვალს მოადწევდეს, ცხადია, უნდა გამოსჭოლოს კოსმოსური სივრცეც და ატმოსფეროს გარსიც, რომლითაც გარემოცულია დედამიწა; დამკვირვებელი ხომ ამ ატმოსფერული გარსის ფსკერზე—დედამიწის ზედაპირზე იმყოფება. როცა სხი-ვი ერთი სიმკვრივის მქონე გარემოდან მეორე, განსხვავებული სიმკვრივის მქონე გარემოში გადადის (მაგალითად, ჰაერიდან—წყალში, უპაერო სივრციდან—ჰაე-რის ფენაში), ის გარდატეხას განიცდის, ე. ი. მეორე გარემოში განაგრძობს გავ-რცელებას სხვა, პირველისაგან განსხვავებული მიმართულებით. ასეთი მოვლე-ნით გამოწვეულ ილუზიას ხშირად დავკვირვებივართ, როცა, მაგალითად, დახ-რილად ჩაგვიდგამს ჯოხი გაჩერებულ ანკარა წყალში, ან კოვზი—ჩაით სავსე ჭი-ქაში და თითქოს „გადატეხილი“ დაგვინახავს. სულ უფრო და უფრო დაბალ ფე-ნებში ატმოსფეროს სიმკვრივე თანდათან მატულობს, ამიტომ სხივი ფენიდან



ფენაში გადასვლისას განიცდის მრავალ თან-მიმდევრულ გარდატეხას. სინამდვილეში მკვეთ-რად გამოყოფილი, სხვადასხვა სიმკვრივის ფენები კი არ არის „დალაგებული“, არამედ სიმკვრივე თანდათან იცვლება, თითქმის უწყ-ვეტად, ზღვის დონიდან სიმაღლის ცვლასთან ერთად. გარდატეხაც თანდათანობითია და თითქმის უწყვეტი, რის გამოც მნათობის სხივი წარმოადგენს არა ტეხილ ხაზს, არამედ მრუდს.

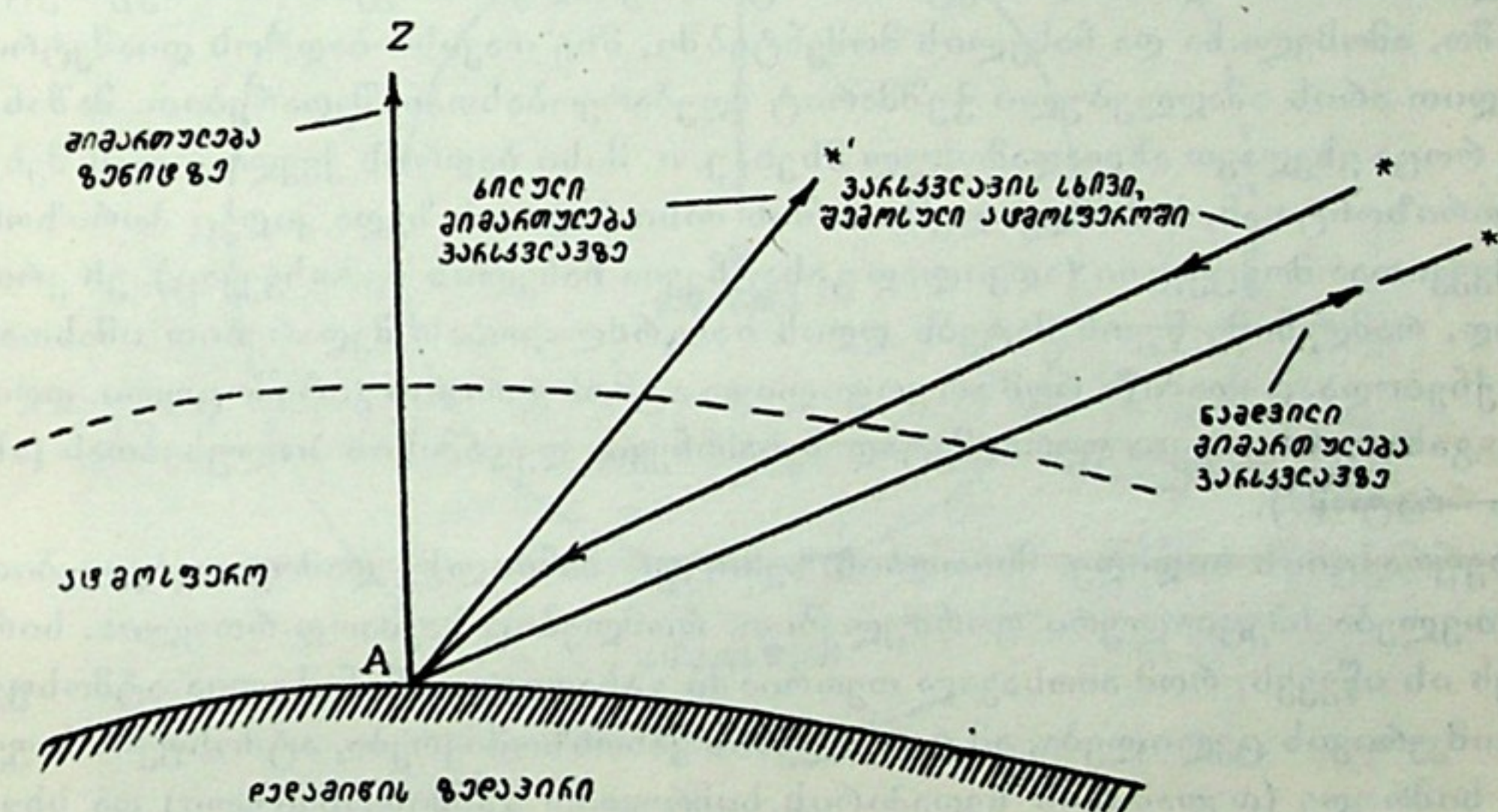
განვიხილოთ 121-ე ნახაზი, რომელზეც,  $A$  წერტილში, დედამიწის ზედაპირზე, წარმო-დგენილია დამკვირვებელი.  $O$  დედამიწის ცენტრს გამოხატავს. დედამიწის გარემომცვე-ლი ატმოსფეროს გარსი გამოხატულია რამ-დენიმე ფენით; იგულისხმება, რომ თანმიმ-დევრულ ფენებში  $a$ -დან  $c$ -მდე სიმკვრივე მა-ტულობს.  $s$  მნათობიდან წამოსული  $Sa'$

სხივი, შემოდის რა ატმოსფეროს  $a'$  წერტილში, თანახმად ცნობილი ფიზიკუ-რი კანონისა, განიცდის გარდატეხას და იცვლის თავის მიმართულებას  $Sa'$ -დან  $a'b'$ -კენ. გარდატეხის კანონზომიერება ისეთია, რომ გარდატეხილი სხივი უახლოვდება  $Oa'$  მართობს. ამ მოვლენას ეწოდება რეფრაქცია ანუ გარდა-ტეხა. განაგრძობს რა გავრცელებას, სხივი ხვდება შემდეგ ფენას  $b'$  წერტილში და აქ კვლავ განიცდის გარდატეხას  $Ob'$  მართობისაკენ და იცვლის მიმართულე-ბას  $b'c'$ -კენ და ა. შ. ატმოსფეროს მთელ სისქეზე,  $A$  წერტილში მყოფ დამკვირვებლის თვალამდე, სხივის გზა თითქოს ტეხილი ხაზია და — იმდენჯერ



„გადატეხილი“, რამდენი ფენაც ხვდება სხივს. მაგრამ ასეთი სურათი მომეტებულიად სქემატურია. სინამდვილეში, რაკი სიმკვრივე თითქმის უწყვეტად იცვლება ერთი საერთო კანონით—მატულობს სიმაღლის შემცირებასთან ერთად,—ფენების რიცხვი უსასრულოდ დიდად უნდა ჩავთვალოთ და თითოეული ფენის სისქე—უსასრულოდ მცირედ. ასეთ პირობებში, როგორც უკვე შევნიშნეთ, ტეხილი ხაზი წარმოგვიდგება როგორც მრუდე ხაზი და ამ მრუდის ამოხსენილობა ზევითაა მიმართული.

დამკვირვებელი დაინახავს მნათობს ტეხილი ხაზის უკანასკნელი ელემენტის  $Ac'$ -ის მიმართულებით, რადგანაც სხივი საჭვრეტ მილში (ან უშუალოდ თვალში) თავისი გზის უკანასკნელ მონაკვეთზე სწორედ ამ მიმართულებით შემოვა. სხვა სიტყვებით, დამკვირვებელი მნათობს დაინახავს სხივის გზისადმი  $A$  წერტილში გავლებული  $AS'$  მხების მიმართულებით. მაშასადამე, დამკვირვებელი ხედავს მნათობს  $S'$ -ში და არა  $S$ -ში—უფრო მაღლა ჰორიზონტიდან, ვიდრე იგი სინამდვილეშია. დედამიწის გარემომცველი ატმოსფერო რომ არ ყოფილიყო, მნათობი გამოჩნდებოდა  $AS$  მიმართულებით. სხვაობას მნათობის ნამდვილსა და ხილულ (მოჩვენებით) მიმართულებათა შორის ა ს ტ რ ი ნ ო მ ი უ ლ რ ე ფ რ ა-ქ ც ი ა ს უწოდებენ; იგი წარმოადგენს კუთხეს ( $SAS'$ ) და მას კუთხური ერთეულებით გამოხატავენ (ვარსკვლავების დიდი სიშორის გამო  $a'S$  და  $aS$  ერთ და იმავე მიმართულებად ჩაითვლება).



ნახ. 122.

თუ მნათობი ზენიტშია, მაშინ სხივი ატმოსფეროს ფენაში მის მართობულად შემოდის და ფიზიკურ კანონზომიერებათა მიხედვით ასეთ პირობებში სხივის გარემოდან გარემოში გადასვლას გარდატეხა არ მოჰყვება, ე. ი. რეფრაქცია ნულია. ჰორიზონტისადმი დახრილ სხივებს კი რეფრაქციის მოვლენა ამრუდებს და ეს გამრუდება მით მეტია, რაც უფრო დაბლაა და ახლოა მნათობი ჰორიზონტთან. საერთოდ, რეფრაქციის კუთხე ჰორიზონტთანაც კი მცირეა და დაახლოებით მხოლოდ ნახევარ გრადუსს ეტოლება.

დავხედოთ 122-ე ნახაზსაც.



რეფრაქციის კუთხე ყოველთვის ვერტიკალურ სიბრტყეში იქმნება, რადგანაც, ერთ სიბრტყეშია დაცემული და გარდატეხილი სხივი, დაცემის წერტილში ზედაპირზე აღმართული ნორმალური და დამკვირვებელზე გამავალი ვერტიკალური ხაზი; მაშასადამე, სხივის მთელი გზა ატმოსფეროში ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში რჩება. აქედან გამომდინარეობს, რომ რეფრაქციის მოვლენა არ ახდენს გავლენას მნათობის აზიმუტზე; ის მხოლოდ სიმაღლეს (ან ზენიტურ მანძილს) ცვლის და ისე, რომ ადიდებს მას (ამცირებს ზენიტურ მანძილს). თუ  $z'$  და  $z$  არის მნათობის დაკვირვებული (ხილული) და ჭეშმარიტი ზენიტური მანძილები, ხოლო  $r$  რეფრაქციის სიდიდე, მაშინ

$$z = z' + r,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ მნათობის ზენიტური მანძილის ჭეშმარიტი მნიშვნელობის მისაღებად საჭიროა ხილულ (იარადით გაზომილს) ზენიტურ მანძილს დავუმატოთ რეფრაქცია.

ადვილი მისახვედრია, რომ

$$h' = h + r,$$

სადაც  $h'$  და  $h$  მნათობის ხილული და ჭეშმარიტი სიმაღლეა ჰორიზონტიდან.

თუ მნათობი მერიდიანში არაა, მაშინ რეფრაქცია მის ორივე ეკვატორულ კოორდინატს ცვლის და არა მარტო დახრილობას (ახსენით—რატომ?).

ჰორიზონტზე რეფრაქციის სიდიდე დაახლოებით  $35'$ -ია. თითქმის იმავე სიდიდისაა მზის ბადროს დიამეტრი. ამიტომ, შეიძლება ითქვას, რომ რეფრაქციის გამო, ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტებში, მზე თავისი ბადროს დიამეტრის სიდიდით არის ამაღლებული ჭეშმარიტ მდებარეობასთან შედარებით. მაშასადამე, როცა ვხედავთ ახლადამოსულ მზეს, ე. ი. მისი ბადროს ქვედა კიდის შეხებას ჰორიზონტთან, სინამდვილეში მაშინ მისი ბადროს ზედა კიდეც ჰორიზონტის ქვევითაა მოქცეული (ადვილად გასარჩევია ჩასვლის შემთხვევაც). ეს ერთგვარად, რამდენიმე წუთს მატებს დღის ხანგრძლივობას შედარებით იმასთან, რაც იქნებოდა, დედამიწა რომ არ ყოფილიყო ატმოსფეროთი გარემოცული. დღის ასეთი გახანგრძლივება უფრო მეტად შესამჩნევია დედამიწის პოლუსებთან (ახსენით—რატომ?).

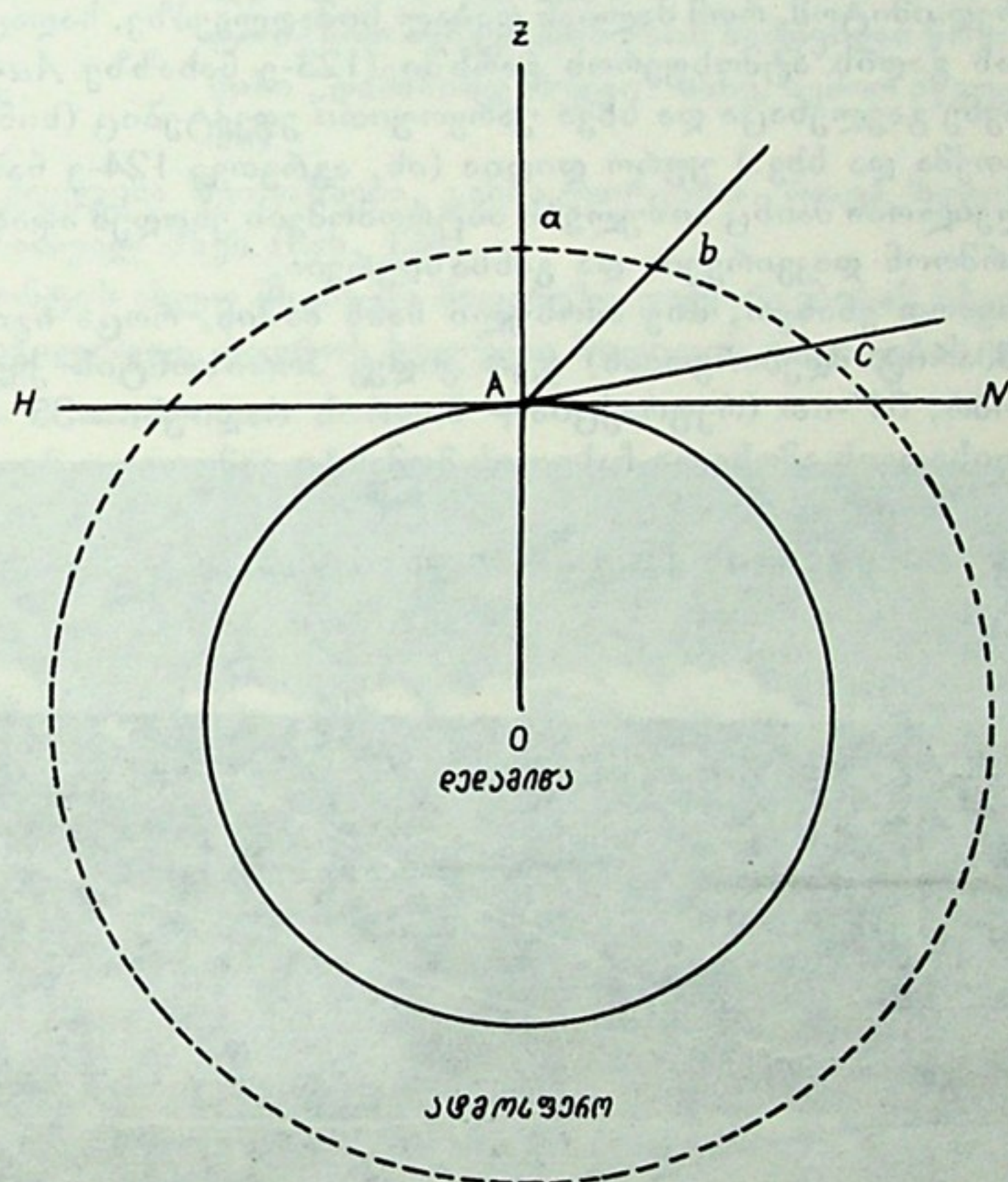
რეფრაქციის სიდიდე, მნათობის ზენიტურ მანძილზე დამოკიდებულებით, გამოითვლება სპეციალური ფორმულებით, რომლებიც საკმაოდ რთულია. სირთულეს ის იწვევს, რომ ამოსავალ თეორიაში გასათვალისწინებელია ატმოსფეროს სიმკვრივის ცვლილება, ამ ცვლილების კანონზომიერება, ატმოსფეროს ფენების სიმრუდე (დედამიწის ზედაპირის სიმრუდით განპირობებული) და სხვა. ამასთანავე ატმოსფეროს სიმკვრივის სიმაღლეზე დამოკიდებული ცვლილების კანონი როდია საკმარისი სისრულით ცნობილი. რეფრაქციის თეორიაში სხვადასხვა კანონი გამოიყენება იმის მიხედვით, თუ როგორია ჰიპოთეზა სიმკვრივის ცვლილების შესახებ.

მაგრამ სიმკვრივე მარტო სიმაღლეზე დამოკიდებულებით როდი იცვლება; მოცემულ ერთსა და იმავე სიმაღლეზეც კი იცვლება დროის განმავლობაში. ამ ხასიათის ცვლილებებს განაპირობებს ატმოსფეროს მასების გადანაცვლებანი (დინებანი), ტემპერატურის ცვლა, ბარომეტრული წნევის ვარიაციები და სხვა. ამ ფაქტორების გათვალისწინების აუცილებლობა კიდეც უფრო მეტად ართულებს რეფრაქციის თეორიას და სათანადო გამოთვლებს.



უკანასკნელი დროის პროგრესი დედამიწის ატმოსფეროს სტრუქტურისა და თვისებების შესწავლის დარგში, რაც რაკეტებისა და დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების გამოყენებით მიიღწევა, საშუალებას მისცემს ასტრონომებს უფრო სრულად და მკაცრად გაითვალისწინონ რეფრაქციის გავლენა.

როცა მნათობის კოორდინატები ზუსტადაა განსაზღვრული, რეფრაქცია უნდა გამოითვლებოდეს ბარომეტრისა და თერმომეტრის ჩვენებათა გათვალისწინებით. ბევრ შემთხვევაში დასაშვებია ვისარგებლოთ ე. წ. „საშუალო“ მონაცემებით, რაც წარმოადგენს რეფრაქციის მნიშვნელობებს რაღაც ერთი გარკვეული ბარომეტრული წნევისა და ერთი გარკვეული ტემპერატურისათვის. ასეთ სიდიდეებად მიჩნეულია 760 მილიმეტრი ვერცხლისწყლის სვეტისა (ნორმალური წნევა ზღვის დონეზე) და  $+10^{\circ}\text{C}$ , შესაბამისად.



ნახ. 123

საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ ასე გამოთვლილი რეფრაქციის კუთხის საშუალო მნიშვნელობათა ცხრილი:

ზენიტური მანძილი	რეფრაქცია	ზენიტური მანძილი	რეფრაქცია
0°	0' 00"	82°	6' 33"
10	0 10	84	8 28
30	0 34	86	11 45
50	1 09	88	18 18
70	2 39	89	24 37
80	5 19	90	35 24



ცხრილიდან აშკარად ჩანს, თუ როგორ მატულობს რეფრაქცია პორიზონტ-თან მიახლოებისას. მცირე ზენიტურ მანძილებზე, მაგალითად,  $10^\circ$ -დან  $30^\circ$ -მდე რეფრაქციის სიდიდე სულ  $24''$ -ით შეიცვალა, მაშინ როდესაც დიდ ზენიტურ მანძილებზე, მაგალითად,  $88^\circ$ -დან  $89^\circ$ -მდე (სულ  $1^\circ$ -ზე), მისი ცვლილება  $6'19''$ -ია.

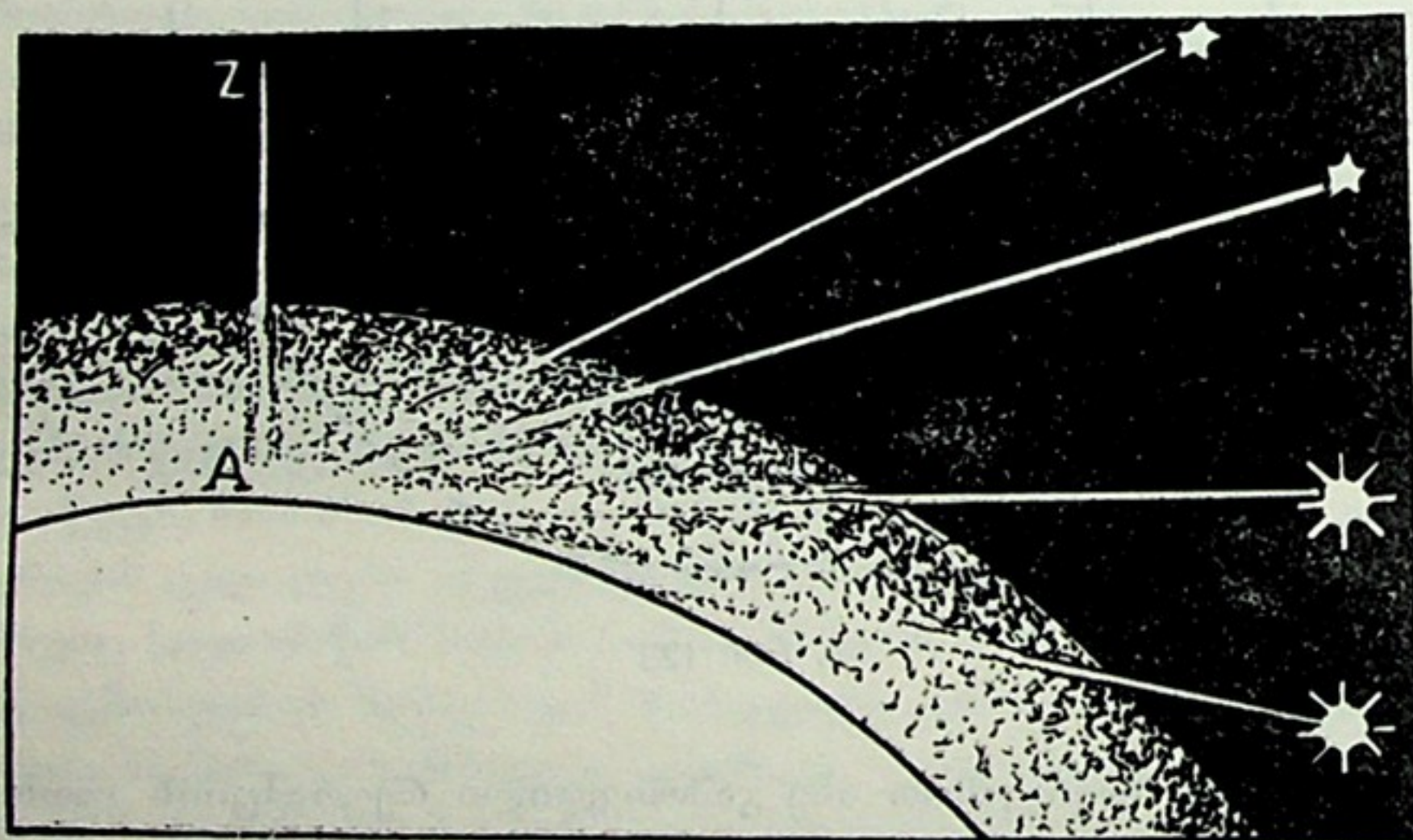
რეფრაქციის თეორიაში გამოჰყავთ აგრეთვე რეფრაქციის გამოსათვლელი გამარტივებული მიახლოებითი ფორმულა, რომელიც მხოლოდ  $70^\circ$ -ზე ნაკლები ზენიტური მანძილებისათვისაა გამოსადეგი; იგი ასე გამოისახება:

$$r = 58''.2 \operatorname{tg} z',$$

სადაც კოეფიციენტს  $58''.2$  ეწოდება რეფრაქციის მუდმივა. რადგანაც პრაქტიკულად ყოველთვის ერიდებიან აწარმოონ დაკვირვება უფრო ნაკლებ სიმაღლეებზე პორიზონტიდან, ვიდრე  $20^\circ$ -ია, ეს ფორმულა ხშირად იხმარება. ერიდებიან კი სწორედ იმიტომ, რომ ძალიან დაბალ სიმაღლეებზე, სადაც მნათობის სხივი დიდ გზას გადის ატმოსფეროს გარსში (123-ე ნახაზზე  $Aa < Ab < Ac$ ), რეფრაქციის მავნე გავლენაცა და სხვა უარყოფითი ეფექტებიც (სინათლის შესუსტება, შთანთქმა და სხვ.) უფრო დიდია (იხ. აგრეთვე 124-ე ნახ.). მაგრამ, ზოგჯერ აუცილებლობა მაინც აიძულებს ასტრონომებს ესოდენ არახელსაყრელ პირობებში აწარმოონ დაკვირვება და განსაზღვრები.

როგორც ზემოთ ვნახეთ, მზე ამოსული ჩანს მაშინ, როცა იგი (ვგულისხმობთ მის ჭეშმარიტ მდებარეობას) ჯერ კიდევ პორიზონტის ქვეშაა (124-ე ნახ.), სახელდობრ,  $51'$ -ით (რეფრაქცია + ბადროს რადიუსი  $= 35' + 16' = 51'$ ). ასეთი შემთხვევისათვის ამოსვლა-ჩასვლის მომენტი გამოითვლება იმავე ზემო-მოყვანილი ფორმულით

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



ნახ. 124

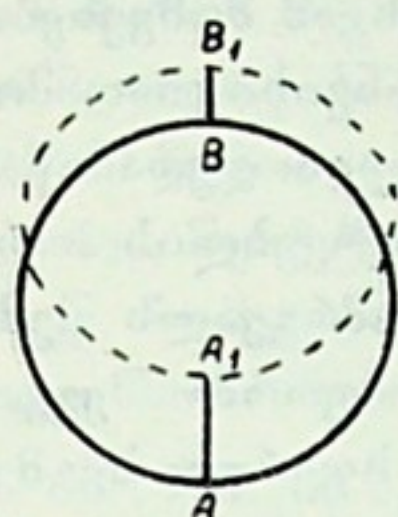
იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში  $z = 90^\circ + 51'$ . მაშინ  $\cos z = -0.0148$  და ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\cos t = -(0.0148 \sec \varphi \sec \delta + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta).$$

რეფრაქციის ეფექტი სხვა მოვლენებშიც ვლინდება, კერძოდ, — პორიზონტ-თან მზისა და მთვარის ბადროს ფორმის ცვლილებაში. როგორც ზე-



მთ მოყვანილი ცხრილიდანაც ჩანს, რეფრაქცია შხის (მთვარის) ბადროს ქვედა კიდეს მეტად სწევს ზევით, ვიდრე ზედას და ამიტომ მისი ვერტიკალური დიამეტრი დაახლოებით  $1/5$ -ით მოკლდება მაშინ, როდესაც ჰორიზონტალურ დიამეტრზე რეფრაქცია გავლენას არ ახდენს და არ ცვლის მას. ამასთანავე მნათობის ბად-

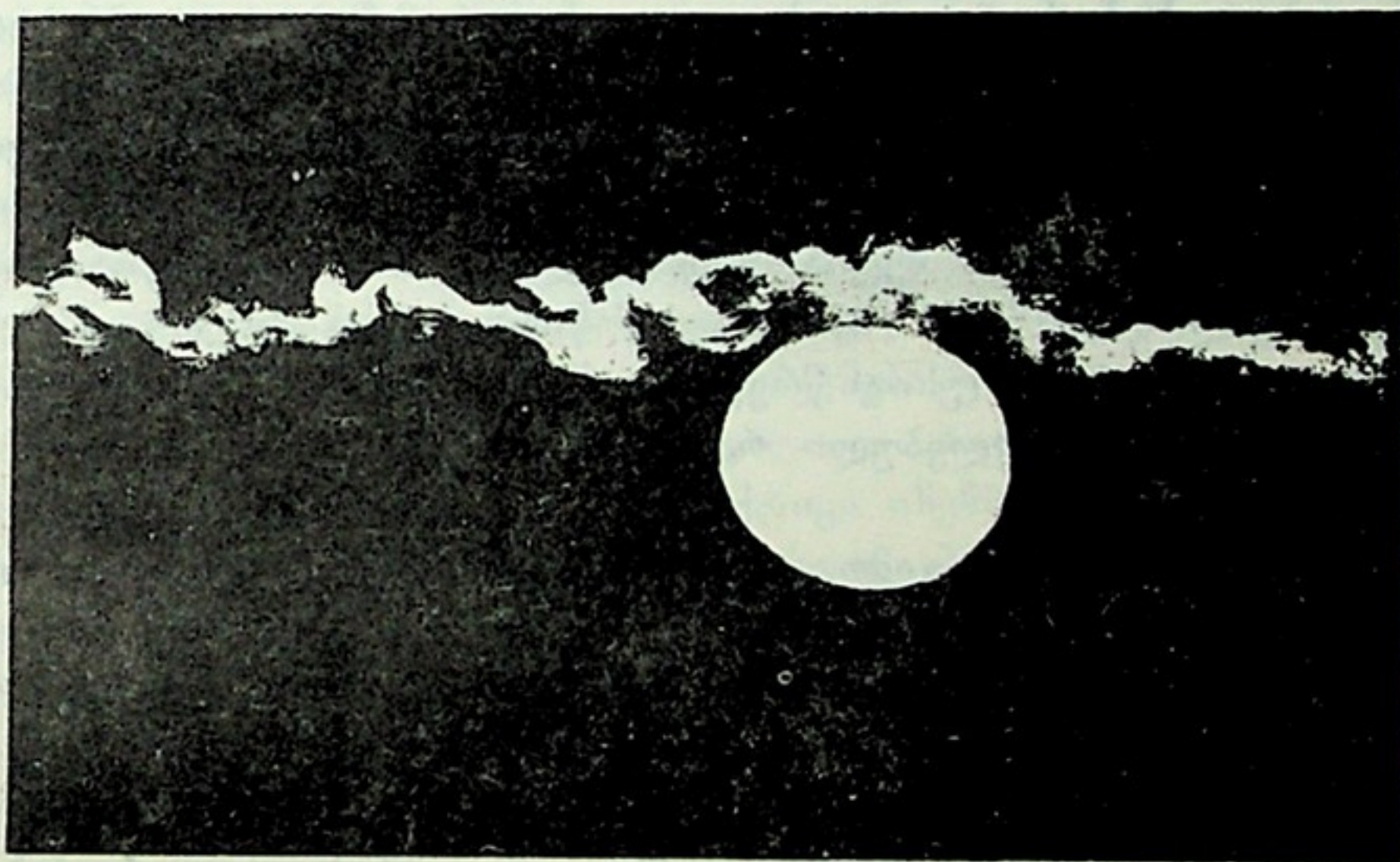


ნახ. 125

როს ვერტიკალური ქორდებიც მოკლდება მათი ბოლოების ზენიტური მანძილების სხვაობების შესაბამისად. საბოლოო შედეგი ისაა, რომ შხე (მთვარე) ჰორიზონტის ახლო ერთგვარად შებრტყელებული, ოვალური წარმოგვიდგება, ხოლო ადგილობრივი ტემპერატურისა და წნევის სწრაფი რყევის პირობებში—ბადროს ფორმაც სწრაფ ცვლილებებს განიცდის, ფორმას კარგავს, უწესო და ცვალებად სახეს ღებულობს (ნახ. 125; აქ  $AB > A_1B_1$ . უწყვეტი ხაზით ნაჩვენებია შხის ნამდვილი წრე; წყვეტილით—მისი „დამახინჯებული“ სახე, ზემოთ აწეულ მდებარეობაში).

ასეთი მოვლენა შეინიშნება, განსაკუთრებით, როცა ზღვისპირიდან ვაკვირდებით ჩამავალ შხეს (ნახ. 126).

ჰორიზონტის ახლო შხესა და მთვარეზე დაკვირვებისას სხვა მოვლენებსაც ვამჩნევთ; მაგალითად, ბადროს ხილული სიდიდის გადიდებას. რამდენჯერ მი-



ნახ. 126

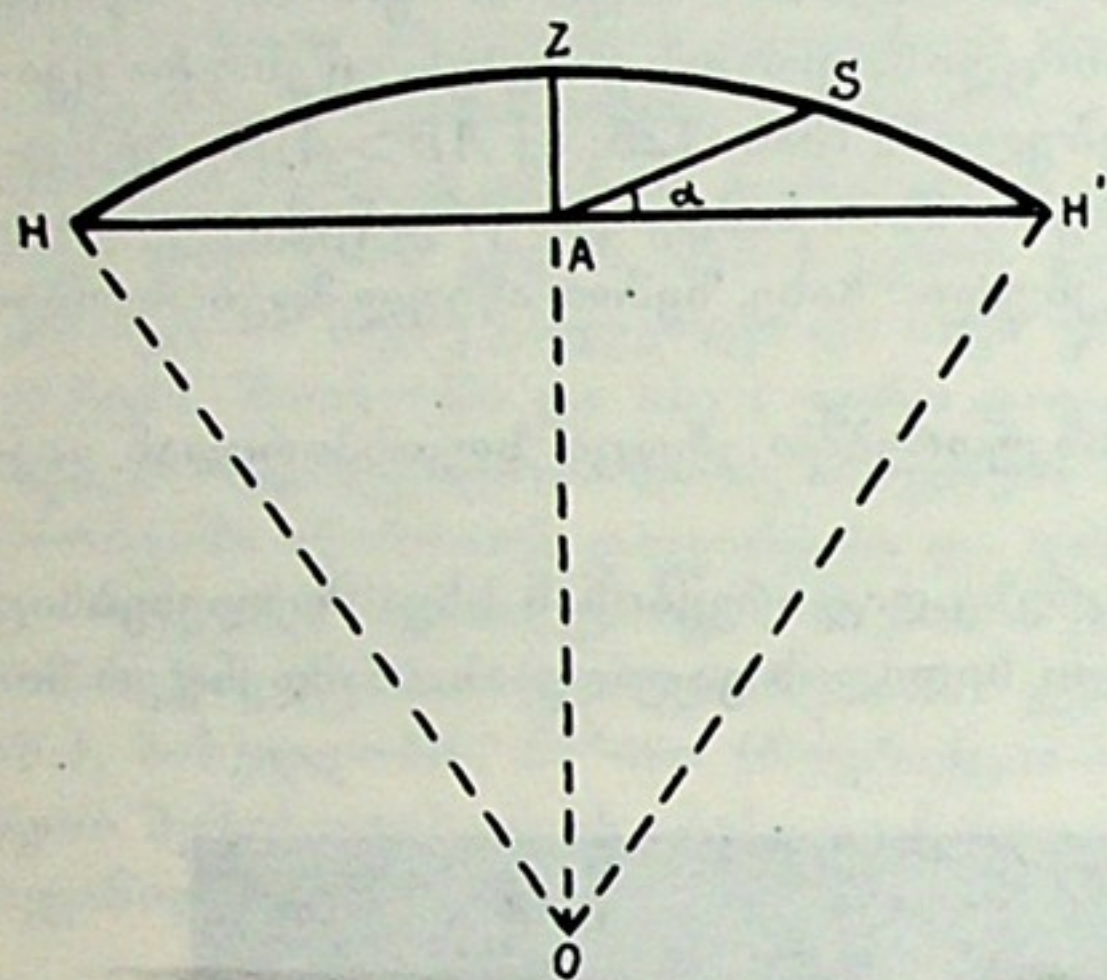
გვიქცევია ყურადღება იმისათვის, რომ ამომავალი სავსე მთვარე რაოდენ გადიდებულია და ჰორიზონტიდან მისი სიმაღლის ზრდასთან როგორ კლებულობს იგი და უახლოვდება „ნორმალურს“. მაგრამ ეს მოვლენა როდია რეფრაქციით გამოწვეული. ეს მხოლოდ წმინდა ოპტიკური ილუზიაა ანუ ყალბი წარმოდგენა, დაკავშირებული ჩვენი მხედველობითი აღქმის თვისებებთან. მას მომდევნო პარაგრაფში განვიხილავთ.

§ 90. **ცამრგვალის ილუზორული შებრტყელება.** თუ ყურადღებით დავაკვირდებით ცამრგვალს, იგი ზუსტ ნახევარსფეროდ კი არ მოგვეჩვენება, არა-



მედ შევნიშნავთ მის თითქოს შებრტყელებას ვერტიკალური მიმართულებით. შებრტყელება მეტ-ნაკლებად მკაფიოა, ცის მდგომარეობასა და ამინდის ვითარებაზე დამოკიდებულებით. რა თქმა უნდა, შებრტყელება რომ შევნიშნოთ, ყველა პირობაში აუცილებელია ერთდროულად ვხედავდეთ მთელ ცას, ე. ი. ვაკვირდებოდეთ ტრიალი მინდვრიდან, ზღვისპირიდან ან მაღალი შენობის სახურავიდან.

როგორ უნდა გვესმოდეს ასეთი შებრტყელება, რა იწვევს ამ მოჩვენებით მოვლენას? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემამდე დაწვრილებით განვიხილოთ მოვლენის გეომეტრიული სურათი. 127-ე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწაზე მყოფი  $A$  დამკვირვებელი.  $O$  დედამიწის ცენტრია,  $HH'$  — დამკვირვებლის ჰორიზონტი;  $HZH'$  ცამრგვალს შემოფარგლავს. მისი ფორმა შეგვიძლია ჩავთვალოთ სფერულ სეგმენტად, რომლის ცენტრი დედამიწის ცენტრშია.

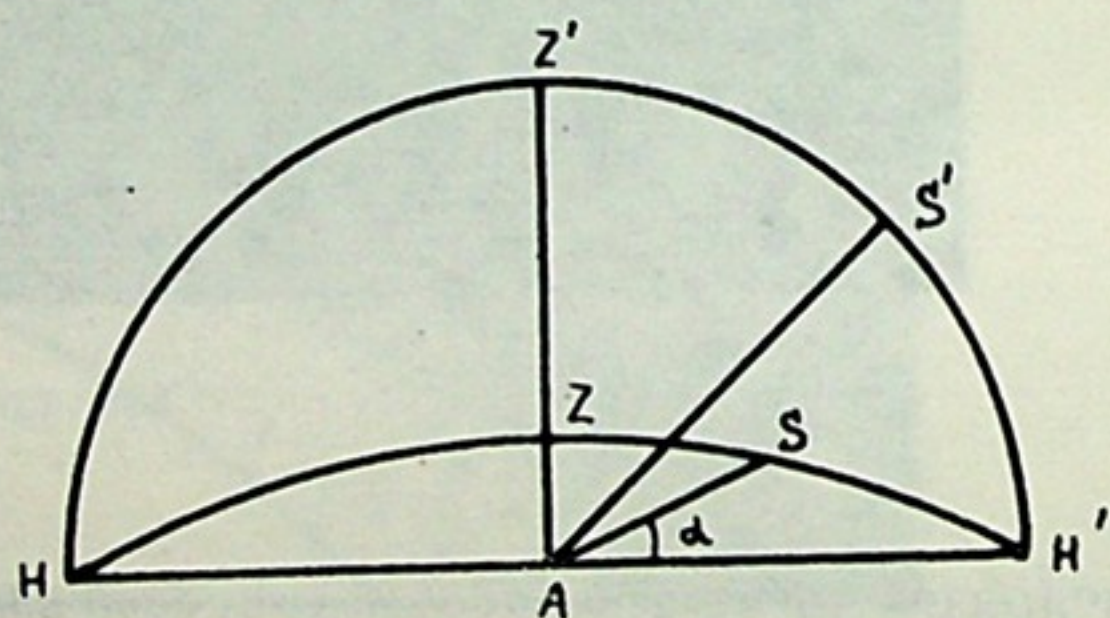


ნახ. 127

შებრტყელების ხარისხი (სიდიდე) დამკვირვებელს შეუძლია შეაფასოს, თუ შეარჩევს თვალთ  $ZH'$  რკალის შუაზე მდებარე  $S$  წერტილს. თუ მაშინ  $\alpha$  კუთხე  $45^\circ$ -ის ტოლი იქნებოდა, ჩაითვლებოდა, რომ შებრტყელება პრაქტიკულად არ შეიმჩნევა. მაგრამ, ფაქტიურად, როცა ასეთ დამკვირვებას ვაწარმოებთ,  $\alpha$  არასდროს არ იქ-

ნება  $45^\circ$ -ის ტოლი. რაც მეტია შებრტყელება, მით ნაკლებია ეს კუთხე და იგი საშუალოდ  $20^\circ - 25^\circ$ -ის ტოლად წარმოგვიდგება. თუ  $A$ -ს გარშემო შემოვხაზავთ  $AH'$  რადიუსიან წრეწირს, ვნახავთ, რომ მასზე აღებულ ანალოგიურ  $S'$  წერტილში გავლებული რადიუსი ჰორიზონტთან  $45^\circ$ -იან კუთხეს შექმნის (ნახ. 128).

აღწერილი ფენომენის გამო, ცაზე ობიექტის სიმაღლეს ჰორიზონტიდან ჩვენ ყოველთვის უფრო მეტ სიდიდეს ვანიჭებთ, ვიდრე იგი სინამდვილეშია. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ობიექტი, რომლის რეალური სიმაღლე  $30^\circ$ -ია, დღისით  $55^\circ$  სიმაღლეზე გვეჩვენება, ხოლო ღამით —  $45^\circ$ -ზე. შეიძლება მკითხველს შეუმჩნევია კიდევც, რომ შუადღისას, ზაფხულში, მზე თითქმის ზენიტში მოგვჩვენებია, თუმცა ჩვენს განედზე მისი სიმაღლე არ შეიძლება იყოს  $72^\circ$ -ზე მეტი. ამ მოვლენის გამო შესაძლოა არასწორად შევაფასოთ თვალთ, მაგალითად, მთების სიმაღლე, რეალური ჰორიზონტის ამაღლება. მთა, რომლის ნამდვილი სიმაღლე  $6^\circ$ -ია, გვეჩვენება  $16^\circ$ -მდე სიმაღლისა, ე. ი.  $10^\circ$ -ით ილუზორულად ამაღლებული.

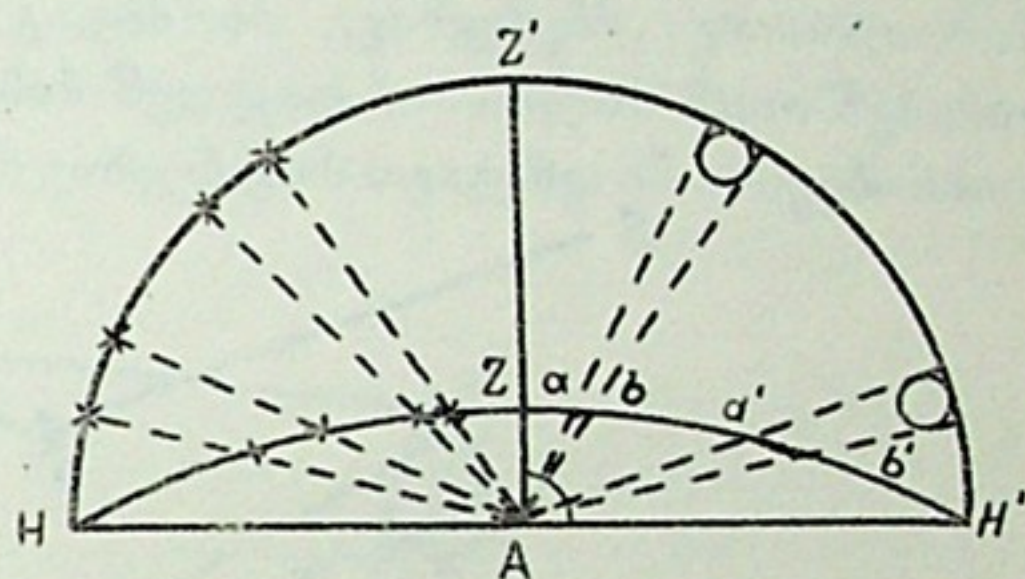


ნახ. 128



ამით არის განპირობებული სხვა, ადვილად შესამჩნევი მოვლენაც, რომელსაც მკითხველებში შეიძლება გაკვირვებაც გამოუწვევია ხოლმე. ეს ისაა, რომ მზისა და მთვარის ბადრო ჰორიზონტთან, ამოსვლის ან ჩასვლის დროის მახლობლობაში, გაცილებით გადიდებული წარმოგვიდგება, ვიდრე დიდ სიმაღლეზე. ბადროს მოჩვენებითი გადიდება დაახლოებით 4—5-ჯერაა. განვიხილოთ წინა ნახაზის მსგავსი 129-ე ნახაზი. მზის (მთვარის) ბადრო გამოხატულია წრით ორ მდებარეობაში. ორივე შემთხვევაში ბადრო ერთი და იმავე სიდიდისაა, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როცა იგი დაბლაა, მისი გეგმილი ცამრგვალზე, რომელსაც შებრტყელებულად აღვიქვამთ, უფრო დიდ ფართს იკავებს ( $a'b' > ab$ ). ასევე, რომელიმე ვარსკვლავთ წყვილი ერთიმეორისაგან უფრო მეტად დაშორებული მოჩანს ჰორიზონტის ახლო, ვიდრე დიდ სიმაღლეზე.

წმინდა გეომეტრიული თვალსაზრისით ( $HZH'$ -ის ცენტრი 128-ე ნახაზზე უფრო დაბლაა, ვიდრე  $A$  წერტილი) ყველაფერი ცხადია. მაგრამ  $HZH'$  ხომ არ გამოიყოფა როგორც რაღაც მკვეთრად შემოხაზული ზედაპირი; წარმატებით შეგვიძლია ჩავთვალოთ  $A$  დამკვირვებელი ცამრგვალის ცენტრში და სათანადოდ შემოვხაზოთ  $HZH' A$ -ს ირგვლივ რადიუსით  $AZ$ . სწორედ ასე ვიქცევით საერთოდ, როცა ცას განვიხილავთ და ამიტომაც ვთვლით მას  $A$  დამკვირვებლის გარშემოვლებულ სფეროდ. მაშინ რად უნდა გვეჩვენებოდეს ცამრგვალი შებრტყელებულად? ეს საკითხი ფიზიკურ ასპექტშიც განიხილება. როცა ადამიანი დგას და თავი ნორმალურ მდგომარეობაში უჭირავს, თუ შეხედავს ვერტიკალურად დაყენებულ ანძას, იგი უფრო მოკლედ მოეჩვენება, ვიდრე იმ შემთხვევაში, ანძა რომ ჰორიზონტულ მდებარეობაში ყოფილიყო. ჰორიზონტული მიმართულებით გარკვეული ატმოსფერული პერსპექტივა იჩენს თავს. იგი გამოწვეულია ერთგვარი „ნისლით“ ვერტიკალური მიმართულებით ჰაერი უფრო გამჭვირვალეა, ვიდრე ჰორიზონტული მიმართულებით. ამ უკანასკნელის გასწვრივ საგნები ერთგვარად „შებურული“, ნაკლებ განათებული და თითქოს ჩვენგან უფრო მეტად დაშორებული ჩანს. ამასთანავე, როცა ზევით ვიყურებით, ცის ფონის გარდა ვერაფერს ვხედავთ, ხოლო ჰორიზონტისაკენ—ყოველთვის მოჩანს შორს განვრცობილი პეიზაჟი, საგნები და სხვ. ეს ქმნის ჰორიზონტის დაშორებისა და, მაშასადამე, ცამრგვალის შებრტყელების შთაბეჭდილებას. თუ დამკვირვებელი თავისი სიმაღლის ორმოში ჩადგება და თვალს დედამიწის ზედაპირის დონეზე მოათავსებს, ყველა მიმართულებით იგი მხოლოდ ცას დაინახავს, გაუჩინარდება პეიზაჟი, შორეული მთები და სხვ., მაშინ ცამრგვალი სრულიად წესიერ ნახევარსფეროდ წარმოუდგება, შებრტყელების ილუზიის გარეშე.



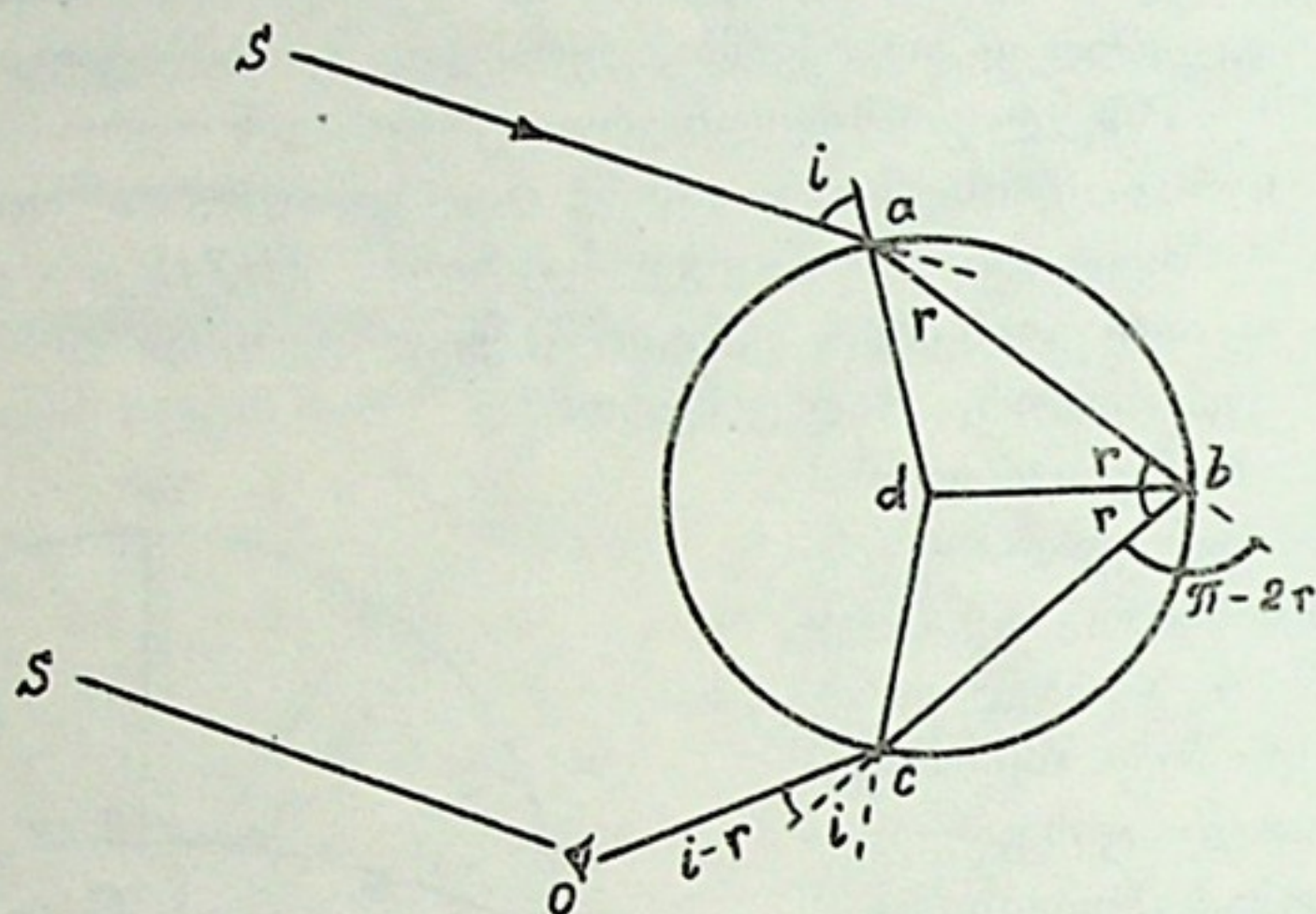
ნახ. 129

§ 91. მირაჟი. ჰალო. ცისარტყელა. დედამიწის ატმოსფეროში სხვა ოპტიკური მოვლენებიც გვხვდება, დაკავშირებული სხივის რეფრაქციასთან. ამ მოვლენებს ეკუთვნის ეგრეთ წოდებული მირაჟი, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ ჰორიზონტის მიმართულებით ჩნდება, ცის ნაწილის ან დედამიწაზე მდებარე საგნის





ცრუ, მოჩვენებითი გამონასახი. უფრო ხშირად მირაჟი ჩნდება უდაბნოში და ვრცელ ველებში, ცხელ დღეებში, როცა ნიადაგი მეტად ხურდება და მის ზემოთ წარმოიქმნება ცხელი ჰაერის მკვეთრად შემოფარგლული თხელი ფენა. სხივის გარდატეხის კანონზომიერებათა მიხედვით, ჰორიზონტს მოფარებული შორეული საგნები—თაზისები, კუნძულები, გემები ზღვაში და სხვა საგნები გამოჩნდება დამკვირვებლის წინაშე ისე მკაფიოდ, რომ რეალური სიახლოვის სრული



ნახ. 130.

ილუზია იქმნება. საბჭოთა კავშირში, მისი ევროპული ნაწილის სამხრეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთის ველებზე და შუა აზიის უდაბურ სივრცეებზე ხშირად იქმნება სხვადასხვა სახის მირაჟები. პატარ-პატარა ტბების მაგვარ ილუზორულ გამონასახებს ხშირად ჩვენს წინ გაშლილ მოასფალტებულ გზატკეცილებზეც ვხედავთ ცხელ დღეებში ავტომანქანით მგზავრობისას.

სხვა ხასიათის ოპტიკური მოვლენაა ეგრეთ წოდებული ჰალო. გარეგნულად იგი იმაში გამოიხატება, რომ მზეს ან მთვარეს შორიახლოდან გარშემოვლებს ერთგვარი ნათელი წრე, ზოგჯერ მხები სხივებით, ზოგჯერ ცრუ მზისა და მთვარის მეორადი ბადროებით თანხლებული. მიზეზი ამ მოვლენისა სინათლის გარდატეხაა თხელ ღრუბლებსა და ნისლში მოქცეულ ყინულის კრისტალებში. სიმაღლე, რომელზეც ჩნდება ატმოსფეროში ჰალო, 1—2 კილომეტრია. კარგად მოწმენდილ ცაზე ჰალო არ გაჩნდება.

ვის არ უნახავს ცისარტყელა? ეს ოპტიკური მოვლენაც სხივების გარდატეხის კანონზომიერებით არის გამოწვეული. მაგრამ ამ შემთხვევაში სხივების გარდატეხა ხდება წვიმის წვეთებში. ცისარტყელა მოჩანს მზის საწინააღმდეგო მხარეზე, წვიმის ღრუბლების ან თვით წვიმის „ფარდის“ ფონზე. ცისარტყელას მსგავს მოვლენას ზადრევანის უხეფებშიც შევამჩნევთ, თუ მოხერხებულად დავდგებით მასთან ისე, რომ მზე ზურგს უკან მოგვექცეს.

130-ე ნახაზზე გამოსახული წრე წარმოადგენს სფერული ფორმის წვიმის წვეთს. O-ში მოვათავსოთ დამკვირვებლის თვალი. Sa იყოს მზის სხივი, რომელიც წვეთს ეცემა a წერტილში i კუთხით. სინათლე ნაწილობრივ აირეკლება წვეთის ზედაპირიდან, ნაწილობრივ კი, გარდატეხილი შევა წვეთში r კუთხით,

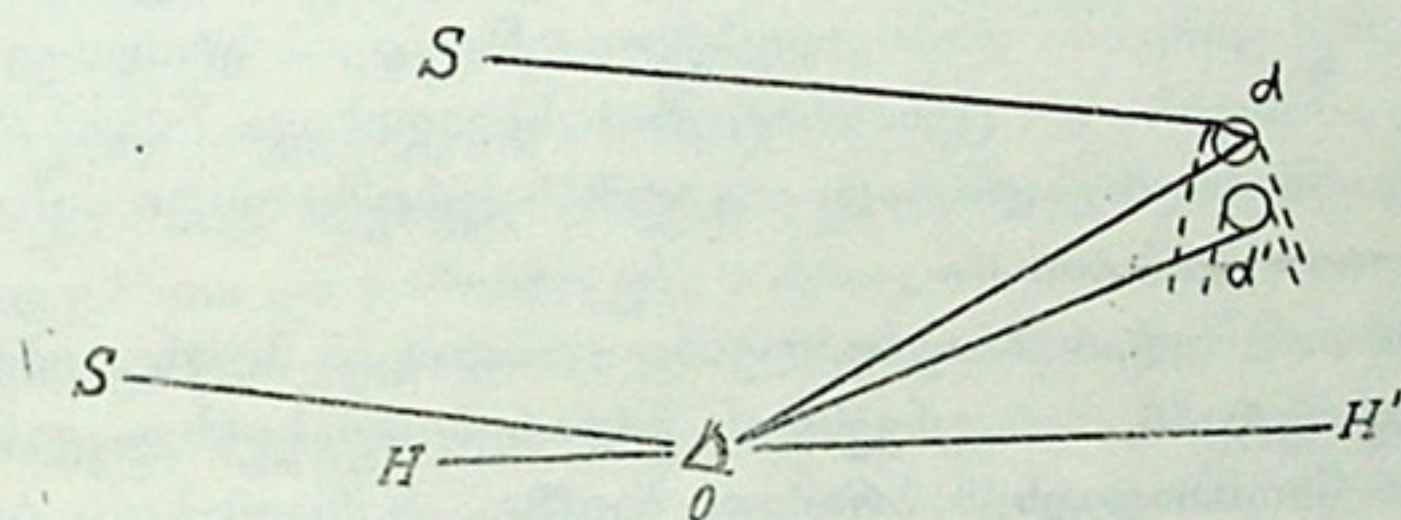


დაეცემა წვეთის შიდა ზედაპირს  $b$  წერტილში, რის შემდეგ ნაწილობრივ გამოვა წვეთიდან, ხოლო ნაწილობრივ აირეკლება შიგნით და  $c$  წერტილში კვლავ წვეთის შიდა ზედაპირს დაეცემა. აქ კვლავ მოხდება არეკვლა წვეთის შიგნით, ხოლო ნაწილი სინათლისა გამოვა წვეთიდან და  $CO$  მონაკვეთით დამკვირვებლის თვალს მოაღწევს.

ადვილია ნახვა, რომ სხივი პირვანდელი მიმართულების მიმართ მობრუნებული კუთხით

$$\varphi = i - r + \pi - 2r + i - r = \pi - 4r + 2i.$$

რეალურად, წვეთს ეცემა პარალელურ სხივთა ფართო კონა და სხივთა დაცემის კუთხეები სხვადასხვაა; მათთვის სხვადასხვა იქნება  $\varphi$ -ს მნიშვნელობებიც. ამის შედეგად, წვეთიდან გამოსული სხივები როდი იქნება ერთმანეთის პარალელური, მაგრამ, სხივთა გარდატეხის გარკვეულ ვანონზომიერებათა გამო, სხივების ერთი ნაწილი, რომელიც ნაკლებ გადახრას გვიჩვენებს, ერთიმეორის თითქმის პარალელური დარჩება და ამის შედეგად სინათლის მათი შესაბამისი ნაწილი უფრო მეტად იმოქმედებს დამკვირვებლის თვალზე. ამ სხივებისათ-



ნახ. 131

ვის  $\varphi$  ეტოლება  $138^\circ$ -ს. მათი მიმართულებით დაინახება ცაზე, მზის საწინააღმდეგო მხარეზე მზის ერთობ შესუსტებული გამონასახი, ფაქტიურად—წვიმის წვეთებში გარდატეხილი მზის სინათლე. რაკი გარდატეხის კუთხე დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ წვეთში გარდატეხილი მზის „თეთრი“ სინათლე დაიშლება კიდევ, როგორც პრიზმაში, და ამიტომ შეიქმნება მზის რამდენიმე, სხვადასხვა ფერის გამონასახი, ერთიმეორის გვერდით დალაგებული. მაშასადამე,  $Od$  მიმართულებით დავინახავთ წითელ გამონასახს,  $Od'$  მიმართულებით—იისფერს (ნახ. 131); ახლა ისიც თუ მიიღება მხედველობაში, რომ წვიმის წვეთი სფეროს მოყვანილობისაა და მზის სხივთკონა მთელ მის სხეულში გაივლის და, ამასთანავე, ერთ წვეთთან კი არ გვაქვს საქმე, არამედ მათ ერთობლიობასთან, ცაზე გამოიხატება დიდი ზომის ფერადი რეალური ზოლი ცისარტყელას სახით.

ცისარტყელას ზოლის სიგანეს განსაზღვრავს 1) „თითოეული ფერის“ ზოლის განივი, რაც მზის ხილული დიამეტრის შესაბამისად, დაახლოებით  $32'$ -ს ეტოლება, და 2) წითელი და იისფერი სხივების გარდატეხათა კუთხეების სხვაობა. ერთი სიტყვით, ეს სიგანე  $2\frac{1}{2}^\circ$ -ია. ცისარტყელას წითელი ზოლი გარედან ერტყმის მას, ხოლო იისფერი—შიგნიდან. რეალის უმაღლესი წერტილი  $42^\circ$ -ით არის ამაღლებული პორიზონტიდან, თუ მზე პორიზონტზეა. მზის სიმაღლის ზრდასთან ერთად ცისარტყელა პორიზონტს უახლოვდება და, როცა მზის სიმაღ-





ლე 42°-ს მიაღწევს, ცისარტყელა ჰორიზონტთან უჩინარდება. მთვარიან ღამეშიც შეიძლება გაჩნდეს ცისარტყელა, ოღონდ მთვარის ნაკლები სინათლის გამო მისი შემჩნევა ძნელია და კიდევ უფრო ძნელია მასში ფერების გარჩევა.

მირაჟი, ჰალო, ცისარტყელა რეფრაქციასთან დაკავშირებული ფენომენებია, მაგრამ ასტრონომიული მოვლენები როდია. მათი წარმოშობის დაწვრილებითი თეორია აღწერილია ატმოსფერული ოპტიკისა და მეტეოროლოგიის კურსებში.

**§ 92. ვარსკვლავთ ციმციმი.** ატმოსფეროში სხივების გავრცელებასთან დაკავშირებულია სხვა მოვლენაც, რომელიც ვარსკვლავთ ციმციმის სახელწოდებითაა ცნობილი. ამ მოვლენის არსი ისაა, რომ ატმოსფერო, ფაქტობრივად, არასდროს არაა დამშვიდებული და სავსებით ერთგვაროვანი, თუნდაც შედარებით თხელ ფენაში; პირიქით, იგი მღელვარება და განუწყვეტლივ ხდება მასში მასების გადაადგილება, თავს იჩენს ნაკადები, რაც იწვევს მოცემულ სივრცეში ჰაერის სიმკვრივის მუდმივ უწყესრიგო ცვლილებებს; ასეთ პირობებში სინათლის სხივი განუწყვეტლივ და ასევე უწყესრიგოდ იცვლის გარდატეხის კუთხეს და, მაშასადამე, მიმართულებასაც. თვალი ამას აღიქვამს როგორც სხივის ხან გაძლიერებას (რამდენიმე მიმართულების თავმოყრა), ხან შესუსტებას, რაც ძალიან სწრაფად ხდება შენაცვლებით. ეს ციმციმია.

გასაგებია, რომ ციმციმი დამოკიდებული უნდა იყოს ატმოსფეროს საერთო მდგომარეობაზე; ამინდისა და ტემპერატურის სხვადასხვა პირობებში მისი ინტენსივობა სხვადასხვაა. მაგალითად, თუ ატმოსფეროში დიდი სინოტივია, ციმციმი მომეტებულია.

ვარსკვლავებთან შედარებით ნაკლებად ციმციმებს პლანეტები. ამის მიზეზი ისაა, რომ პლანეტები, მათი ჩვენთან შედარებითი სიახლოვის გამო, მნათწერტილებს კი არ წარმოადგენენ, არამედ—ბადროიან მნათობებს; ბადროს სხვადასხვა წერტილში ციმციმის პერიოდები ერთმანეთს არ თანხვდება, ხდება ერთგვარი ინტერფერირება და ამიტომ მათი ერთობლივი მოქმედება ასაშუალებს სურათს და ბადროდან მოსული სინათლის „ჯამი“ თითქმის მუდმივი რჩება, პლანეტა თითქოს უფრო მშვიდად ანათებს. ერთი შეხედვით, სწორედ ნათების ამ სიმშვიდით გამოირჩევა პლანეტა ვარსკვლავებისაგან.

ციმციმი მით უფრო მეტად შეიმჩნევა, რაც უფრო ახლოა მნათობი ჰორიზონტთან. ციმციმს, რა თქმა უნდა, ვერ შეამჩნევს კოსმონავტი, როცა იგი დედამიწის ატმოსფეროს გარედან აკვირდება ვარსკვლავებს.

**§ 93. ცის ფერი. ბინდი. ბინდის სინათლე.** ატმოსფეროში დიდი რაოდენობითაა შერეული მტვრის ნაწილაკები. ისინი მოქმედებენ როგორც მიკროსკოპული სარკეები, რომლებიც არეკლავენ მათზე დაცემულ სინათლის სხივებს. ატმოსფეროს თვით მოლეკულებიც ასევე მოქმედებენ და განაბნევენ სინათლის გარკვეულ ნაწილს.

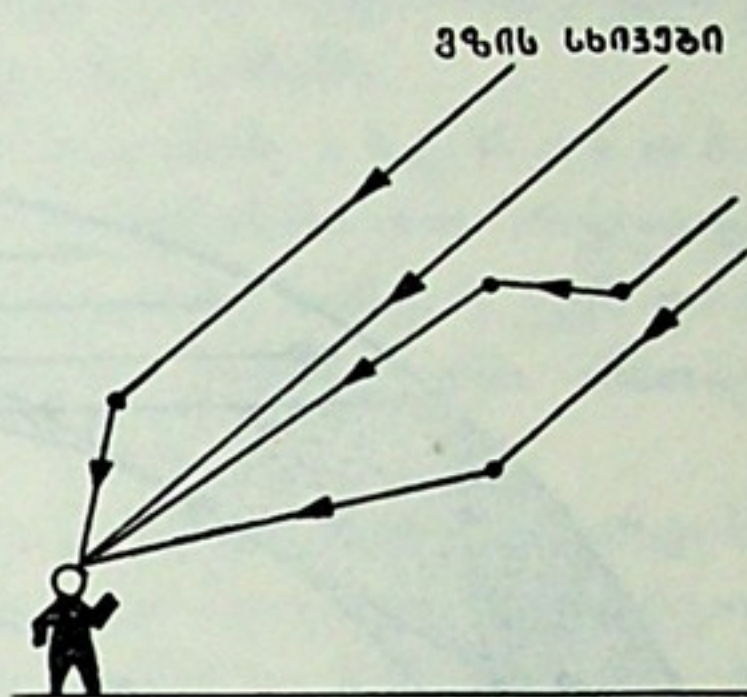
132-ე ნახაზზე ვხედავთ, რომ მზის სხივები, რომლებიც თავისთავად მხოლოდ ერთი მიმართულებიდან შემოდიან ატმოსფეროში, ჩვენი თვალის გუგას სხვადასხვა მიმართულებიდანაც მოსულნი ეცემიან, მას შემდეგ, რაც ისინი აირეკლებიან ატმოსფეროს ატომებისა და მოლეკულებისაგან (რომლებიც ნახაზზე პაწია შავი წრეების სახით არიან წარმოდგენილი). მზის სხივების ნაკადის სიუხვისა და ატომებისა და მოლეკულების სიმრავლის გამო, ჩვენ მთელ ცას ვხედავთ განათებულს. როცა ამ ნახაზს უყურებთ, შეიძლება დაგებადოთ კითხვა—



როგორაა, რომ არეკვლილი სხივები ადამიანის თვალის პაწია გუგას „პოულობენ“ და სწორედ იქ იყრიან თავს? მაგრამ, მოვლენას ასე სქემატურად კი არ უნდა ვუყუროთ, არამედ ამრეკლავი ნაწილაკებისა და სხივების სტატისტიკურ სიმრავლეში და მაშინ ადვილად წარმოსადგენია, რომ ადამიანის თვალს ყველა პირობაში მოხვდება გაბნეული სინათლე.

რა თქმა უნდა, ასეთსავე მოვლენასთან გვაქვს საქმე ღამითაც, როცა ვ არ ს კ ვ ლ ა ვ თ სინათლე განიბნევა, მაგრამ ეს სინათლე იმდენად სუსტია, მხესთან შედარებით იმდენად ნაკლებად ინტენსიური, რომ იგი თითქმის სრულიად აღარ აღიქმება ჩვენ მიერ. სა-

მაგიეროდ, როცა ცაზე სავსე მოვარეა, ცის ფონი ოდნავ შენათებულია. ბევრს შემჩნეული ექნება, რომ, როცა ღამით ვუახლოვდებით დიდ ქალაქს ან დაბას, რომელიც შეიძლება მთას მოფარებულია და პირდაპირ არ ჩანს, მის თავზე ერთგვარი ანაშუქი მოჩანს—ეს ქალაქის ნათურების გაბნეული სინათლეა. მაგრამ, რატომაა დღისით ცის ფერი მოლურჯო? ჰაერის მოლეკულებს ის თვისება აქვთ, რომ უფრო მეტად არეკლავენ და განაბ-



ნახ. 132

ნევენ ლ უ რ ჯ სხივებს, ვიდრე წითელს, ეს განპირობებულია გამბნევი ნაწილაკების სიდიდეებითა და გამოსხივების ტალღის სიგრძეებით. როგორც ცნობილია, ლურჯსა და წითელ გამოსხივებას სხვადასხვა ტალღის სიგრძე აქვთ. მზის თეთრი სინათლე შედგენილია სხვადასხვა ფერის სხივებისაგან; მათ შორის არის ლურჯიც და წითელიც. მზის „თეთრი“ სხივთკონა, რომელიც დედამიწის ატმოსფეროში შემოდის, უფრო შესუსტებული მოდის ჩვენთან მის ლურჯ ნაწილში\*. შეიძლება მივმართოთ შორეულ ანალოგიას: როგორც საცერი ადვილად ატარებს წვრილ მარცვლებს და არ გაატარებს მსხვილს, ასევე, ატმოსფეროს მოლეკულები ატარებენ წითელ გამოსხივებას და არეკლავენ ლურჯს. ის ლურჯი სხივები, რომლებმაც ჩვენამდე უშუალოდ ვერ მოადწია, გაბნეულია ატმოსფეროს ნაწილაკების მიერ და ჩვენთვის ხილვადია როგორც ლურჯი ცის სინათლე. სამაგიეროდ, მზე, მაგალითად, უფრო მოწითალოდ გვეჩვენება, ვიდრე იგი სინამდვილეშია, განსაკუთრებით,—ჰორიზონტის ახლო. ვარსკვლავებიც ჰორიზონტის ახლო უფრო მოწითალოდ გამოიყურებიან.

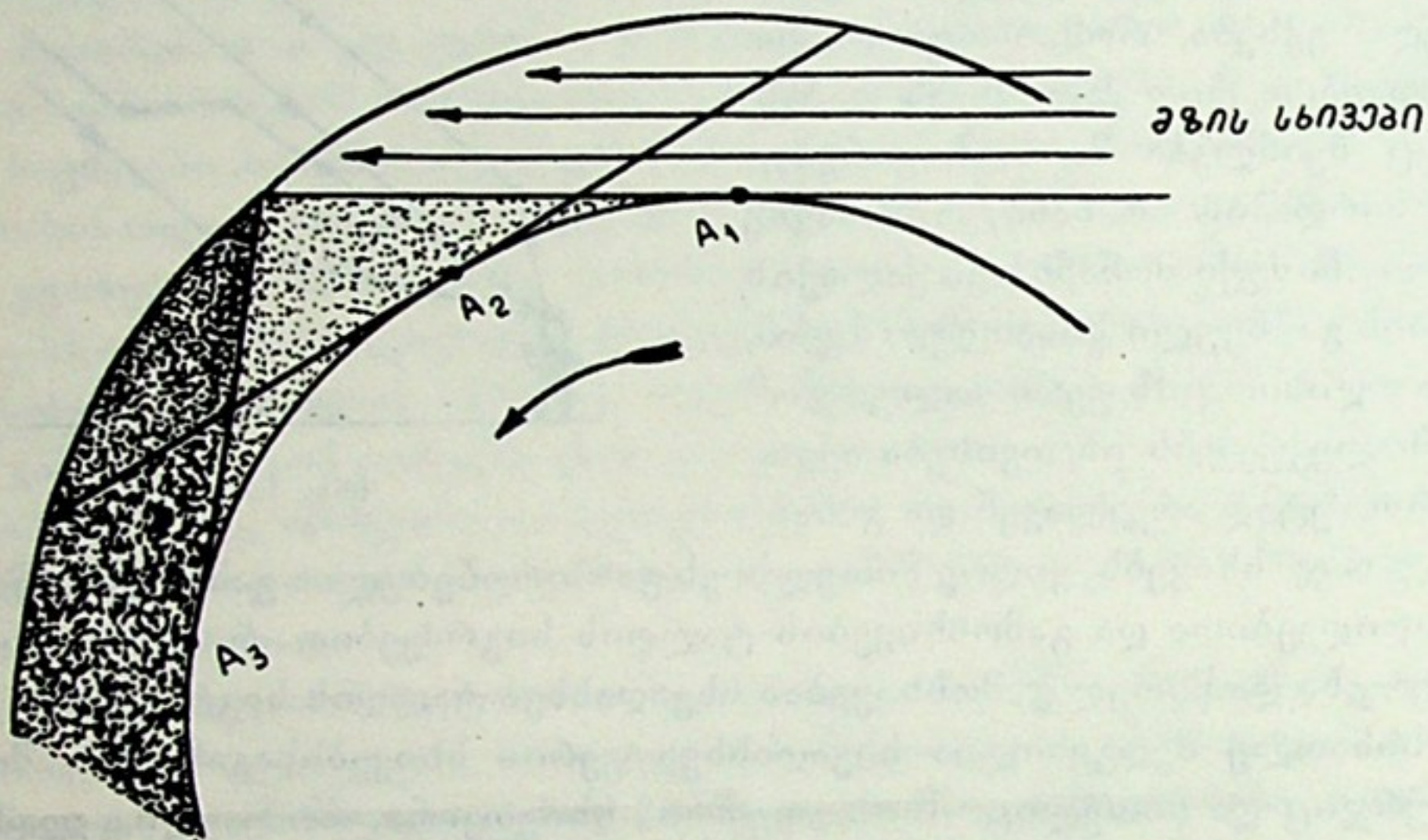
კოსმონავტიკისათვის, რომელიც დედამიწის ატმოსფეროს გარეთ, უჰაერო ან თითქმის უჰაერო სივრცეში მოძრაობს ხომალდით, ცა არაა ლურჯი, არც ღამით და არც დღისით. ცა ბნელია, თითქმის შავი, და მასზე კიაფობენ ვარსკვლავები.

\* თუ ნაწილაკების ზომა ისეთია, რომ დიამეტრი  $10^{-5}$  სანტიმეტრზე ნაკლებია, მათ მიერ გაბნევა გამოსხივების ტალღის სიგრძის მეოთხე ხარისხის უკუპროპორციულია ( $\lambda^{-4}$ ). რადგანაც წითელი სინათლის ტალღის სიგრძე არის  $7000\text{Å} = 7 \cdot 10^{-5}$  სმ, ხოლო ლურჯისა— $3500\text{Å} = 3.5 \cdot 10^{-5}$  სმ, ატმოსფერო  $(7000/3500)^4 = 16$ -ჯერ მეტ ლურჯ სინათლეს განაბნევს, ვიდრე წითელს. მაშასადამე, სხივი მისი წითელი ნაწილით უფრო ინტენსიური მოადწევს დამკვირვებლის თვალს. დიდი ზომის ნაწილაკები (დიამეტრით  $10^{-4}$  სმ-ზე მეტი) ერთნაირად განაბნევენ ყველა ფერის სინათლეს. ატმოსფეროში შერეული ნაწილაკებისა და თვით ჰაერის მოლეკულების ზომები უმეტესად ისეთია, რომ გაბნევა ხდება, როგორც ამბობენ, ( $\lambda^{-4}$ ) კანონზომიერებით.



დღისით და ღამით იგი ერთნაირად შავია, მაგრამ დღეს კოსმონავტი მით შენიშნავს, რომ შავ ცაზე ვარსკვლავებთან ერთად მის თვალწინ მზის კაშკაშა ბადროც ბრწყინავს. რა თქმა უნდა, მაშინ მზე მის ხომალდსაც ანათებს.

ატმოსფეროში გაბნეული მტვერი სინათლის საერთო შესუსტებასაც იწვევს. ეს შესუსტებაც უფრო მეტად ჰორიზონტის მახლობლობაში შეიმჩნევა იმავე მიზეზით, რომ ჰორიზონტის მიმართულებით გამავალი სხივის გზა ატმოსფეროში უფრო გრძელია, ვიდრე ზენიტის მიმართულებით (იხ. 133-ე ნახ.). ზოგჯერ შესუსტება იმდენად შესამჩნევია, რომ კაშკაშა ვარსკვლავებიც კი თითქმის უჩინარდება ჰორიზონტთან უშუალო მიახლოებისას, ჯერ კიდევ მის ქვეშ ჩასვლამდე.



ნახ. 133.

მზის ჩასვლის მომენტის მომდევნო წუთებში, დაახლოებით 30—40 წუთის განმავლობაში, მაინც ვხედავთ ნათელ ცას, რომლის სიკაშკაშე თანდათან მცირდება. ასევე ვხედავთ მას რამდენიმე ხნით ადრე მზის ამოსვლამდე. დღე-ღამის ამ შუალედს, შესაბამისად, საღამოს ან დილის ბინდს ვუწოდებთ, ხოლო ამ დროის განმავლობაში ცის სინათლეს — ბინდის სინათლეს. ბინდიც ანუ, შეიძლება ითქვას, დღის შესუსტებული სინათლე გამოწვეულია მზის სინათლის გაბნევით ატმოსფეროს მაღალ ფენებში. 133-ე ნახაზზე განვიხილავთ დამკვირვებლებს სამ წერტილში:  $A_1$ ,  $A_2$  და  $A_3$ .  $A_1$ -თვის მზე ჩამავალია, ჰორიზონტზეა; უნდა დაიწყოს ბინდი.  $A_2$ -ის ადგილი, სადაც მზე დიდი ხნის ჩასული არაა, განათებულია ატმოსფეროს ზედა ფენებიდან არეკვლილი სინათლით.

თუმცა სხივები უშუალოდ ვეღარ წვდება  $A_2$  დამკვირვებელს, მაგრამ მიმართულია დამკვირვებლის ზემოდან განვრცობილ ატმოსფეროს მაღალ ფენებზე, მათ მაინც ანათებს და მათგანვე აირეკლება. ამიტომ დამკვირვებლის ცამეტ-ნაკლებად განათებულია. რაც უფრო დიდი დროა გასული მზის ჩასვლის მომენტიდან, ანუ რაც უფრო გვიანი ბინდია, მით უფრო მაღალია ატმოსფეროს ის ფენა, რომელიც მზის სხივებითაა განათებული, რის გამოც განათება ნაკლებია, რამდენადაც ამრეკლავი ფენა, ჯერ ერთი, შორსაა და, მეორეც, უფრო გაიშვიათებულია და არეკვლის უნარი ნაკლები აქვს. პუნქტში, სადაც  $A_3$  დამკვირვებელია და



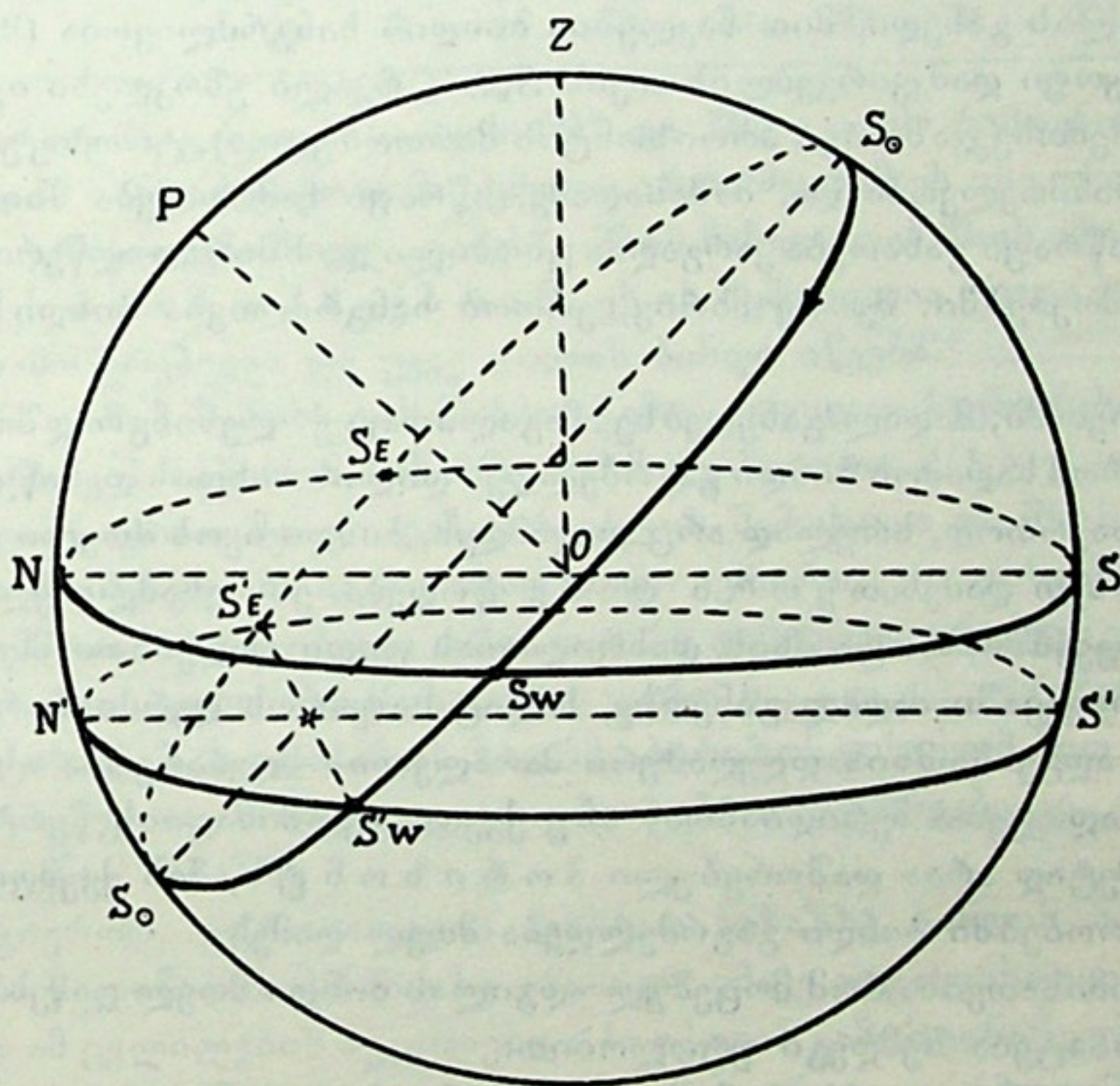
მზე დიდი ხნის ჩასულია, არეკვლილი სინათლე ვერ აღწევს და იქ უკვე სრული სიბნელეა.

საღამოს ბინდი თანდათან სუსტდება და, როგორც ადვილი მისახვედრია, მით მეტად სუსტდება, რაც უფრო დრმად ჩადის მზე ჰორიზონტის ქვეშ. მეორე მხრივ, დილის ბინდი დასაწყისში ერთობ მკრთალია და, მზე უახლოვდება რა ამოსვლას (ჰორიზონტს), ბინდის სინათლე მატულობს სრულ დღის სინათლემდე.

როცა საღამოს მზე  $18^\circ$ -ით არის ჩაშვებული ჰორიზონტის ქვეშ, ბინდის სინათლე გამქრალია და სავსებით დაბნელებულ ცაზე შეუიარაღებელი თვალი-სათვის ყველაზე უფრო მკრთალი ვარსკვლავებიც მოჩანს.

მიჩნეულია, რომ ამ დროს მთავრდება საღამოს ასტრონომიული ბინდი. მაგრამ პრაქტიკული, სამოქალაქო თვალსაზრისით სრული ღამე იწყება უფრო ადრე, როცა მზე  $6-7^\circ$ -ის სიღრმეზეა ჰორიზონტის ქვეშ და საჭირო ხდება ხელოვნური სინათლით სარგებლობა. ამ შემთხვევაში ამბობენ, რომ მთავრდება სამოქალაქო ბინდი.

განვიხილოთ 134-ე ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია ბინდის გეომეტრიული სურათი. ჰორიზონტის პარალელურად გავლებული მცირე წრეწირი  $N'S'S'$  დაშორებულია ჰორიზონტიდან  $NN' = SS'$  რკალით, რაც უნ-



ნახ. 134.

და ვიგულოთ  $6^\circ$ -ის ტოლად სამოქალაქო ბინდის შემთხვევაში, ხოლო  $18^\circ$ -ის ტოლად, თუ განვიხილავთ ასტრონომიულ ბინდს. სხვა სიტყვებით, ეს არის ალმუკანტარატი, რომლის ზენიტური მანძილი ეტოლება  $96^\circ$ -ს ან  $108^\circ$ -ს.  $S_w$  მზის ადვილია მისი ჩასვლის მომენტში;  $S'_w$  კი მზის ადვილი იმ მომენტში, როცა საღამოს ბინდი მთავრდება. ნახაზზე მკითხველი ადვილად იცნობს იმ წერტილებს, რომლებიც შეესაბამება მზის მდებარეობას მისი ამოსვლისა და დილის ბინდის



დასაწყის მომენტებში.  $NN'SS'$  სარტყელი გამოხატავს იმ არეს, რომელშიც მოთავსებული უნდა იყოს მზე ბინდის განმავლობაში. სადამოს ბინდის ხანგრძლივობა განისაზღვრება დროის შუალედით, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ მზემ თავის დღელამურ პარალელზე გაიაროს  $S_wS'_w$  რკალი.

ბინდის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია როგორც ადგილის განედზე, ისე მზის დახრილობაზე. მისი გამოთვლა ადვილია, თუ ვისარგებლებთ პარალაქსური  $PZS'_w$  სამკუთხედით და გამოვიყენებთ სფერული ტრიგონომეტრიის პირველ ძირითად ფორმულას. გვექნება:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t + \tau),$$

სადაც  $z$ -თვის უნდა ავიღოთ  $90^\circ + 6^\circ = 96^\circ$ , თუ ვითვლით სამოქალაქო ბინდის ხანგრძლივობას, ხოლო  $90^\circ + 18^\circ$  — თუ ვითვლით ასტრონომიული ბინდის ხანგრძლივობას;  $\tau$  არის ბინდის ხანგრძლივობა. ამ ფორმულით განისაზღვრება მზის საათ-კუთხისა და ბინდის ხანგრძლივობის ჯამის  $t + \tau$ -ის მნიშვნელობა; მაგრამ მზის საათ-კუთხე  $t$  შეგვიძლია ცალკე გამოვითვალოთ იმ შემთხვევისათვის, როცა მზე ჰორიზონტზეა (სადამოს ბინდის დასაწყისი) და მზის ზენიტური მანძილი  $z = 90^\circ$ . ამის შემდეგ  $\tau$ -ს მნიშვნელობა ადვილად მიიღება.  $\tau$ -ს ზუსტი მნიშვნელობის მისაღებად გასათვალისწინებელია რეფრაქცია.

მკითხველი ნახაზის მიხედვით ადვილად წარმოიდგენს, რომ, რაც უფრო მცირეა ადგილის განედი, მით ნაკლებია ბინდის ხანგრძლივობა (მაგალითად, ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის  $S_wS'_w$  რკალი უმოკლესი იქნება, რამდენადაც ამ შემთხვევაში იგი ჰორიზონტის მართობულია). ტროპიკულ ქვეყნებში ბინდის ხანმოკლეობა და, მაშასადამე, სწრაფი ჩამოღამება მზის ჩასვლის შემდგომ, ან სწრაფი განათება კარგადაა ცნობილი და ხშირად აღწერილია მხატვრულ ნაწარმოებებში. მეორე მხრივ, ერთობ ხანგრძლივია ბინდი პოლარულ ქვეყნებში.

ჩრდილოეთში, მაღალ განედებზე, მაგალითად ქ. ლენინგრადში შეიძლება მოხდეს ისე, რომ სადამოს ბინდი გაგრძელდეს დილის ბინდის დასაწყისამდე და, მაშასადამე, საერთოდ, სრულად არც დაღამდეს, ბინდი იყოს მთელი ღამის განმავლობაში. ასეთ ღამეს თეთრი ღამე ეწოდება. ეს შესაძლებელია მოხდეს ზაფხულის თვეებში, როცა მზის დახრილობას დიდი დადებითი მნიშვნელობა აქვს. ამ შემთხვევაში მაღალ განედზე, სადაც სამყაროს დერძი ჰორიზონტთან დიდ კუთხეს ადგენს, მზის დღელამური პარალელის მდებარეობა ისეთია, რომ მისი ქვედა გადაკვეთა მერიდიანთან ანუ ქვედა კულმინაციის წერტილი მხოლოდ  $6^\circ$ -ზე მეტად არაა დაშორებული ჰორიზონტს, მის ქვემოთ. ცხადია, რომ ასეთ პირობებში ბინდი გაგრძელდება მთელ ღამეს.

პირობა იმისათვის, რომ მოცემულ ადგილას ბინდი მთელ ღამეს გრძელდებოდეს, გამოიხატება შემდეგი უტოლობით:

$$\delta \text{ მზისა} \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ \text{ (სამოქალაქო ბინდისათვის),}$$

$$\delta \text{ მზისა} \geq 90^\circ - \varphi - 18^\circ \text{ (ასტრონომიული ბინდისათვის).}$$

რადგანაც მზის შესაძლო მაქსიმალური დახრილობა  $23\frac{1}{2}^\circ$ -ია, ამიტომ პირველი უტოლობა დებულობს სახეს:

$$23\frac{1}{2}^\circ \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ,$$

$$\varphi \geq 60\frac{1}{2}^\circ.$$



მაშასადამე, უკვე განედიდან  $60\frac{1}{2}^{\circ}$  იქმნება შესაძლებლობა თეთრი და მუქების არსებობისა (დაასურათეთ ეს სათანადოდ შედგენილი ნახაზით).

საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ აქვე ცხრილის სახით სამოქალაქო და ასტრონომიული ბინდის ხანგრძლივობა წელიწადის სხვადასხვა დროს, ყოველი თვის პირველი რიცხვისათვის.

სამოქალაქო და ასტრონომიული ბინდის ხანგრძლივობა სხვადასხვა განედზე  $0^{\circ}$ -დან  $+70^{\circ}$ -მდე

განედი თვე	$0^{\circ}$		$20^{\circ}$		$40^{\circ}$		$60^{\circ}$		$70^{\circ}$	
	სამოქ.	ასტ-რონ.	სამოქ.	ასტ-რონ.	სამოქ.	ასტ-რონ.	სამოქ.	ასტ-რონ.	სამოქ.	ასტ-რონ.
იანვარი 1	24 წთ	76 წთ	25 წთ	79 წთ	31 წთ	98 წთ	59 წთ	166 წთ	134 წთ	318 წთ
თებერვალი 1	22	73	24	77	30	94	50	148	86	236
მარტი 1	22	70	23	74	28	91	44	140	62	209
აპრილი 1	22	70	23	74	28	94	44	160	67	—
მაისი 1	23	72	24	78	30	105	56	—	—	—
ივნისი 1	23	75	25	84	33	120	85	—	—	—
ივლისი 1	23	76	25	85	34	123	100	—	—	—
აგვისტო 1	22	73	24	81	31	110	61	—	—	—
სექტემბერი 1	22	70	23	76	29	96	45	180	75	—
ოქტომბერი 1	22	70	23	74	27	91	42	202	60	219
ნოემბერი 1	22	71	24	75	29	93	46	204	74	218
დეკემბერი 1	23	75	25	78	31	97	55	221	158	331

ამ ცხრილში განედებისათვის  $60^{\circ}$  და  $70^{\circ}$  გვაქვს რამდენიმე შემთხვევა, როცა ბინდის ხანგრძლივობა მოცემული არაა, მაგრამ ეს ისე უნდა გვესმოდეს, რომ ბინდი გრძელდება მთელ „დამეს“—მზის ჩასვლიდან მზის ამოსვლამდე, ე. ი. საქმე გვაქვს თ ე თ რ დ ა მ ე ე ბ თ ა ნ. ეს ის შემთხვევაა, როცა საღამოს ბინდი ჯერ არ დამთავრებულა და უკვე დილის ბინდი იწყება.

თეთრი დამის შემთხვევის წარმოდგენაც ადვილია ჩვენი ნახაზის განხილვისას. ამისათვის საჭიროა, ნახაზზე  $PO$  მივუახლოოთ  $ZO$ -ს, ე. ი. განვიხილოთ უფრო ჩრდილოეთით მყოფი დამკვირვებლის შემთხვევა და მზის დახრილობის დადებითი მნიშვნელობა საკმარისად დიდი ავიღოთ, ე. ი. განვიხილოთ ზაფხულის მზებუდობის მახლობელი დრო. თეთრი დამე ყველა როდია ერთნაირად ნათელი. იგი მით უფრო ნათელია, რაც უფრო ნ ა კ ლ ე ბ დ რ მ ა დ ჩადის მზე ჰორიზონტის ქვეშ. ხოლო მზის სიღრმე ჰორიზონტის ქვეშ მით ნაკლებია, საერთოდ, რაც უფრო ჩრდილოეთით იმყოფება დამკვირვებელი. ესეც ადვილად წარმოსადგენია ნახაზზე.

სამაგიეროდ, უფრო ძნელია ავხსნათ ნახაზზე ბინდის ხანგრძლივობის ცვლილება წელიწადის მანძილზე ერთი და იმავე ადგილისათვის. თუმცა, ანალიზურად ამ ცვლილების აუცილებლობა იქიდან გამომდინარეობს, რომ ბინდის ხანგრძლივობის გამოსათვლელს ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში არგუმენტის როლს, ადგილის გეოგრაფიულ განედთან ერთად, ასრულებს მზის დახრილობაც, რომელიც იცვლება წელიწადის განმავლობაში.

თუ მაინც მოვინდომებთ ნახაზის განხილვას ამ თვალსაზრისით, ყურადღება უნდა მიექცეს იმ არსებით გარემოებას, რომ ბინდის სარტყელით შემოსაზღვრული, წელიწადის სხვადასხვა დროის შესაბამისი მზის დღედამური პარალელების—როგორც მცირე წრეწირების—რკალები სხვადასხვა სიმრუდისაა. ამის





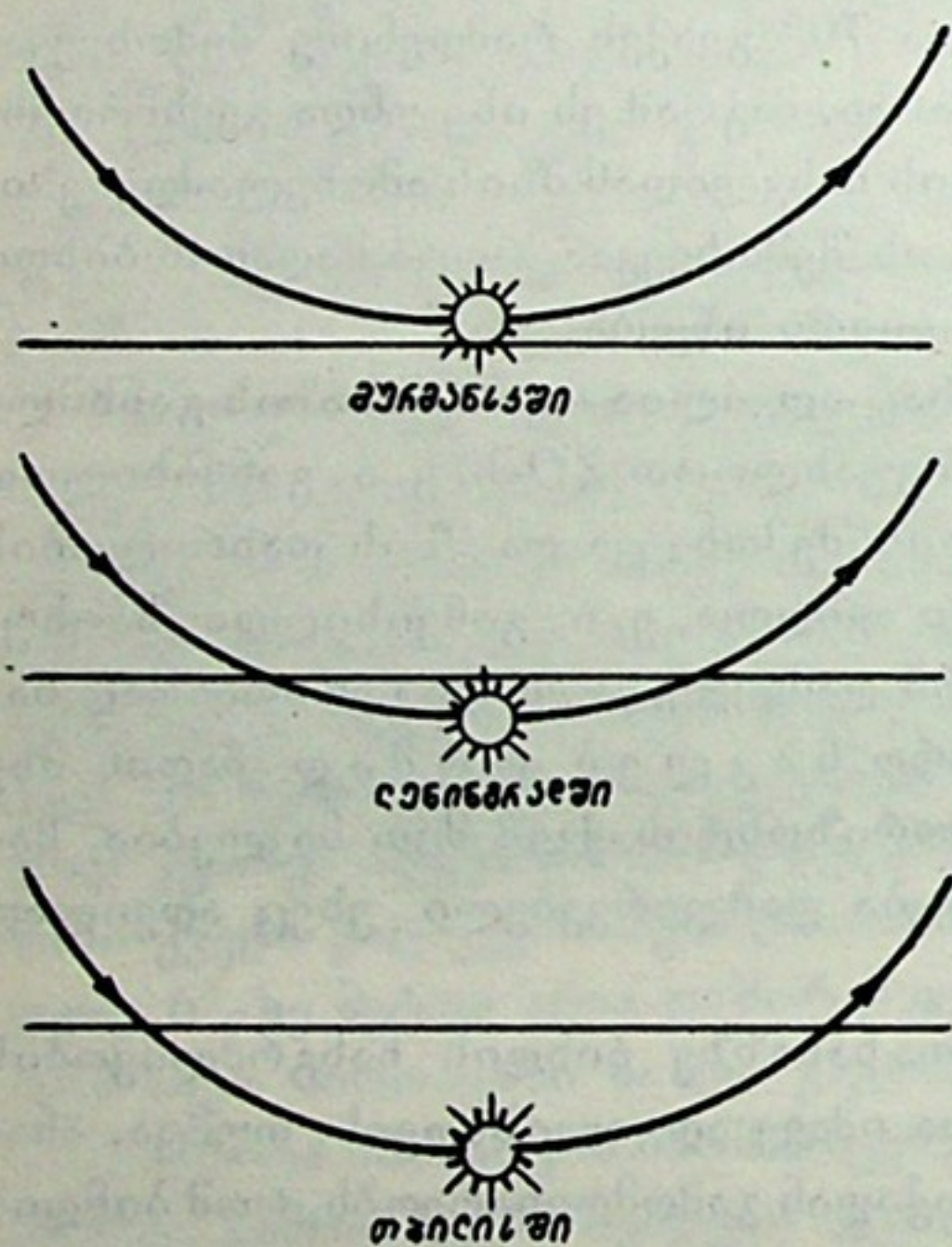
გამო მზე, მაგალითად, ეკვატორის რკალის გავლას (ბუნიობის დროს) ნაკლებ დროს მოანდომებს, ვიდრე მზებუდობის შესაბამისი პარალელის რკალის გავლას. ამის შედეგად, დედამეტოლობის დროს ბინდი უფრო ხანმოკლეა, ვიდრე მზებუდობისას.

ჩვეულებრივ, ბინდის დროს ხერხდება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დანახვა თვალთ და დაკვირვება ჭოგრში. თავისთავად, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი იმ სახით, რა სახითაც აქამდე გამოიყენება, არ ანათებს. მისი ხილვა შესაძლებელია მხოლოდ მის ზედაპირზე დაცემული და არეკვლილი მზის სხივების წყალობით. დღისით თანამგზავრს ვერ დავინახავთ, რადგანაც უხვად განათებული ცის გაბნეული სინათლე გვიშლის ისევე, როგორც ვარსკვლავების ხილვაში. ღამითაც თანამგზავრს, თუ იგი დედამიწის ჩრდილშია და მას სრულიად არ უდგება მზის სხივები, ვერ დავინახავთ. მხოლოდ ბინდის დროს, როცა შედამებულია, ატმოსფეროს გაიშვიათებული მაღალი ფენები ცუდად არეკლავენ, ე. ი. ცის ფონი მკრთალია, ხოლო ხელოვნური თანამგზავრის გაკრიალებული ზედაპირი კარგად არეკლავს და იგი ვარსკვლავივით გამოიყურება.

ხშირად კი დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრს იმ დროსაც ვხედავთ, როცა სადამოს ასტრონომიული ბინდი დამთავრებულია, ან დილის ბინდი ჯერ არ დაწყებულია. როგორ ავხსნათ ეს მოვლენა? იმ დროს თანამგზავრი იმდენად მაღლაა, რომ მზის სხივები თუმცა წვდება მას და თანამგზავრის კორპუსი არეკლავს სინათლის სხივებს, მაგრამ ატმოსფეროს შესაბამისი ფენა მისი გაიშვიათებულობის გამო პრაქტიკულად ვეღარ არეკლავს. მაშასადამე, საერთოდ, თანამგზავრის ხილვადობის ხანგრძლივობა აღემატება ბინდისას.

ზოგჯერ თანამგზავრს ვხედავთ მოძრავს მთელს ცაზე, დასავლეთის ჰორიზონტიდან აღმოსავლეთის ჰორიზონტამდე. ზოგჯერ კი შევნიშნავთ, რომ მოძრავი თანამგზავრი ჯერ კიდევ ჰორიზონტზე დაშვებამდე, ზენიტის ახლო, უეცრად უჩინარდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ იგი შევიდა დედამიწის ჩრდილში და მზის სხივები მას სრულიად აღარ წვდება.

პარაგრაფის დასასრულს მოვიყვანოთ 135-ე ნახ., რომელიც გვიჩვენებს, თუ როგორ შედარებით სიღრმეებზეა ჰორიზონტის ქვეშ



ნახ. 135

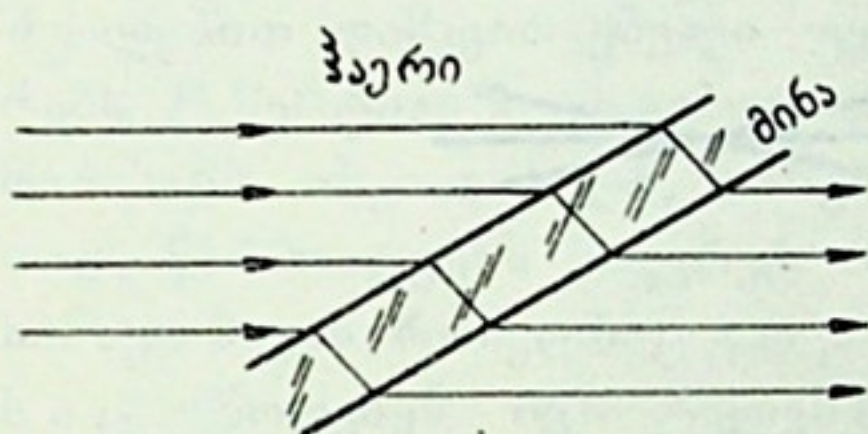
მზე ზაფხულის მზებუდობის დღის შუაღამეს, გეოგრაფიული განედებით განსხვავებულ სხვადასხვა პუნქტში. ჰორიზონტული ხაზი ადგილის ჰორიზონტის ჩრდილო მონაკვეთს წარმოადგენს.

§ 94. ტელესკოპი. ზემოთ აღწერილი ასტრონომიული დასამზერე იარაღები—უნივერსალური ინსტრუმენტი, თეოდოლიტი, მერიდიანული წრე, საპასაჟო

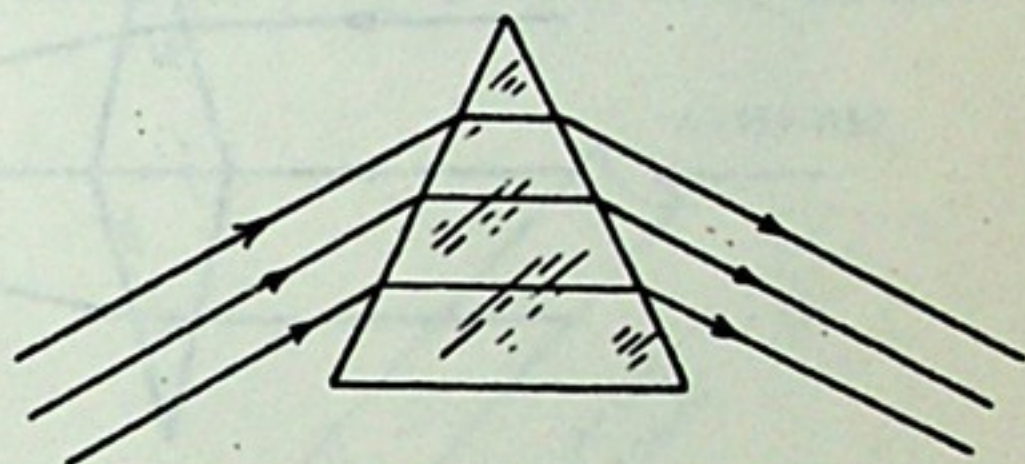


იარაღი—ემსახურება ასტრონომიულ დაკვირვებას, მაგრამ მათი მთავარი დანიშნულება საკმაოდ შეზღუდულია; ამ იარაღების საშუალებით უნდა დადგინდეს მიმართულება მნათობზე. რაიმე მოვლენის განვითარების დაკვირვებას, გამოსხივების ფიზიკურ ანალიზს და სხვა ამგვარს, დასახელებული იარაღებით ვერ აწარმოებენ. ამ მიზნებით ანუ ცის სხეულების ფიზიკური თვისებების შესასწავლად იხმარება ტელესკოპი, რომლის განხილვას ახლა შევუდგებით.

წინასწარ გავიხსენოთ სინათლის ზოგიერთი თვისება. სინათლის გავრცელების სიჩქარე სივარდიელში ანუ ვაკუუმში გამოიხატება შემდეგნაირად:  $c = 3 \cdot 10^{10}$  სმ/წმ  $= 3 \cdot 10^8$  კმ/წმ\*. რაიმე ფიზიკურ გარემოში სინათლე ვრცელდება ნაკლები სიჩქარით და სხვადასხვა ტალღის სიგრძის გამოსხივებისათვის სიჩქარე სხვადასხვაა.  $\frac{c}{v}$  ფარდობა, სადაც  $c$  წარმოადგენს სინათლის გავრცელების სიჩქარეს ვაკუუმში, ხოლო  $v$ —ვაკუუმისაგან განსხვავებულს ფიზიკურ გარემოში, ყოველთვის 1-ზე მეტია, დამოკიდებულია გარემოზე და გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე. მაგალითად, ჰერისათვის იგი არის 1.0003, წყლისათ-



ნახ. 136

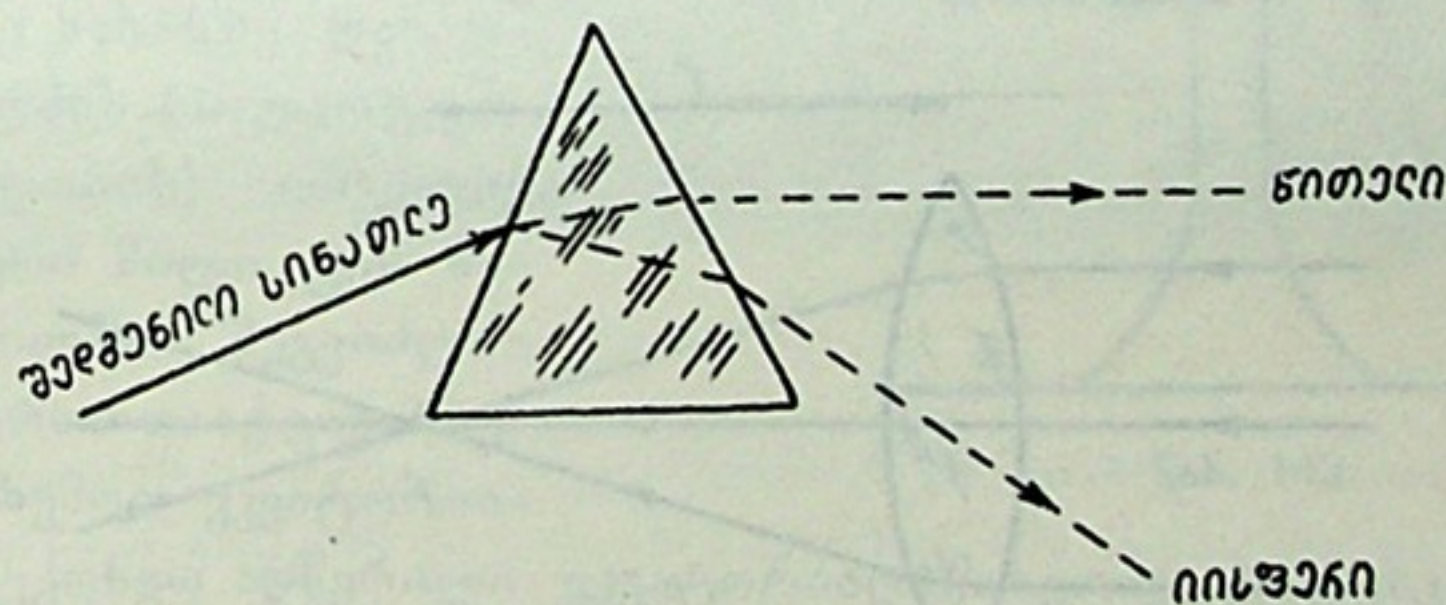


ნახ. 137

ვის — 1.335; ე.წ. ფლუორიტის მინისათვის—1.442 (გამოსხივებისათვის ტალღის სიგრძით 4000 Å) და 1.432 (გამოსხივებისათვის 7000 Å).

სინათლეს ახასიათებს ტალღური ბუნება და მისი ფერი ტალღის სიგრძით განისაზღვრება.

თუ რაიმე გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივთკონას წინ ხვდება მისი გავრცელების მიმართულებისადმი დახრილი ბრტყელ-პარალელური მინის ფირ-



ნახ. 138

ფიტა, სხივთკონა ჯერ მინაში შესვლისას გარდატყდება, ხოლო შემდგომ,—მინიდან გამოსვლისას, ოდონდ საწინააღმდეგო მხარეზე, და განაგრძობს გავრცელებას საწყისი მიმართულების პარალელურად, მცირედ გადაადგილებულად, როგორც ეს გამოხატულია 136-ე ნახაზზე.

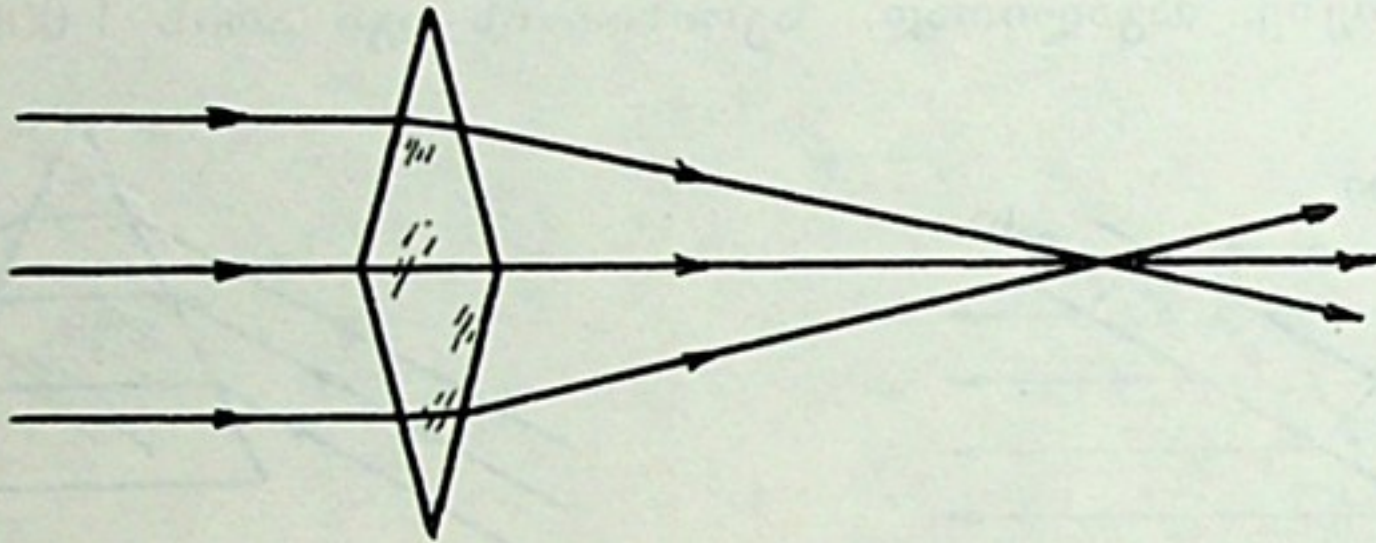
\*უფრო ზუსტად  $c = 299792 \pm 1$  კმ/წმ.





როცა სხივთკონის გზაზე მინის პრიზმაა, მაშინ პრიზმიდან გამოსული სხივთკონა როდი რჩება საწყისის პარალელური, რადგანაც სხივთკონა გარდატეხას განიცდის ორჯერვე ერთი და იმავე მხარისაკენ (ნახ. 137).

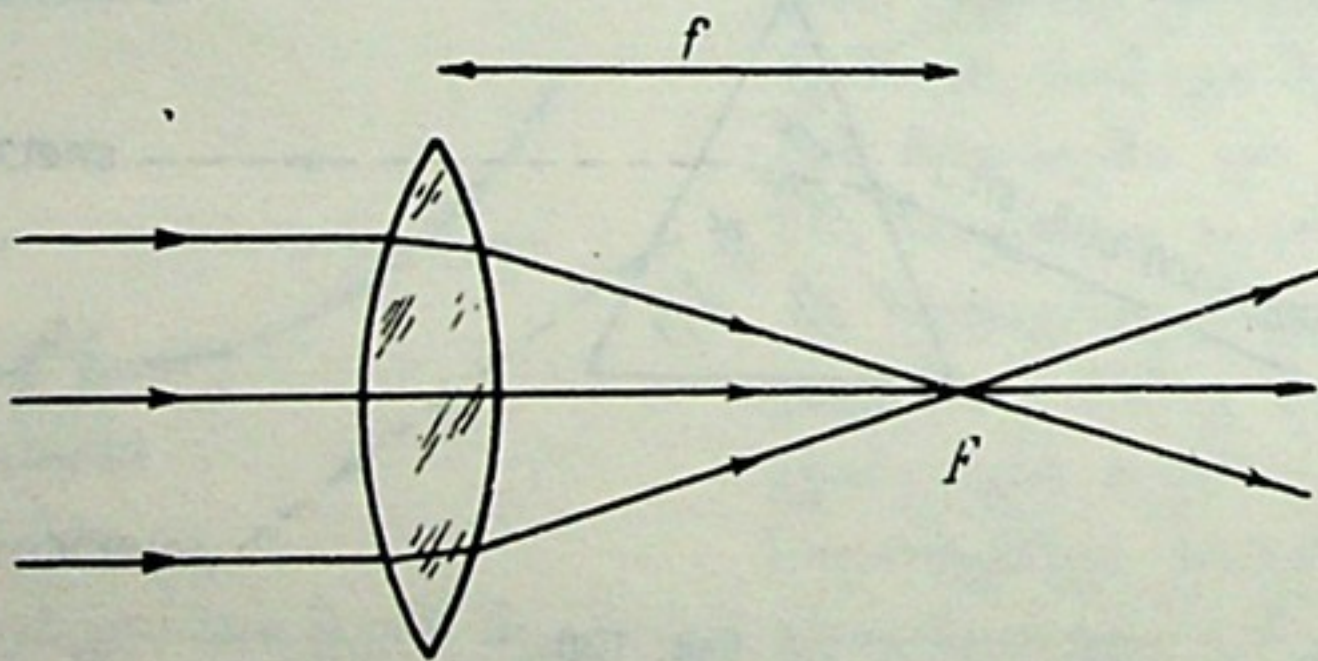
აქამდე იგულისხმებოდა, რომ საქმე გვაქვს ერთი გარკვეული ტალღის სიგრძის მქონე სხივთკონასთან. თუკი ახლა ჩავთვლით, რომ სხივთკონაში მონაწილეობს ორი სხვადასხვა ტალღის სიგრძის მქონე სხივი, ისინი სხვადასხვა კუთხით გარდატეხებიან, რადგან, როგორც ზემოთ შევნიშნეთ, გარდატეხის მაჩვენებელი, რასაც უწოდებენ  $\frac{c}{v}$  ფარდობას, დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე. მივიღებთ ისეთ სურათს, როგორიც გამოხატულია 138-ე ნახაზზე. რამდენადაც გავრცელების სიჩქარე იისფერი სხივებისათვის ნაკლებია, ვიდრე წითელისათვის, ამიტომ იისფერი სხივები მეტად გარდატეხდება, ვიდრე წითელი, და პრიზმიდან გასული ორი—იისფერი და წითელი—სხივი ერთმანეთის პარალელური აღარ იქნება.



ნახ. 139

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ საქმე გვაქვს ორ ერთნაირ პრიზმასთან, რომლებიც ერთიმეორესთან შეწყებებულია თავისი ფუძეებით (ნახ. 139). ასე შეწყვილებული პრიზმა, ვთქვათ, ერთი გარკვეული სიგრძის ტალღის სხივის გზაზეა. ადვილი დასარწმუნებელია, რომ სხივთკონა ასეთ შემთხვევაში ერთ წერტილში მოიყრის თავს. იგულისხმება, რომ ორივე პრიზმა ერთი თვისების ანუ ერთნაირი გარდატეხის მაჩვენებლის მქონეა.

რომელიმე ორმხრივ ამოზნექილი ლინზა (ნახ. 140) შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც პრიზმების ერთობლიობა. ვნახოთ, რომ ამ შემთხვევაშიც



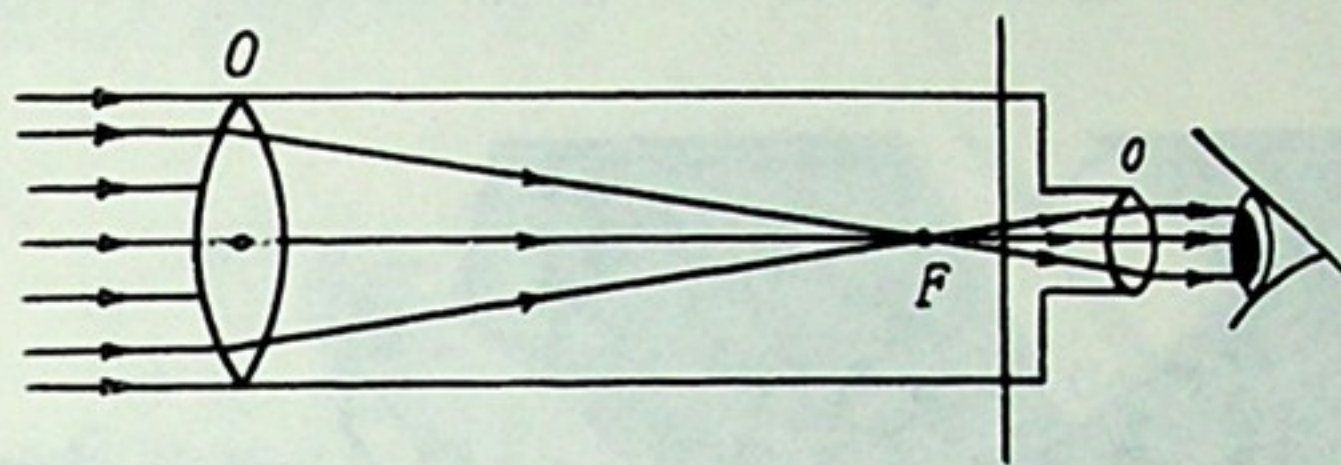
ნახ. 140

სხივთკონის სხივები თავს მოიყრის ერთ წერტილში, რომელსაც ფოკუსს უწოდებენ; იგი აღნიშნულია  $F$  ასოთი. მანძილს ლინზის ცენტრსა და  $F$  ფოკუსს შორის უწოდებენ ფოკუსის მანძილს. ადვილი მისახვედრია, რომ რაც მეტია ლინზის ამოზნექილი ზედაპირის სიმრუდე, მით ნაკლებია ფოკუსის



მანძილი ( $f$ ). ლინზის ზედაპირების სიმრუდის ცენტრებზე გამავალ წრფეს ოპტიკური ღერძი ეწოდება. ჩვეულებრივ, ფოკუსის წერტილი ამ ღერძზე ძევს.

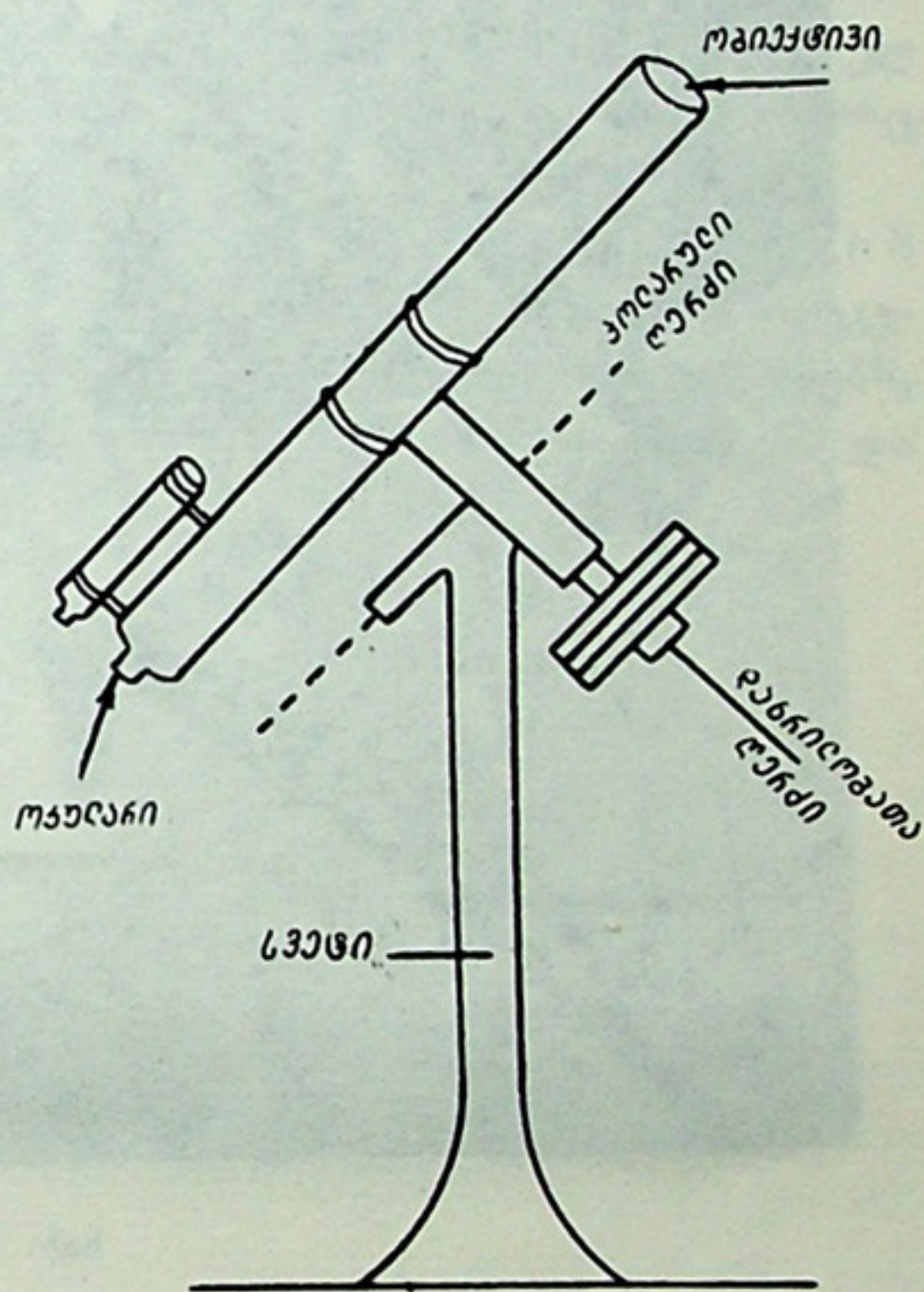
141-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მილი, რომლის ერთ-ერთ ბოლოში მოთავსებულია ორმხრივ ამოზნექილი  $O$  ლინზა. ეს ლინზა ანუ ე. წ. ობიექტივი



ნახ. 141

მის ზედაპირზე ერთი მხრიდან ვარდნილ სხივთკონას თავს უყრის მეორე მხარეზე—ფოკუსის  $F$  წერტილში. მილის ბოლოში ჩადგმულია სხვა, უფრო მცირე ზომისა და მცირე ფოკუსის მანძილის მქონე  $O$  ლინზა (ოკულარი), რომლის სა-

შუალებით დამკვირვებელი უყურებს  $F$  წერტილში მიღებულ გამონახსახს. ასეთი მილი, არსებითად, წარმოადგენს საჭვრეტ ანუ სამხერ მილს, რომელსაც ჭოგრსაც უწოდებენ. იგი ტელესკოპის ძირითადი ნაწილია. მაგრამ იმისათვის, რომ ასეთი ჭოგრი ადვილად მოვიმარჯვოთ, მნათობს დავუმიზნოთ და დამკვირვებლისათვის გამოვიყენოთ, უნდა მოვარგოთ იგი სათანადოდ მოწყობილ დანადგარს. ასეთია ე. წ. ეკვატორული დანადგარი, რომლის სქემატური სურათი მოცემულია 142-ე ნახაზზე. დანადგარის ორი ღერძის (პოლარული და დახრილობის) ირგვლივ მოძრავი სამხერი მილი ცის ნებისმიერ წერტილში შეგვიძლია ადვილად მივმართოთ. აქ გავიხსენოთ ის, რაც ზემოთ ეკვატორი-



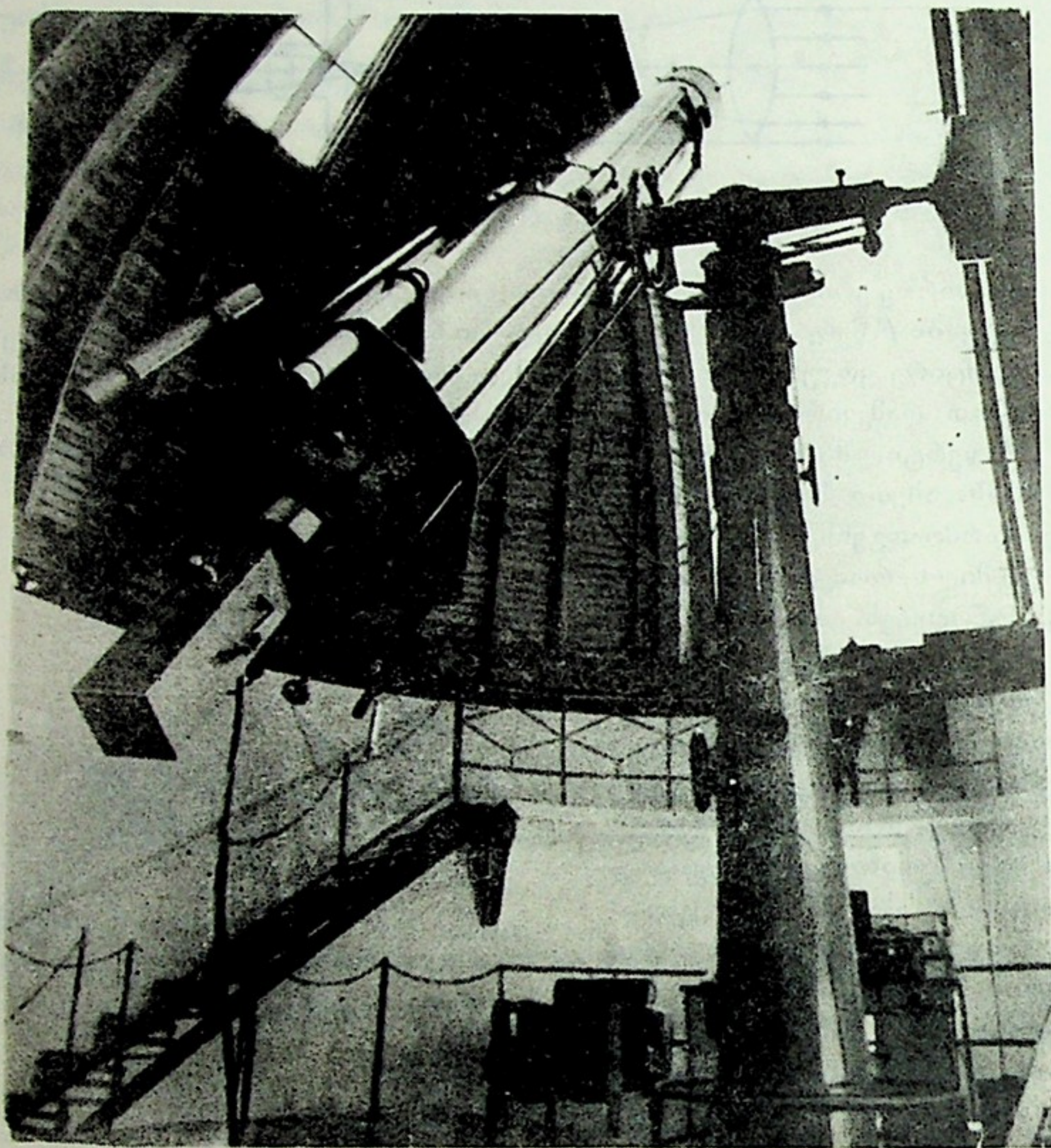
ნახ. 142

ლის შესახებ გვქონდა აღწერილი. ეკვატორიული ასეთივე ტელესკოპია, მაგრამ იქ ლაპარაკი იყო უმთავრესად მის გამოყენებაზე ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით. ახლა კი მხედველობაში გვაქვს ტელესკოპი, რომელიც მნათობზე განვითარებული მოვლენების დასაკვირვებლად და მისი ფიზიკური თვისებების შესასწავლად იხმარება.

თანადროულ ობსერვატორიებში მომუშავე ტელესკოპები დიდი იარაღებია, რომელთა ობიექტივის დიამეტრი 1 მეტრამდე აღწევს. ასეთი ტელესკოპების მილის სიგრძე, რომელიც ძირითადად ობიექტივის ფოკუსის მანძილით განისაზ-



დვრება, შეიძლება 12—20 მეტრამდე იყოს. 143-ე ნახაზზე წარმოდგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში მომუშავე ტელესკოპი, რომლის ობიექტივის დიამეტრი 40 სმ-ია, ხოლო ფოკუსის მანძილი ანუ მილის სიგრძე — თითქმის 7 მეტრი.



ნახ. 143

ტელესკოპის, როგორც ასტრონომიული იარაღის, ძირითადი დანიშნულებაა, რაც შეიძლება დიდი რაოდენობით შეკრიბოს მნათობიდან მოსული სინათლის სხივები, სხვა სიტყვებით, — დ ა გ ვ ა ნ ა ხ ვ ო ს მნათობები, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით მეტისმეტად მკრთალია ან სულაც უჩინარი. თავის ფოკუსში იგი თავს უყრის ობიექტივში გამოვლილ სხივებს. ადამიანის შეუიარაღებელი თვალიც ჰკრებს თვალის კაკლის სინათლისმგრძნობ ზედაპირზე სხივებს, მაგრამ მხოლოდ იმდენს, რამდენიც თვალის პაწია გუგაში გადის. ამ გუგის დიამეტრი სულ რამდენიმე მილიმეტრია. ტელესკოპი კი იმდენ სხივს შეკრებს, რამდენიც მოთავსდება მისი ობიექტივის ტოლი დიამეტრის მქონე სხივთკონაში.

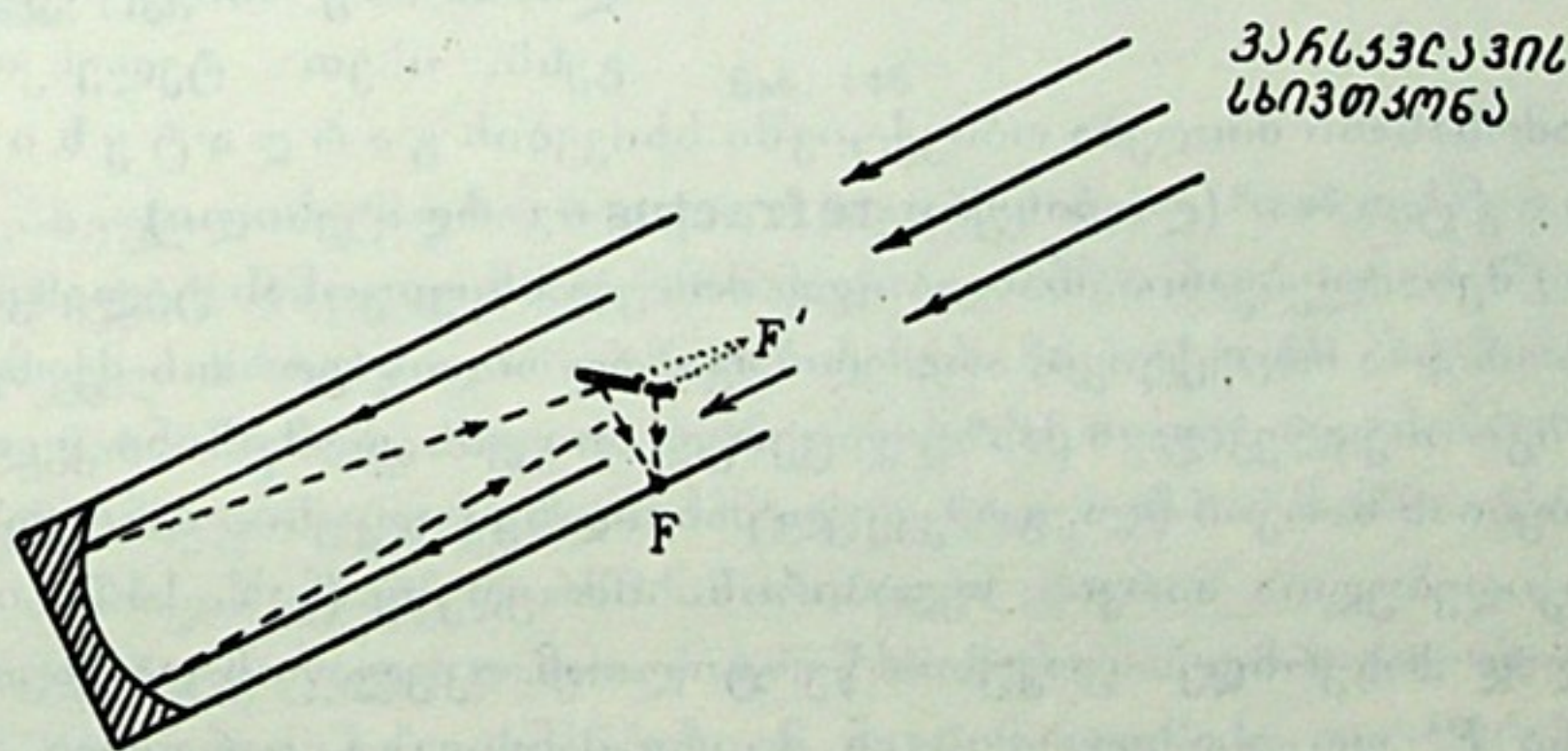


ადვილად შესადარებელია თვალთან ტელესკოპის სხივთშეკრების უნარი ანუ მკრთალ მნათობებამდე მისი შედწევის უნარი. მაგალითად, თუ თვალის გუგის დიამეტრად 5 მილიმეტრს მივიჩნევთ, მაშინ ტელესკოპი, რომლის ობიექტივის დიამეტრი 40 სმ-ია (400 მმ-ია), იმდენჯერ აღემატება თავისი „დანახვის უნარით“ თვალს, რამდენჯერაც ობიექტივის ზედაპირის ფართობი თვალის გუგის ფართობს. ანუ:

$$\frac{\pi \left(\frac{400}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{5}{2}\right)^2} = \frac{400^2}{5^2} = \frac{160000}{25} = 6400$$

მაშასადამე, 40-სანტიმეტრიანი ტელესკოპი (ასე უწოდებენ მოკლედ ტელესკოპს, რომლის ობიექტივის დიამეტრი 40 სმ-ია) 6400-ჯერ მეტ სინათლეს შეკრებს, ვიდრე შეუიარაღებელი თვალი, რაც იმას ნიშნავს, რომ მნათობი, რომელსაც აღნიშნული ტელესკოპით ვუყურებთ, 6400-ჯერ უფრო კაშკაშად გამოიყურება, ვიდრე უბრალო თვალით დაკვირვებისას. თუ ერთსა და იმავე მანძილზე მოვათავსებთ ორ — 1 და 6400 ვატიან — ნათურას, მაშინ აღნიშნულ ტელესკოპში 1 ვატიანი ნათურა ისეთივე სიკაშკაშით გამოჩნდება, როგორც შეუიარაღებელი თვალით — 6400 ვატიანი ნათურა.

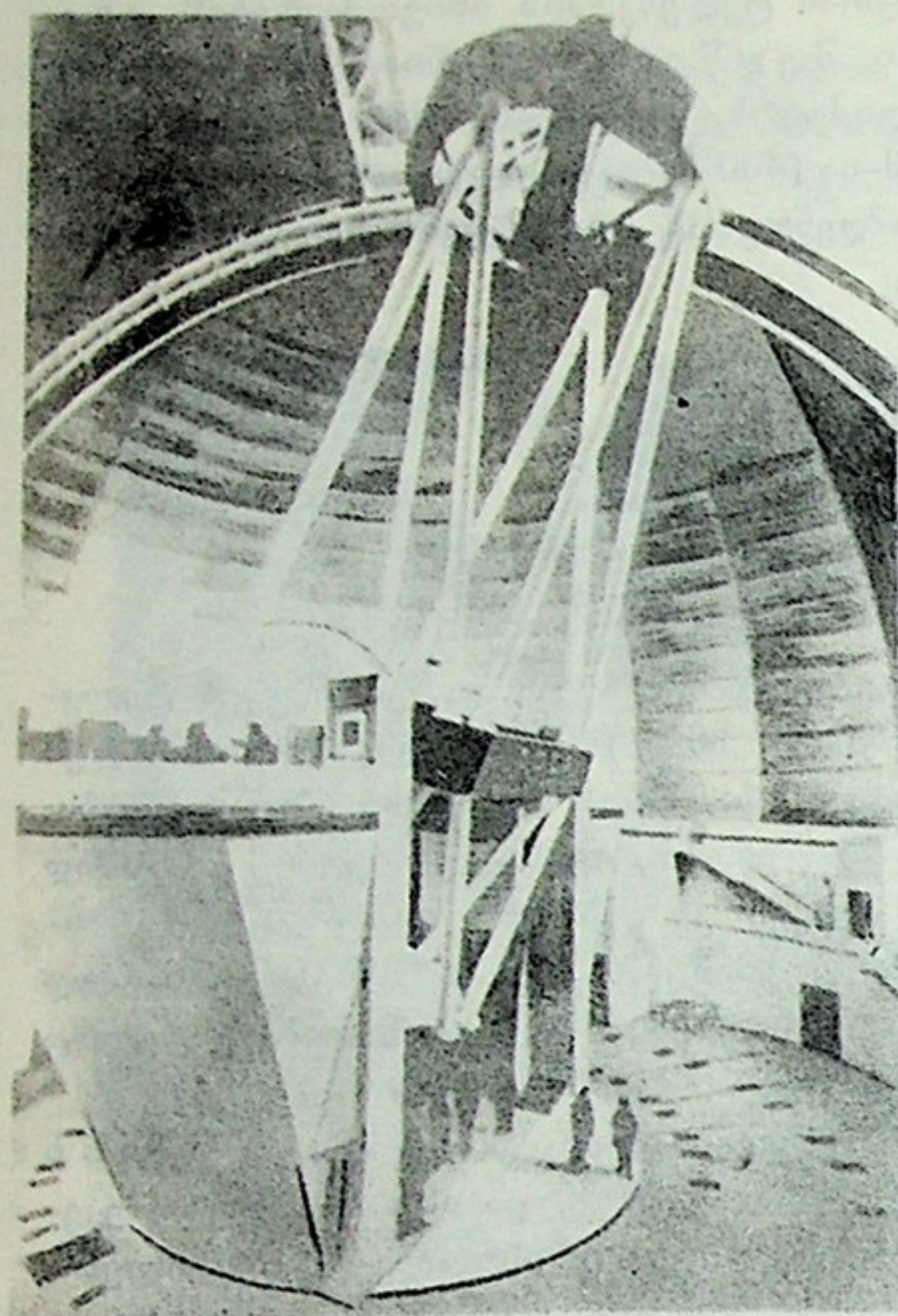
მეორე მნიშვნელოვანი თვისება ტელესკოპისათვის მისი გარჩევის უნარია. რაც უფრო დიდი და კარგი ხარისხისაა ტელესკოპი, მით უფრო უკეთესად გამოარჩევს იგი, მაგალითად, მთვარის ზედაპირის ცალკეულ დეტალებს, მით უფრო ადვილად „გაჰყოფს“ მჭიდროდ მდებარე ჯერად ვარსკვლავებს და ცალ ცალკე დაგვანახებს მათ.



ნახ. 144

ტელესკოპის მესამე ძირითადი თვისებაა გამაღიანებლობის უნარი. ამის განსამარტავად უშუალოდ მაგალითს მივმართოთ. უბრალო თვალით მთვარე მოჩანს დაახლოებით ნახევარგრადუსიანი კუთხით, ე. ი. მისი ხილული კუთხური დიამეტრი დაახლოებით ნახევარი გრადუსია. თუ ტელესკოპით შევხედავთ მას, გამონასახის კუთხოვანი ზომა გაცილებით მეტი იქნება. ფარდობა ტელესკოპში ხილული კუთხური დიამეტრის უბრალო თვალით ხილულ დიამეტრთან განსაზღვრავს გამაღიანებლობის უნარს. ეს უნარი დამოკიდებულია





ნახ. 145

არა მარტო ობიექტივის ფოკუსის მანძილზე, არამედ ოკულარის ფოკუსის მანძილზეც. ერთსა და იმავე ტელესკოპში შეგვიძლია ვიხმართ სხვადასხვა ფოკუსის მანძილის მქონე ოკულარები და ამის მიხედვით სხვადასხვა გამაღიძებლობას მივმართოთ. 40 სმ ტელესკოპი, რომლის ფოკუსის მანძილი 6.8 მეტრია (6800 მმ) და რომელთანაც ვიხმართ ოკულარს ფოკუსის მანძილით 25 მმ, გვაძლევს გადიდებას:  $6800 : 25 = 272$ -ჯერ. პრაქტიკაში უფრო ხშირად მიმართავენ გამაღიძებლობას 300—500-ჯერ და თითქმის არასდროს 1000-ზე მეტს, რადგანაც ტელესკოპის ოპტიკისა და ატმოსფეროს თვისებები არ იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ ოკულარის შერჩევით განუსაზღვრელად ვზარდოთ გამაღიძებლობა.

აღწერილი ტელესკოპის მთავარ ოპტიკურ ელემენტს, რომელიც მნათობის გამონახავს იძლევა, ლინზა ანუ ობიექტივი წარმოადგენს. ისეთ ტელესკოპს, რომელშიც

გამონახავი მიიღება ობიექტივში სხივების გარდატეხით, ეწოდება რეფრაქტორი (ლათინური **refractus**—გარდატეხილი).

მაგრამ შესაძლებელია მნათობიდან მოსულ სხივთკონას ტელესკოპის მილში შევაგებოთ არა ობიექტივი, არამედ პარაბოლოიდის ფორმის მქონე ჩაზნექილი სარკე. იგი ისე არეკლავს მასზე დაცემულ სხივებს, რომ ისინი კვლავ ფოკუსში შეიკრიბებიან სარკის წინ, გარკვეულ მანძილზე (ფოკუსის მანძილზე), რომელიც დამოკიდებულია სარკის ზედაპირის სიმრუდეზე (ნახ. 144). იმისათვის, რომ ადვილად მოხერხდეს ფოკუსის წერტილთან ოკულარის დაყენება და თვალის მიტანა  $F'$  ფოკუსამდე,—მისგან მცირე მანძილზე, სარკიდან არეკვლილ სხივთკონას მისი ღერძისადმი  $45^\circ$ -ის ტოლი კუთხით შემობრუნებულ ბრტყელ სარკეს შეაგებებენ. ეს დამხმარე სარკე სხივთკონას მილის ღერძის ანუ ოპტიკური ღერძის მართობულად მიმართავს მილის კედელზე ან მის გარეთ  $F$  წერტილში.

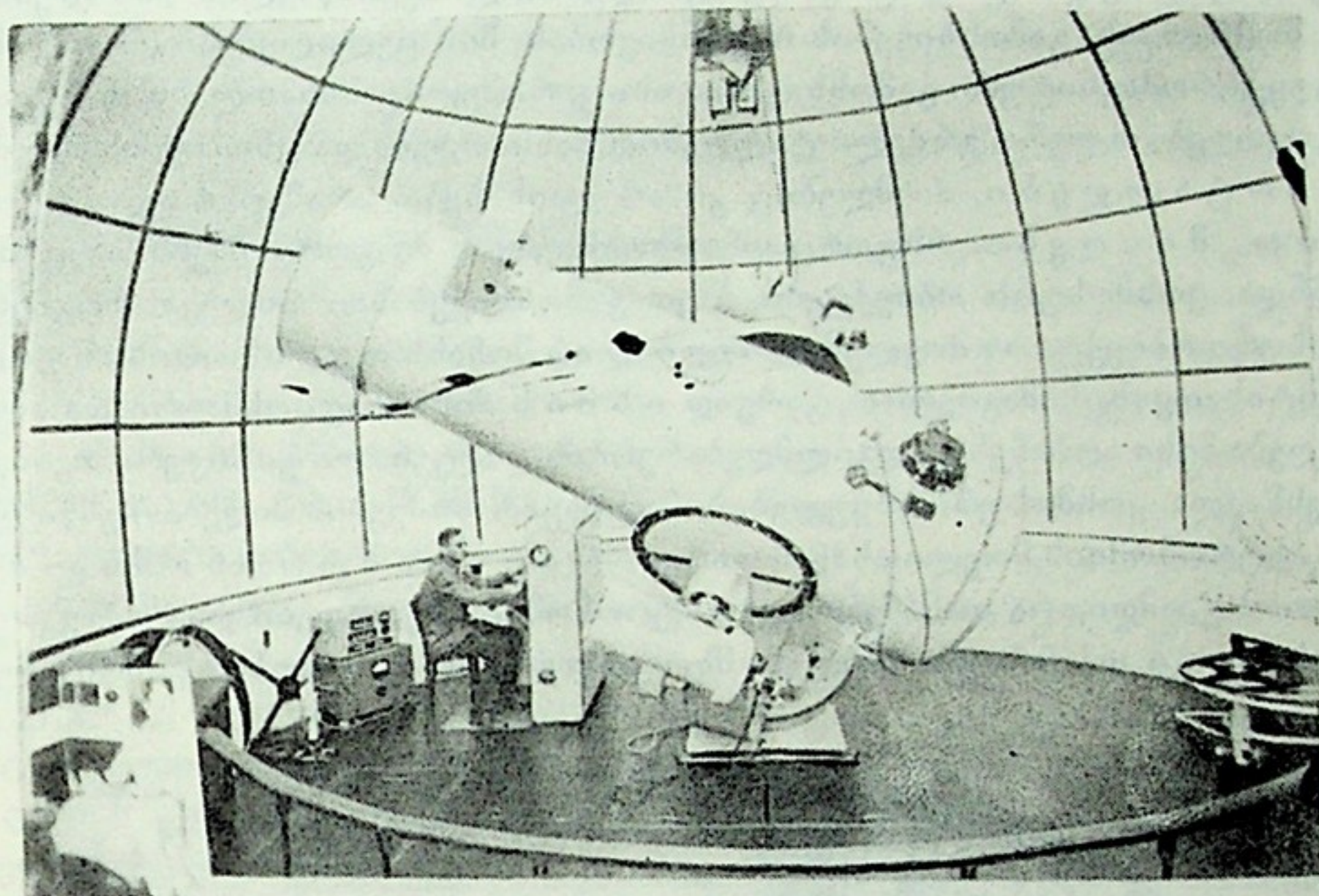
ისეთ ტელესკოპს, რომელშიც გამონახავი შეიქმნება მნათობის სხივთკონის არეკვლით სარკის ზედაპირიდან და, მაშასადამე, მთავარ ოპტიკურ ელემენტს სარკე წარმოადგენს, ეწოდება რეფლექტორი (ლათინური **reflecto**—ვაბრუნებ უკან, ავირეკლავ).

თანამედროვე ობსერვატორიებში ხმარობენ დიდ ტელესკოპ-რეფლექტორებს, რომლებშიც მთავარი სარკის დიამეტრი 2-დან 6 მეტრამდეა. რეფლექტო-



რები, ამგვარად, ოპტიკურად უფრო ძლიერი ტელესკოპებია, ვიდრე რეფრაქტორები. რამდენიმე წლის წინათ კავკასიონის მთის ჩრდილოეთ კალთაზე, ზელენ-ჩუკის მთამთებში, 2200 მეტრის სიმაღლეზე აშუშავდა მსოფლიოში უდიდესი 6 მეტრიანი რეფლექტორი (ნახ. 145).

უკანასკნელ დროს ფართოდ გავრცელდა ისეთი ტელესკოპები, რომლებშიც ერთდროულად და კომბინაციაში გამოყენებულია როგორც სარკე, ისე ლინზა. ასეთ ლინზა-სარკოვან ტელესკოპებს თავისი უპირატესობა აქვთ. მათ უწოდებენ შმიდტის ეულ ტელესკოპებს. ცნობილია აგრეთვე ე. წ.



ნახ. 146

მაკსუტოვის ეული ანუ მენისკური ტელესკოპები, რომლებშიც გამონახაზი მიიღება სხივების მსვლელობით მენისკური ლინზის შიგნით და სფერული სარკიდან არეკვლით საბჭოთა ოპტიკოსის დ. მაკსუტოვის სქემის მიხედვით.

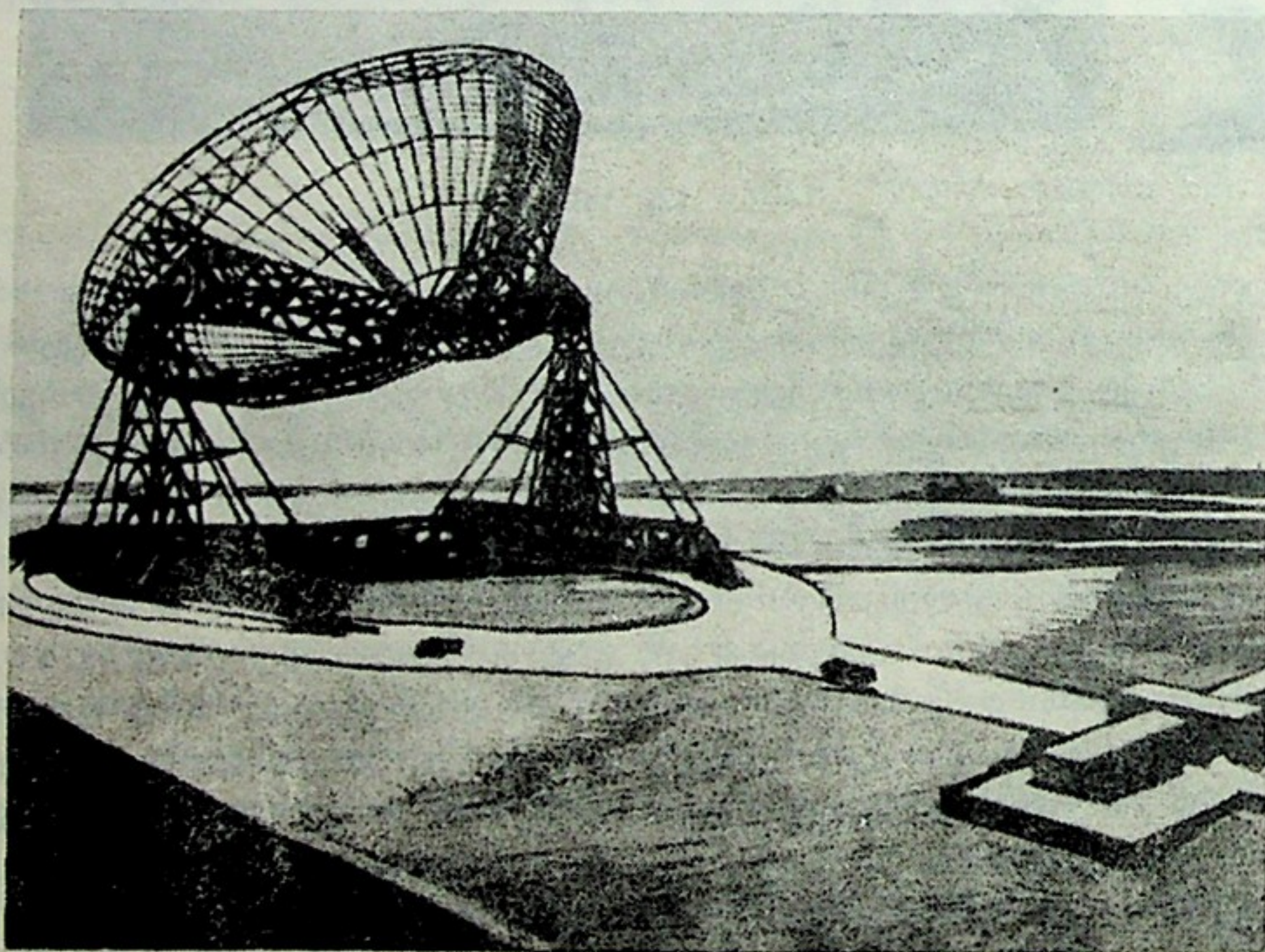
146-ე ნახაზზე მოყვანილია აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში მომუშავე მენისკური ტელესკოპი. ამ ტიპის ტელესკოპთა შორის ეს ტელესკოპი, რომლის მენისკის დიამეტრი 70 სმ-ია, უდიდესია.

თანამედროვე ტელესკოპები როდი იხმარება მარტო თვალთ დაკვირვებისათვის; მათ ფოკუსში ათავსებენ ან ფოტოგრაფიულ ფირფიტებს, და ეწევიან მნათობებისა და კოსმოსური მოვლენების ფოტოგრაფებას (ფოტოფირფიტების შემდგომი დამუშავება-შესწავლით), ან ფოტოელემენტებს, რომლებშიც მნათობის გამოსხივება ელექტროდებს წარმოშობს და უკანასკნელის ინტენსივობისა და თვისებების მიხედვით მნათობის დახასიათებას ღებულობენ. ხშირად ტელესკოპებთან კომბინაციაში გამოიყენება სპექტოგრაფები მნათობთა ფიზიკური თვისებების, მოძრაობისა და სხვათა შესასწავლად, ფოტომეტრები (მნათობთა სიკაშკაშის, ფერისა და სხვათა განსასაზღვრავად), ტელევიზორები და სხვა იარაღები. თანამედროვე დიდი ტელესკოპი რთული ფიზიკური ინსტრუმენტია, რომელიც მოითხოვს ფაქიზსა და ძნელ მომსახურებას, მაგრამ, სამაგიერ-



როდ, მკვლევარ-ასტრონომს მრავალგვარ ცნობას აწვდის კოსმოსურ მოვლენებსა და მნათობთა თვისებებზე.

§ 95. **რადიოტელესკოპი.** კოსმოსური ობიექტების თვისებებისა და ბუნების მახასიათებელი ცნობების მაუწყებელი არის ის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რომელიც ჩვენამდე მოადწევს, მოდის რა ან უშუალოდ მათგან, როგორც გამომსხივებელი სხეულებისაგან (შხე, ვარსკვლავები), ან სხვა სხეულებიდან არეკვლის შემდგომ (მთვარე, ცთომილები). ელექტრომაგნიტური ტალღაა, სახელდობრ, ის სინათლის სხივი, რომელიც ჩვენს თვალზე მოქმედებს და რის შედეგადაც ვხედავთ მნათობს, ვაკვირდებით და შევისწავლით მის მდებარეობას, მოძრაობას, გამოსხივების ინტენსივობას, მის ცვლილებებს და სხვ. მაგრამ ელექტრომაგნიტური გამოსხივებაა ისიც, რომელიც სინათლესთან შედარებით გაცილებით უფრო გრძელი ტალღებით ხასიათდება და ცნობილია როგორც რადიოტალღები, რომლებიც კი არ დაინახება, არამედ რადიომიმდებით მიიღება, როგორც „რადიოხმაური“. როგორც ჩვენს საუკუნეში აღმოჩნდა, კოსმოსური ობიექტები ასეთ გამოსხივებასაც იძლევა. ზოგიერთი კოსმოსური ობიექტი ან მოვლენა სრულიად არ მოჩანს თვალისათვის ან ფოტოფირფიტისათვის, სამაგიეროდ, კარგად ისმის მისი რადიოხმაური და ამგვარად ხდება მისი აღმოჩენა, ადგილმდებარეობის დადგენა და ფიზიკური თვისებების შესწავლა. კოსმოსური სხეულების რადიოგამოსხივების მიღება-შესწავლამ, რამაც ასტრონომიის მთელი ახალი დარგი—რადიოასტრონომია—შექმნა, ერთობ გაამდიდრა თანამედროვე ასტრონომიის მეთოდები და მოპოვებული ცნობები. ზოგი კოსმოსური მოვლენა მხოლოდ რადიო მეთოდებით გამოიკვლევა.



ნახ. 147

კოსმოსური სხეულების რადიოგამოსხივების მიმღებ აპარატს უწოდებენ რადიოტელესკოპს. მასში ერთ-ერთ მთავარ ელემენტს წარმოადგენს ან-



ტენა, რომელიც ხშირად ჩაზნექილი პარაბოლოიდის ფორმის ლითონის სარკეა. მის ფოკუსში მოთავსებულია ე. წ. გამსხივებელი. მეორე მთავარი ელემენტია მიმღები, რომელიც რადიოხმაურის რეგისტრაციას ეწევა. იგი შედგება რადიომიმღებისა და ჩამწერი მოწყობილობისაგან. 147-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ერთ-ერთი ტიპური სახის რადიოტელესკოპთა წყვილი. მათი ანტენების დიამეტრია 25 მეტრზე მეტია; მიმღები აპარატურა შენობის შიგნით დგას.

რადიოტელესკოპის ანტენას ხშირად ამონტაჟებენ ორ ურთიერთმართობულ ღერძზე ისევე, როგორც ოპტიკურ ტელესკოპებში—სამხერ მიღებს. ასეთი ანტენა შეიძლება მიმართულ იქნეს ცის ნებისმიერ წერტილზე. თუ ორდერძი ორიენტირებულია პოლარული ღერძისა და ეკვატორის მიხედვით, შეგვიძლია ანტენა მივაყოლოთ მძლავრი საათ-მექანიზმით ცამრგვალის მოძრაობას. ასეთი ხერხით შეიძლება ხანგრძლივად „დავაკვირდეთ“ და შევისწავლოთ აღებული კოსმოსური ობიექტი.

**§ 96. ასტრონომიული ობსერვატორიები.** სამეცნიერო-კვლევით დაწესებულებას, სადაც მიმდინარეობს ცის დაკვირვება და ასტრონომიული მოვლენების ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევა, ეწოდება **ობსერვატორია**. ეს სახელწოდება ლათინური წარმოშობისაა, დაკავშირებული სიტყვასთან „**obser-vo**“—ვაკვირდები. ობსერვატორიები არსებობდა ჯერ კიდევ ტელესკოპის გამოგონებამდე, მაშასადამე, **XVII** საუკუნემდე. მაგრამ მაშინ ისინი აღჭურვილნი იყვნენ არაოპტიკური კუთხმზომი იარაღებით—მნათობთა მდებარეობა-მოძრაობის განმსაზღვრელი, შედარებით მარტივი და უხეში საშუალებებით.

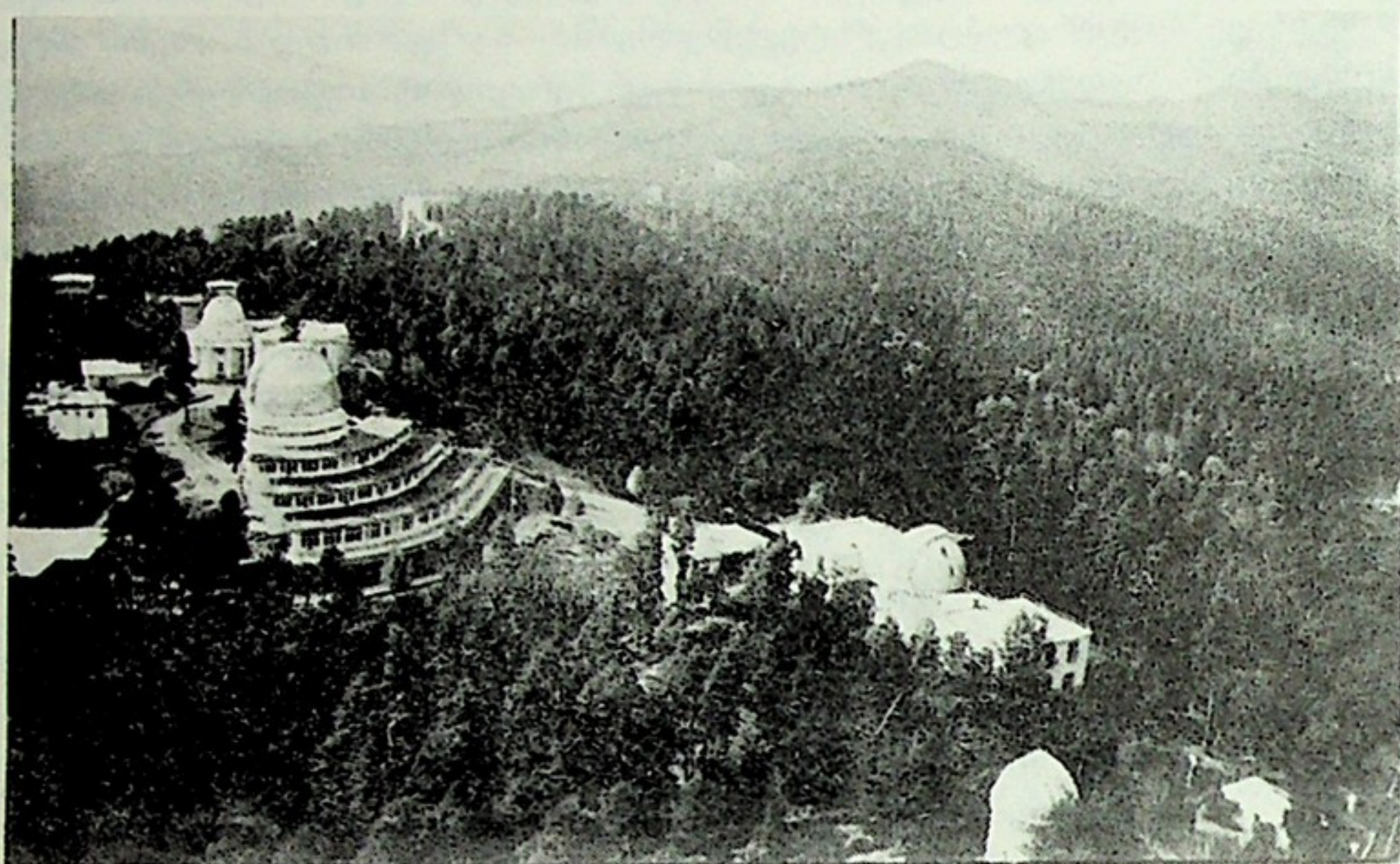
თანამედროვე ტიპის ობსერვატორიები **XVII** საუკუნიდან შეიქმნა, როცა ცალკეულ ეკონომიურად მიწინავე სახელმწიფოთა განვითარებამ ჰოითხოვა ზუსტ ასტრონომიულ დაკვირვებათა წარმოება ზღვაოსნობის, კარტოგრაფიისა თუ დროის აღრიცხვის ინტერესებისათვის. მაშინ დაიწყო სახელმწიფო ობსერვატორიების დაარსება. ამ დროს ასტრონომიული ოპტიკა და ტელესკოპები უკვე ხმარებაში იყო შემოსული, რაც ხელს უწყობდა ობსერვატორიების განვითარებას და, ამასთანავე, იძლეოდა მნათობების ფიზიკური კვლევის შესაძლებლობასაც. დაახლოებით სამი საუკუნის წინათ, თითქმის ერთდროულად დაარსდა ასეთი ობსერვატორიები ინგლისში (გრინვიჩი), საფრანგეთში (პარიზი) და რუსეთში (ხოლმოგორები და მოსკოვი). ცნობილი პულკოვოს ობსერვატორია დაარსებულ იქნა 1839 წელს.

თანამედროვე ობსერვატორიები აღჭურვილია ასტრონომიული დაკვირვება-კვლევის მრავალნაირი იარაღით: ტელესკოპებით (რეფრაქტორებითა და რეფლექტორებით), ასტროგრაფებით (ცის ფოტოგრაფირების მისაღები ტელესკოპებით), სპექტროგრაფებით, სამხეოტელესკოპებით, რადიოტელესკოპებით, მერიდიანული წრეებით, საპასაჟო ინსტრუმენტებითა და სხვ. თითოეული დიდი დასამხერი იარაღი დგას ცალკე შენობაში—მრგვალ კოშკში, რომელსაც ზემოდან მბრუნავი გუმბათი ფარავს. გუმბათზე მოწყობილია ერთგვარი დარბაზი, რომლის გახსნა საშუალებას იძლევა ტელესკოპი დიაცის უბნისაკენ მივმართოთ. გუმბათი მბრუნავია, რათა ღია დარბაზი მოვატრიאלოთ ნებისმიერ მხარეს და, მაშასადამე, შესაძლებლობა გვქონდეს ტელესკოპით დავაკვირდეთ საჭირო მიმართულებით. ცხადია, ტელესკოპიც შეგვიძლია მოვაბრუნოთ ნებისმიერად. კოშკები და მათზე ამართული სფერული გუმბათები ობსერვატორიის გარეგნულ სახეს თავისებურ ხასიათს აძლევს (148-ე ნახაზზე წარმოდგენილია აბასთუმნის ასტ-



როფიზიკური ობსერვატორია, ხოლო 149-ე ნახაზზე მოცემულია პულკოვოს ობსერვატორიის სურათი).

ასტრონომიული ობსერვატორიებით მოფენილია მთელი დედამიწის ზურგი. ბევრი მათგანი სპეციალიზებული ობსერვატორიაა, ე. ი. მუშაობს ერთი რომელიმე ობიექტის ან ობიექტთა ჯგუფის დაკვირვება-შესწავლაზე ან გამოი-



ნახ. 148

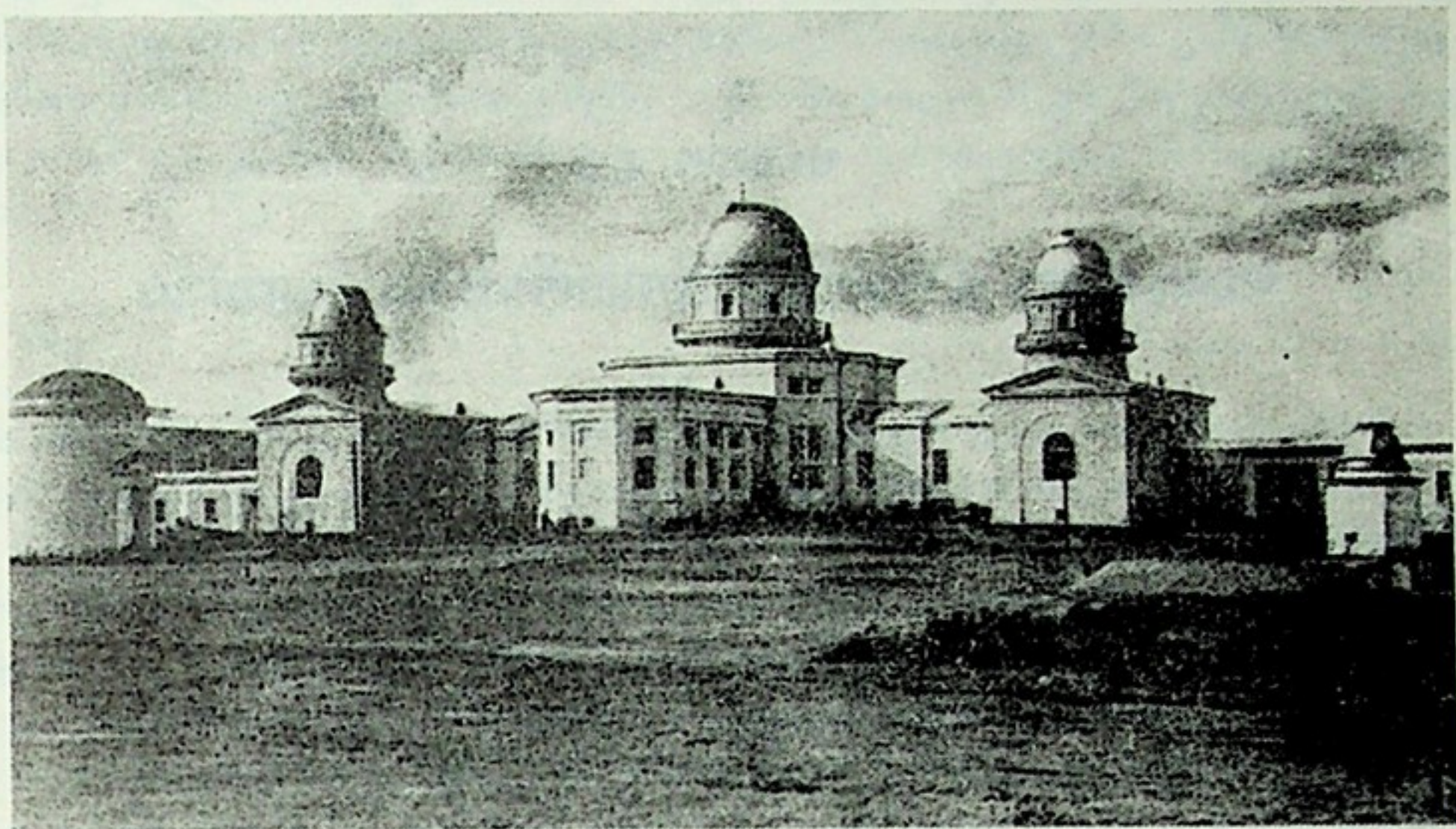
ყენებს რომელიმე სპეციალიზებულ მეთოდებს. მათ შორის არიან სამზეო, ასტრომეტრიული და ასტროფიზიკური ობსერვატორიები.

ამჟამად საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ოცზე მეტი ასტრონომიული ობსერვატორიაა. მათგან თავისი მნიშვნელობითა და წვლილით ყველაზე უფრო მეტად გამოირჩევა: პულკოვოს ობსერვატორია (ლენინგრადის ახლო), რომელიც წარმოადგენს სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მთავარ ასტრონომიულ ობსერვატორიას; ჯერ კიდევ რევოლუციამდე მას მსოფლიოში ერთი პირველთაგანი ადგილი ეკავა ვარსკვლავთ მდებარეობათა დაკვირვების სიზუსტითა და ვარსკვლავთ კატალოგების შედგენის საქმეში; ყირიმის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, რომელიც მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ მოეწყო, ერთ-ერთი მოწინავე საბჭოთა ობსერვატორიაა. აქ, ისევე როგორც სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ბიურაკანის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში, დადგმულია 2.6 მეტრიანი რეფლექტორი. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, რომელმაც 1937 წელს დაიწყო მუშაობა აბასთუმნის მახლობლად, ყანობილის მთაზე, როგორც პირველმა საბჭოთა კავშირში მთის ასტროფიზიკურმა ობსერვატორიამ.

ზემოხსენებული მენისკური ტელესკოპისა (ნახ. 146) და 40-სმ რეფრაქტორის (ნახ. 143) გარდა, აქ მოქმედებაშია მთლიანად ავტომატური, მმართველი 125-სმ დიამეტრის მქონე სარკიანი რეფლექტორი, დიდი დაბნელებაგარეშე მზის კორონოგრაფი, სამზეო ჰორიზონტული ტელესკოპი და სხვ.



საზღვარგარეთის ობსერვატორიებიდან პირველ რიგში აღსანიშნავია—უკვე დასახლებული გრინვიჩის ობსერვატორიის გარდა—მთის ასტროფიზიკური ობსერვატორიები კალიფორნიაში: პალომარის მთაზე, სადაც დგას მსოფლიოში ერთ-ერთი დიდი ტელესკოპი—5-მეტრიანი სარკის მქონე რეფლექტორი; ვილ-



ნახ. 149

სონის მთასა და ჰამილტონის მთაზე (ე. წ. ლიკის ობსერვატორია). სამივე ეს ობსერვატორია განთქმულია უმძლავრესი ტელესკოპებით, რომლებიც იქ გამოიყენება, და დაკვირვებისათვის ერთობ ხელსაყრელი კლიმატური პირობებით, რაც გამოიხატება მოწმენდილ ღრეთა და ღამეთა დიდ რაოდენობაში, ატმოსფეროს მაღალ გამჭვირვალობასა და მის მდგრად სიმშვიდეში; ამ თვისებებს დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე მეთოდებით წარმოებულ ასტრონომიულ დაკვირვებათა ნაყოფიერების თვალსაზრისით.

უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში მსოფლიოში მძლავრი ტელესკოპებით შეიარაღებული არაერთი ობსერვატორია მიემატა აქ ჩამოთვლილთ. დამახასიათებელია, რომ ისინი საგულდაგულოდ შერჩეულ ადგილებში არიან გამართული, სადაც წინასწარ შემოწმებული ატმოსფერული პირობები განსაკუთრებით ხელშემწყობია ასტროფიზიკური დაკვირვებისათვის.

ამასთანავე ტელესკოპურ ასტრონომიაში ახალი ხანა იწყება მით, რომ დაიწყო პრაქტიკული მუშაობა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების მეშვეობით დიდი ტელესკოპების ატმოსფეროს გარეთ გატანისა და მათი ორბიტული პირობების ექსპლუატაციისა.



0130 IX

**დედამიწა როგორც კოსმოსური სხეული**

ასტრონომიული დაკვირვება-შესწავლის სხეულებს ცაზე ვხედავთ. ამდენად, დედამიწას თითქოს არ უნდა ვთვლიდეთ ასეთი შესწავლის საგნად. მაგრამ იგი ისეთივე კოსმოსური სხეულია, როგორც მრავალი სხვა; კიდევ მეტიც, — დედამიწა ერთ-ერთი ცთომილია სხვა რვა ცთომილის გვერდით, რომლებიც მზის გარშემო მოიქცევიან და ერთ პლანეტურ ოჯახს ქმნიან. ამ სხეულებს და დედამიწას მრავალი საერთო თვისება აქვთ. ეს თვისებები ასტრონომიული კვლევის მეთოდების გამოყენებით დგინდება. დედამიწის აგებულებისა და განვითარების დამახასიათებელი მრავალი ფაქტის დადგენაც მხოლოდ ასტრონომიული კვლევითაა მოსაზრებელი.

მეორე მხრივ, ბევრია ისეთი ციური მოვლენა, ობიექტი და ფაქტი, დაკვირვებული ცაზე, რომლის შესწავლა და ახსნა შეუძლებელია თუ არა დედამიწის შესახებ მოპოვებული ზოგი მონაცემის, დედამიწის სიდიდის, მასის, მოძრაობისა და სხვათა საფუძველზე.

ამგვარად, ასტრონომიული შესწავლის სხეულთა შორის დედამიწას — ჩვენს სამყოფელ პლანეტას — ერთ-ერთი პირველი ადგილი უნდა ეკავოს.

**§ 97. დედამიწის რადიუსის გაზომვა. ტრიანგულაცია.** დედამიწის საერთო სფეროსებრ ფორმას მთელი რიგი დაკვირვებული მოვლენები მოწმობს, სახელდობრ — ხილული ჰორიზონტის წრიულობა და მისი სიშორის ზრდა დამკვირვებლის სიმაღლის ზრდასთან ერთად; ჩვენგან მიმავალი გემის თანდათანობითი თითქოს „ჩაძირვა“ ზღვაში, სინამდვილეში — მისი მოფარება ხილული ჰორიზონტის ქვეშ ანუ დედამიწის ამობურთულობის უკან; შორეული მთის მწვერვალების განათება მზის სხივებით მზის ჰორიზონტზე ამოსვლამდე (ან ჰორიზონტის ქვეშ ჩასვლის შემდეგ ყველაზე გვიან მთის მწვერვალის განათების „ჩაქრობა“); სამყაროს პოლუსის სიმაღლის ზრდა ჩრდილოეთისაკენ მოგზაურობისას; დედამიწის გარშემო მოგზაურობის შესაძლებლობა; მთვარის ბადროზე დედამიწის ჩრდილის კიდური წრიული ფორმა მთვარის დაბნელების დროს (იხ. ქვევით). თუმცა, მას შემდეგ, რაც კოსმონავტები გაიჭრნენ კოსმოსურ სივრცეში, სრბოლავენ დედამიწის გარშემო და საათ-ნახევარში შემოწერენ მის ირგვლივ წრეწირს (ელიფსს), დედამიწის სიმრგვალე თვალნათლივი და ცხადი გახდა და განსაკუთრებულ მტკიცებას არ საჭიროებს.

პირველ მიახლოებაში დედამიწა შეგვიძლია სფეროსებურად ჩავთვალოთ. სინამდვილეში იგი მხოლოდ დაახლოებითაა სფეროს ფორმისა. მისი ჭეშმარიტი მოყვანილობა უფრო რთულია.



დედამიწა რომ ზუსტად სფერო ყოფილიყო, მაშინ ყველა განედზე მერიდიანის რკალს რადიუსის ერთი და იგივე მნიშვნელობა შეესაბამებოდა. არიან თუ არა ისინი ყველგან ერთი და იმავე რადიუსით შემოწერილი? როგორ შევა-  
მოწმოთ ეს?

განვიხილოთ 150-ე ნახაზი, რომელიც დედამიწას გამოხატავს.  $AB$  მერიდიანის რკალია. ამ რკალის სიგრძე, ხაზოვან ერთეულებში გამოხატული, აღ-  
ვნიშნოთ  $s$ -ით, დედამიწის რადიუსი —  $R$ -ით, ხოლო  $A$  და  $B$  წერტილების განე-  
დები —  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$ -ით, შესაბამისად. ადვილი მისახვედრია შემდეგი თანაფარ-  
დობა:

$$2\pi R : s = 360^\circ : (\varphi_1 - \varphi_2)$$

ანუ

$$R = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{s}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

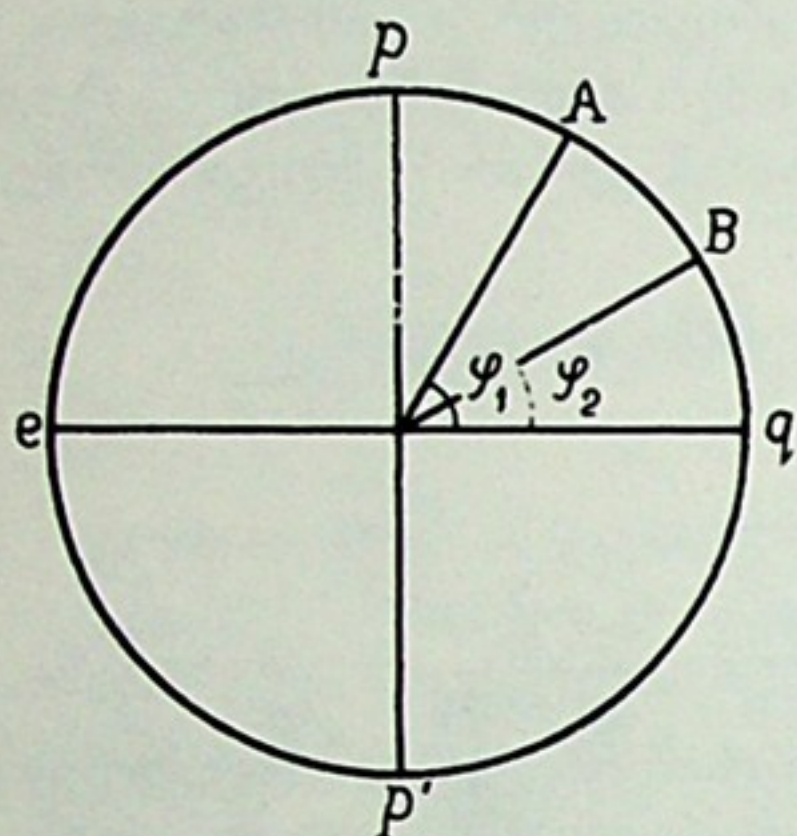
უკანასკნელ ფორმულაში შემავალი ფარდობა  $\frac{s}{\varphi_1 - \varphi_2}$  წარმოადგენს მე-  
რიდიანის  $1^\circ$ -იანი რკალის სიგრძეს. დედამიწა რომ ნამდვილად სფერო ყოფი-  
ლიყო, ე. ი.  $R$  — ყველგან უცვლელი მნიშვნელობისა, მაშინ ეს ფარდობა თანა-  
ტოლი იქნებოდა, სადაც არ უნდა გადაგვეზომა მერიდიანზე  $s$  რკალი. იმისათ-  
ვის, რომ გამოვარკვიოთ  $R$ -ის სიდიდე, უნდა გავზომოთ, ჯერ ერთი, აღებული  
მერიდიანული რკალის ხაზოვანი სიგრძე და, მეორეც, — რკალის კიდური წერ-  
ტილების განედები და გამოვთვალოთ მათი სხვაობა.

მერიდიანის რკალის სიგრძის უშუალო გაზომვა ძნელია, მეტადრე, თუ აღე-  
ბულია ცოტად თუ ბევრად გრძელი რკალი, რომელიც მთებსა და ტყეებს, მდი-  
ნარეებს, ჭაობებსა და ზღვებს გადაკვეთს. ამ სიძნელის თავიდან ასაცილებლად  
მიმართავენ ე. წ. ტრიანგულაციის ხერხს, რომელიც იმაში მდგომარე-  
ობს, რომ გასაზომი რკალის ორივე მხარეს, როგორც ღერძის გასწვრივ, მთელ  
რიგ წარმოსახვით სამკუთხედებს აგებენ კუთხმზომი იარაღების საშუალებით.  
ამ იარაღებს დგამენ სათანადოდ შერჩეულ და განლაგებულ წერტილებში  
აღმართულ სვეტებზე, პირამიდულ კოშკურებზე ან სხვა ნაგებობებზე. სვე-  
ტებს ან კოშკებს შორის მანძილები (ე. ი. სამკუთხედების გვერდები) ჩვეუ-  
ლებრივ 20 — 30 კმ-ია. კუთხმზომი იარაღებით განსაზღვრავენ კოშკურების მი-  
მართულებათა შორის კუთხეებს; ორ გამოსავალ კოშკურას შორის ზუსტად  
გაზომავენ ხაზოვან მანძილს, რომელსაც ბაზისს უწოდებენ (151-ე ნახაზზე  $AB$ ).  
თუმცა ბაზისის განსაზღვრა დიდ სიზუსტესა და შესრულების სიფაქიზეს მოით-  
ხოვს, მაგრამ მერიდიანის რკალთან შედარებით უფრო მისაწვდომია, რამდენადაც  
მცირე სიგრძისა აიღება და შეიძლება შერჩეულ იქნეს მოხერხებულ ადგილსა და  
პირობებში. 10 კმ სიგრძის მქონე ბაზისის გაზომვის ცდომილება შესაძლებელია  
დაყვანილ იქნეს სულ მხოლოდ რამდენიმე მილიმეტრამდე. სამკუთხედები ერთიმე-  
ორეს ემიჯნება და მერიდიანის რკალს თავის ბადეში მოიქცევს (ნახ. 151). მერი-  
დიანის რკალის სიგრძე  $AA'$  გამოითვლება თანმიმდევარი სამკუთხედების ტრი-  
გონომეტრიული ამოხსნით. ამგვარი გაზომვები მრავლად უწარმოებიათ უკანასკ-  
ნელი ორი-სამი საუკუნის განმავლობაში და ახლაც აწარმოებენ სხვადასხვა სა-  
ხელმწიფოში. გიგანტური რკალების სიგრძეა გაზომილი საბჭოთა კავშირის  
ვრცელ ტერიტორიაზე. ჯერ კიდევ 100 — 140 წლის წინათ პულკოვოს ობსერვა-

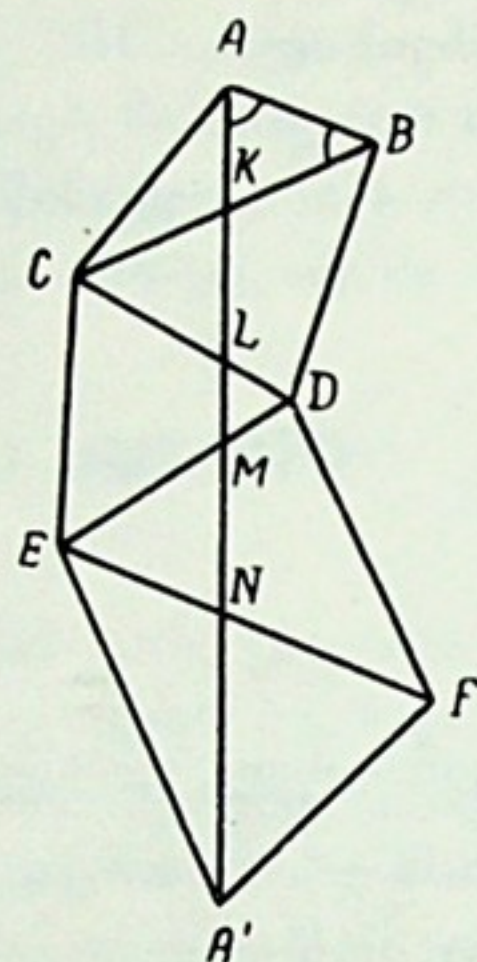




ტორიის ასტრონომების მეტაურობით გაზომილ იქნა  $25^\circ$ -ზე უფრო გრძელი რკალი, გადაჭიმული ჩრდილოეთ ყინულოვანი ოკეანის ნაპირებიდან მდ. დუნაის ხეობამდე. ამ გაზომვასთან დაკავშირებული მუშაობა 30 წელზე მეტხანს გრძელდებოდა. მიმდინარე საუკუნის დასაწყისში გაზომეს პულკოვოდან თით-



ნახ. 150



ნახ. 151

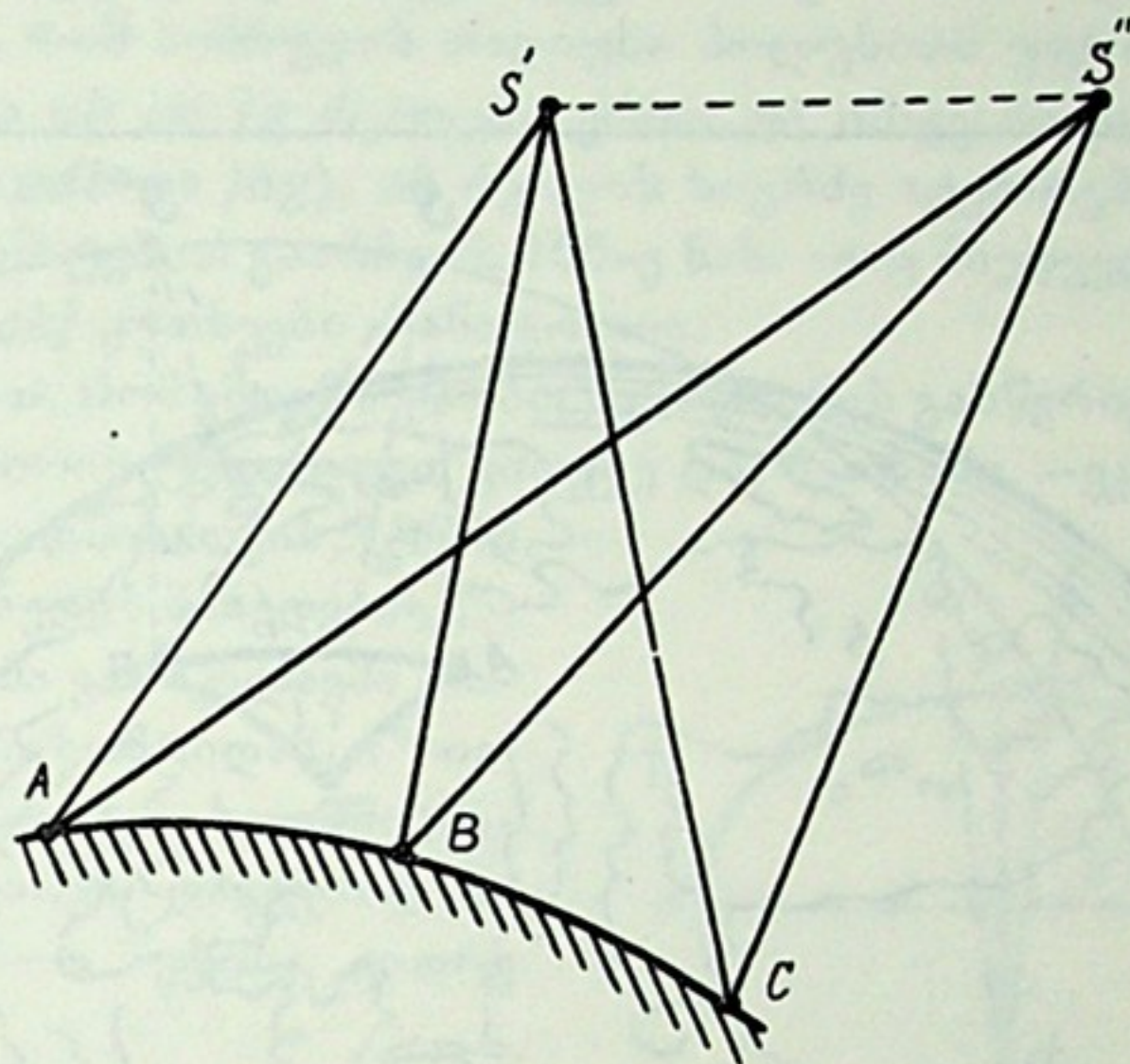
ქმის ოდესამდე გაჭიმული  $13^\circ$ -იანი რკალის სიგრძე და გარდა ამისა—ურალზე გამავალი რამდენიმე ათეული გრადუსის მქონე პარალელის უზარმაზარი რკალი, რომელიც საბჭოთა კავშირის მთელ ევროპულ ტერიტორიას ჰკვეთს.

**§ 98. კოსმოსური ტრიანგულაცია.** დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების შექმნასა და გამოყენებასთან ერთად ჩამოყალიბდა გეოგრაფიული პუნქტების მდებარეობათა განსაზღვრის ახალი, მოხერხებული მეთოდი, ე. წ. კოსმოსური ტრიანგულაციის მეთოდი. ამ შემთხვევაში სატრიანგულაციო სამკუთხედის ორი წვერო დედამიწის ზედაპირის ორ, ერთიმეორისაგან დაშორებულ პუნქტშია, ხოლო მესამე—კოსმოსურ სივრცეში, ხელოვნური თანამგზავრის მდებარეობის წერტილში. მაშასადამე, სამკუთხედი აიგება არა დედამიწის ზედაპირზე, არამედ სივრცეში. 152-ე ნახაზზე A და B წარმოადგენს ორ პუნქტს, რომელთა კოორდინატები ცნობილია. S' იყოს ხელოვნური თანამგზავრის მდებარეობა გარკვეულ მომენტში (მდებარეობა განისაზღვრება ვარსკვლავთ ფონზე). A და B პუნქტებში წარმოებული ერთდროული (სინქრონული) დაკვირვებებით განისაზღვრება მიმართულებები—AS' და BS', რაც საშუალებას იძლევა ამოხსნილ იქნეს AS'B სამკუთხედი და, მაშასადამე, განისაზღვროს S'-ის მდებარეობა. ვთქვათ, ასევე დადგინდა თანამგზავრის მდებარეობა S'' სხვა მომენტში და ასეთივე სინქრონული დაკვირვება შესრულდა მესამე C პუნქტიდან, რომლის გეოგრაფიული კოორდინატები უცნობია. მაშინ საქმე გვექნება გარკვეულ S'CS'' სამკუთხედთან, რომლის ამოხსნით განისაზღვრება C პუნქტის მდებარეობაც.

პრაქტიკულად, სინქრონულ დაკვირვებებს მოძრავ თანამგზავრზე აწარმოებენ მრავალ მომენტში და ამით C პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტეს ზრდიან. მართლაც, ასეთ შემთხვევაში ამოცანა დაიყვანება ცნობილ წერტილებში (S', S'', S''', ..., S'') გამავალი და ცნობილი დახრის კუთხეების



$(S'CS'', S'CS''', \dots, S'CS'')'$  მქონე წრფეთა გადაკვეთის უაღბათესი წერტილის განსაზღვრამდე. ძირითადი ამ მეთოდში დაკვირვებათა სინქრონულობაა. რამდენადაც ხელოვნური თანამგზავრის სიჩქარე, საშუალოდ იმ სიმაღლეებზე, რომლებზეც ისინი სრბოლავენ გეოდეზიური მიზნებით, დაახლოებით



ნახ. 152

10 მეტრია წამის მეათასედებში, ხოლო გეოგრაფიული პუნქტის განსაზღვრის სიზუსტე (გეოდეზიის მიზნებისათვის) რამდენიმე ათეული მეტრი უნდა იყოს, ამდენად სინქრონიზაციის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს წამის რამდენიმე მეათასედს.

იმისათვის, რომ მივაღწიოთ ასე მაღალი სიზუსტის სინქრონულობას, დაკვირვებებს ახდენენ ფოტოგრაფიული საშუალებით და დროის გარკვეულ შუალედში დაკვირვებაში მონაწილე სადგურები აწარმოებენ ხშირ თანმიმდევრულ ფოტოგრაფირებას მოკლე-მოკლე ექსპოზიციებით. ამასთანავე სპეციალური მოწყობილობა ზუსტად აღნიშნავს თითოეული ფოტოგრაფირების მომენტს. შემდგომში, მთელი მასალის დამუშავებისას, იმ ფოტოგრაფიულ დაკვირვებებს შეარჩევენ და გამოიყენებენ, რომლებიც ზუსტად დაემთხვევიან დროში.

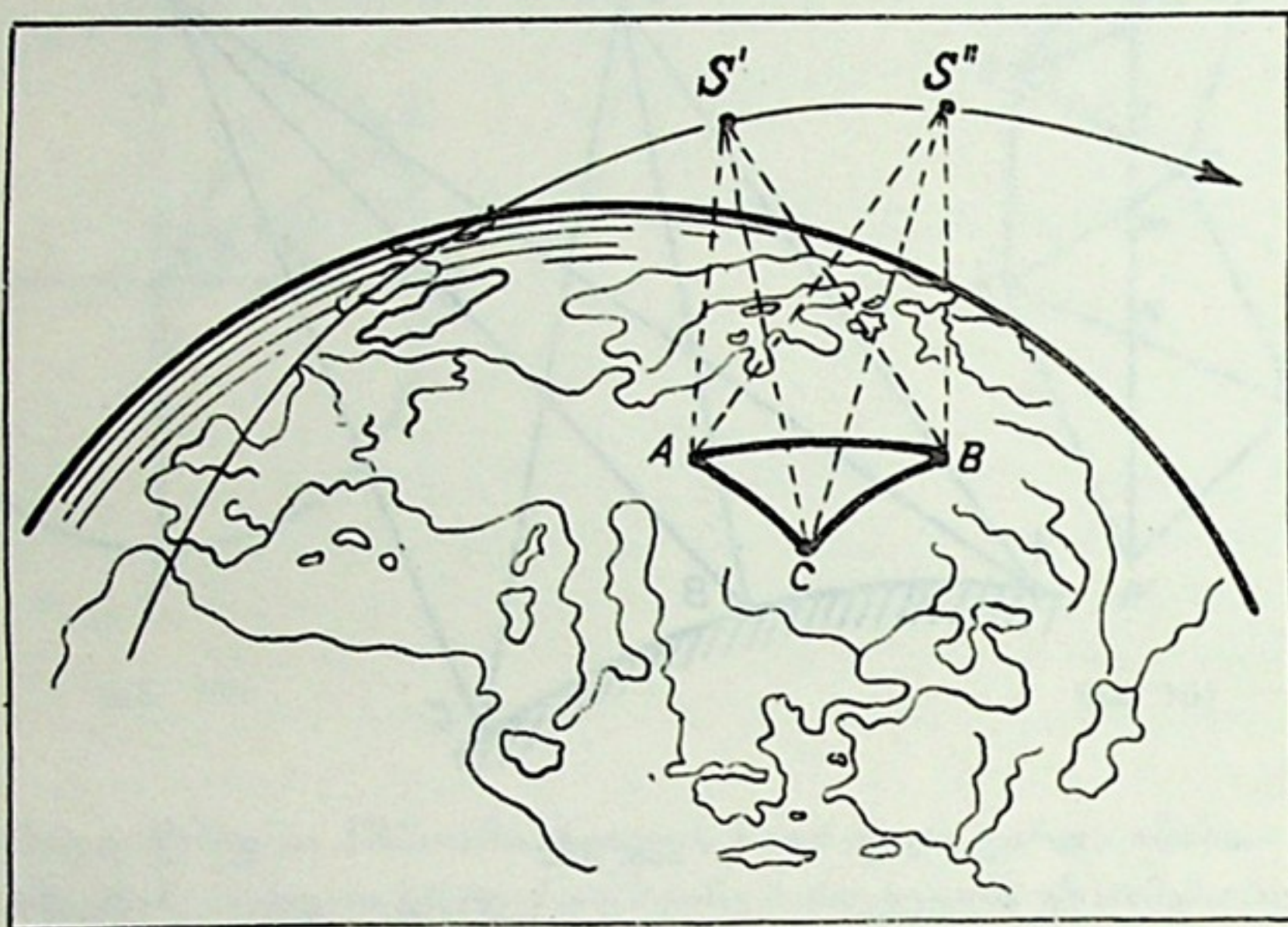
ერთ-ერთი ამერიკული გეოდეზიური ხელოვნური თანამგზავრი აღჭურვილი იყო მძლავრი ნათურით, რომელიც დროდადრო, მყისიერად, სეკუნდის ნაწილების ხანგრძლივობით ინთებოდა. დედამიწის სხვადასხვა პუნქტიდან კი მიმდინარეობდა თანამგზავრის ფოტოგრაფიული თვალთვალი ანუ, როგორც ამბობენ, ფოტოგრაფიული პატრული. ასეთ პირობებში, თუ ორ ან რამდენიმე პუნქტში ფოტოფირზე აღიბეჭდებოდა ნათურის სინათლე, ეს გააადვილებდა სინქრონულ დაკვირვებათა ფიქსირებას.

152-ე ნახაზი ისეა შედგენილი, თითქოს ყველა გეოგრაფიული პუნქტი  $A, B, C, \dots$  ერთი დიდი წრეწირის რკალზე მდებარეობდეს. ეს არაა აუცილებელი; პუნქტების განლაგება შეიძლება სრულიად შემთხვევითი იყოს (იხ. ნახ. 153).

კოსმოსური ტრიანგულაცია საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მანძილები პუნქტებს შორის, რომლებიც სამი-ოთხი ათასი კილომეტრით და მეტადაც



არიან ერთიმეორეს დაშორებულნი, ამასთანავე—იმ პუნქტებს შორის, რომელთაც ზღვა ან ოკეანე ჰყოფს. მისი გამოყენებით შედარებით ადვილად ხერხდება კუნძულების, როგორც ამბობენ, გეოდეზიური „მიბმა“ კონტინენტებზე, უფრო სრულად შეისწავლება მატერიკების საუკუნეობრივი გადაადგილება ანუ დრეიფი და ჩვენი პლანეტის სხვა გლობალური მოვლენები.



ნახ. 153

იქ, სადაც ჩვეულებრივი მიწისზედა ტრიანგულაცია მოითხოვს ასობით სამკუთხედის გაზომვას, რის პროცესშიც ცდომილებები ძალიან სწრაფად გროვდება, კოსმოსური ტრიანგულაციის ერთი სეანსიც კი ამოცანას წყვეტს არა დაბალი, არამედ უფრო მაღალი სიზუსტით.

საცდელად ჩატარებული კოსმოსური ტრიანგულაციის შედეგად 1963—1964 წლებში მოკლე დროში და შედარებით ადვილად გაიზომა გეოდეზიური ქსელი 10000 კმ მანძილზე საბჭოთა კავშირის დასავლეთი ნაპირებიდან მის უშორეს აღმოსავლეთამდე. ამ მეთოდის გამოყენებით დაადგინეს, რომ ატლანტის ოკეანის ჩრდილოეთ ნაწილში მდებარე ბერმუდის კუნძულები რამდენადმე ჩრდილოეთით გადანაცვლებულა.

ხელოვნურ თანამგზავრებს სხვა ასტრონომიულ-გეოდეზიური გამოყენებაც აქვს. მათ თავ-თავის ადგილას გავცნობით.

**§ 99. დედამიწის ჭეშმარიტი ფიგურა. მისი სიდიდე და შეკუმშულობა.** უკვე გრადუსული გაზომვების შედეგად გაირკვა, რომ მხოლოდ პირობით შეგვიძლია მივაკუთვნოთ დედამიწას სფერული ფორმა, როგორც ერთგვარი მიახლოება. მისი ჭეშმარიტი ფიგურა დაშორებულია სფეროს. ეს იქიდან ჩანს, რომ 1°-იანი რკალის ხაზოვანი სიგრძე ყველგან ერთი და იგივე როდია. ეკვატორის ახლო მერიდიანის 1°-იანი რკალი 110.6 კმ-ს იტევს, პოლუსთან კი—თითქმის 111.7 კმ-ს. მაშასადამე, მერიდიანს მეტი სიმრუდე ჰქონია ეკვატორთან, ვიდრე პოლუსთან. საერთოდ, რაც მეტია გეოგრაფიული განედი, მით მეტია ერთგრადუსიანი



რკალის სიგრძე. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ პოლუსების ახლოს დედამიწის ზედაპირი ერთგვარად „შებრტყელებულია“.

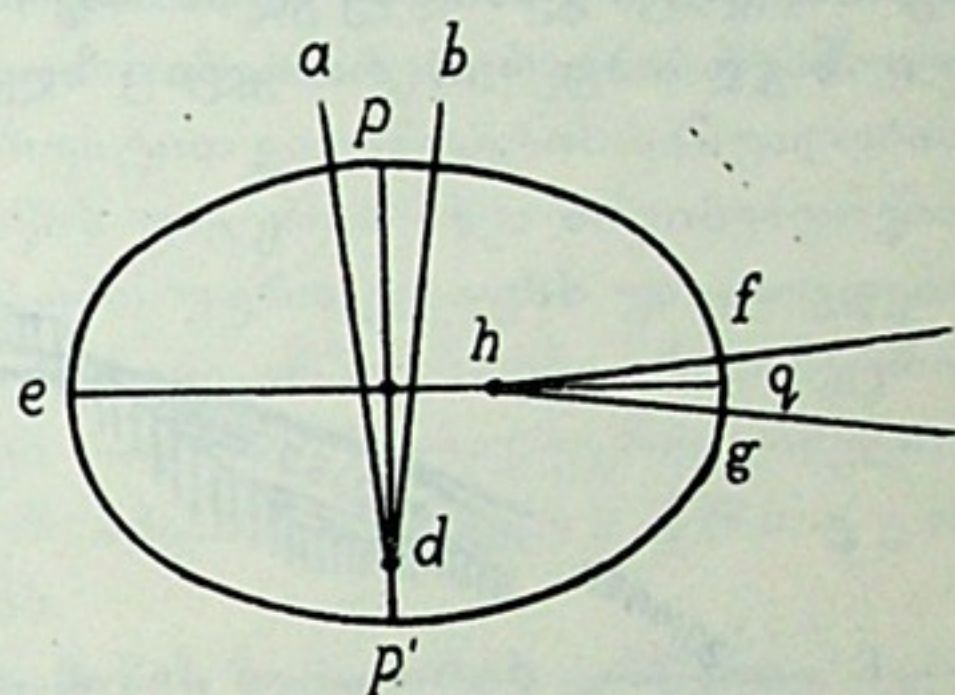
მაშასადამე, მერიდიანები სინამდვილეში წრეებს კი არ წარმოადგენენ, არამედ ელიფსებს.

აქ ნათქვამის ილუსტრაციას გვაძლევს 154-ე ნახაზის განხილვა, სადაც თვალნათლივ ჩანს, რომ სიმრუდის რადიუსი პოლუსთან უფრო დიდია, ვიდრე ეკვატორთან: თუმცა  $ab$  და  $fg$  რკალები ერთი და იმავე სიდიდის კუთხეებით იზომება (კუთხეები  $adb$  და  $fgh$ ),  $ab$  რკალის სიგრძე აღემატება  $fg$ -ს სიგრძეს.

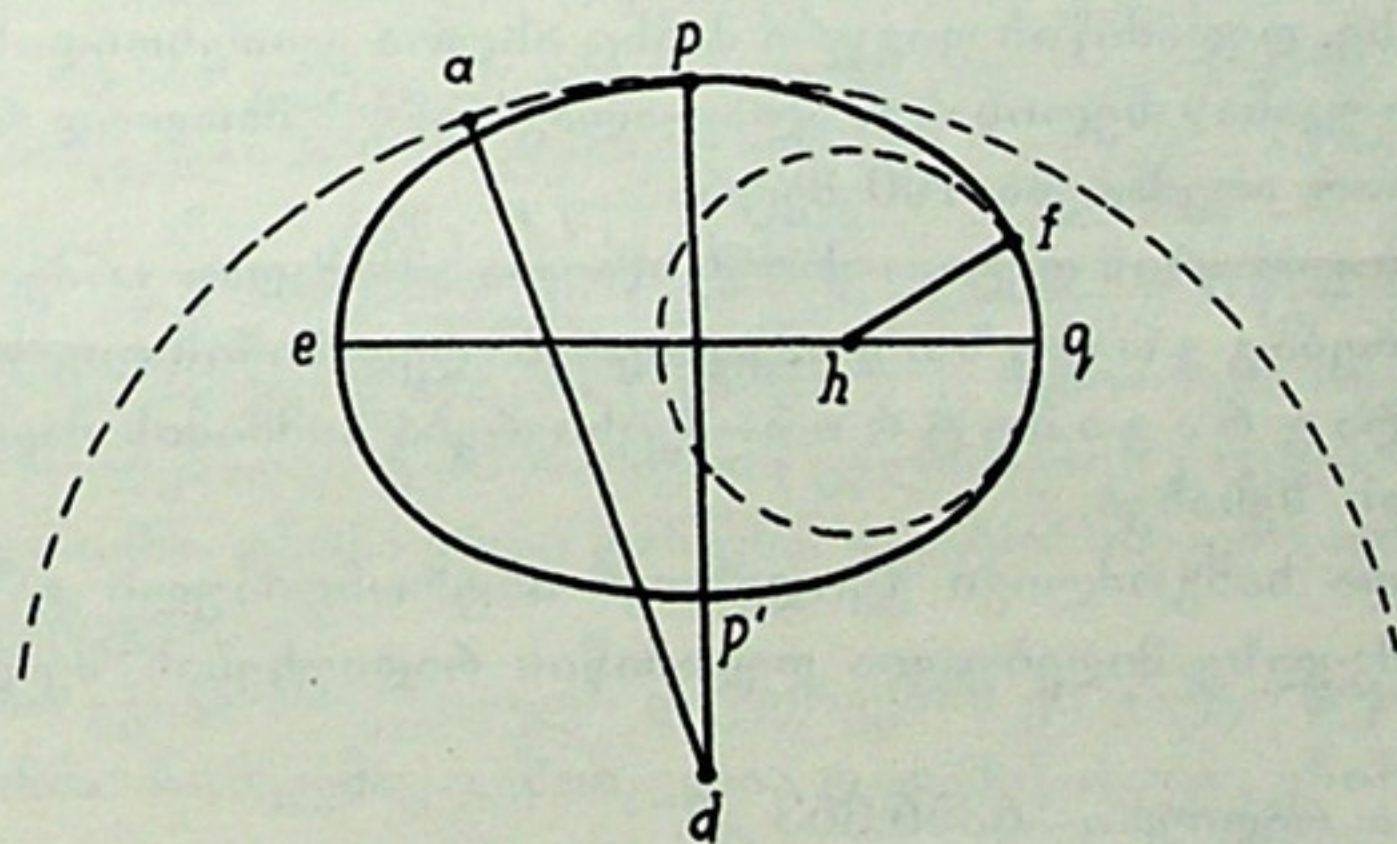
მკითხველმა დამატებით გაარჩიოს 155-ე ნახ. აქაც მხედველობაში მისაღებაა ის, რომ  $d$  და  $qhf$  კუთხეები თანატოლია.

წარმოვიდგინოთ, რომ ვმოგზაურობთ მერიდიანის გასწვრივ, ერთ შემთხვევაში, საბჭოთა კავშირის ჩრდილოეთ კიდეზე და, მეორეში, — ეკვატორის ახლო, ვთქვათ — ინდოეთში. იმისათვის, რომ გადავინაცვლოთ განედის მიხედვით  $1^\circ$ -ით (ე. ი. პოლარულმა ვარსკვლავმა თავისი სიმაღლე პორიზონტიდან  $1^\circ$ -ით შეიცვალოს), პირველ შემთხვევაში მეტი მანძილის დაფარვა დაგვჭირდება (დაახლოებით 1 კმ-ით მეტის), ვიდრე მეორეში.

მაშასადამე, დედამიწა ზუსტად სფერო კი არაა, არამედ ერთგვარადაა შეკუმშული ანუ შებრტყელებული მისი ბრუნვის ღერძის მიმართულებით; პოლუსისაკენ მიმართული მისი რადიუსი უფრო მოკლეა, ვიდრე ეკვატორის სიბრტყეში მდებარე რადიუსი. სხვა სიტყვებით, დედამიწა თავისი მოყვანილობით უფრო მეტად ბრუნვის ელიფსოიდს უახლოვდება, ვიდრე სფეროს.



ნახ. 154



ნახ. 155

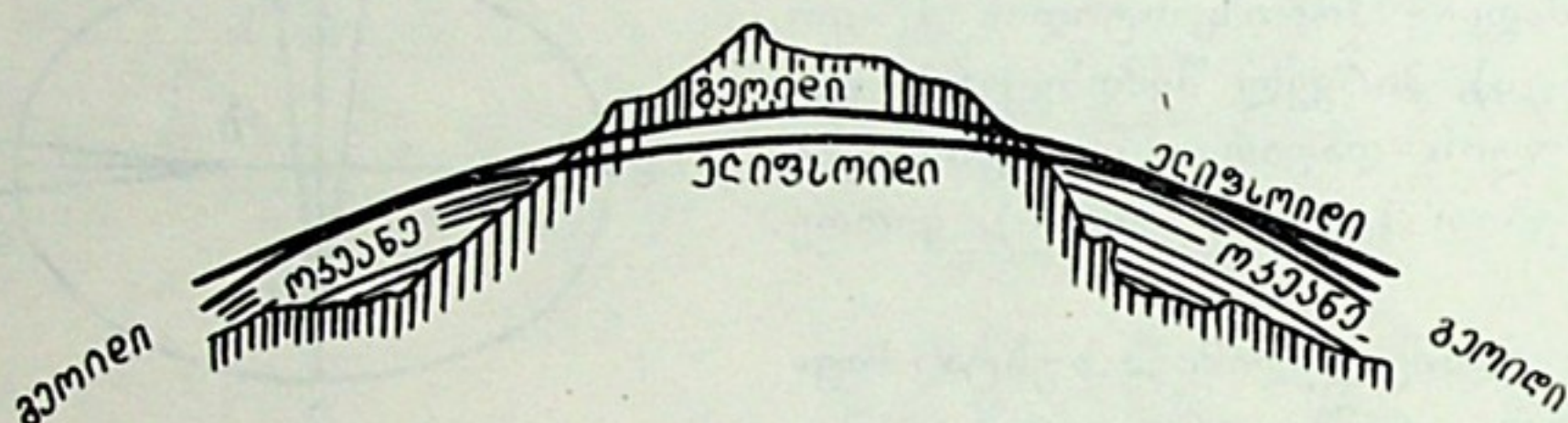
ბრუნვის ელიფსოიდი მიიღება ელიფსის ბრუნვით მისი მცირე ღერძის ირგვლივ. დედამიწის ყველა მერიდიანი ელიფსია, ხოლო პარალელი — წრეწირი.

საკითხის უფრო სრულად შესწავლამ გაარკვია, რომ დედამიწის ჭეშმარიტ ფიგურას ვერც ბრუნვის ელიფსოიდი გამოხატავს. დედამიწის ფიგურა ე. წ. გეოიდიტ გამოიხატება.





გეოიდი ფიგურაა, რომელსაც ქმნის წყლის საშუალო დონე ზღვა-ოკეანე-ებში და მატერიკზე გამავალ მათ შემაერთებელ არხებში (ნახ. 156). გეოიდის ზედაპირი ე. წ. თარაზული ზედაპირია, რომლის ყველა წერტილში სიმძიმის ძალის პოტენციალს ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს. ამ ზედაპირის მართობი ყველგან თანხვდება სიმძიმის ძალის მიმართულებას ანუ შვეულ ხაზს. თარაზული ზედაპირია, მაგალითად, წონასწორობაში მშვიდად მყოფი სითხის ზედაპირი. დედამიწაზე, მთლიანად, ეს ზედაპირი თანხვდება ოკეანის დონეს, როცა ოკეანის წყალი სრულიად დაწყნარებულია (გამორიცხულია დელფა, დინე-ბანი, მიქცევა-მოქცევა, ქარი, ატმოსფერული წნევის ცვლილებანი და სხვ.). მაშასადამე, ეს დედამიწის ქერქის მყარი ზედაპირი კი არა, ოკეანის დონის ზედაპირია, რომელიც ხმელეთში „გაგრძელებულად“ იგულისხმება. ადვილი მისახვედრია, რომ თარაზული ზედაპირი უსასრულოდ ბევრი შეგვიძლია გავავლოთ, მაგრამ, როცა გეოიდზე ვლაპარაკობთ, მხედველობაში გვაქვს ის თარაზული ზედაპირი, რომელიც ზღვა-ოკეანის საშუალო ზედაპირს თანხვდება.



ნახ. 156

არ უნდა ვიფიქროთ, რომ გეოიდის ფორმა მარტივია; პირიქით,—იგი ერთობ რთულია, განპირობებულია დედამიწის შინაგანი აგებულების ზოგადი თვისებებით და ადგილობრივი ანომალიებით, საერთოდ—ოკეანის დონის ქვემოთ ან ზემოთ მდებარე ხმელეთის მასების სიმკვრივის განაწილებით.

ასეა თუ ისე, დედამიწის ფიგურა მაინც ახლოა ელიფსოიდის ზედაპირთან; მისი დაშორება უკანასკნელისაგან ალაგ-ალაგ აღწევს მხოლოდ რამდენიმე ათეულ მეტრს და არ აღემატება 100 მეტრს.

დედამიწის ფიგურის დეტალური შესწავლა ამჟამადაც გრძელდება. ამ შესწავლას ემსახურება გეოდეზია—მეცნიერება დედამიწის ფიგურისა და სიდიდის შესახებ—და გრავიმეტრია—მეცნიერება სიმძიმის ძალის გაზომვისა და განაწილების შესახებ.

მრავალი და ხანგრძლივი გეოდეზიურ-ასტრონომიული გაზომვა-გამოკვლევების საფუძველზე მიღებულია დედამიწის რადიუსების შემდეგი მნიშვნელობანი:

პოლარული რადიუსი—6356.863 კმ,

ეკვატორული რადიუსი—6378.245 კმ.

რადიუსების სხვაობა 21.382 კმ-ია. ამ სხვაობის ფარდობით დედამიწის ეკვატორულ რადიუსთან დედამიწის შეკუმშულობას ანუ შებრტყელებას ახასიათებენ. რიცხობრივ იგი ეტოლება:

$$21.382:6378.245=1/298.3.$$

აქ მოყვანილი რიცხობრივი სიდიდეები რადიუსებისა მიღებულია საბჭოთა მეცნიერის, თ. კრასოვსკის მიერ და მათ უწოდებენ დედამიწის ელიფსოიდის



კრასოვსკის ეული ელემენტებს. აქამდე ფართოდ იხმარებოდა ბესელი-  
ს ეული ელემენტები, გერმანელი ასტრონომის ბესელის მიერ გამოთვლილი  
ტრიანგულაციის მონაცემების მიხედვით ჯერ კიდევ გასული საუკუნის პირველ

ნახევარში. მათი მნიშვნელობებია, შესაბამისად: 6356.1, 6377.4 და  $\frac{1}{299.4}$ .

გამოვალთ რა კრასოვსკის ეული ელემენტებიდან, მივიღებთ, რომ დედამი-  
წის ეკვატორის სიგრძე, ე. ი. დედამიწის გარშემოწერილობა ეკვატორის გასწვ-  
რივ არის 40075.696 კმ;

დედამიწის ზედაპირის ფართობი—დაახლოებით,  $510 \cdot 10^6$  კმ<sup>2</sup>;

დედამიწის მოცულობა—დაახლოებით,  $1083 \cdot 10^9$  კმ<sup>3</sup> ანუ  $1.083 \cdot 10^{27}$  სმ<sup>3</sup>.

ამჟამად დედამიწის ფიგურისა და მისი სიდიდის, ასევე მასისა და სიმკვ-  
რივის განაწილების (იხ. ქვემოთ) ხელახალი განსაზღვრებისათვის დედამიწის  
ხელოვნურ თანამგზავრებს მიმართავენ; მათი ორბიტების ევოლუციის შესწავლა  
და ანალიზი იძლევა ამ ამოცანების დიდი სიზუსტით გადაწყვეტის საშუალებას.  
ამ შესწავლამ გამოავლინა აგრეთვე დედამიწის ფიგურის სხვა თავისებურება-  
ნიც. მაგალითად, ის, რომ დედამიწის ეკვატორი უფრო ელიფსს უახლოვდება,  
ვიდრე წრეწირს, რომ ჩრდილოეთი და სამხრეთ ნახევარსფეროები არასიმეტრი-  
ულია, ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ მიმართული რადიუსი ოდნავ უფრო გრძელია,  
ვიდრე მისი მოპირდაპირე. ამგვარი საკითხები ამჟამად კოსმოსური გეო-  
დეზიის შესწავლის საგანს წარმოადგენს.

§ 100. სიმძიმის ძალის ცვლილება დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ. მექა-  
ნიკიდან ცნობილია, რომ ქანქარის რხევის  $T$  ნახევარპერიოდი შემდეგ დამოკი-  
დებულებაშია ქანქარის  $l$  სიგრძესთან და  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებასთან:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

თუ ქანქარა გამოყენებულია როგორც საათის მექანიზმი, მაშინ საათის  
სვლა, მისი მუდმივობა თუ ცვალებადობა, დამოკიდებულია ქანქარის სიგრძეზე  
(აგრეთვე გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურაზე, რომელიც ამ სიგრძეს ცვლის)  
და სიმძიმის ძალის აჩქარებაზე. XVII საუკუნის მეორე ნახევარში ფრანგმა ას-  
ტრონომებმა შენიშნეს, რომ საათმა, რომელიც პარიზიდან (განედი  $49^\circ$ ) გადა-  
იტანეს ეკვატორის მახლობლობაში (განედი  $5^\circ$ ), ჩამორჩენა იწყო, ე. ი.  $T$  გა-  
ხანგრძლივდა. რამდენადაც ტემპერატურის ცვლილების გავლენა შემოწმებული  
და გამორიცხულ იქნა, დარჩა ერთი დასკვნა: ეკვატორისაკენ გადასვლისას სიმ-  
ძიმის ძალა კლებულობს\*.

ცოტა უფრო გვიან პრაქტიკული დაკვირვების ეს ფაქტი თეორიულად დაა-  
საბუთა ნიუტონმა, რომელმაც გამოიკვლია დედამიწის ფიგურის მისივე ბრუნ-  
ვასთან კავშირის საკითხი. თეორიულად შესაძლებელიც აღმოჩნდა სიმძიმის ძა-  
ლის რიცხობრივი მნიშვნელობის გამოთვლა, მაგალითად, ისეთი „მიუწვდომე-  
ლი“ პუნქტისათვის, როგორიცაა დედამიწის პოლუსი. 1937 წელს, როცა მოეწ-

\* იმისათვის, რომ წარმოვიდგინოთ, თუ რამდენად საგრძნობია სიმძიმის ანუ წონის კლება,  
მაგალითად მოვიყვანოთ ის, რომ საშუალო ზომის საოკეანო გემი პოლუსიდან ეკვატორის  
ზოლში გადაადგილების დროს რამდენიმე ათეული ტონით მსუბუქდება; ადამიანი—100—150  
გრამით.



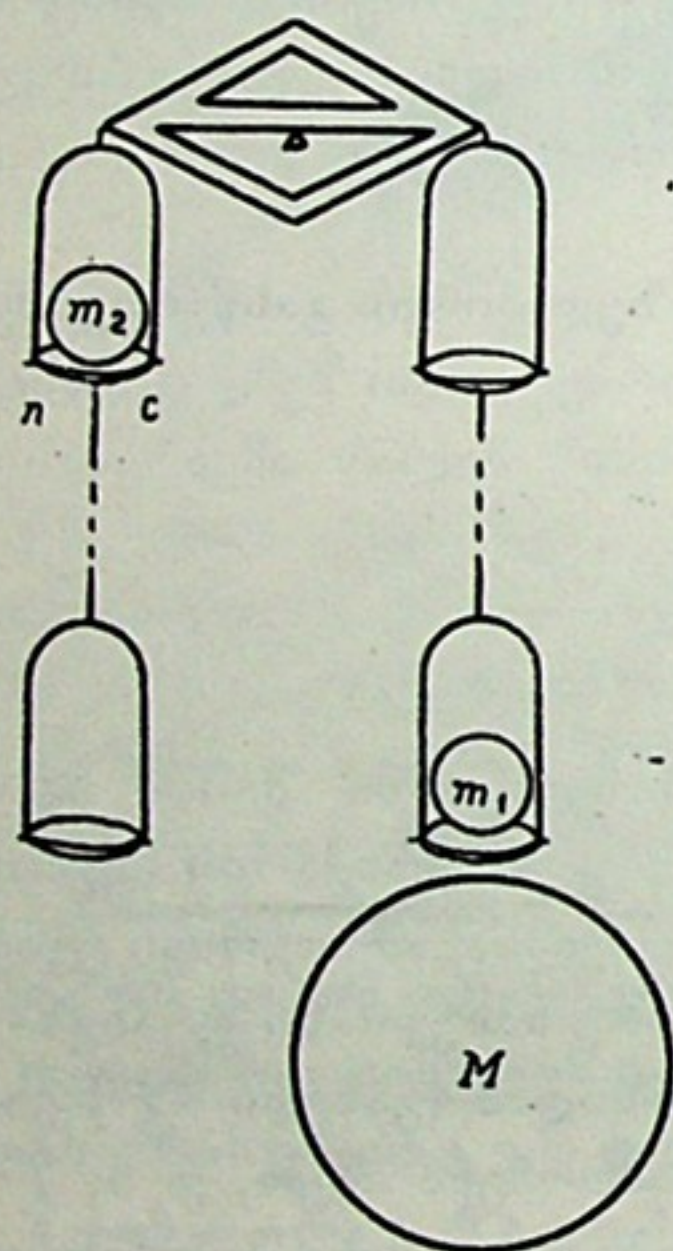


ყო საბჭოთა სამეცნიერო ექსპედიცია ჩრდილოეთ პოლუსზე, ე. ფედოროვმა უშუალოდ გაზომა სიმძიმის ძალა პოლუსზე და პრაქტიკულად შეამოწმა და დაადასტურა თეორიის სისწორე.

სიმძიმის ძალის ცვლილება დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ დამოკიდებული აღმოჩნდა 1) დედამიწის ფიგურის შებრტყელებაზე და 2) დედამიწის ბრუნვით განპირობებულ ცენტრიდანულ აჩქარებაზე.

დედამიწის ფიგურის შებრტყელების დეტალური რაოდენობრივი შესწავლა მრავალნაირი მეთოდებით გრძელდება და ვითარდება. კერძოდ, უკანასკნელ წლებში ერთობ ეფექტურად გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც ემყარება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დაკვირვებებს, როგორც ეს ზემოთაც აღვნიშნეთ. მათმა გამოყენებამ მეცნიერებას სულ ახალი ფაქტებიც მოუპოვა, მაგალითად, — დედამიწის ფიგურის ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროების არასიმეტრიულობა და სხვ.

**§ 101. დედამიწის მასა და სიმკვრივე.** ცნობილია დედამიწის მასის განსაზღვრის რამდენიმე ხერხი. ერთ-ერთი მათგანი წმინდა პრაქტიკულია და შემდეგში მდგომარეობს. მივმართოთ ზუსტ სასწორს, რომელსაც ორივე მხარეზე ორი თევზი ჰკიდია: ქვედა და ზედა (ნახ. 157); ქვედა საკმარისად დაშორებულია ზედას.



ნახ. 157

მარჯვენა ქვედა და მარცხენა ზედა თევზებზე მოვათავსოთ რაიმე სიმძიმე (მასა), — მაგალითად, სამკილოგრამიანი ლითონის ბურთები —  $m_1$  და  $m_2$ . ნიუტონის ცნობილი კანონის მიხედვით, ორ საგანს შორის მიზიდულობა მათი მასების ნამრავლის პროპორციული და მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია.

რაკი  $m_1$  უფრო ახლოა დედამიწასთან, წონასწორობა იმ შემთხვევაში დამყარდება, თუ მარცხენა ზედა თევზზე  $m_2$ -თან შემოვდებთ სათანადო მცირე  $c$  მასას. ახლა თუ მარჯვენა თევზებს ქვეშ მოვათავსებთ რაიმე დიდს, მძიმე  $n$  — 8 ტონიან  $M$  სხეულს (მასას), ეს სხეული შედარებით საგრძნობლად მიიზიდავს თავისკენ  $m_1$ -ს, რომელიც ახლოა მასთან, და თითქმის არ მოახდენს ზემოქმედებას მისგან დაშორებულ  $m_2$ -ზე. ამიტომ წონასწორობა ირღვევა და იმისათვის, რომ

თევზები კვლავ გაწონასწორდეს, საჭიროა შემოვდოთ მარცხენა თევზზე რაღაც გამაწონასწორებელი  $n$  მასა. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დედამიწისმიერი მიზიდულობა  $n$  მასისა აწონასწორებს  $M$  სხეულის მიერ მიზიდულობას  $m_1$  მასისა.

ნიუტონის კანონის მიხედვით  $M$  და  $m_1$  მასებს შორის მიზიდულობა გამოიხატება სიდიდით:

$$k^2 \frac{Mm_1}{d_1^2},$$



სადაც  $d_1$  არის მანძილი  $M$  და  $m_1$ -ს შორის. ამავე დროს დედამიწისმიერი მიზიდულობა  $n$ -ისა გამოიხატება სიდიდით:

$$k^2 \frac{M_0 n}{R^2},$$

სადაც  $M_0$  დედამიწის მასაა, ხოლო  $R$  — მისი რადიუსი.

რაკი, როგორც ვთქვით, წონასწორობა მყარდება, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$k^2 \frac{M m_1}{d_1^2} = k^2 \frac{M_0 n}{R^2}$$

ანუ

$$M_0 = \left( \frac{R}{d_1} \right)^2 \frac{m_1}{n} M.$$

აქ  $R$  ცნობილია;  $d_1$  გაიზომება; ფარდობა  $\frac{m_1}{n}$  წარმოადგენს წონათა ფარდობას და გამოითვლება, თუ  $m_1$  და  $n$ -ს დამოუკიდებლად ავწონით ზუსტი სასწოროთ;  $M$ -ის განსაზღვრაც შესაძლებელია აწონით ანდა გამოთვლით, თუ ვიცით მისი მოცულობა და მასალის სიმკვრივე. ამგვარად გამოსათვლელი გვრჩება  $M_0$  და იგი მარტივად გამოითვლება. ასეთი ექსპერიმენტი შესრულების დიდ სიფაქიზეს და სიზუსტეს მოითხოვს. ცდომილებათა შესამცირებლად საჭიროა მისი რამდენჯერმე განმეორება. კერძოდ, სასარგებლოა მისი განმეორება შეცვლილ პირობებში, როცა  $m_2$ -ს ათავსებენ ქვედა თევზზე, ხოლო  $m_1$ -ს — ზედაზე.

როგორც დადგენილია, დედამიწის მასა შეადგენს  $6 \cdot 10^{27}$  გრამს ანუ  $6 \cdot 10^{21}$  ტონას.

დედამიწის მოცულობის ზემომოყვანილ მნიშვნელობას თუ გავითვალისწინებთ, დედამიწის საშუალო სიმკვრივისათვის მივიღებთ მნიშვნელობას:  $5.5$  გრ/სმ<sup>3</sup>-ში ან უბრალოდ,  $5.5$  წყალთან შედარებით.

**§ 102. დედამიწის შინაგანი აგებულება.** დედამიწის ქერქის სიმკვრივის უშუალო გაზომვები გვიჩვენებს, რომ ზედაპირულ ნაწილში დედამიწა ორჯერ მაინც ნაკლებად მკვრივია, ვიდრე მთლიანი დედამიწის საშუალო სიმკვრივე. ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწის სიმკვრივე უნდა მატულობდეს ცენტრისაკენ.

ასეთივე დასკვნა მიიღება სხვა — პრაქტიკული და თეორიული — მონაცემებისგანაც. კერძოდ, აღნიშნულ ფაქტს მოწმობს დაკვირვებები სეისმური ტალღების გავრცელების ხასიათსა და თვისებებზე.

სიმკვრივის ზრდა სიღრმეზე გამოწვეულია როგორც ნივთიერების ქიმიური შედგენილობის განსხვავებით, ისე და უმთავრესად ზედაფენების დიდი დაწოლით შიდა ფენებზე, რის შედეგადაც ნივთიერება იწნება, მკვრივდება.

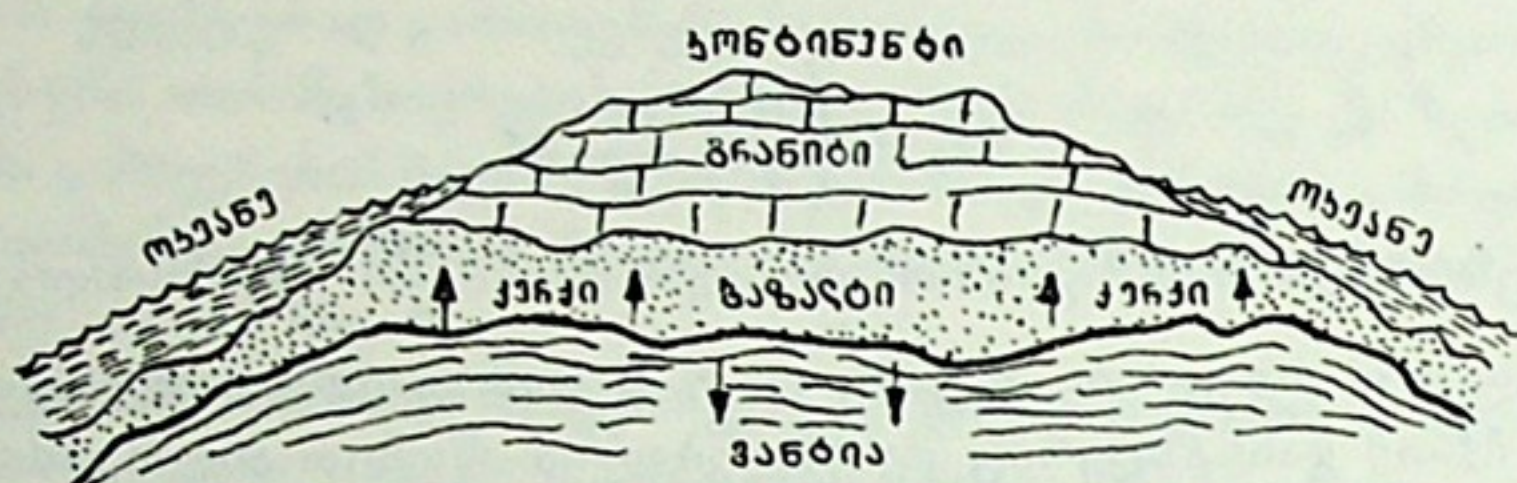
ვულკანების ამოფრქვევები, ცხელი წყაროები და სხვა მოვლენები მოწმობს, რომ დედამიწის წიაღში გაბეფებულია მაღალი ტემპერატურა. უშუალო გაზომვებიც, რომლებიც წარმოებს ვერტიკალურ შახტებში, ამას ამტკიცებს. 30 მეტრის სიღრმიდან დაწყებული, ტემპერატურა  $3^\circ$ -ით იზრდება სიღრმის ყოველი 100 მეტრით მომატებისას. როგორც ირკვევა, დედამიწის ღრმა წიაღში — ცენტრის ახლო — ტემპერატურა  $2000^\circ$  უნდა აღწევდეს. ასეთი მაღალი ტემპერატურის გამომწვევ მიზეზად უნდა ჩაითვალოს მეტწილად იმ რადიოაქტიური ნივთიერების დაშლა, რომელიც დედამიწის შედგენილობაშია.

აღნიშნული მაღალი ტემპერატურის პირობებში ყოველი ნივთიერება თხე-



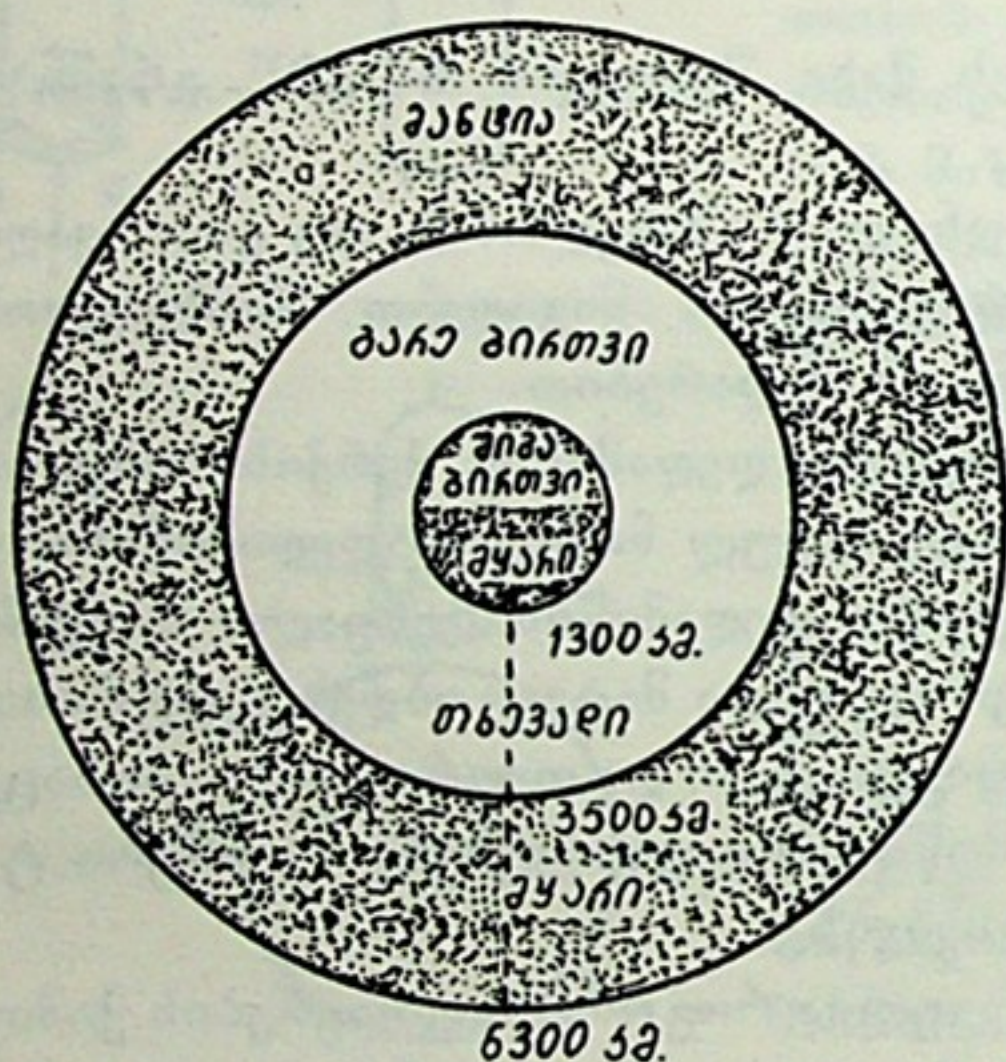
ვად და გაზოვან მდგომარეობაში უნდა იყოს. ამავე დროს სეისმური ტალღების გავრცელების შესწავლის შედეგები მიუთითებს, რომ დედამიწის ცენტრში ნივთიერება მყარ მდგომარეობაშია. ასეთი, ერთი შეხედვით პარადოქსული, გარემოება შეიძლება აიხსნას იმ ძლიერი წნევით, რომელსაც განიცდის ნივთიერება დედამიწის ღრმა წიაღში.

თანამედროვე წარმოდგენებით, დედამიწა, როგორც მთლიანი პლანეტა, სქემატურად შემდეგნაირად არის აგებული:



ნახ. 158

ა) გარე ფენა ანუ ქერქი, ძირითადად ნალექი ქანებისაგან, გრანიტისა და ბაზალტისგანაა შედგენილი (ნახ. 158 და 159);



ნახ. 159

ბ) დედამიწის „მანტია“ ანუ გარსი, რომლის ქვედა შემოშლადვრელი ზედაპირი დაახლოებით 3500 კმ-ის სიღრმეზეა და მყარი სხეულის თვისებების მქონეა;

გ) დედამიწის ბირთვი, რომლის გარე ნაწილი შეიძლება თხევადი იყოს, შიდა კი (5000 კმ-ის სიღრმიდან) მყარი სხეულის თვისებებს ატარებს.

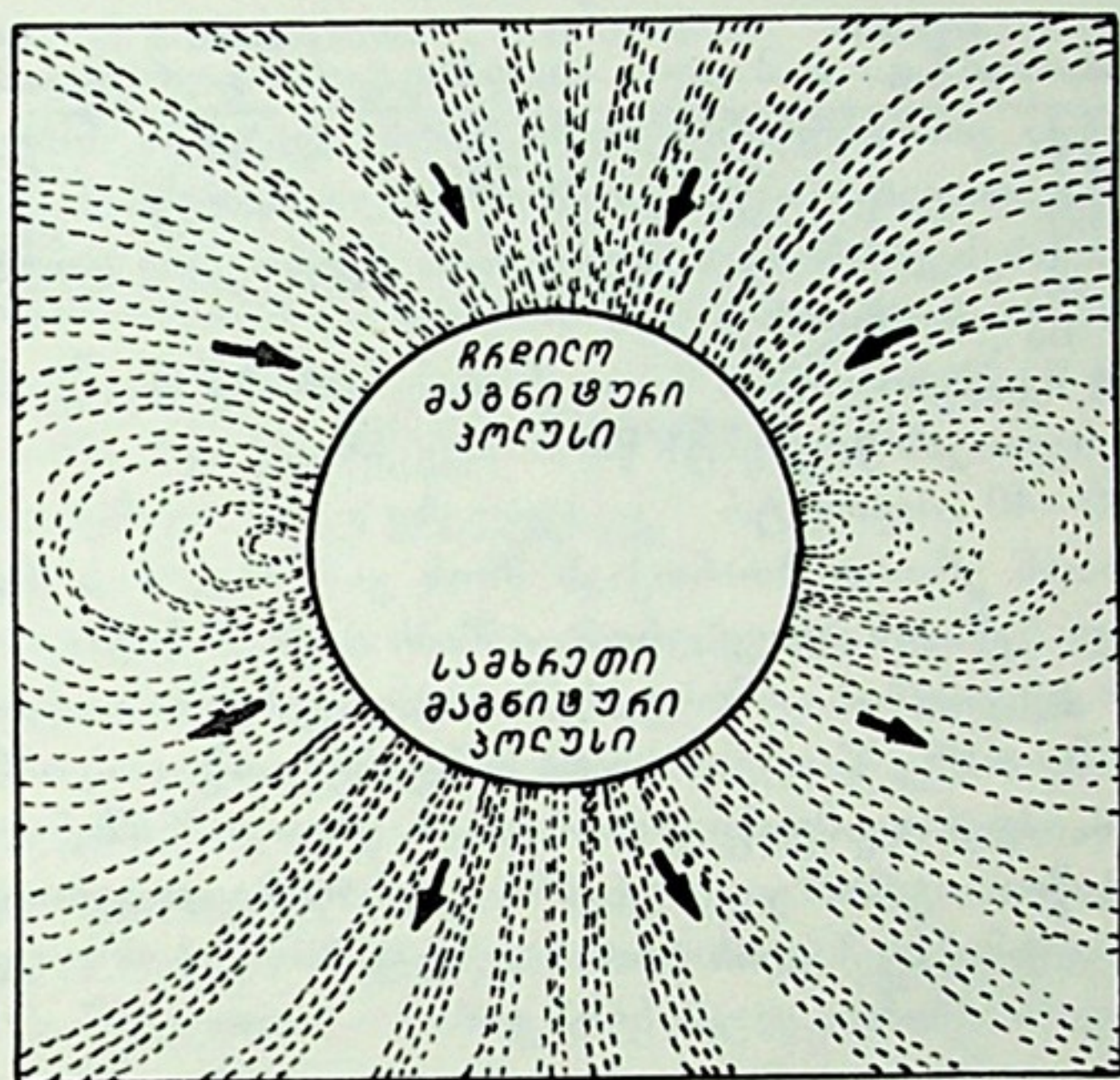
ზემოთ მოყვანილ სქემას აკლავს მისი განუყოფელი ატმოსფერული გარსი, რომელიც დედამიწას გარედან აკრავს და თავისი აგრეგატული მდგომარეობით (გაზი) მკვეთრად განსხვავდება საკუთრივ დედამიწისაგან.

როგორც ცნობილია, დედამიწის გარშემო არსებობს მაგნიტური ველი, რომლის დაძაბულობა დედამიწის ზედაპირთან აღწევს 0.5 ერსტედს, რაც მნიშვნელოვნად ჩაითვლება. მაგნიტური ველი არ არის მარტო დედამიწის მახასიათებელი თვისება. მზის ლაქების არეებში თავს იჩენს ძლიერი მაგნიტური ველები. იუპიტერი და სხვა ცთომილებიც „ჩაძირულია“ მაგნიტურ ველში და როგორც უკანასკნელ წლებში გაირკვა, ზოგი ვარსკვლავი და ვარსკვლავთშორის სივრცეში თავმოყრილი კოსმოსური ნივთიერება გარემოცულია სხვადასხვა სიმძლავრის მაგნიტური ველებით. ამგვარად, მაგნიტური ველი ერთობ გავრცელებული მოვლენაა სამყაროში.

დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობა და მასში მაგნიტური ძალების



განაწილება (იხ. ნახ. 160) ქმნის იმის საშუალებას, რომ გამოვიყენოთ ე. წ. ყიბლანი ანუ კომპასი ჩრდილოეთის მიმართულების დასადგენად. ნებისმიერ ადგილას სრულიად თავისუფლად დაკიდებული ყიბლანის ისარი უჩვენებს დედამიწის მაგნიტური ველის მიმართულებას აღებულ წერტილში. იქ, სადაც ეს ისარი ვერტიკალურ მიმართულებას დაიჭერს, მაგნიტური პოლუსი იქნება. მაგნი-



ნახ. 160

ტური პოლუსი ჩრდილოეთ გეოგრაფიულ პოლუსს არ თანხვდება, იგი მოთავსებულია კანადის ჩრდილოეთ ნაწილში, ჰუდსონის ყურეში.

§ 103. **დედამიწის ატმოსფერო.** დედამიწის გარემომცველი ატმოსფერული გარსის ქვედა საზღვარს დედამიწის ზედაპირი წარმოადგენს. მისი ზედა საზღვრის ზუსტად გამოყოფა შეუძლებელია, ჯერ ერთი, იმის გამო, რომ ატმოსფეროს სიმკვრივე სიმაღლის ზრდასთან ერთად თანდათან კლებულობს და უახლოვდება იმ სიმკვრივეს, რომელიც პლანეტათშორისო სივრცეს აქვს; ეს უკანასკნელი კი იმდენად უმნიშვნელოა, რომ თითქმის „სიცარიელეს“ წარმოადგენს. მეორე მხრივ, როგორც უკანასკნელი წლების განმავლობაში დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებისას და მათი მოძრაობის ანალიზისას გაირკვა, ატმოსფეროს სიმაღლე პერიოდულად იცვლება: ატმოსფერული გარსი შენაცვლებით ხან ფართოვდება, ხან იკუმშება. ატმოსფეროს ასეთი თითქოს „სუნთქვა“ განპირობებულია მასზე მზის გამოსხივების ზემოქმედებით. ხელოვნური თანამგზავრების მეშვეობით ისიც დადგინდა, რომ ატმოსფეროს საშუალო სიმაღლე იმაზე მეტია, რაც აქამდე მიაჩნდათ დედამიწის ზედაპირიდან ან საჰაერო ბალონებით დაკვირვების შედეგად: იგი 2000-მდე კმ-ს აღწევს.

ატმოსფეროც დედამიწის ცენტრისაკენ მიიზიდება, მასაც აქვს თავისი წონა, სიმძიმე. დედამიწის ზედაპირის ყოველ 1 სმ<sup>2</sup>-ზე მოდის საშუალოდ 1 კგ დაწოლა.



როგორც ზემოთ ვნახეთ, დედამიწის ფართობი ტოლია  $51 \cdot 10^7 \text{ კმ}^2 = 5 \cdot 10^{18} \text{ მ}^2$ , ე. ი. მთელი ატმოსფეროს მასა არის  $5 \cdot 10^{18} \text{ კგ}$  ანუ  $5 \cdot 10^{21} \text{ გრ.}$  ეს დედამიწის მასის დაახლოებით ერთი მემილიონედია.

ატმოსფეროს სიმკვრივე სიმაღლის გასწვრივ ისეა განაწილებული, რომ მისი მასის ნახევარი თავმოყრილია სულ 6 კმ-ის შიგნით. მის შედგენილობას წარმოადგენს აზოტის (მოცულობის  $78\%$ ), ჟანგბადისა ( $21\%$ ) და სხვა მოლეკულები.

საინტერესოა, რომ წყალბადი ყველაზე უფრო გავრცელებული ელემენტია თითქმის ყველა კოსმოსურ სხეულში (ვარსკვლავებში, ნისლეულებში და სხვ.). დედამიწის ატმოსფეროში კი იგი უმნიშვნელო რაოდენობისა მიაჩნდათ და მხოლოდ სულ უკანასკნელ დროს ირკვევა მისი შედარებით დიდი შემცველობა დედამიწის ატმოსფეროს ზედაფენებში.

ატმოსფეროს შედგენილობის რაოდენობით უმნიშვნელოს, მაგრამ თვისებით ერთობ მნიშვნელოვან ელემენტს წარმოადგენს ე. წ. ოზონი. იგი გვხვდება უმთავრესად 30—40 კილომეტრ სიმაღლეზე და ის თვისება აქვს, რომ ზოგ სხვა მოლეკულასთან ერთად შთანთქავს მზის გამოსხივების მოკლელქილიან ე. წ. ულტრაიისფერ ნაწილს. ამავე დროს კი მზის მიერ ამ ნაწილის გამოსხივება ინტენსიურია, მას დედამიწის ატმოსფეროს მაღალ ფენებზე დიდი გავლენა აქვს და თვით მზეში მიმდინარე პროცესებსა და საპლანეტათშორისო სივრცეში დიდ როლს ასრულებს. ამდენად, მეცნიერებისათვის ერთობ მნიშვნელოვანია მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ყოველგვარი დაკვირვება და გამოკვლევა. მაგრამ ეს არ ხერხდება დედამიწის ზედაპირიდან (ანუ ატმოსფეროს ფსკერიდან) სწორედ ოზონის „საფარის“ ანუ „ჯავშანის“ გამო.

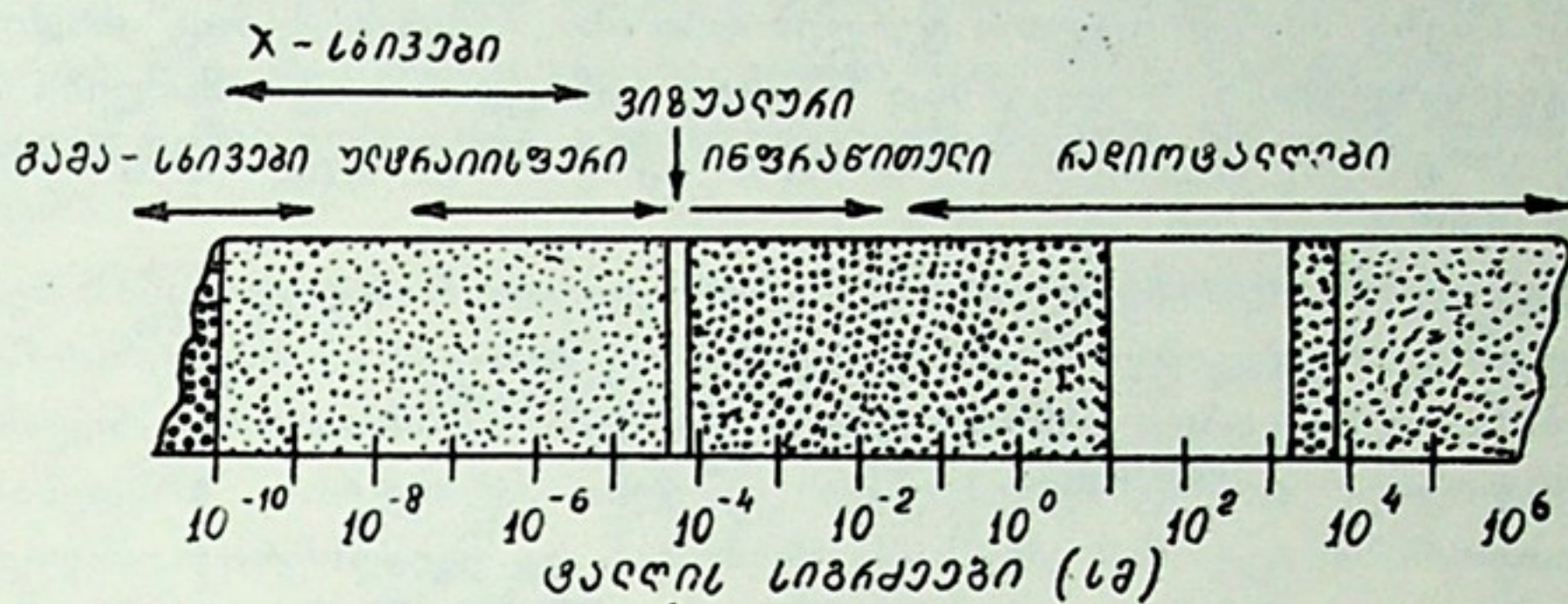
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და კოსმოსური რაკეტების ან ხომალდების გამოყენებას სწორედ ამიტომაც აქვს განუსაზღვრელად დიდი მეცნიერული მნიშვნელობა და პერსპექტივა, რომ ისინი საშუალებას აძლევენ მეცნიერებს დააკვირდნენ და შეისწავლონ მზე და, საერთოდ, გარე სამყარო ატმოსფეროს გარედან, მაშასადამე, მიაღწიონ ულტრაიისფერი გამოსხივების შესწავლასაც, თვისებრივად ახალი დაკვირვებები აწარმოონ კოსმოსურ მოვლენებზე და მით სრულიად ახალი შედეგები მიიღონ.

გამოსხივებას, რომელსაც მზე და ვარსკვლავები გამოაფრქვევენ, ჩვენ აღვიქვამთ როგორც მათ სინათლეს, ოპტიკურ სხივებს. სინამდვილეში ეს გამოსხივება, რომელიც ელექტრომაგნიტური ენერგიის ნაკადს წარმოადგენს, მოიცავს მრავალნაირი სახის სხივებს: ხილული „სინათლის“ სხივებთან ერთად მასშია ჩვენთვის უხილავი ინფრაწითელი და ულტრაიისფერი, რენტგენისეული, გამა-სხივები და რადიოგამოსხივებაც კი.

161-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სქემატურად, ზოლის სახით მზის (ვარსკვლავების) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ე. წ. სპექტრი, სხვა სიტყვებით, — მთელი მისი რთული შედგენილობა. ზოლის ზევიდან ნაჩვენებია გამოსხივების ესა თუ ის სახეობა, ესა თუ ის მდგენელი. ქვემოდან მიწერილია სათანადო ტალღის სიგრძეების მნიშვნელობები. ზოლი უმეტეს ნაწილში მეტ-ნაკლებად გამუქებულია. მხოლოდ ორ ადგილას გამოიყოფა იგი თეთრად:  $10^{-4}$ -ის მახლობლად ძალიან ვიწროდ და  $10^2$ -ის მახლობლობაში — უფრო ფართოდ. ამით ისაა მითითებული, რომ ატმოსფერო მხოლოდ ამ ორი ნაწილისათვის არის გამჭვირვალე, მხოლოდ ამ ორ უბანში გამოატარებს გამოსხივებას როგორც ფილტრში ან

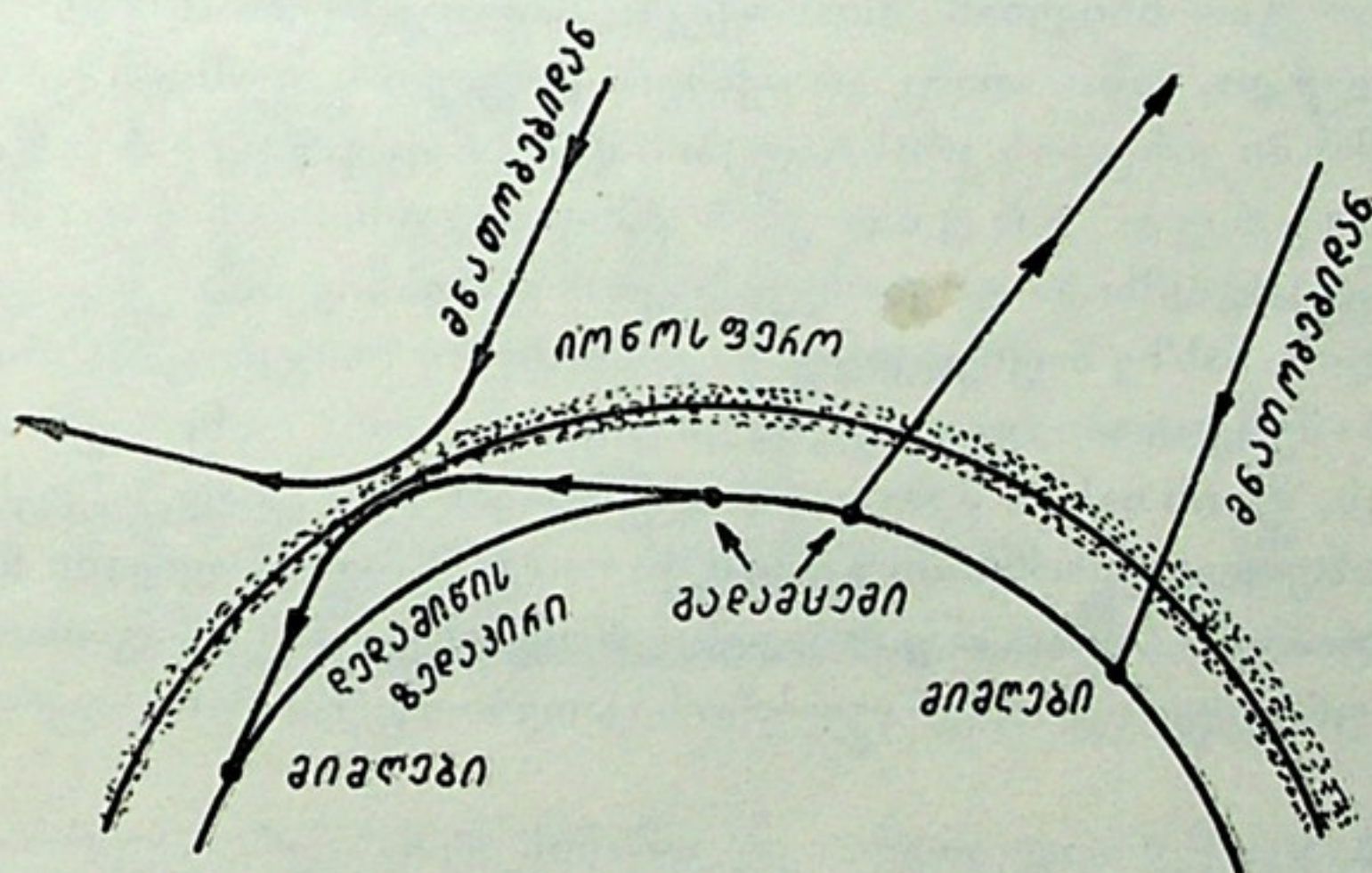


„სარკმელში“, ხოლო მეტწილად ატმოსფერო გაუმჭვირვალე რჩება ცის სხეულ-  
თა გამოსხივებისათვის. განსაკუთრებით ვიწრო ყოფილა ის „სარკმელი“, რო-  
მელშიც თვალთ ვუყურებთ ან ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე აღვებეჭდავთ გარე  
სამყაროს მოვლენებს. „რადიო-სარკმელი“ უფრო ფართოა, მაგრამ იგი მხოლოდ  
რადიოტელესკოპებისათვის გამოიყენება. საერთოდ, როგორც ვხედავთ, ატმოს-



ნახ. 161

ფერო ძალიან ძუნწად გამოატარებს ინფორმაციას, რომელიც გარე სამყაროს  
სხეულებზე ჩვენთან მათ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას მოაქვს. რადიო-  
ტალღებშიც მხოლოდ გარკვეული დიაპაზონის ტალღების გამოსხივებისათვი-  
საა ატმოსფერო გამჭვირვალე. ასე რომ არ ყოფილიყო, ძალიან პრობლემატური  
იქნებოდა რადიოგადაცემები დედამიწის ზედაპირზე. როგორც ყოველგვარი  
ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რადიოგამოსხივებაც წრფივად ვრცელდე-  
ბა და თუ მაინც შეგვიძლია რადიოგადაცემა ჩვენი ანტიპოდებისაგან მოვის-  
მინოთ ან მათთვის ვაწარმოოთ, ეს იმის გამო, რომ გადამცემი სადგური-



ნახ. 162

დან გასხივებული რადიოტალღები იონოსფეროს ანუ ატმოსფეროს ერთ-ერთი  
ფენიდან (იხ. ქვემოთ) აირეკლება, შემდგომ — კვლავ დედამიწის ზედაპირი-  
დან და ა. შ., სანამ მიმღებ სადგურს არ მიაღწევს ტეხილი ხაზით (იხ. ნახ. 162).  
თუმცა ესეც მხოლოდ გარკვეული ტალღის სიგრძეების დიაპაზონს შეეხება.  
ამავე მიზეზით სწორედ ამავე ტალღის სიგრძეების დიაპაზონის გამოსხივება



მზიდან ან ვარსკვლავებიდან ჩვენამდე ვერ აღწევს, რამდენადაც აირეკლება იონოსფეროს ფენის გარე ზედაპირიდან და კვლავ გარე სამყაროს უსასრულო სივრცეებში მიიმართება.

იონოსფეროს ფიზიკური მდგომარეობა ძალიან მგრძნობიარეა მზის გამოსხივებისადმი და სწრაფად იცვლება იმისდა მიხედვით, თუ რა პროცესები ვითარდება მზეზე. ამის მიხედვით ცვალებადია ის „შეშფოთებებიც“ რადიოტალღების გავრცელებაში, რომლებსაც ხშირად განიცდის რადიომიმღები სადგურები. ეს გარემოება აკავშირებს რადიოგადაცემის პრაქტიკულ საქმეს მზის პროცესების შესწავლასთან.

ატმოსფეროს აღნიშნული თვისება—არ გამოატაროს დედამიწის ზედაპირზე მყოფ დამკვირვებლამდე მნათობთა გამოსხივების ფართო სპექტრის ნაკადი—აძნელებს გარე სამყაროს შესწავლას. დაკვირვება ატმოსფეროს გარედან დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე მორგებული აპარატურით, ზონდებით, საბლანეტათშორისო ავტომატური სადგურებიდან და კოსმოსური ხომალდებიდან შეუდარებლად უფრო მდიდარ ინფორმაციას აწვდის მეცნიერებას. ამიტომაც კოსმოსური სივრცის ტექნიკური ათვისება არა მარტო გამოხატავს მეცნიერების მაღალ დონეს, არამედ ფართო პერსპექტივებსაც შლის ჩვენს წინ მეცნიერების შემდგომი, უფრო ღრმა და სწრაფი განვითარებისათვის.

დედამიწის ატმოსფეროს ფენობრივი აგებულება აქვს და ეს მკვეთრად მოჩანს, კერძოდ, ტემპერატურის განაწილებაზე მისი სიმაღლის გასწვრივ. გამოარჩევენ 3 ძირითად ფენას: ა) ტროპოსფერო—ფენა საშუალოდ 10—12 კმ-ის სიმაღლემდე, რომელშიც ვითარდება ამინდის მოვლენები, ხოლო ტემპერატურა მონოტონურად კლებულობს სიმაღლის ზრდასთან ერთად; ბ) სტრატოსფერო—80 კმ-მდე; აქ ტემპერატურის კლება წყდება და გარკვეულ საზღვრამდე იგი მატულობს სწორედ იმის გამო, რომ ოზონი, რომელიც ამ ფენაშია, მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებას შთანთქავს; სტრატოსფეროში არ მოიპოვება წყლის ორთქლი და, მაშასადამე, არ იქმნება ღრუბელი, თუმცა იშვიათად შეიჭრება ხოლმე მასში ყინულის კრისტალების მასა, რაც ე. წ. ვერცხლისებრ ანუ მეზოსფერულ ღრუბლებს ქმნის; გ) იონოსფერო ატმოსფეროს გარე ფენაა; იგი მზისა და ვარსკვლავების გამოსხივების უშუალო ზემოქმედებას განიცდის, მასზე მოქმედებს ე. წ. კოსმოსური სხივებიც, მასში თავისუფლად შეიჭრება მეტეორები; ყველაფერი ეს დიდად ცვლის იონოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეობას, შლის მასში შემავალ მოლეკულებს ატომებად, იწვევს ატომების იონიზაციას ანუ ელექტრონების გათიშვას მათგან. იონოსფეროში ჩნდება ე. წ. პოლარული ციალი ანუ მოვლენა, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ მზისგან გამოფრქვეული კორპუსკულური ნაკადები იწვევს იონოსფეროს გაზების ნათებას.

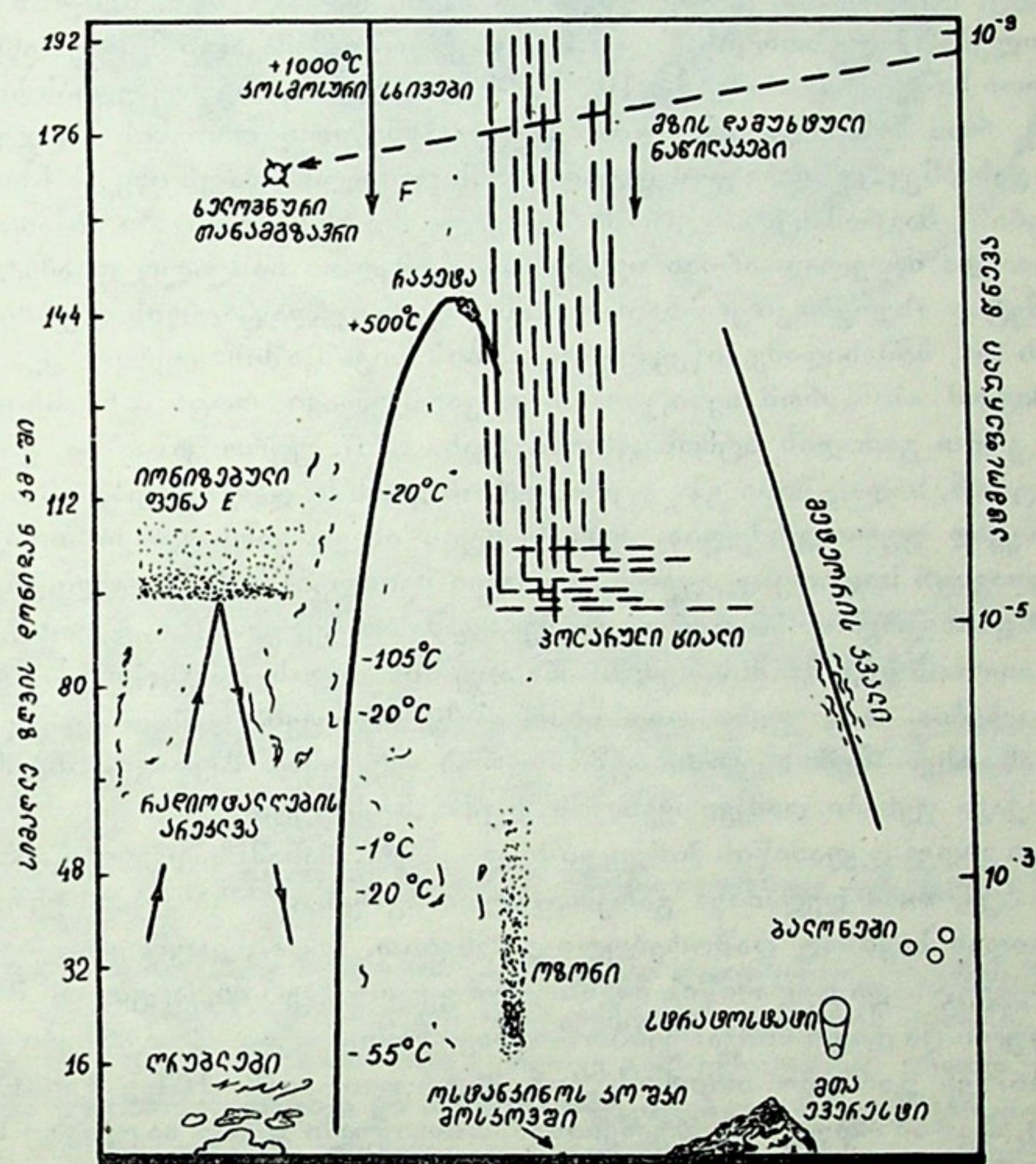
163-ე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწის ატმოსფეროს უფრო დეტალური აგებულება. ვერტიკალური ღერძი მარცხნიდან სიმაღლეს გამოხატავს, ხოლო მარჯვნიდან ატმოსფეროს წნევას.

ნახაზის ზედა კიდეზე მოთავსებულია ეგზოსფერო. ეს არის ფენა, საიდანაც ატმოსფეროს გაზების მოლეკულებს შეუძლიათ გაიჭრნენ კოსმოსის სივრცეში. ამ ფენაში ჰაერი მეტად გაიშვიათებულია და მოლეკულების, მეტადრე—მსუბუქი გაზების (წყალბადი, ჰელიუმი) მოლეკულების, სიჩქარეები დიდია (ამას იქ არსებული მაღალი ტემპერატურაც  $+1000^{\circ}$ -მდე და მეტიც—უწყობს



ხელს); აღწევს რა სიჩქარეს 11—12 კმ სეკუნდში, მოლეკულა სრულიად მოწყდება დედამიწას და გაიჭრება გარე სივრცეში.

არა მარტო ღრუბლების მოძრაობის შესწავლა ტროპოსფეროში, არამედ აგრეთვე მეტეორების ნაკვალევის დაკვირვება 80—120 კმ სიმაღლეზე და პოლარული ციალისა—100—1000 კმ სიმაღლეზე, გვარწმუნებს, რომ ატმოსფეროს მთელ სიმაღლეზე, მის ყველა ფენაში ქრის ძლიერი ქარი ანუ ხდება ატმოსფეროს მასების სწრაფი გადანაცვლება როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტული მიმართულებით. გადანაცვლების სიჩქარეები 500 მეტრს აღწევს სეკუნდში.



ნახ. 163

დამით ცა სავსებით „შავი“ როდია, მკრთალად, მაგრამ თითქოს ანათებს კიდეც. ამის მიზეზი ორგვარია. ჯერ ერთი, აქ ფარულად მოქმედებს იმ მკრთალი ვარსკვლავების სინათლე, რომელნიც თავისთავად ცალ-ცალკე არც ჩანან მათი სიმკრთალის გამო, მაგრამ ცის ფონს ერთგვარად ანათებენ. მეორეც, ადგილი აქვს თვით ატმოსფეროს ფიზიკურ ნათებას. მართლაც, დღის საათებში ჰაერის მოლეკულები და ატომები (კერძოდ, აზოტის, ჟანგბადისა და სხვ.) შთანთქავენ მზის გამოსხივების ენერგიას. დამით კი, ერთგვარი გადამუშავების შემდგომ, ისინი თვითონვე გამოასხივებენ მას. გამოსხივების ხასიათი, ინტენსივობა და





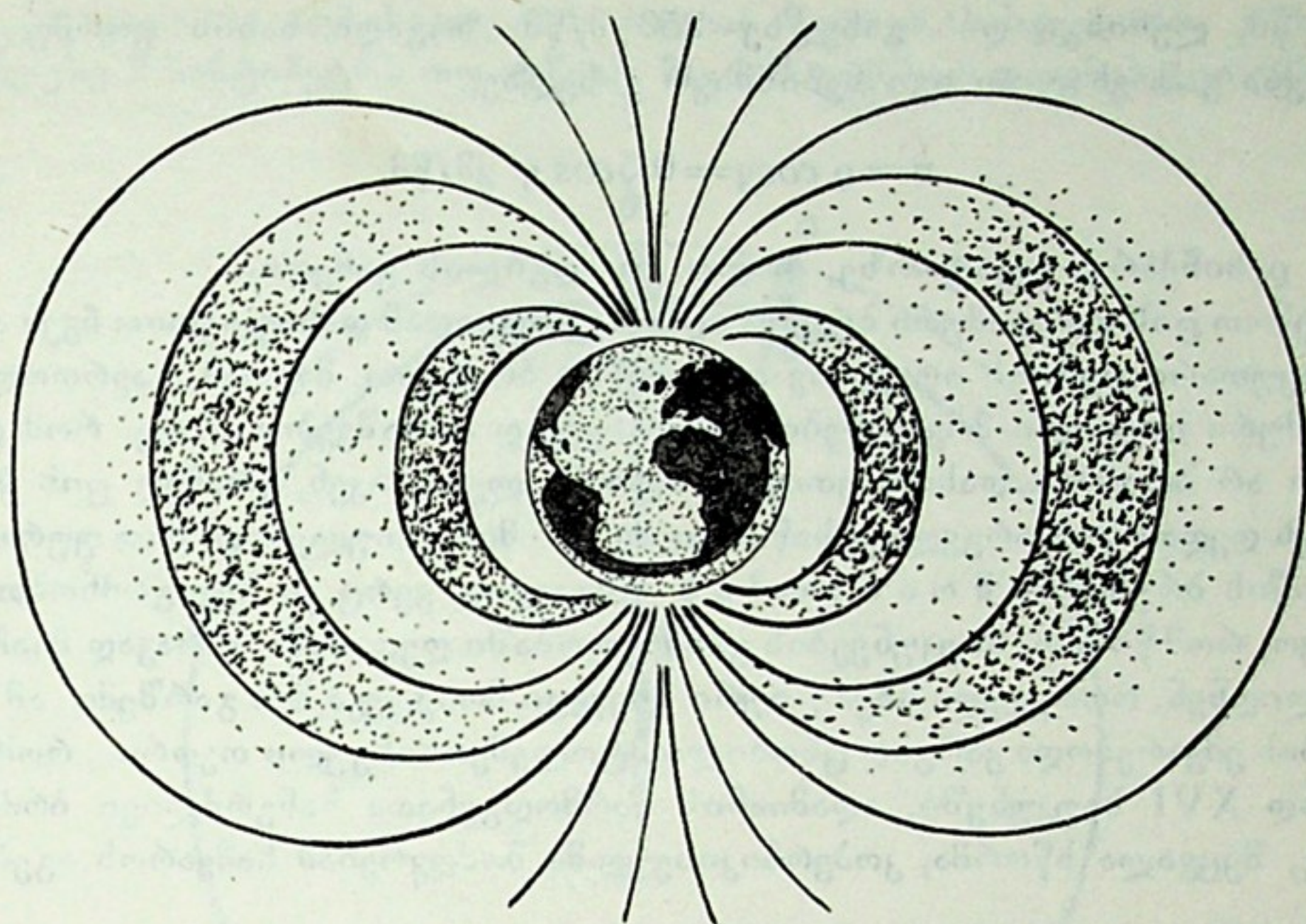
სხვა თვისებები განპირობებულია მით, თუ როგორია გამომსახივებელ ფენაში თიერების შედგენილობა, გარემოს ტემპერატურა, იონიზაციის მდგომარეობა და სხვ. საშუალოდ, ღამის ცის სიკაშკაშე გამოიხატება მე-4 ვარსკვლავიერი სიდიდით კვადრატული გრადუსიდან ანუ 22-ე ვარსკვლავიერი სიდიდით კვადრატული სეკუნდიდან. ამგვარად, ღამის ცის ნათების დაკვირვება და გამოკვლევა გვაწვდის ცნობებს დედამიწის ატმოსფეროს ზედაფენების ფიზიკური და ქიმიური ბუნების შესახებ.

ზემოთ გავეცანით ატმოსფეროს ზემოქმედებას მასში შემოჭრილ მნათობთა სხივებზე. ამ ზემოქმედებასთან არის დაკავშირებული ცის ფერი, ბინდის სინათლე, რეფრაქცია, ვარსკვლავის ციმციმი და, აგრეთვე, მზის ან მთვარის „გაწითლება“ ჰორიზონტის ახლო. ატმოსფეროში შემავალი მცირე ნაწილაკები, რომელთა საშუალო დიამეტრი  $10^{-4}$  სმ-ზე ნაკლებია, ისე მოქმედებს სინათლის სხივზე, რომ მის მოკლელტალდიან (ლურჯ) ნაწილს თითქმის 16-ჯერ უფრო მეტად განაბნევს, ვიდრე გრძელტალდიანს (წითელს) და ეს იწვევს სხივის „გაწითლებას“. მაგრამ ატმოსფეროში შემავალი მყარი ნაწილაკები სხვადასხვა სიდიდისაა და მრავლად არიან ისეთებიც, რომელთა საშუალო დიამეტრი  $10^{-4}$  სმ-ზე მეტია. ასეთები კი ერთნაირად განაბნევენ ყველა ტალღის სიგრძის გამოსხივებას და, მაშასადამე, იწვევენ მნათობის სიკაშკაშის საერთო შესუსტებას.

ამიტომ არის, რომ ზენიტის ახლო ვარსკვლავი, როცა მისი სხივი უფრო მოკლე გზით გამოდის ატმოსფეროში (ნახ. 123), უფრო კაშკაშაა, ვიდრე ჰორიზონტთან, სადაც მისი გზა ატმოსფეროს გარსში დამკვირვებლის თვალამდე შესამჩნევად უფრო გრძელია. ჰორიზონტის ახლო ვარსკვლავი თითქმის სამ ვარსკვლავიერ სიდიდემდე უფრო მკრთალი შეიძლება მოჩანდეს, ვიდრე ზენიტში, ე. ი. დაახლოებით 16-ჯერ უფრო მეტად შესუსტებული (იხ. ქვევით). ცხადია, რომ მნათობის სიკაშკაშის შემცირება ანუ სინათლის შესუსტება, ამავე დროს, მით ნაკლებია, რაც უფრო დიდ სიმაღლეზე იმყოფება დამკვირვებელი ზღვის დონიდან; ასეთ შემთხვევაში ატმოსფეროს უმეტესად მკვრივი, ინტენსიურად მშთანთქავი ფენები დამკვირვებლის ქვეშაა მოქცეული.

ჯერ კიდევ დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრების გამოყენებით აღმოაჩინეს, რომ დედამიწა გარემოცულია აგრეთვე მისი ატმოსფეროს ზედა საზღვრიდან საკმაოდ დაშორებული გარსებით, სადაც თავმოყრილია მზიდან გამოფრქვეული და დედამიწის მაგნიტური ველის მიერ მიტაცებული მძლავრად დამუხტული და დიდი სიჩქარეებით მოძრავი ნაწილაკები—პროტონები და ელექტრონები. ეს გარსები თითქმის კონცენტრულია (იხ. 164-ე ნახაზზე მათი ჭრილი), მაგრამ რთული აგებულებისაა; თითოეული გარსი საკუთარი სიმკვრივის მატარებელია, თუმცა სიმკვრივეები, ისევე როგორც მათი ქვედა და ზედა საზღვრები მუდმივ ცვლილებას განიცდის. შიდა გარსის სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან საშუალოდ 3000—3500 კმ-ია, მისი სისქე 4000 კმ-ს აღემატება. გარე გარსის ზედა საზღვრის სიმაღლე 18—20 ათას კმ-ს აღწევს. ამ გარსების შიგნით უზარმაზარი ენერგიის ნაწილაკების დიდი სიჩქარეებით მოძრაობა სერიოზულ საფრთხეს ქმნის კოსმონავტებისათვის, რომლებმაც, დედამიწიდან შორს გაჭრისას, უნდა გაითვალისწინონ ეს გარემოება და სათანადოდ უზრუნველყონ თავდაცვა ამა თუ იმ საშუალებით, ანდა შეარჩიონ დედამიწიდან გარე კოსმოსში გასვლის შედარებით ნაკლებ სახიფათო ადგილები, მაგალითად, პოლუსის წერტილებში შვეული მიმართულება, როგორც 164-ე ნახაზზე ჩანს.





ნახ. 164

§ 104. **დედამიწის მოძრაობები.** როგორც უკვე ვიცით, დედამიწა უძრავად როდი ასვენია სივრცეში. იგი განიცდის მთელ რიგ მოძრაობებს:

1. საკუთარი ღერძის ირგვლივ ბრუნვას,
2. რხევას, ბრუნვის ღერძის მიმართ, რაც იწვევს განედების ცვლილებას,
3. ე. წ. პრეცესიულსა და ნუტაციურ მოძრაობებს,
4. მოქცევას შხის ირგვლივ,
5. მოძრაობას გალაქტიკის სივრცეში მზესთან ერთად ჰერკულესის თანავარსკვლავედისაკენ და სხვ.

პირველი სამი სახის მოძრაობა განიხილება დედამიწის ცენტრის მიმართ, მეოთხე — შხის, ხოლო უკანასკნელი — გალაქტიკის ცენტრის მიმართ. გარდა აღნიშნულისა, დედამიწა მოძრაობს აგრეთვე გალაქტიკასთან ერთად.

§ 105. **დედამიწის ბრუნვა და მისი დამამტკიცებელი მოვლენები.** დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით\*. ერთი სრული შემობრუნება ხდება ერთ დღე-ღამეში ანუ 24 საათში. დედამიწის გარშემოწერილობა (ეკვატორის სიგრძე) არის დაახლოებით  $2\pi \cdot 6400$  კმ, ამიტომ დედამური ბრუნვით განპირობებული წრფივი სიჩქარე ეკვატორზე მდებარე რაიმე პუნქტისა იქნება  $\frac{2\pi \cdot 6400}{24 \cdot 60 \cdot 60} \approx 0.5$  კმ/წმ. ეკვატორიდან

განსხვავებულ პარალელებზე მდებარე პუნქტების წრფივი სიჩქარეები მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო ახლოა ეს პუნქტები პოლუსთან, ე. ი. რაც უფრო მცირეა პარალელები. სახელდობრ, თბილისის განედზე წრფივი სიჩქარე არის

\* ეს ასე უნდა გვესმოდეს: თუ დავხედავთ დედამიწას ჩრდილოეთ პოლუსიდან, ვნახავთ, რომ ბრუნვა ხდება საათის ისრის სიწინააღმდეგო მიმართულებით.



370 მ/წმ, ლენინგრადის განედზე—250 მ/წმ. ზოგადი სახის ფორმულითაც შეიძლება გამოვხატოთ იგი ნებისმიერ განედზე;

$$v = \varrho \cos \varphi = 0.5 \cos \varphi \text{ კმ/წმ,}$$

სადაც  $\varrho$  სიჩქარეა ეკვატორზე, ხოლო  $\varphi$ —ადგილის განედი.

ზემოთ ცის დედამიწის ბრუნვა აღმოსავლეთიდან დასავლეთით ჩვენ ავხსენით საკუთარი ღერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვით. მაგრამ, საერთოდ, ცის დედამიწის ბრუნვის მოვლენების ასახსნელად დასაშვებია ისიც, რომ დედამიწა კი არ ბრუნავს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, არამედ ცის სფერო ბრუნავს დედამიწის ირგვლივ, საწინააღმდეგო მიმართულებით; მით უფრო, რომ დედამიწის ბრუნვითს მოძრაობას უშუალოდ ვერც კი შევიგრძნობთ. ამიტომ იყო, რომ წინათ, საუკუნეების განმავლობაში დედამიწა უძრავად მიაჩნდათ და თვლიდნენ, რომ ყველა სხვა ციური სხეული მოიქცევა მის გარშემო. ამ შეხედულებას ემყარებოდა კარგად ცნობილი პტოლემეოსისეული თეორია, რომელიც მხოლოდ XVI საუკუნეში, ადამიანის წარმოდგენათა ხანგრძლივი ბრძოლის შემდეგ, შეცვალა სწორმა, კოპერნიკისეულმა მოძღვრებამ სამყაროს აგებულებაზე.

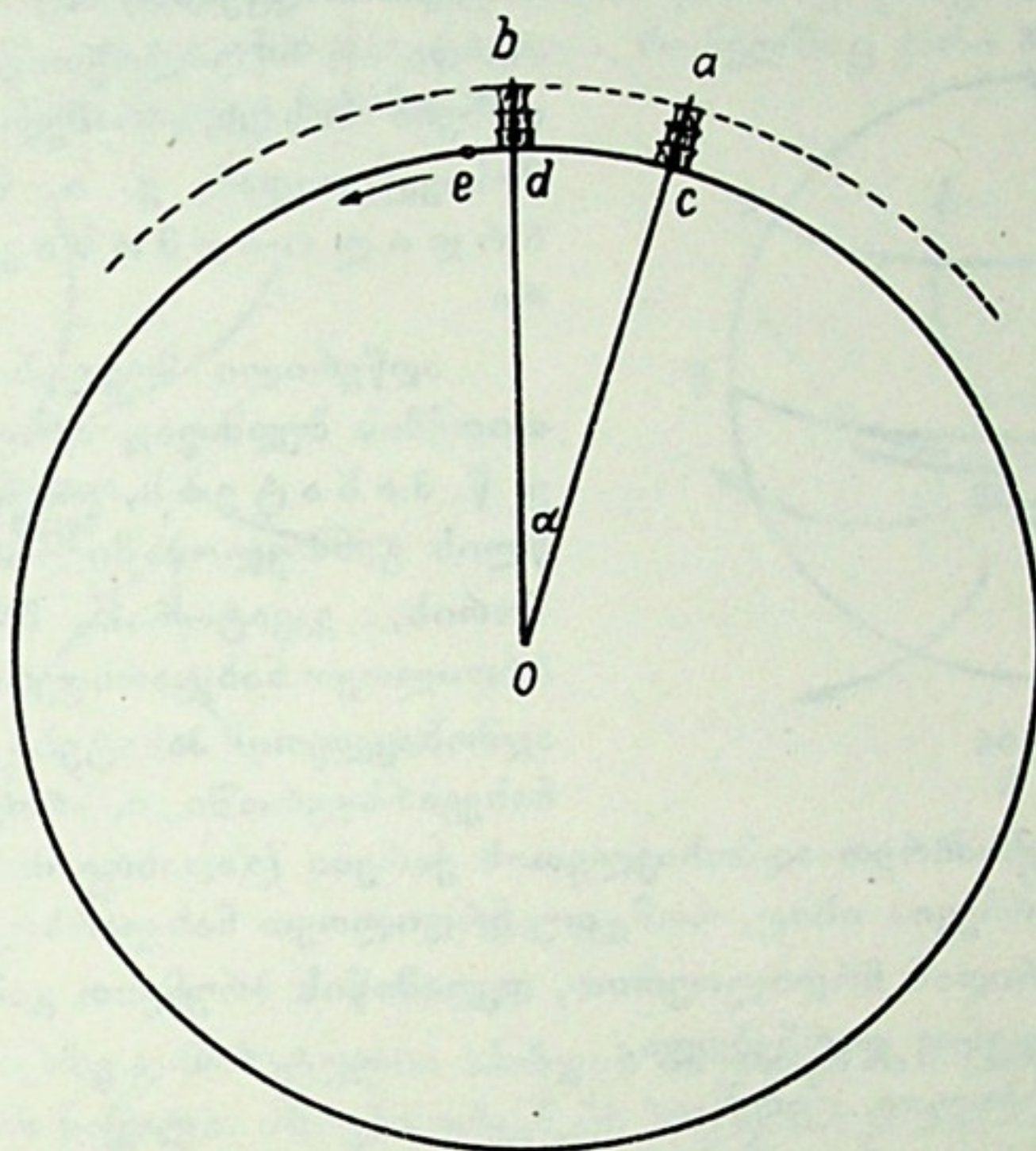
მოიპოვება თუ არა ისეთი ფაქტები, რომლებიც ამტკიცებს დედამიწის ბრუნვითს მოძრაობას? მოიპოვება და რამდენიმეც.

ერთ-ერთი მათგანია ვარდნილი სხეულების გადახრა აღმოსავლეთით. დიდი სიმაღლიდან, მაგალითად, მაღალი კოშკის თავიდან ჩამოვარდნილი სხეული სიმძიმის ძალის გავლენით ვერტიკალურად უნდა დაეშვას. სინამდვილეში კი თავისუფლად ვარდნილი სხეული შვეული მიმართულებიდან ოდნავ გადაიხრება აღმოსავლეთით. ეს გადახრა დედამიწის ბრუნვის შედეგია. მართლაც, 165-ე ნახაზი წარმოადგენდეს დედამიწას ისე, რომ მისი ბრუნვის ღერძი ნახაზის სიბრტყის მართობული იყოს და წრეწირი შეესაბამებოდეს დედამიწის ეკვატორს. ისარი მიუთითებს ბრუნვის მიმართულებას. რაც უფრო დიდია წრეწირის რადიუსი, მით უფრო გრძელია რკალი, რომელიც ერთი და იმავე სიდიდის ცენტრალურ კუთხეს შეესაბამება. სახელდობრ,  $ab$  რკალი უფრო გრძელია, ვიდრე  $cd$  რკალი. თუმცა ორივე შეესაბამება ერთსა და იმავე  $\alpha$  კუთხეს, რომლის წვერო დედამიწის ცენტრში,  $O$  წერტილშია.  $cd$  დედამიწის ზედაპირზე აღებული რკალია,  $ab$ —კოშკის თავის სიმაღლეზე აღებული რკალი. დედამიწის ბრუნვისას კოშკის თავის სიმაღლეზე წრფივი სიჩქარე უფრო მეტია, ვიდრე კოშკის ფუძეზე ანუ დედამიწის ზედაპირზე.

კოშკის თავის  $a$  წერტილიდან ფრთხილად, ყოველგვარი ბიძგის გარეშე, ჩამოვავდეთ რაიმე საგანი—ქვა ან ლითონის ბურთი. სიმძიმის მოქმედებით იგი დაეშვება ქვემოთ, მაგრამ, ამავე დროს, ინერციის გამო იგი შეინახუნებს იმ წრფივ სიჩქარეს ბრუნვის მიმართულებით, რომელიც  $a$  წერტილში ჰქონდა. იმ მომენტში, როცა ჩამოვადებული საგანი დედამიწის ზედაპირს ჩამოაღწევს, კოშკი, დედამიწის ბრუნვის გამო, მოვა  $bd$  მდებარეობაში; კოშკის ფუძე  $d$ -ში გადაადგილდება; ჩამოვადებული საგანი, მის ფარდობით მოძრაობაში, ერთი მხრივ, გაივლის მთელი კოშკის  $bd$  სიმაღლეს, მაგრამ ინერციის გამო აგრეთვე ბრუნვის მიმართულების გასწვრივ გაივლის არა  $cd$  რკალს, არამედ  $ab$  სიგრძის რკალს და საბოლოოდ აღმოჩნდება  $e$  წერტილში ( $ce = ab$ ). ამგვარად, იგი კოშკის ძირში კი არ იქნება, არამედ მის აღმოსავლეთით. რა თქმა უნდა, ეს დაშო-



რება ანუ გადახრა აღმოსავლეთით ძალიან მცირეა, სახელდობრ, 100 მეტრ სიმაღლეზე 2 სანტიმეტრს თუ აღწევს, მაგრამ ფაქიზად დაყენებული ექსპერი-



ნახ. 165

მენტი ამ გადახრას ამჟღავნებს და მისი ახსნა დედამიწის ბრუნვის ეფექტით სრულიად ლოგიკურია.

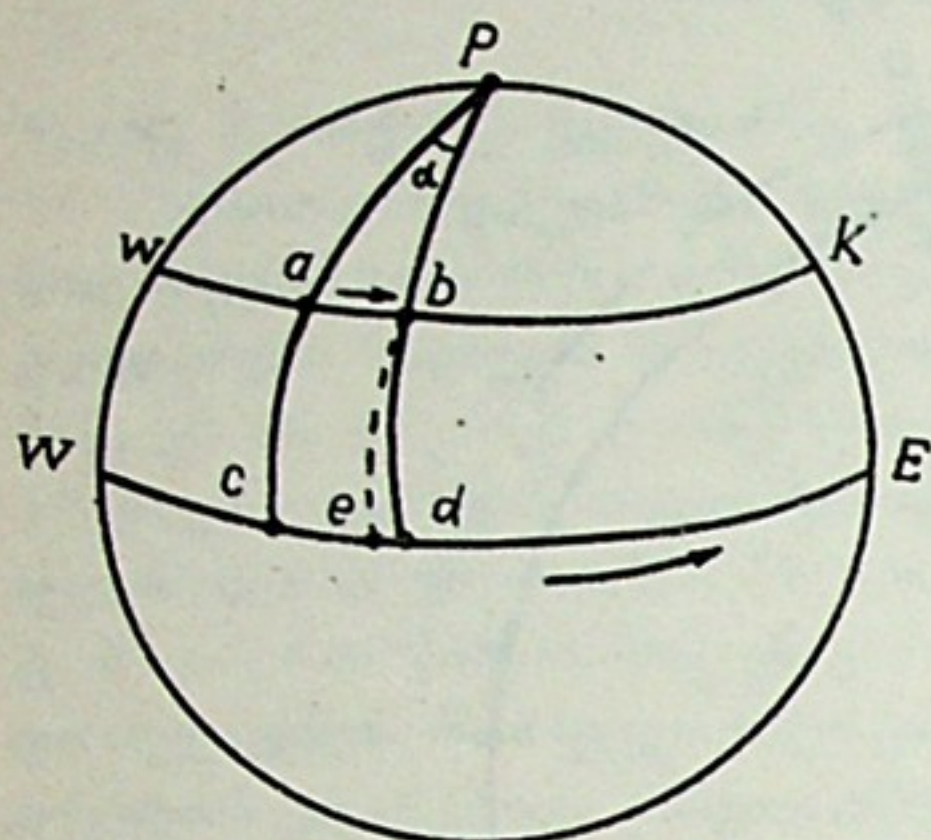
დედამიწის ბრუნვის მეორე მტკიცება შეგვიძლია ვიპოვოთ პასატების, ციკლონებისა და ანტიციკლონების მოვლენებში. ჰაერის მასები, მას შემდეგ, რაც ეკვატორის ცხელ ზოლში თბება, მსუბუქდება, ზევით იწევს, და დინებას იწყებს ჩრდილოეთით და სამხრეთით. მათ ადგილს იკავებს ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან ეკვატორისაკენ მომდინარე ცივი და, მაშასადამე, უფრო მძიმე მასები. მაგრამ ეს მასები პერიდიანის მიმართულებას კი არ მიჰყვება, არამედ ერთგვარად გადაიხრება ამ მიმართულებიდან.

ვთქვათ, 166-ე ნახაზი დედამიწას წარმოადგენს.  $P$  ჩრდილოეთი პოლუსია,  $WE$ —ეკვატორი;  $wk$  რომელიღაც ჩრდილოეთი პარალელია. რაიმე წერტილის წრფივი სიჩქარე  $wk$  პარალელზე ნაკლებია, ვიდრე ეკვატორზე. თუ  $a$  წერტილიდან რაიმე ნაწილაკი ან, ჩვენს შემთხვევაში, ჰაერის მასა დინებას იწყებს ეკვატორისაკენ, ინერციის გამო იგი ცდილობს შეინარჩუნოს ის სიჩქარე და მიმართულება, რაც  $a$  წერტილში ჰქონდა ( $wk$  პარალელის შესაბამისი სიჩქარე). ვთქვათ, იმ მომენტისათვის, როცა იგი ეკვატორზე დაეშვა, დედამიწამ მოასწრო მობრუნება აღმოსავლეთით  $\alpha$  კუთხით და პერიდიანმა, რომელზეც  $a$  მასა იყო, ახლა  $pbd$  მდებარეობა მიიღო. ჰაერის მასა ასრულებდა ორ მოძრაობას: დინებას ეკვატორისაკენ და—ინერციით—ბრუნვითს მოძრაობას აღმოსავლეთით, დედამიწასთან ერთად. მაგრამ ამ უკანასკნელი მოძრაობის სიჩქარე  $ab$  სიდიდისაა,





რაც  $ce$ -ს ტოლია;  $ce$  ნაკლებია, ვიდრე  $cd$ . ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰაერის მასა არ გამოჰყვა ზუსტად მერიდიანს, არამედ გადაიხარა მოძრაობის მიმართულების მარჯვნივ. დამკვირვებლის, რომელიც  $c$  წერტილშია (ეკვატორის მცხოვრები), წარმოდგენით, ჰაერის მასა (ქარი) პირდაპირ ჩრდილოეთიდან კი არ მოედინება მისკენ, არამედ—ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან, ე. ი. მისთვის ქრის ჩრდილო-აღმოსავლეთის ქარი.



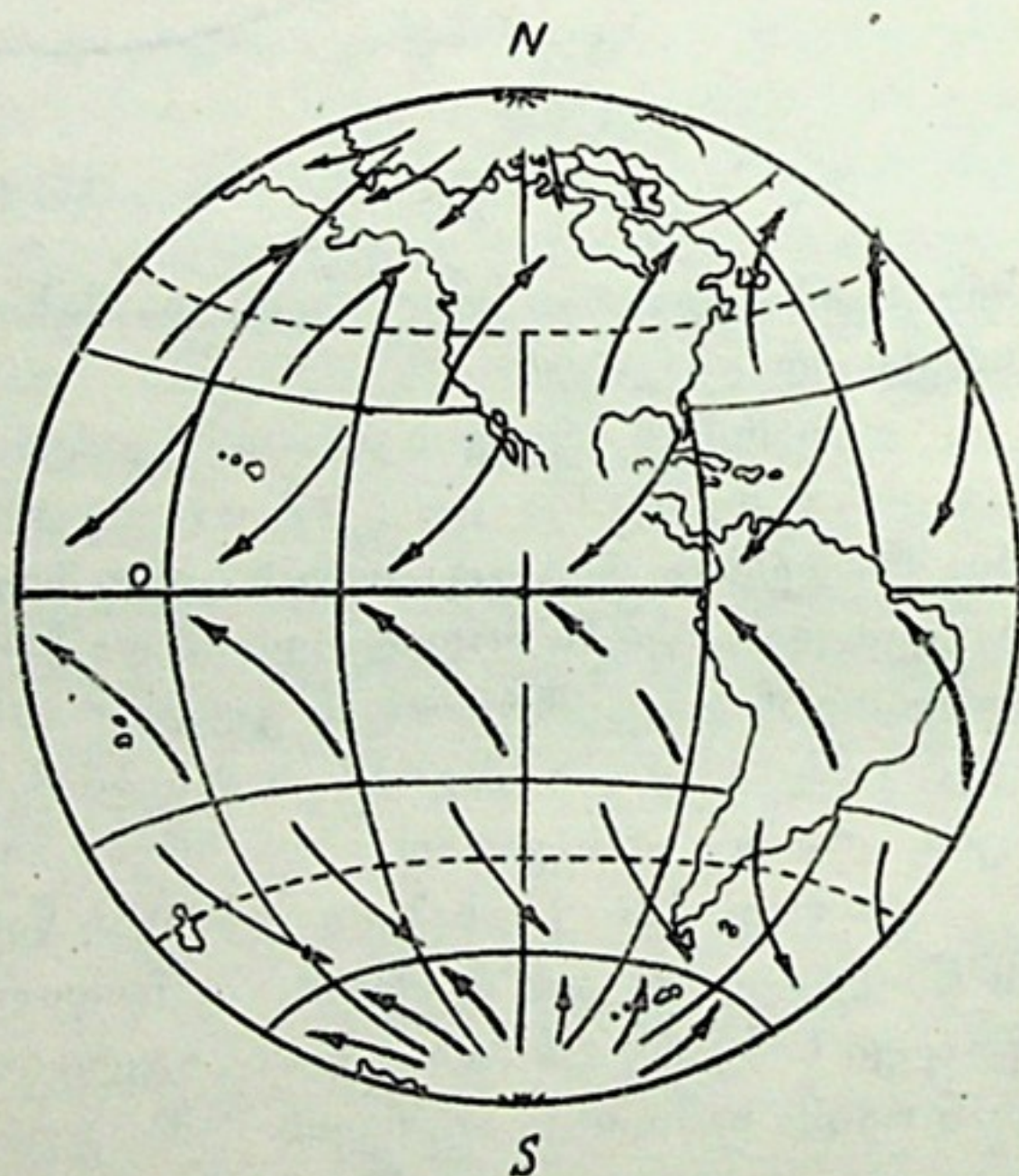
ნახ. 166

აღწერილი მოვლენა წარმოშობს თითქმის მუდმივად მქროლავ ქარებს—ე. წ. პასატებს, რომლებიც მთელი წლის განმავლობაში ქრის ტროპიკებს შორის, ეკვატორის მიმართულებით. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ჩრდილო-აღმოსავლეთის პასატები ქრის, სამხრეთ ნახევარსფეროში კი,—როგორც ეს ადგი-

ლად გასარჩევია, სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარები (გადახრა მარცხნივ).

ადვილი გასარჩევია ისიც, რომ, თუ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში დინება იქნებოდა ეკვატორიდან ჩრდილოეთით, დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული გადახრა კვლავ მარჯვნივ დარჩებოდა.

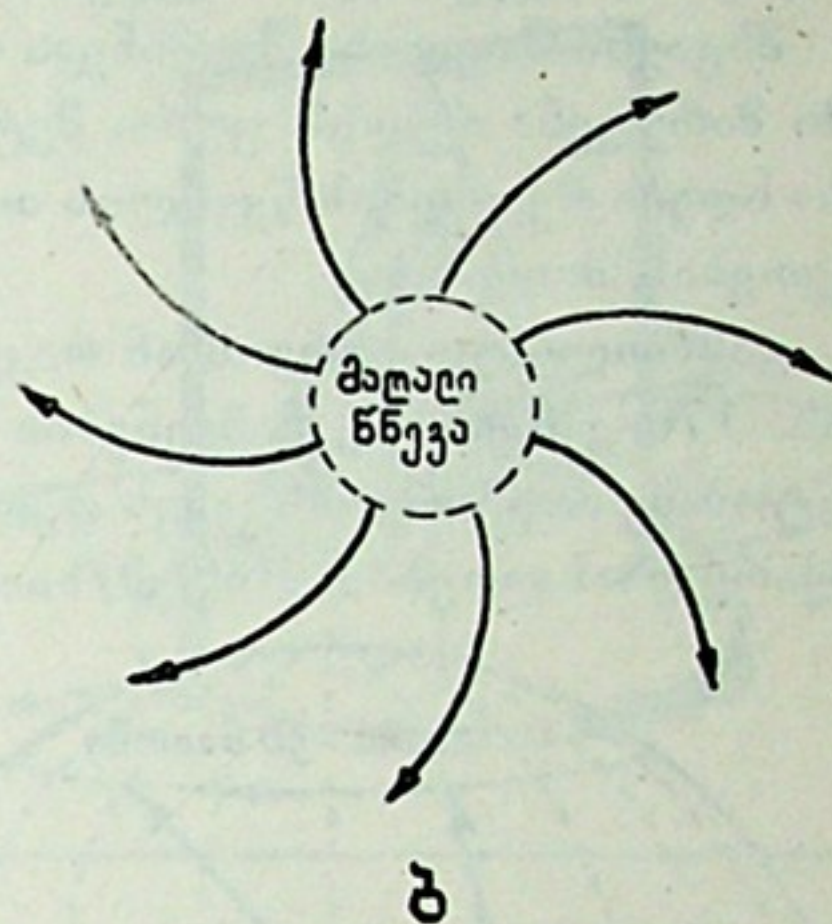
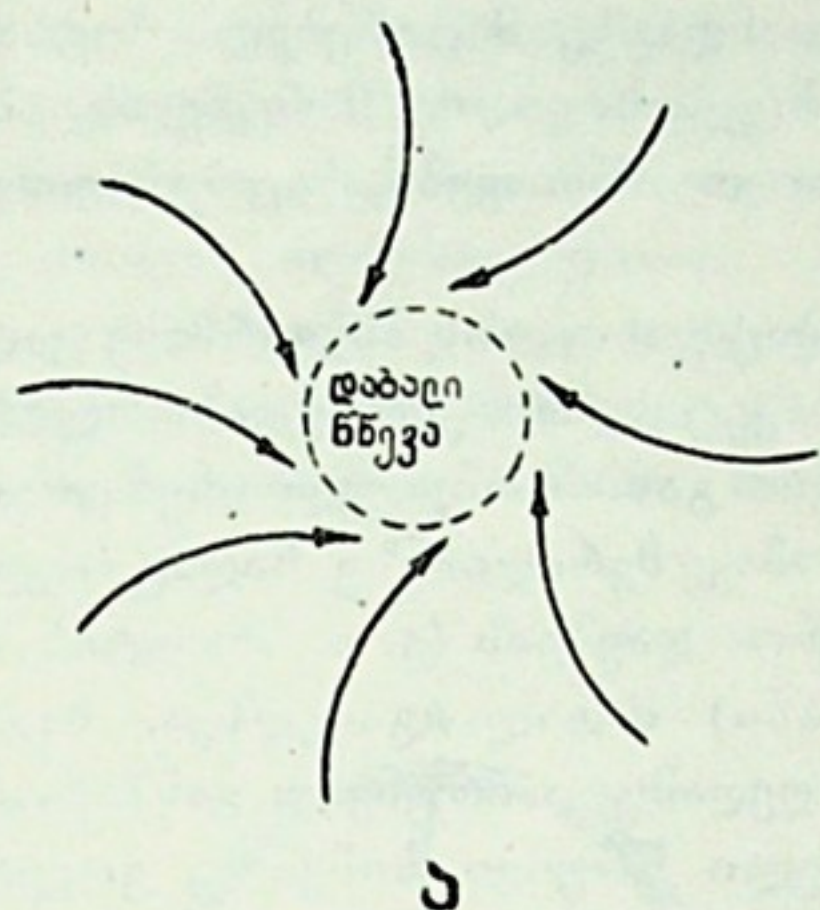
როგორც ცნობილია, ამინდის ვითარებაზე დიდ გავლენას ახდენს ე. წ. ციკლონები და ანტიციკლონები. ციკლონი არის ისეთი ატმოსფერული არე, სადაც წნევა ნორმალურზე დაბალია; ციკლონის ცენტრში წნევის მინიმუმი. აქეთკენ, გაიშვიათებული ჰაერის არეში, მოისწრაფვის მეზობლად მდებარე უფრო მკვრივი ჰაერის მასები. მაშასადამე, ქარი ყოველი მხრიდან ციკლონის ცენტრისაკენ ქრის. დედამიწა რომ არ ბრუნავდეს, ჰაერის ეს მასები პირდაპირ ნორმალულების მიმართულებით შემოიჭრებოდა ციკლონის წრეწირით შემოსაზღვრული არის ცენტრში. მაგრამ დედამიწის ბრუნვა აიძულებს ჰაერის მასებს გადაიხარონ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მარჯვნივ, როგორც ეს ზემოაღწერილ მოვლენაშია. ამის შედეგად იქმნება სპირალური გრიგალი, რომელშიც ქარი ციკლონის ცენტრის გარშემო საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით ქრის (ნახ. 168 ა).



ნახ. 167



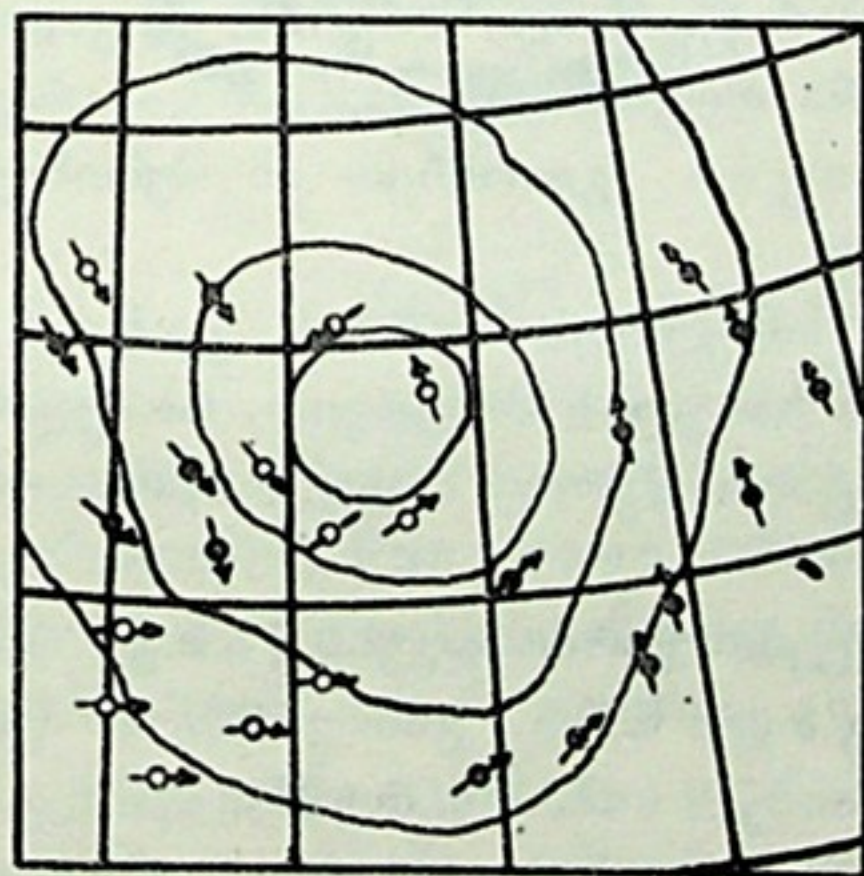
ანტიციკლონში ანუ მაღალი ატმოსფერული წნევის არეში, პირუ-  
კუ,—რაკი ცენტრში მაქსიმალური წნევაა, ჰაერის მასები იქიდან გარეთ გაიჭრე-  
ბა, მაგრამ არა რადიალურად, არამედ, დედამიწის ბრუნვის გამო, მიმართულების  
მარჯვნივ გადახრით და იქმნება გრივალის, რომელშიც ქარი საათის ისრის მი-  
მართულებით ქრის (იგივე ნახაზი, ბ).



ნახ. 168

169-ე ნახაზზე გამოხატულია ამინდის ბიუროებში ხმარებული ე. წ. სინო-  
პტიკური რუკის ნაწილი. ისრები უჩვენებს სხვადასხვა პუნქტში მქროლავი ქა-  
რის მიმართულებებს. ადვილი მისახვედრია, რომ რუკა ციკლონის მდებარეობას  
გამოხატავს.

მდინარის წყალი, რომელიც, მაგალითად, ჩრდილოეთიდან სამხრეთით მი-  
ედინება, გადადის იმ ადგილებში, სადაც დედამიწის ზედაპირზე სულ უფრო და



ნახ. 169

უფრო მეტი წრფივი სიჩქარეა, აღმოსავ-  
ლეთით მიმართული. ამიტომ, იმავე პი-  
რობებში, როგორც ეს ზემოთ ვნახეთ,  
წყალი სულ უფრო და უფრო უნდა ჩა-  
მორჩებოდეს მდინარის კალაპოტს და  
სავლეთით (მოდრაობის მარჯვნივ)  
და, მაშასადამე, ჩრდილოეთ ნახევარ-  
სფეროში მდინარე მეტ დაწოლას უნდა  
ახდენდეს მის მარჯვენა ნაპირზე, რის  
შედეგად მარჯვენა ნაპირი უნდა ჩამო-  
ირეცხებოდეს.

ადვილია იმის ჩვენება, რომ ამ  
მოვლენას იმ შემთხვევაშიც აქვს ადგი-  
ლი, როცა მდინარე მერიდიანს კი არ

მიჰყვება, არამედ პარალელის გასწვრივ ან რაიმე სხვა მიმართულებით მიედინე-  
ბა. მაგრამ მერიდიანის მიმართულებით მდებარე მდინარის შემთხვევაში აღწე-  
რილი ეფექტი მაქსიმალურია.

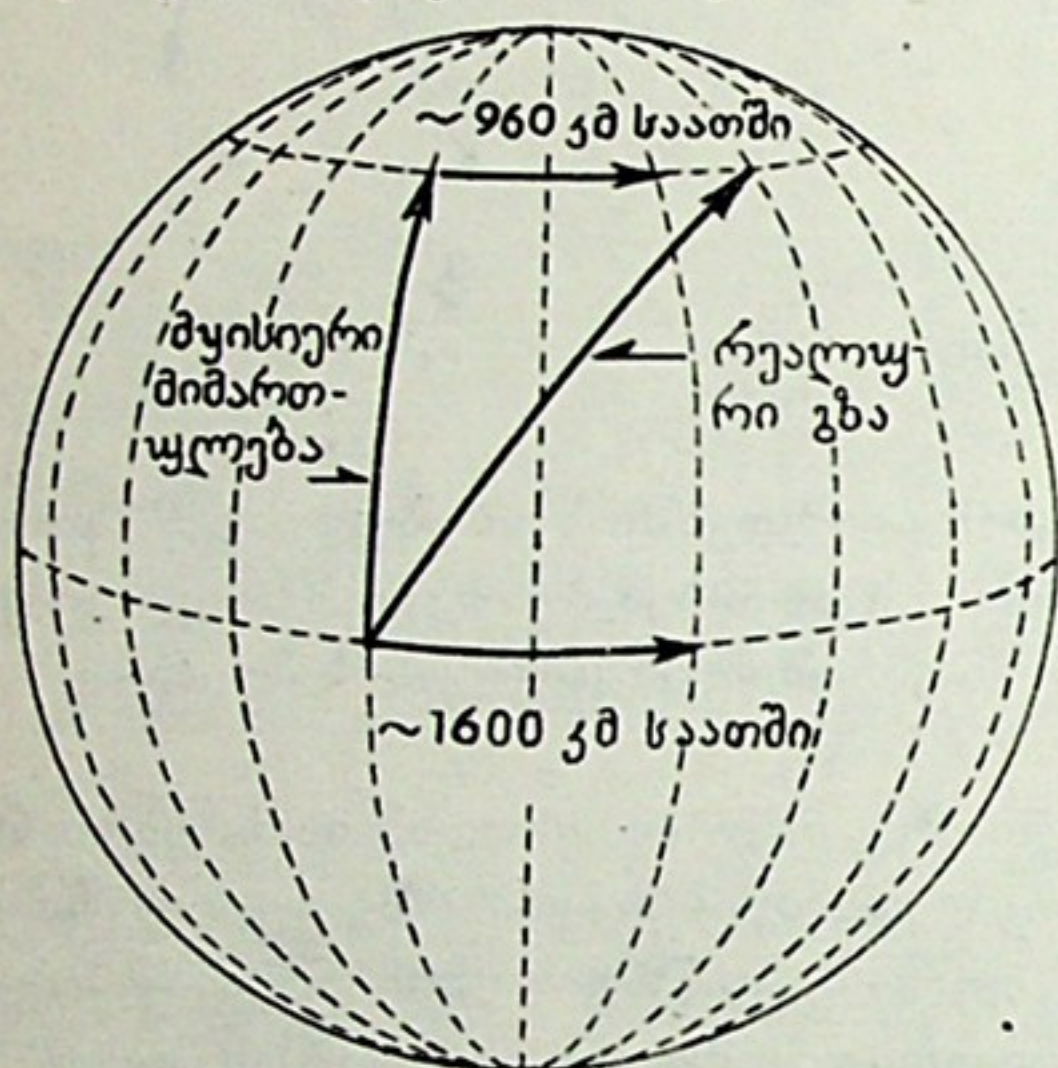
თუ მდინარე სამხრეთიდან ჩრდილოეთით მიედინება, ადვილი მოსაფიქრე-  
ბელია, რომ კვლავ მარჯვენა, მაგრამ ახლა აღმოსავლეთი ნაპირის ჩა-  
მორეცხვა ხდება.



თუმცა აქ აღწერილი დაწოლა წყლის ნაწილაკებისა მდინარის ნაპირზე მცირეა, ხანგრძლივი და განუწყვეტელი მოქმედების გამო ეს მაინც შესაძლებელია კვალს ტოვებს და მდინარის კალაპოტი სულ უფრო და უფრო მარჯვნივ გადადის (ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში). ამიტომ მდინარეებში მარჯვენა ნაპირები ამაღლებული და კბილოვანია, ხოლო მარცხენა—დაბალი. მდინარეები ვოლგა და დნეპრი აღწერილი მოვლენის კარგ ილუსტრაციას წარმოადგენენ.

მსგავსი მოვლენა შეიმჩნევა რკინიგზის ლიანდაგზე: მატარებელი მოძრაობაში მარჯვენა რელსს უფრო მეტად და ადრე სცვეთს, ვიდრე მარცხენას. ამის გამო ხდება რელსების წყვილის თანდათანობითი გაფართოვება, რაც პერიოდულ შეკეთებას მოითხოვს.

გასროლილი ჭურვის ან რაკეტის მოძრაობაც განიცდის ამგვარსავე გადახრას. 170-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მაგალითი: რაკეტას, რომელიც გასროლამდე ეკვატორზე მდებარეობს, აქვს დედამიწის ბრუნვით განპირობებული ინერციული სიჩქარე დაახლოებით 1600 კმ/საათში; პუნქტი იმავე პერიდიანზე, სადაც რაკეტა



ნახ. 170

უნდა დაეშვას (ე. ი. რაკეტის მიზანი) მაღალ განედზე, სადაც დედამიწის ბრუნვით განპირობებული წრფივი სიჩქარე, ვთქვათ, 960 კმ-ია საათში. პერიდიანულად გასროლილი რაკეტა მარჯვნივ გადაიხრება და მიზანს აღმოსავლეთით გაუსწრებს.

ყველა ეს მოვლენა, რომლებიც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით და მის დამტკიცებას იძლევა, ცხადია, სამხრეთ ნახევარსფეროშიც იქნეს თავს, მაგრამ პირუკუ მიმდინარეობს: იქ გადახრა, როგორც ეს ადვილი გასარკვევია, როგორც ეს ადვილი გასარკვე-

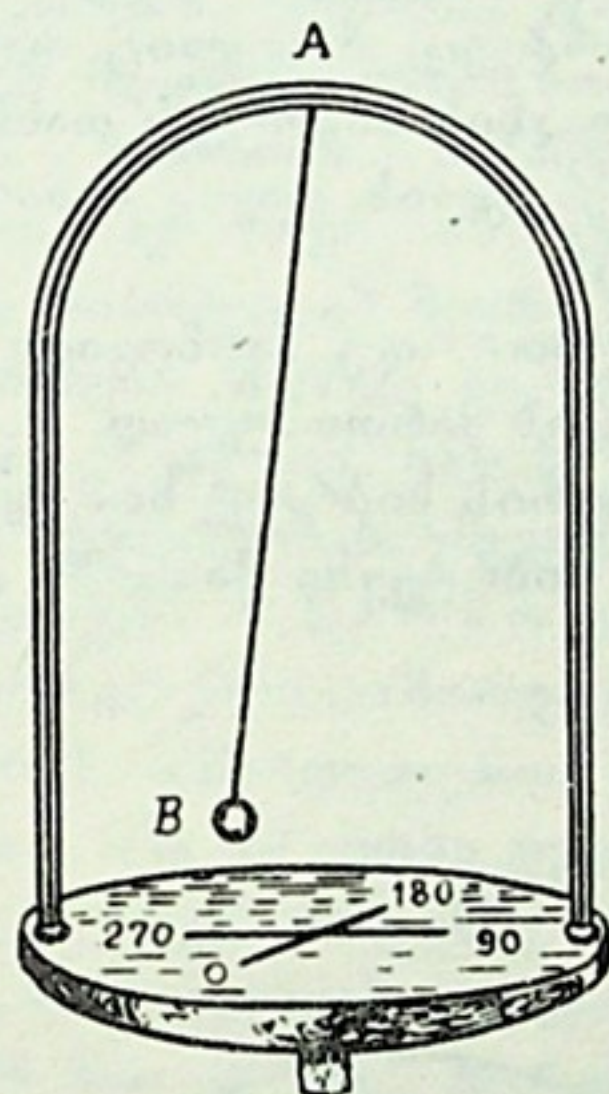
ვია, მოძრაობის მიმართულების მარცხნივაა (გაარჩიეთ ეს შემთხვევა და დარწმუნდით მტკიცების სისწორეში).

აქ აღწერილი მოვლენები ერთი საერთო სახელით—ბერიის კანონითაა ცნობილი რუსი აკადემიკოსის კ. ბერიის სახელის მიხედვით, რომელმაც ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში ყურადღება მიაქცია აღწერილ შედეგებს, როგორც ერთი მიზეზით გამოწვეულ მოვლენებს.

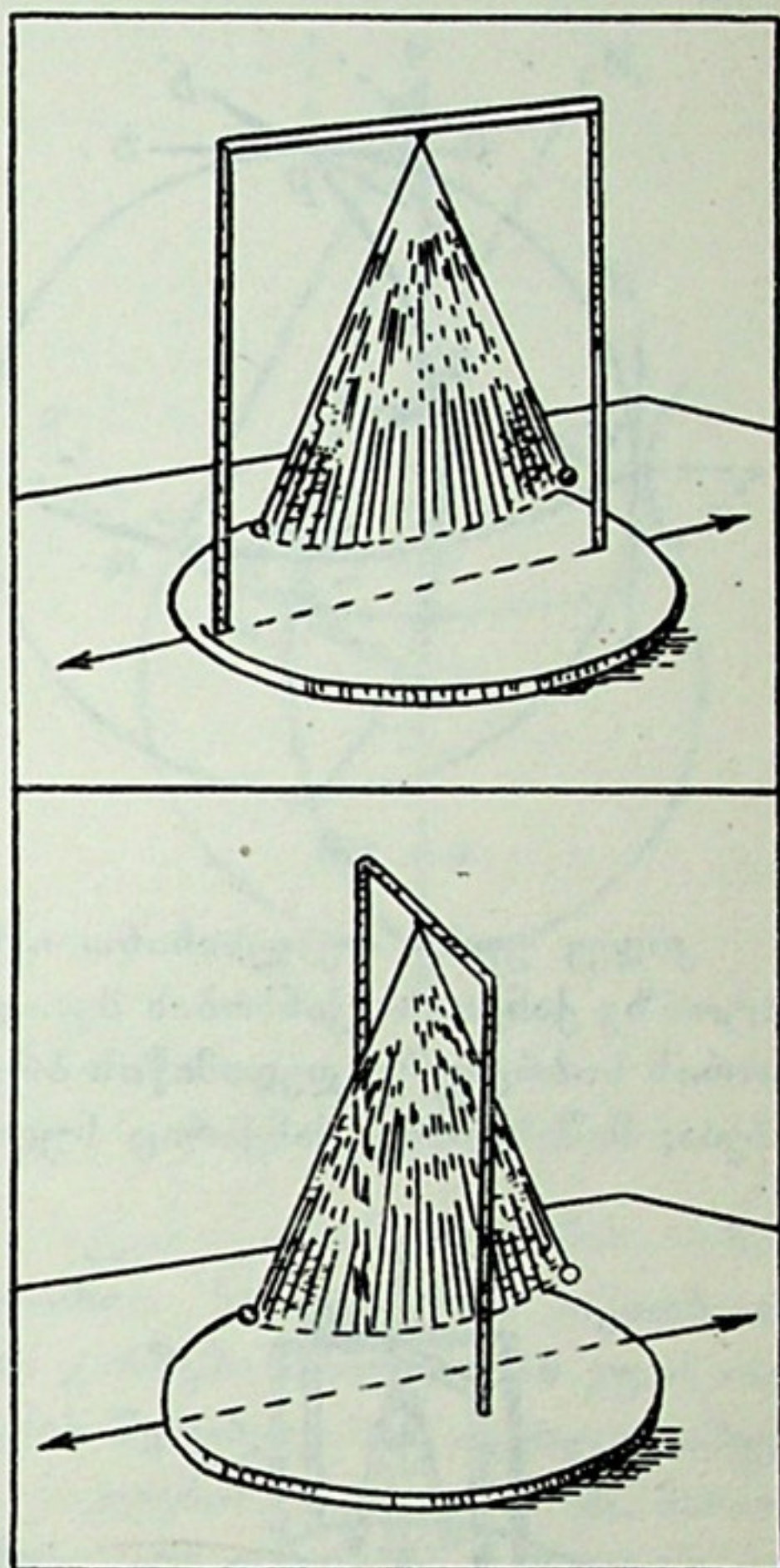
დედამიწის ბრუნვის თვალსაჩინო დამტკიცებას წარმოადგენს ქანაობის სიბრტყის ხილული გადახრა. გამოვაბაო A წერტილში (ნახ. 171) თოკი და დავკიდოთ მასზე რაიმე B სიმძიმე. თუ B-ს უბიძგებთ რომელიმე მიმართულებით, ტვირთგამობმული თოკი ქანაობას დაიწყებს ვერტიკალურ სიბრტყეში, რომელიც თანხვედრა ბიძგის მიმართულებას და რომელშიც ამავე დროს A-ზე გამავალი შვეული მდებარეობს. ახლა ფრთხილად მოვაბრუნოთ ჩარჩო, რომლის ზედა ნაწილზე ჰკიდია ქანქარა. ვნახავთ, რომ ქანაობის სიბრტყე მიმართულებას არ შეიცვლის, თოკი კი დაიგრიხება. ეს ინერციის თვისებითაა განპირობებული (იხ. აგრეთვე 172-ე ნახაზი, სადაც ნაჩვენებია მობრუნებული ჩარჩო და ქანაობის სიბრტყის უცვლელობა).



ავიღოთ ახლა უფრო გრძელი და მძიმე ქანქარა, გამობმული, მაგალითად, მაღალი დარბაზის ჭერქვეშ. დავაწყებინოთ მას ქანაობა გარკვეული მიმართულებით მიცემული ბიძგით; თუ დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ ქანქარის ქანაობის სიბრტყე თანდათან საათის ისრის მიმართულებით შემობრუნდება. ეს მოჩვენებითია; სინამდვილეში ქანაობის სიბრტყე ამ ცდაშიც უცვლელია და მაინც გვეჩვენება მისი მობრუნება, რაც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ასეთი ცდა დიდ ქანქარაზე პირველად გასულ საუკუნეში ჩაატარეს. გრძელი და მძიმე ქანქარა ხელსაყრელია მით, რომ იგი



ნახ. 171



ნახ. 172

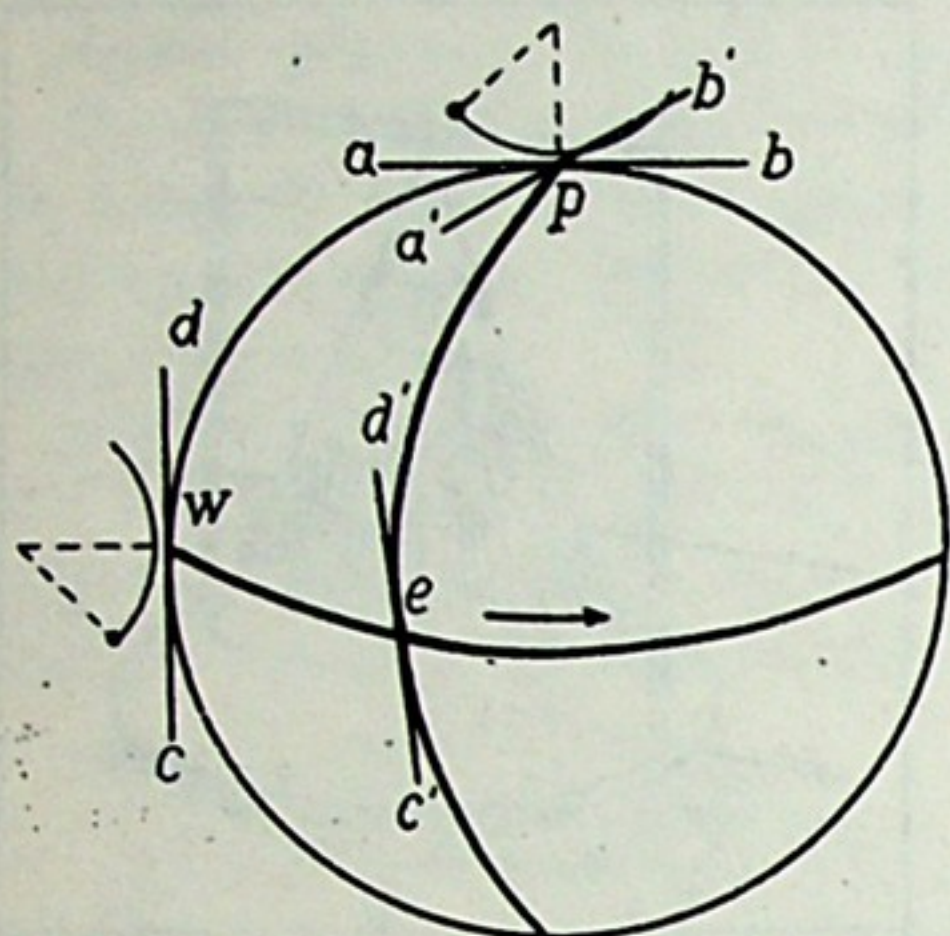
ნელა, დიდი ამპლიტუდით და ხანგრძლივად ქანაობს; საკმარისია დავაკვირდეთ სულ რამდენიმე წუთს და თვალნათლივ დავინახავთ, რომ ქანაობის სიბრტყე განუწყვეტლივ და თანდათანობით მობრუნდება ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ საათის ისრის მიმართულებით ანუ აღმოსავლეთიდან დასავლეთით.

ეს მოვლენა აუხსნელი და მექანიკის ძირითად კანონებთან უთანხმოებაში იქნებოდა, დედამიწა რომ უძრავად ჩავგეთვალა. პირიქით, იგი მარტივად ასახსნელია, როცა გამოვდივართ იმ დებულებიდან, რომ დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ დღე-ღამის განმავლობაში.

ვთქვათ, რომ ქანქარა ქანაობს დედამიწის პოლუსზე  $pw$  მერიდიანის სიბრტყეში (ნახ. 173 და ნახ. 174). დედამიწის დღეღამური ბრუნვის მიმართულება ნაჩვენებია ისრით. ამ ბრუნვის გამო  $ab$  ხაზი, რაც  $pw$  მერიდიანის მხებს წარმოადგენს  $p$  წერტილში, მობრუნდება პოლუსის გარშემო ყოველ საათში  $15^\circ$ -ით, რამდენადაც დედამიწა სრულ მობრუნებას  $360^\circ$ -ით 24 საათს ანდომებს. მაშასა-



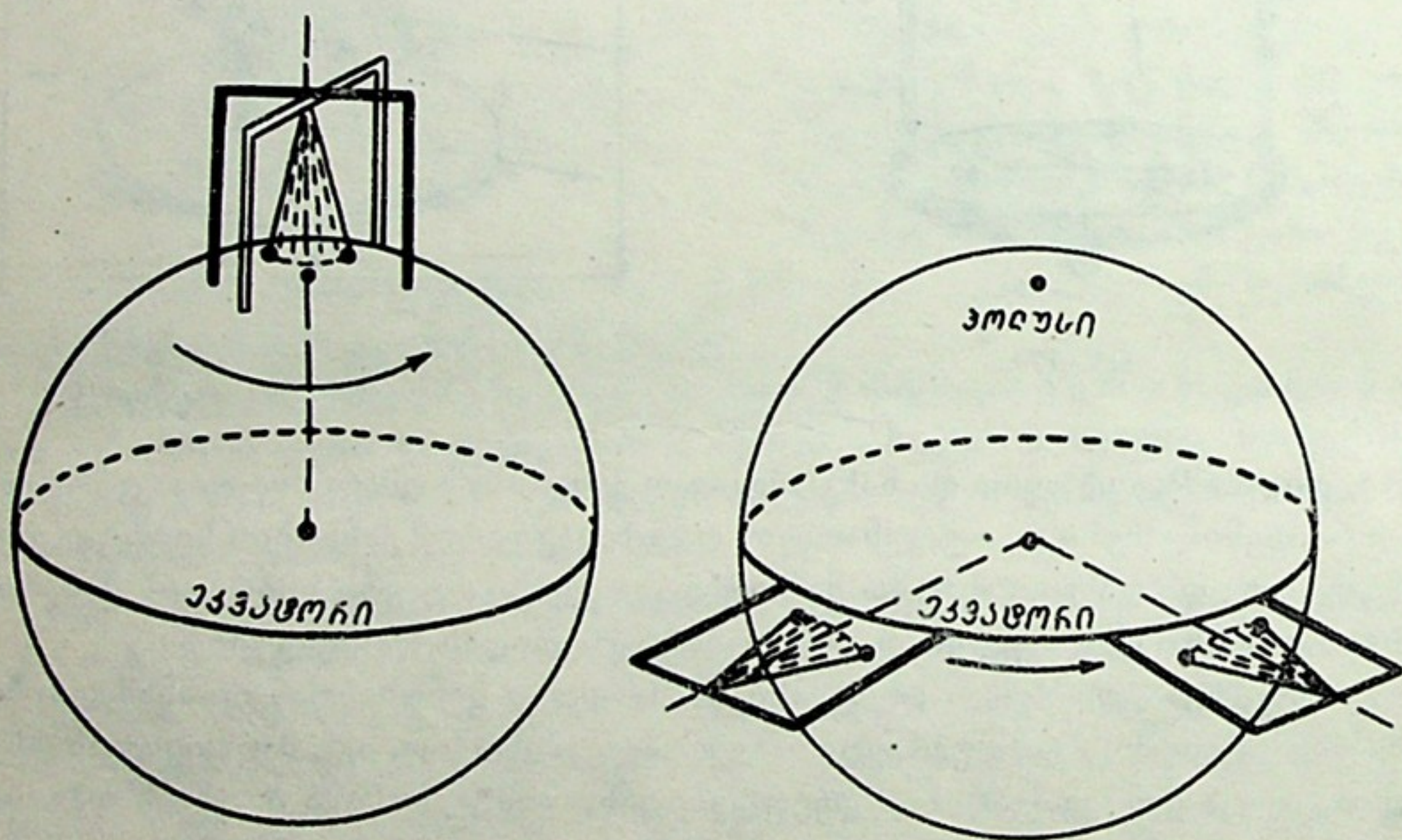
დამე, 1 საათის შემდგომ  $ab$  ხაზი მიიღებს  $a'b'$  მდებარეობას, ქანქარა კი იმავე  $ab$  სიბრტყეში განაგრძობს ქანაობას. დამკვირვებელი ვერ აღიქვამს დედამიწის ბრუნვითს მოძრაობას; იგი თვითონ მიჰყვება ამ ბრუნვაში დედამიწას და მოტრიალდება  $a'b'$ -თან ერთად და ამიტომ მას ისე წარმოუდგენია, თითქოს ქანქარას ქანაობის სიბრტყე გადაიხარაო და სავლეთით (საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით)  $a'pa$  კუთხით. რაკი 1 საათში დედამიწა  $15^\circ$ -ით მობრუნდება, უკვე 4 წუთის დასასრულს შეამჩნევს დამკვირვებელი ქანქარას გადახრას  $1^\circ$ -ით.



ნახ. 173

სხვა სურათია დედამიწის ეკვატორზე. რადგანაც აქ მერიდიანის  $cd$  მხები დედამიწის ბრუნვისას პარალელურად გადაინაცვლებს, ქანქარას ქანაობის სიბრტყეც, რომელიც თავიდანვე  $pw$  მერიდიანის სიბრტყეს თანხვდებოდა, არ შეიცვლის თავის მიმართულებას ( $c'd'$ ).

კიდევ უფრო თვალსაჩინო იქნება ეს მაგალითი, თუ წარმოვიდგენთ ეკვატორზე ქანქარას ქანაობას მერიდიანის სიბრტყის მართობულად, ე. ი. ეკვატორის სიბრტყეში. დედამიწის ბრუნვისას ეკვატორის სიბრტყე ხომ უცვლელი რჩება; მაშასადამე, ქანქარაც სულ ამ უცვლელ სიბრტყეში ქანაობს და მისი



ნახ. 174

ქანაობის სიბრტყე მუდამ მერიდიანის მართობულია, მობრუნებას აღვილი არა აქვს.

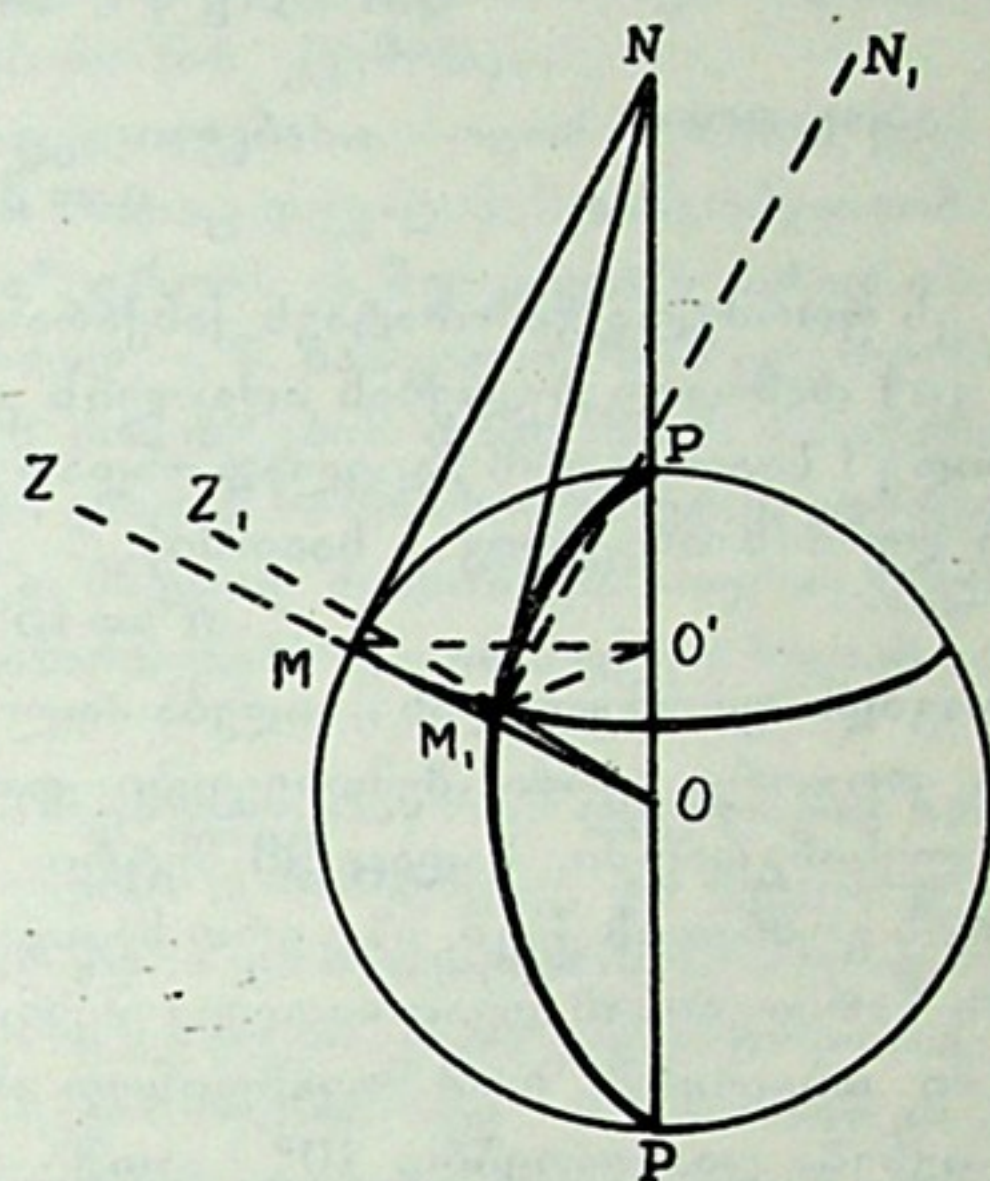
ამგვარად, ეკვატორზე ქანქარას სიბრტყის შეფარდებითი გადახრა ნულია, ხოლო პოლუსზე—საათში  $15^\circ$ . შუალედ განედებზე მისი ქანაობის სიბრტყე გა-



დაიხრება მერიდიანის სიბრტყიდან რაღაც შუალედი სიდიდით და მით უფრო მეტად, რაც უფრო ახლოა ცდის ადგილი პოლუსთან.

განვიხილოთ ქანქარას ქანაობის ვითარება რომელიმე საშუალო განედზე და გამოვიყვანოთ ზოგადი სახის ფორმულა, რომელიც ქანაობის სიბრტყის გადახრის სიდიდეს განედთან აკავშირებს.

თქვათ, რომ ქანქარას, რომელიც  $M$  წერტილში ჰკიდია (ნახ. 175), მივანიჭეთ მოძრაობა (ქანაობა) შუადღის ხაზის ანუ  $MN$  მერიდიანის გასწვრივ. იგი დაიწყებს ქანაობას  $MNO$  ანუ  $ZMN$  მერიდიანის სიბრტყეში. მაგრამ, გარკვეული დროის შემდგომ ადგილის შუადღის ხაზი, რომელიც, საერთოდ, დედამიწის ბრუნვისას აღწერს კონუსს, წვეროთი  $N$ -ში, მოვა  $M_1N$  მდებარეობაში. ხოლო ქანქარას ქანაობის სიბრტყის ინერციით შენარჩუნების გამო, ქანაობის სიბრტყე ამ მეორე მომენტში იქნება  $M_1N_1Z_1$  და აღარ თანხვდება შუადღის ხაზის ახლანდელ მდებარეობას. ამგვარად, დამკვირვებელს წაჩნდება,



ნახ. 175

გეგმა, რომ ქანქარა დაშორდა მერიდიანის სიბრტყეს, ვადაიხარა რა მისგან საათის ისრის მიმართულებით  $NM_1N_1 = \alpha$  კუთხით. საინტერესოა ვიკითხოთ, ტოლია თუ არა ეს კუთხე დედამიწის ღერძის გარშემო მობრუნების კუთხისა, როგორც ეს ხდება პოლუსზე წარმოებული ცდის შემთხვევაში? ადვილი საჩვენებელია, რომ კუთხეები ტოლი არაა.  $NM_1N_1$  ნაკლებია, ვიდრე  $MO'M_1$ ; მართლაც,  $NM_1N_1 = MNM_1$ , მაგრამ  $MNM_1$  წარმოადგენს კონუსის მსახველის ორ მდებარეობათა შორის კუთხეს და ის ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე  $MO'M_1$  კუთხე, რომელიც კონუსის ფუძის შესაბამის რადიუსებს შორისაა.

თუ  $MN$  და  $M_1N$  მსახველების ერთიმეორისაგან დაშორებას საკმარისად მცირედ ავიღებთ, მაშინ კონუსის ზედაპირის ელემენტი  $MNM_1$  შეგვიძლია ჩავთვალოთ ბრტყელად;  $MM_1$ , როგორც სიბრტყეში გაშლილი კონუსის ზედაპირის რკალი, შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\frac{2\pi MN}{360} \alpha.$$

ამავე დროს,  $MM_1$  როგორც  $MO'$  რადიუსით შემოწერილი წრეწირის რკალი, ტოლია:

$$\frac{2\pi MO'}{360} \beta.$$

სადაც  $\beta$  არის დედამიწის მობრუნების  $MOM_1$  კუთხე. გავუტოლებთ რა ამ ორ გამოსახულებას ერთიმეორეს და მოვახდენთ სათანადო შეკვეცებს, მივიღებთ:

$$MN \cdot \alpha = MO' \cdot \beta.$$



მაგრამ  $MN = OM \operatorname{ctg} \varphi$  და  $MO' = OM \cos \varphi$  და, რაც გამოდინარეობს  $OMN$  და  $OMO'$  სამკუთხედების განხილვიდან, რომლებშიც წვეროთი  $O$  წერტილში მდებარე კუთხე ტოლია  $(90^\circ - \varphi)$ -სა, სადაც  $\varphi$  ადგილის განედია.

ამიტომ გვექნება:

$$OM \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot \alpha = OM \cdot \cos \varphi \cdot \beta$$

და, საბოლოოდ:

$$\alpha = \beta \sin \varphi.$$

ეს ფორმულა გამოხატავს ქანქარას ქანაობის სიბრტყის მობრუნების კუთხის ( $\alpha$ ) დამოკიდებულებას ადგილის განედზე. თუ გვაინტერესებს ამ კუთხის სიდიდე 1 საათში,  $\beta$ -ს ნაცვლად უნდა ჩავსვათ  $15^\circ$  (ამდენით მობრუნდება დედამიწა დერძის ირგვლივ 1 საათში):

$$\alpha' = 15^\circ \cdot \sin \varphi.$$

ამ ზოგადი ფორმულიდან მიიღება პოლუსსა და ეკვატორზე დაკვირვების შედეგები, როგორც კერძო შემთხვევები:  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\alpha' = 15^\circ$ ;  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\alpha' = 0$ .

ლენინგრადში, სადაც 98 მეტრი სიგრძის ქანქარა ჰკიდია ე. წ. ისაკის ტაძრის გუმბათის ქვეშ, იგი ერთ საათში დაახლოებით  $13^\circ$ -ით მობრუნდება და ცდის წარმოებისას თვალნათლივ შევნიშნავთ ამ მობრუნებას სულ რამდენიმე წუთში. თბილისში რომ მოვახდინოთ ასეთი ცდა, დავრწმუნდებით, რომ გადახრა იქნება დაახლოებით  $10^\circ$  საათში.

ქანქარას ქანაობაზე წარმოებულმა ზუსტმა დაკვირვებებმა ისიც უჩვენა, რომ, თუ პოლუსის ახლო ადგილებიდან ეკვატორის არეში გადავდივართ (იხ. ზევით), ს ი მ ძ ი მ ი ს ძ ა ლ ა თ ა ნ დ ა თ ა ნ კ ლ ე ბ უ ლ ო ბ ს. ეს კლება რიცხობრივად მეტია, ვიდრე ის, რასაც გამოიწვევდა მხოლოდ დედამიწის ცენტრიდან დაშორება (ეკვატორული რადიუსი დედამიწისა ხომ უფრო გრძელია, ვიდრე პოლარული რადიუსი!). სიმძიმის ძალის შემცირება აიხსნება ამავე დროს მეორე ფაქტორის მოქმედებითაც. საქმე ისაა, რომ დედამიწის ბრუნვის ვითარებაში თავს იჩენს ბრუნვასთან დაკავშირებული ე. წ. ცენტრიდანული ძალის მოქმედება, რომლის ზეგავლენით სიმძიმის ძალა უნდა მცირდებოდეს მით უფრო, რაც უფრო ახლო ვიმყოფებით ეკვატორთან. სიმძიმის ძალა, არსებითად, არის დედამიწის მიზიდულობისა და ცენტრიდანული ძალის ტოლქმედი. ცენტრიდანული ძალა მეტია ეკვატორთან, რამდენადაც ბრუნვითი მოძრაობის წრფივი სიჩქარე იქ მეტია. მაშასადამე, ეკვატორთან ცენტრიდანული ძალა უფრო მეტად ამცირებს სიმძიმის ძალას, ვიდრე სხვა განედებზე.

თვით დედამიწის ფიგურა, რომლის ძირითადი მახასიათებელი მისი შებრტყელებაა, მოწმობს დედამიწის ბრუნვას დერძის გარშემო, მეტადრე იმ ეპოქაში, როცა დედამიწა თხევად ან ნახევრად თხევად მდგომარეობაში იქნებოდა და ბრუნვის გამო შეიკუმშა, დამოკლდა პოლარული დიამეტრის მიმართულებით, და, პირუკუ, — გაგანივრდა ეკვატორულ სიბრტყეში. დედამიწა წარმოადგენს კოსმოსურ სხეულს, რომელიც შებრტყელებულია ბრუნვის დერძის მიმართულებით. საინტერესოა, რომ პლანეტებს შორის განსაკუთრებით დიდი შებრტყელება იუპიტერს აქვს; თვალათა ადვილად შეინიშნება ეს შებრტყელება, როცა მას თუნდაც მცირე ტელესკოპით ან ჭოგრით შევყურებთ. იუპიტერი გაცილებით უფრო სწრაფად ბრუნავს თავისი დერძის ირგვლივ, ვიდრე დე-



დამიწა: იგი ერთ შემობრუნებას მხოლოდ 10 საათს უნდება მაშინ, როცა დედამიწა 24 საათს ანდომებს, ამიტომ ბრუნვის ეფექტიც—შებრტყელებაში გამოხატული—გაცილებით მეტია.

ღერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვის დამამტკიცებელი მოვლენები სხვაც არის; მათ შორის, სახელდობრ,—ვარსკვლავთა სპექტრებში ხაზების დოპლერისებული გადაადგილების კანონზომიერებანი (იხ. ქვემოთ).

§ 106. **დღე-ღამის ხანგრძლივობის ცვლილებანი.** როგორც ვიცით, დედამიწის ერთი შემობრუნების ხანგრძლივობა, რითაც დღე-ღამის ხანგრძლივობა განისაზღვრება, 24 საათი ანუ 86400 წამია\*. დროის ეს შუალედი ზუსტად იზომება ასტრონომიული დაკვირვებებით, კერძოდ, ე. წ. საშუალო მზის ადგილობრივ მერიდიანზე თანმიმდევრობითი გავლის მომენტების დადგენით. რამდენადაც დედამიწის ბრუნვა თვითონ წარმოადგენს დროის საზომ საფუძველს, ყოველგვარი ცვლილება ბრუნვის ხანგრძლივობაში ძნელად შეინიშნება, თუ არ გვექნება ისეთი საათი, რომელიც ნამდვილად შეინარჩუნებს თავის მუდმივ სვლას გარკვეული დროის განმავლობაში.

რამდენიმე ათეული წლის წინ მინიშნებულ იქნა, რომ დღე-ღამის ხანგრძლივობა გარკვეულ ცვლილებებს განიცდის. თანამედროვე და ძველი დროის დაბნელებათა (მზისა და მთვარის) ვითარებისა და მომენტების ურთიერთშედარებამ გაარკვია, რომ დაბნელებები უფრო ადრე დგება, ვიდრე ეს თეორიითაა მოსალოდნელი. ამის ახსნა შეიძლებოდა მთვარის ორბიტული მოძრაობის აჩქარებით. მაგრამ ასეთი აჩქარების რაიმე პირდაპირი გრავიტაციული მიზეზი არ მოიპოვება. ამიტომ დაასკვნეს, რომ დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე განიცდის შენელებას (დღე-ღამე ხანგრძლივდება). ასეთი შენელება შედეგია ძირითადად მთვარის მიზიდულობით გამოწვეული მიქცევა-მოქცევითი (იხ. ქვევით) ხახუნისა. ეს ხახუნი „ამუხრუჭებს“ დედამიწის ბრუნვას.

შენელება ერთობ მცირეა: დღე-ღამე ხანგრძლივდება სულ მხოლოდ 0.0016 წამით საუკუნეში.

შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ ასეთი მცირე ცვლილება სრულიად უმნიშვნელოა, მაგრამ ადვილად დავრწმუნდებით მის ეფექტურობაში, თუ შემდგომ მსჯელობას გავყვებით. ვთქვათ, რომ ერთ გარკვეულ დღეს, მისი დასაწყისის მომენტში, ავამუშავეთ სრულყოფილი, იდეალური საათი, რომელიც ყოველ დღე-ღამეში  $24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400$  წამს გადათვლის. ეს დრო საათით ფიქსირებული ინტერვალთა საშუალო მზის ორ თანმიმდევრო ქვედა კულმინაციას შორის. ერთი საუკუნის შემდგომ დღე-ღამის ხანგრძლივობა 86400.0016 წმ. უნდა იყოს. იმავე განვლილი საუკუნის განმავლობაში კი საშუალო ხანგრძლივობა დღე-ღამისა უნდა იყოს 86400.0008 წმ. მაშასადამე, პირველ საუკუნეში, რომელიც შეიცავს  $365.25 \cdot 100 = 36525$  დღე-ღამეს, დაგროვილი ცდომილება ანუ იდეალური საათის ჩვენების განსხვავება რეალური დროისაგან შეადგენს  $0.0008 \cdot 36525 = 29.2$  წმ. მეორე საუკუნის დასაწყისში იდეალურ საათსა და დღე-ღამის რეალურ ხანგრძლივობას შორის განსხვავება 0.0016 წმ იქნება; მეორე საუკუნის დამლევს—0.0032, ე. ი. მეორე საუკუნეში ყოველი დღე-ღამე საშუალოდ

\* უფრო მკაცრად თუ ვილაპარაკებთ, ეს ხანგრძლივობა მზისმიერი დროის 23 სთ 56 წთ 4.09 წმ-ია.



0.0024 წმ-ით განსხვავდება საწყისი დღე-ღამისაგან და მეორე საუკუნის მანძილზე დაგროვილი ცდომილება მიაღწევს  $0.0024 \cdot 36525 = 88$  წმ-ს. ორი საუკუნის მანძილზე იგი  $29 + 88 = 117$  წმ იქნება. აღვილი გამოსათვლელია, რომ 1000 წლის ხანგრძლივობის შესაბამისი ცდომილება არის 48 წთ-ზე მეტი, ხოლო 2000 წლის განმავლობაში დაგროვილი — 3 სთ 15 წთ-მდე. ეს კი მცირე სიდიდე როდია. ყოველ შემთხვევაში, მთვარის, პლანეტებისა და მზის ოჯახის სხვა სხეულების მოძრაობის თეორია ჩვენს დროში იმდენად დამუშავებულია, რომ აღნიშნული ცდომილება ადვილად ვლინდება და თანამედროვე ზუსტ გამოთვლებში მისი უგულებელყოფა არ შეიძლება. ის გასათვალისწინებელია ყველა თეორიულსა და პრაქტიკულ გამოთვლებში, რომლებიც შეეხება პლანეტების, ხელოვნური თანამგზავრების თუ ამა თუ იმ პერიოდული მოვლენების შესწავლას.

დღე-ღამის ხანგრძლივობა ამჟღავნებს არა მარტო აღწერილი ხასიათის სისტემატურ ცვლილებებს, არამედ, შეიძლება ითქვას, შემთხვევითს, არათანაბარ ცვლილებებსაც, რომლებიც შეიძლება, ზოგჯერ უფრო დიდიც იყოს. მაგალითად, 1963—1965 წწ. პერიოდში დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე მკვეთრად შემცირდა, დღე-ღამის ხანგრძლივობა 1.6 მილიწამით გადიდდა. როგორც ჩანს, ეს ცვლილებები გამოწვეულია ნივთიერების გადანაწილებით დედამიწის წიაღში და ჰაერის მასების ან თოვლის საბურავის გადაადგილებით მის ზედაპირზე. მზრუნავი სხეულისათვის არსებობს, როგორც მექანიკა გვასწავლის, ძრავის რაოდენობის მომენტის მუდმივობის კანონი. ძრავის რაოდენობის მომენტი წარმოადგენს სხეულის ბრუნვითი მოძრაობის წრფივი სიჩქარის, მისი მასისა და ბრუნვის ცენტრიდან მანძილის ნამრავლს. მუდმივობა იმაში გამოიხატება, რომ, როგორც უნდა იყოს ცვლილება რომელიმე მამრავლისა, მთელი ნამრავლი უნდა ინარჩუნებდეს თავის მნიშვნელობას; ეს კი შესაძლებელია სხვა მამრავლის სათანადო ცვლილების ხარჯზე. თუ, მაგალითად, შემცირდა მასა, უნდა შესაბამისად გაიზარდოს ან ბრუნვის ცენტრიდან დაშორება (რადიუსი), ან ბრუნვის სიჩქარე. თუ კერძოდ, დედამიწის წიაღში ნივთიერებამ უფრო მეტად ცენტრთან მოიყარა თავი, რაც ეფექტური რადიუსის შემცირებას ნიშნავს, ბრუნვის სიჩქარე უნდა გაიზარდოს, ე. ი. დღე-ღამე უნდა შემოკლდეს. თუ, პირუკუ, ნივთიერება დაშორდა ცენტრს, ეფექტური რადიუსი იზრდება, ბრუნვის სიჩქარემ უნდა მოიკლოს ანუ დღე-ღამე უნდა გახანგრძლივდეს. ორივე შემთხვევაში საერთო მასა უცვლელია.

დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ცვლილების შენიშვნა შესაძლებელია მხოლოდ იმ პირობით, თუ დროის სკალას, რომელიც ამ ბრუნვით განისაზღვრება (მსოფლიო დრო), შევადარებთ რომელიმე სხვა, უფრო თანაბარ სკალას. ასეთს გვაძლევს საათი, რომელიც ემყარება რაიმე მკაცრად სტაბილურ პერიოდულ პროცესს. ამგვარ პროცესს წარმოადგენს, მაგალითად, ელექტრომაგნიტური რხევა ეგრეთ წოდებულ სტაბილიზებულ გენერატორში. ამის საფუძველზე აგებულია კვარცის საათები. არსებობს აგრეთვე მოლეკულური და ატომური საათები, დამყარებული სტაბილურ ელექტრომაგნიტურ რხევებზე, რომლებსაც ამა თუ იმ ნივთიერების მოლეკულები ან ატომები გამოასხივებს.

კვარცის საათის სვლა დამოუკიდებელია სიმძიმის ძალასა და დედამიწის ბრუნვაზე. მისი დღეღამური ცდომილება  $\pm 10^{-6}$  წმ-ზე ნაკლები სიდიდით გამოიხატება. სხვა სიტყვებით, იგი 1000-ჯერ უფრო მეტ სიზუსტეს უზრუნველყოფს, ვიდრე დედამიწის ბრუნვის მიხედვით მომუშავე საათი.



სწორედ ასეთი, ჩვენს დროში შექმნილი ახალი საათების გამოყენებით გახდა შესაძლებელი დედამიწის ბრუნვის არათანაბრობის შესწავლა, ამ ბრუნვის პერიოდის საუკუნეობრივი, წლიური, სეზონური და შემთხვევითი ხასიათის ცვლილებების გამოკვლევა. ეს მნიშვნელოვანი ასტრონომიული და გეოფიზიკური ამოცანაა. ერთი მხრივ, საძიებელია ბრუნვის ცვლილებათა გამომწვევი მიზეზები და, მეორე მხრივ, გამოსაკვლევია ბრუნვის სიჩქარის ცვლილების გავლენა გეოფიზიკურ მოვლენებზე.

§ 107. **ეფემერიდული დრო.** ვარსკვლავთმცემი ან მზისმცემი დრო, რომლის აღრიცხვის საფუძველს დედამიწის ღერძული ბრუნვა წარმოადგენს, დედამიწის მდებარეობას სივრცეში აკავშირებს მზისა და ვარსკვლავთა მდებარეობებთან და ეს თავის დანიშნულებას ასრულებს დროის აღრიცხვის პრაქტიკულ განხორციელებაში. მაგრამ, რაკი დედამიწის ბრუნვის პერიოდი თანაბარი არ ყოფილა და სისტემატურსა და შემთხვევით ცვლილებებს განიცდის, უნდა ვაღიაროთ, რომ ის არ გამოდგება როგორც დროის საზომი იდეალური ერთეული, როგორადაც აქამდე ვთვლიდით. სხვა სიტყვებით, — ის არ უზრუნველგვყოფს თანაბრად მიმდინარე დროით. ამან აიძულა ასტრონომები ხმარებაში შემოეღოთ ე. წ. ეფემერიდული დრო. ეს დრო დედამიწის ღერძული ბრუნვის პერიოდს როდი ემყარება; მისი საფუძველი შემდგომში მდგომარეობს.

ვთვლით, რომ არსებობს იდეალურად თანაბრად მიმდინარე დრო; იგი შეგვიძლია გავაიგივოთ იმ დროსთან, რომელიც დამოუკიდებელ ცვლადს ანუ არგუმენტს წარმოადგენს იმ დამოკიდებულებებში, რომლებიც ნიუტონისეული მოძრაობის კანონებით გამოითქმის, და ყველა შესაბამის ფიზიკურ ამოცანაში გამოიყენება. ნიუტონის კანონები ისეა ჩამოყალიბებული, რომ სწორედ ასე თანაბრად მიმდინარედ გულისხმობს დროს. ამასთანავე, როგორც ცნობილია, ცის მექანიკაში, ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონზე ანუ კლასიკურ გრავიტაციულ თეორიაზე დაყრდნობით, მაშასადამე, თანაბრად მიმდინარე დროის გათვალისწინებით, დამუშავებულია მეთოდები, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია გამოითვალოს წინასწარ, რამდენიმე წლით ადრე, მთვარისა და პლანეტების მდებარეობები მათ ორბიტებზე. ასე წინასწარგამოთვლილ მდებარეობებს ეფემერიდებს უწოდებენ. შემდგომში, როცა ამ სხეულთა რეალურ მდებარეობებს აკვირდებიან, მათ კოორდინატებს საზღვრავენ, თეორიულად გამოთვლილებს ადარებენ; ირკვევა, რომ რეალური მდებარეობები, თუმცა მცირედ, მაგრამ მაინც, განსხვავდება გამოთვლილებისაგან და ყველა სხეულისათვის — ერთნაირად. ეს განსხვავება მიეწერება დედამიწის ბრუნვის არათანაბრობას, რომელმაც გამოთვლებში ცდომილებები შემოიტანა, რაკი ეფემერიდების სათვლელ ფორმულებში არგუმენტად გამოყენებული იყო ჩვეულებრივი მსოფლიო დრო, დედამიწის დღეღამური ბრუნვით განსაზღვრული.

გამოთვლილსა და დამზერილ მდებარეობათა თანხვედნა მოხდება, თუ გამოთვლებში არგუმენტად იდეალურად თანაბრად მიმდინარე დროს ავიღებთ. ე. ი. უნდა ავიღოთ დრო, რომელიც მიიღება ნახსენები სხვაობის დამატებით დაკვირვებიდან მიღებულ მსოფლიო დროზე. ასეთ დროს ეფემერიდულ დროს უწოდებენ. ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, თითქოს მეტისმეტად ფორმალურად შემოგვაქვს ხმარებაში ეს დრო. არსებითად კი იგი აკმაყოფილებს ძირითად მოთხოვნას — იყოს თანაბრად, უცვლელად მიმდინარე. სწორედ ასეთია იგი, თუკი დამზერილი მდებარეობები გამოთვლილებს შეუთანხმდება. რა თქმა



უნდა, იგულისხმება (და იგულისხმება დასაბუთებულად), რომ ეფემერიდების გამოთვლები სრულად ითვალისწინებს ყველა ფაქტორს, რომლებიც განხილული სხეულის მოძრაობას განაპირობებს.

თუმცა ეფემერიდული დრო ხმარებაში მხოლოდ 1955 წლიდან შემოიღეს, ანგარიში იწყება 1900 წლიდან და ითვლება, რომ 1900 წლის 1 იანვარს მსოფლიო დროით 0 საათზე მსოფლიო დრო და ეფემერიდული დრო ერთმეორეს ემთხვეოდა. 1900 წლის ტროპიკული წელიწადი მოიცავდა 365.2421988 საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს. რაკი მზისმიერ დღე-ღამეში 86400 წამია, იმ ტროპიკულ წელიწადში მოთავსებული იყო  $365.2421988 \cdot 86400 = 31556925.97474$  წამი. თუ აქამდე დროის უმცირეს ძირითად შუალედად საშუალო მზისმიერი წამი ითვლებოდა ანუ საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის  $1/86400$  ნაწილი, და ეს ნაწილი, ფაქტიურად ცვლილებებს განიცდის, ახლა, ეფემერიდული დროის ხმარებისას ძირითად შუალედად მიჩნეულია 1900 წლის ტროპიკული წელიწადის ხანგრძლივობის  $1/31556925.97474$  ნაწილი, რომელიც უცვლელად ჩაითვლება და როგორც არგუმენტი—დრო ასე იხმარება გამოთვლებში. შეიძლება ითქვას, რომ ეფემერიდული დრო „თეორიული დროა“, მაგრამ მაინც იგი პლანეტებისა და მთვარის გარემოქცევის ხანგრძლივობათა უცვლელობას ემყარება და, ამგვარად, მას ფიზიკური საფუძველი აქვს. ხოლო რაკი იგი თავისუფალია დედამიწის ბრუნვითი სიჩქარის სისტემატური და შემთხვევითი ცვლილებებისაგან, საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტად აღვრიცხოთ და შევისწავლოთ მოვლენები და მათ შორის თვით დედამიწის ბრუნვის პერიოდის ცვალებადობაც.

1984 წლისათვის ეფემერიდული დრო დაახლოებით 55-მდე წამით წინაა, ვიდრე მსოფლიო დრო. ეს იმას ნიშნავს, რომ 1900-დან 1984 წლამდე დედამიწის დედამიური ბრუნვის პერიოდი საერთოდ გახანგრძლივებულია. როგორი იყო ამ ხნის განმავლობაში პერიოდის ფლუქტუაციები ანუ შემთხვევითი შემცირება-გახანგრძლივება, ამის დადგენა შეიძლება, თუ ცალკეული წლებისათვის გამოვითვლით ეფემერიდულსა და მსოფლიო დროთა სხვაობებს\*. ამ სხვაობათა გამოთვლა წინასწარ, მომავალი წლებისათვის შეუძლებელია. შეგვიძლია მხოლოდ მისი შეფასება ექსტრაპოლირებით. ზუსტი მნიშვნელობა კი გამოითვლება მხოლოდ მთვარის ან პლანეტების უკვე დაკვირვებული კოორდინატების შედარებით გამოთვლილ კოორდინატებთან, ე. ი.—გამოითვლება მხოლოდ წარსულისათვის.

არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ეფემერიდული დროის შემოღებამ დაუკარგა ან შეუმცირა პრაქტიკული მნიშვნელობა მსოფლიო დროის ხმარებას. ორივე სახეობის დროს თავ-თავისი დანიშნულება აქვს.

**§ 108. განედის ვარიაციები. დედამიწის პოლუსების გადანაცვლება.** დედამიწის წიაღში ნივთიერების განაწილების ცვლილებას მოსდევს ბრუნვის ღერძის მიმართ დედამიწის სხეულის გადაადგილება. ეს კი იწვევს დედამიწის პოლუსების გადაადგილებას მის ზედაპირზე. უკანასკნელი მოვლენა შეიძლება შენიშნულ იქნეს ადგილების განედების ცვლილებით. ასეთი ცვლილებები მი-

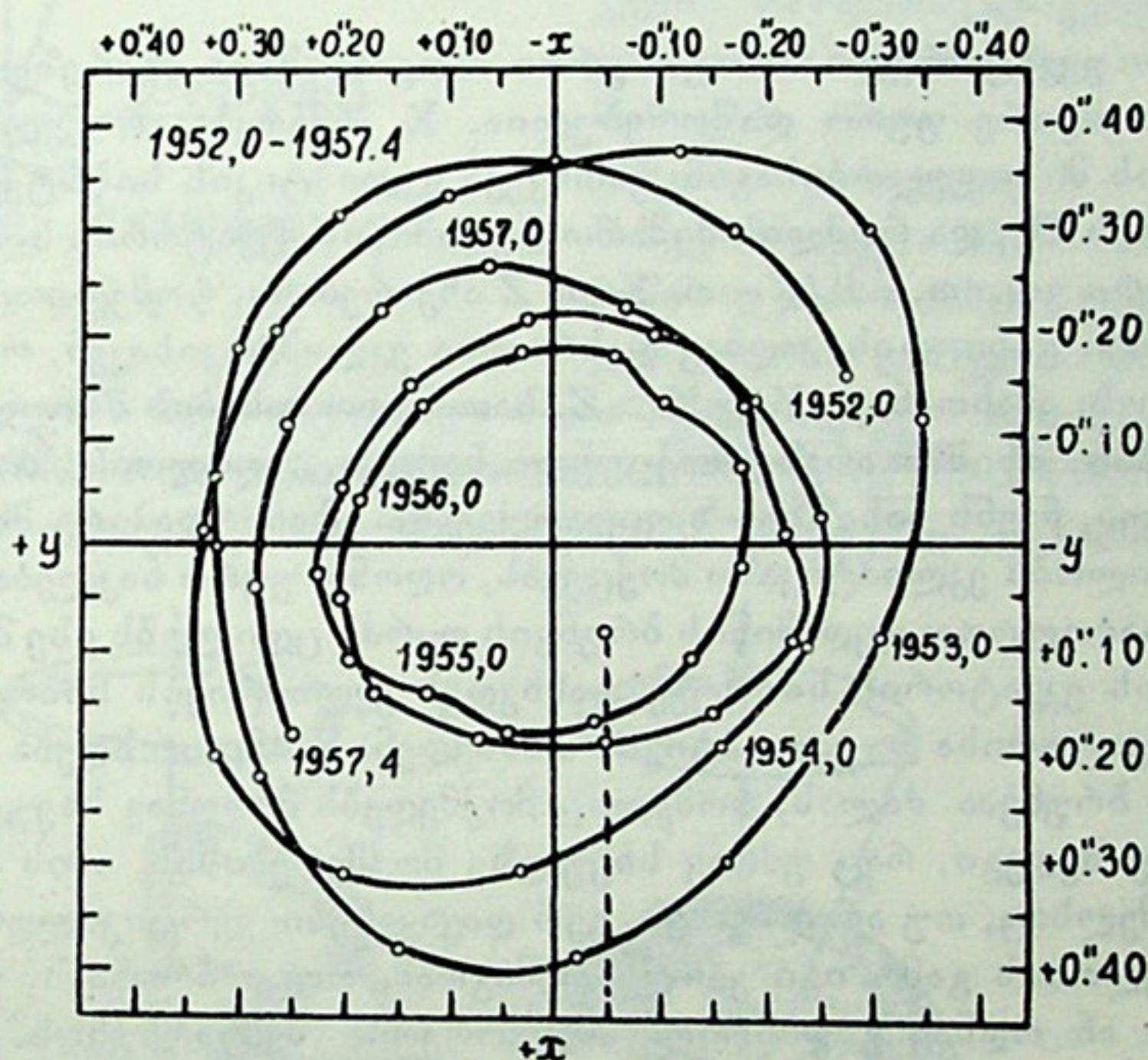
\* ასე, მაგალითად, გამოთვლილია, რომ 1955 წ. სექტემბრიდან 1958 წ. იანვრამდე დედამიწის ბრუნვის საშუალო სიჩქარე თანაბრად კლებულობდა, ე. ი. დღე-ღამის ხანგრძლივობა იზრდებოდა წელიწადში 0.00043 წამით; შემდეგში, 1958 წ. თებერვალში დაახლოებით 2 კვირის მანძილზე დედამიწამ ააჩქარა ბრუნვა, დღე-ღამე მოიკლო 0.0003 წამით, ხოლო მაისში კვლავ მოიმატა. 1986 წლიდან „ეფემერიდული დროს“ ნაცვლად შემოღებულია „დინამიკური დრო“. დამატებით იხ. «Астрономический ежегодник СССР на 1986 год».



ნიშნებულ იქნა ჯერ კიდევ წარსული საუკუნის ბოლო წლებში და მას აქეთ გეგ-  
მაზომიერად შეისწავლება.

ამ შემთხვევაში როდი იცვლება ბრუნვის ღერძის ორიენტაცია სამყაროში  
ანუ მისი მიმართულება ვარსკვლავების მიმართ. იცვლება მხოლოდ პუნქტის  
მდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე, პოლუსის მიმართ. ამიტომ აღწერილი მოვ-  
ლენა, როგორც ვთქვით, თავს იჩენს პუნქტის გეოგრაფიული განედის ცვლილე-  
ბაში. ასეთი ცვლილებების აღმოჩენა მოითხოვს ერთობ ფაქიზი და ზუსტი და-  
კვირვების წარმოებას, რადგანაც საქმე ეხება მეტად მცირე სიდიდეებს. მაგა-  
ლითად, განედთა განსხვავების დადგენა ამაჟამად შესაძლებელია  $0''.01$ -ის სი-  
ზუსტით; ეს შეესაბამება 30 სმ სიგრძის გადანაცვლებას დედამიწის ზედაპირზე.  
ჩვენს ეპოქაში განედის ვარიაციები დიდი არაა, მაგრამ სრულიად შესაძლებე-  
ლია, რომ შორეულ ეპოქაში, სხვადასხვა მიზეზის გამო, ეს ცვლილებები იმდე-  
ნად დიდი იყო, რომ ადგილის კლიმატზედაც კი მოქმედებდა; იმდენად აახლოებ-  
და ერთ პუნქტს პოლუსთან და აშორებდა მეორეს, რომ ჰავა განიცდიდა საგრძ-  
ნობ გავლენას.

176-ე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწის ჩრდილოეთი პოლუსის წერტი-  
ლის გადანაცვლება ანუ მისი ტრაექტორია დედამიწის ზედაპირზე 1952 წლიდან



ნახ. 176

1957-მდე. ამ 5 წლის მანძილზე პოლუსის გადაადგილება არ გამოსულა კვადრა-  
ტის ფარგლებიდან, რომლის გვერდი სულ მხოლოდ 30 მეტრია. ვერტიკალური  
პუნქტური და პაწია წრე მის ბოლოს უჩვენებს პოლუსის წერტილის საშუალო  
მდებარეობას განხილულ პერიოდში.

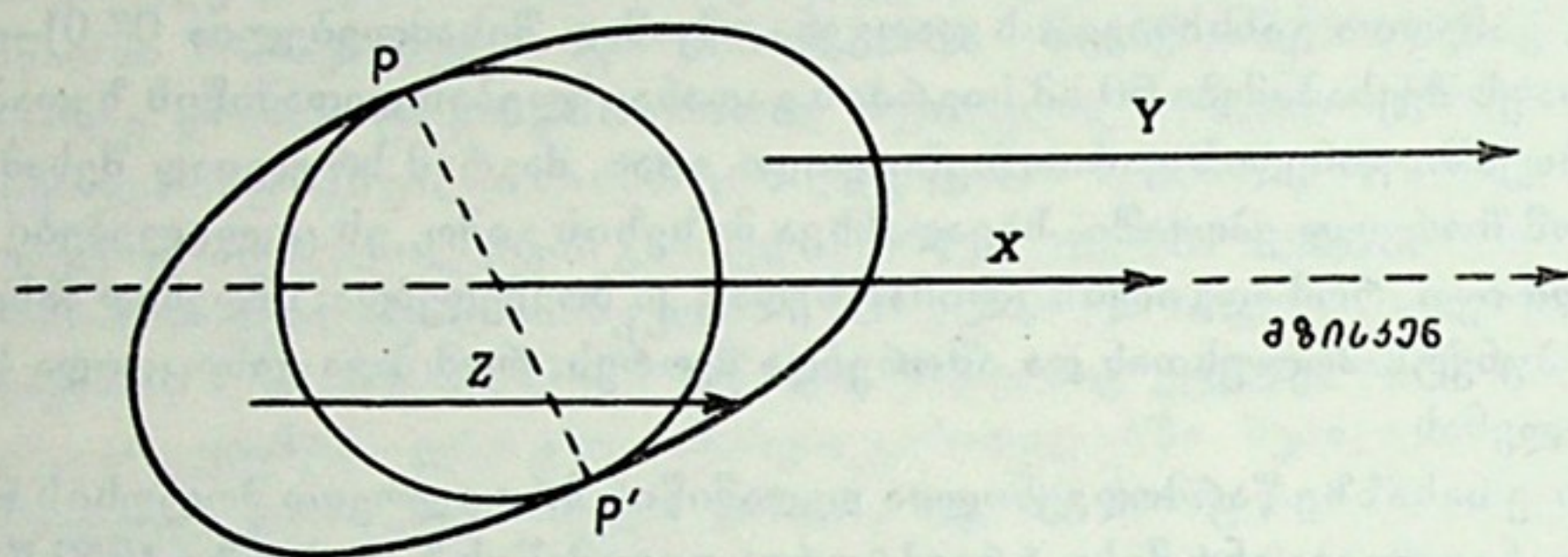
§ 109. **პრეცესია და ნუტაცია.** დედამიწის ბრუნვამ საკუთარი ღერძის ირგვ-  
ლივ შექმნა მის სხეულზე, ცენტრიდანული ძალის გავლენით, ეკვატორული ნა-  
მატი ანუ, სხვა სიტყვებით, გამოიწვია დედამიწის გაგანიერება ეკვატორის  
სიბრტყეში, ხოლო შეკუმშვა, შებრტყელება—პოლუსებთან. დედამიწა ექვემდე-





ბარება მის მახლობელ სივრცეში მდებარე ყველა კოსმოსური სხეულის მიზიდულობას; მას იზიდავს მზე, მთვარე, ცთომილები. მაგრამ მიზიდულობის ძალის მოქმედება ზუსტად სფერულ სხეულსა და შებრტყელებულ სხეულზე (სფეროიდზე) სხვადასხვანაირად ხდება. სფერო მიიზიდება ისე, თითქოს მისი მასა მის ერთს, ცენტრალურ წერტილში იყოს თავმოყრილი. სფეროიდის მიზიდულობა კი 177-ე ნახაზზე გავარჩიოთ.

წრე და ელიფსი გამოხატავდეს სფერულსა და სფეროიდულ დედამიწას. დედამიწა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც სამი ნაწილისაგან შედგენილი:



ნახ. 177

სფერო და ორი ეკვატორული ნამატი. ერთი მათგანი მზის მხარეზეა და მასთან უფრო ახლოა, მეორე უფრო დაშორებულია.  $X$  აჩქარება, რომელსაც სფერო განიცდის მზის მიზიდულობისაგან, ემთხვევა ეკლიპტიკის სიბრტყეს, რომელშიც მდებარეობს მზე და რომლის მიმართ დედამიწის ეკვატორის სიბრტყე დახრილია, როგორც ვიცით,  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით.  $Y$  და  $Z$  აჩქარებანი, რომელთაც ორი ეკვატორული ნამატი განიცდის, ოდნავ დახრილია ეკლიპტიკისაკენ, რაკი მზე ეკლიპტიკაში ძევს; ამასთანავე  $Y > X > Z$ , სათანადო მასების მზიდან მანძილების შესაბამისად. მზის მხარეზე მოქცეული ნამატი „ცდილობს“ მოტრიალდეს ეკლიპტიკისაკენ, ჩვენს ნახაზზე—ზევიდან ქვევით. მოპირდაპირე მხარის ნამატიც ასევე ცდილობს ეკლიპტიკაში მოქცევას, ოღონდ უფრო ნაკლებად მეტი სიშორის გამო. საბოლოოდ დედამიწის ბრუნვის ღერძი ცდილობს ისე მობრუნდეს, რომ დედამიწის ეკვატორის სიბრტყე თანხვდეს ეკლიპტიკის სიბრტყეს.

მაგრამ ეკვატორისა და ეკლიპტიკის თანხვდენა მაინც არ ხდება. ამის მიზეზი დედამიწის ბრუნვაა. ძალას, რომელიც მოქმედებს მბრუნავ სხეულზე, როდი მოსდევს იგივე შედეგი, რაც უძრავ სხეულზე მოქმედებისას. ამის მაგალითია ბზრიალა, რომელსაც, თუ არ ბრუნავს, ვერ დავაყენებთ ვერტიკალურად: დედამიწის მიზიდულობის გამო იგი ვარდება; მაგრამ, როცა ბრუნავს, უნარი აქვს ვერტიკალური ან ოდნავ გადახრილი მდებარეობა შეინარჩუნოს. ოღონდ ამ შემთხვევაში იგი განიცდის ბრუნვის ღერძის მიმართულების ერთგვარ რყევას ისე, რომ ის აღწერს, როგორც მსახველი, კონუსის ზედაპირს. ამ კონუსის ღერძი ვერტიკალური მიმართულებისაა, ე. ი.—მიზიდულობის ძალის მიმართულების თანხვდენილი (ნახ. 178 ა).

ასევე, მბრუნავი დედამიწა მზის მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით კი არ მობრუნდება მისი ეკვატორის ეკლიპტიკასთან თანხვდენამდე, არამედ დაიწყებს რყევას ისე, რომ მისი ბრუნვის ღერძი შემოწერს კონუსის ზედაპირს, როგორც ეს 178-ე ბ ნახაზზეა წარმოდგენილი. შესაბამისი კონუსის ღერძი ეკლიპტიკის სიბრტყის მართობულია. ბრუნვის ღერძის ამგვარ მოძრაობას პ რ ე ც ე ს ი უ ლ ი მ ო ძ რ ა ო ბ ა ან, მოკლედ, პ რ ე ც ე ს ი ა ეწოდება (იხ. აგრეთვე ნახ. 179).

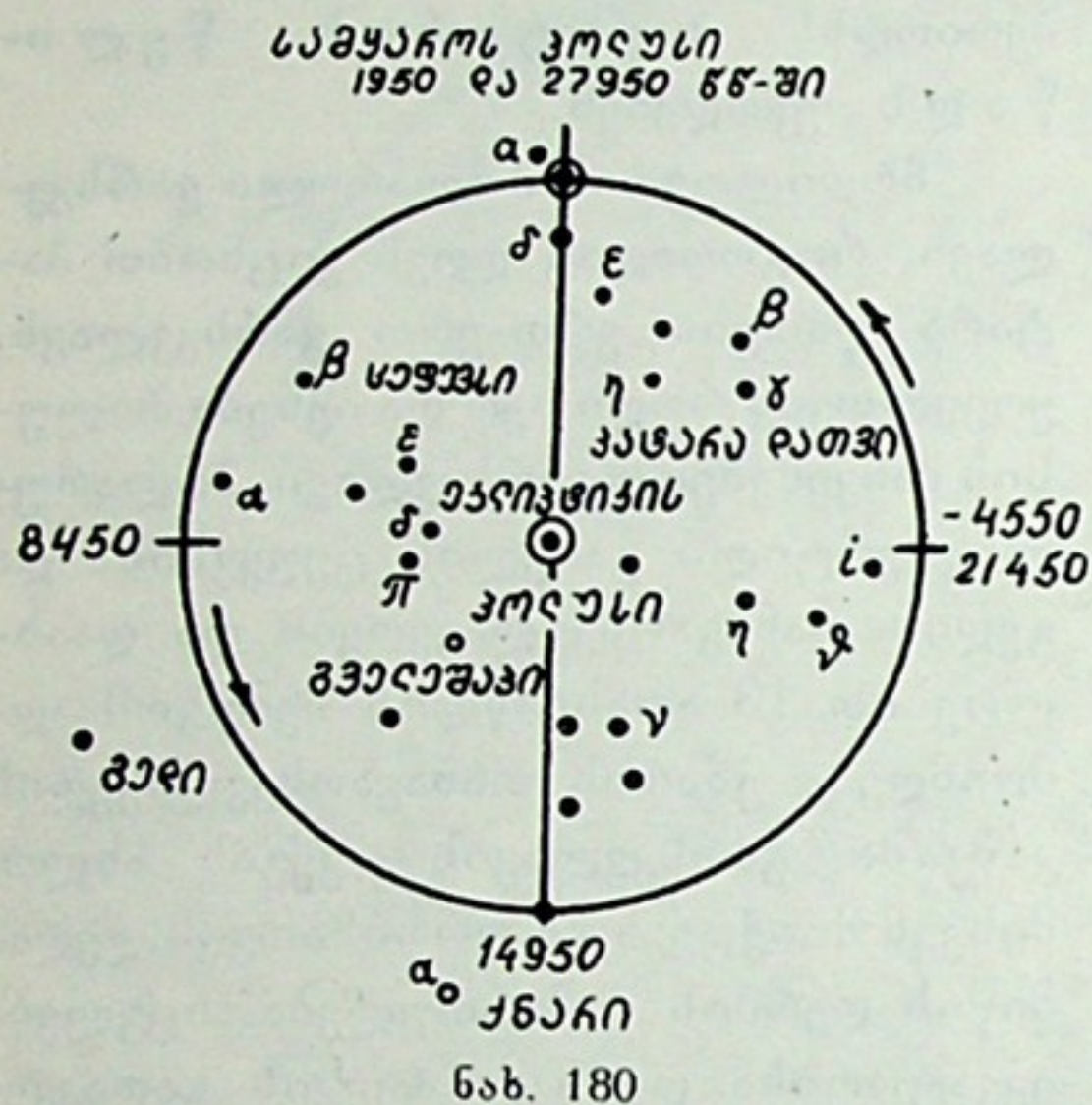






სამხრეთის პოლუსი კი—საათის ისრის მიმართულებით (წარმოდგინეთ და გარჩიეთ ეს სურათი სივრცეში). მიმდინარე ეპოქაში ჩრდილოეთი პოლუსის წერტილი გადანაცვლებას განიცდის სამხრეთ-დასავლეთით, ცეფევსისაკენ (გარჩიეთ ეს ვარსკვლავიერ რუკაზე). რა თქმა უნდა, პოლუსის გადანაცვლებას ეკვატორის მდებარეობის ცვლილებაც მოსდევს.

180-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სქემატურად ვარსკვლავებიანი ცის რუკის პოლუსისახლო არე. წრეწირი გამოხატავს სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილის ტრაექტორიას ცაზე. ნახევრებია პოლუსის პრეცესიული გადანაცვლება



ვარსკვლავთა შორის მთელი პერიოდის (26000 წლის) მანძილზე. რიცხვები უჩვენებს იმ წელს, როდესაც სამყაროს პოლუსი აღნიშნულ წერტილში მოთავსდება. მარჯვნივ ნახევრებია ორი თარიღი: დასაწყისი და დასასრული ერთი სრული პრეცესიული პერიოდისა; პირველი თარიღი ჩვენს ერამდეა.

პრეცესიული მოძრაობა მუდამ ერთნაირი და მარტივი იქნებოდა, მზისმიერი (და მთვარისმიერი, იხ. ქვემოთ) მიზიდულობითი გავლენა რომ მუდმივი ყოფილიყო. მაგრამ ვითარება ცვალებადია, რამდენადაც, კერძოდ, წე-

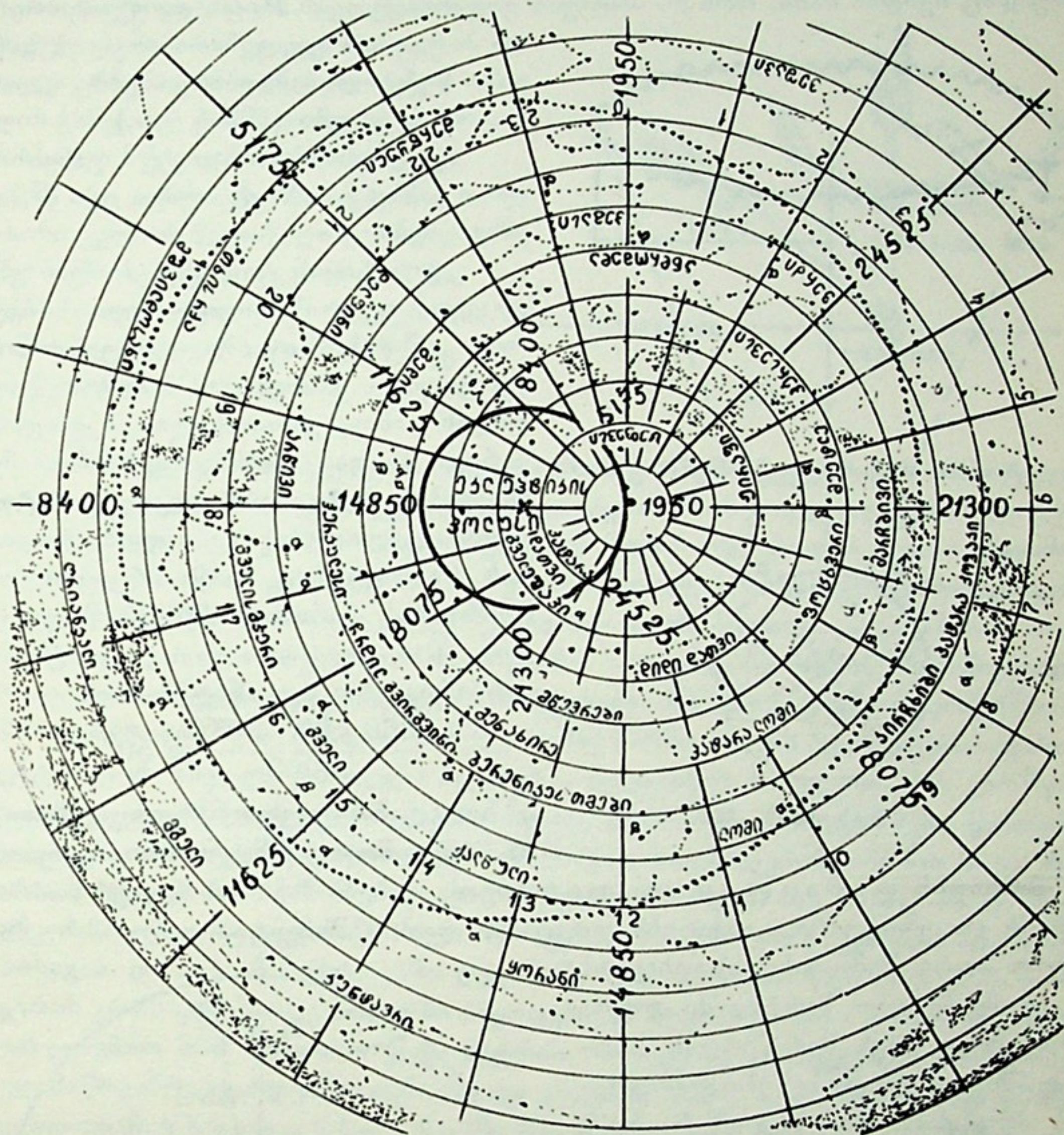
ლიწადში ორჯერ—მარტსა და სექტემბერში, დღედამტოლობის მომენტების მახლობლობაში—მზე ეკვატორზე იმყოფება და, მაშასადამე, აჩქარებანი X, Y და Z—ყველა—ეკლიპტიკაში მდებარეობს, ამიტომ მობრუნების ტენდენცია ამ დროს არ იჩენს თავს.

ზემოთ გავცანით ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებს და ისიც ვნახეთ, რომ ვერძის თანავარსკვლავედის წ ნიშნით აღინიშნება ცაზე წერტილი, რომელშიც მზე გაზაფხულის დღედამტოლობის მომენტში იმყოფება. მაგრამ, თუ მოვინდომებთ ამ წერტილის მოძებნას რუკაზე, რომელსაც ჩვენს ეპოქაში ვხმარობთ (ნახეთ თქვენ თვითონ რუკაზე წერტილი:  $\alpha = 0^h$ ,  $\delta = 0^\circ$ ), აღმოჩნდება, რომ იგი სინამდვილეში მოქცეულია ვერძის მეზობელ თანავარსკვლავედში—თევზებში. ეს იმიტომ, რომ დღედამტოლობის წერტილების ანუ ეკლიპტიკისა და ეკვატორის გადაკვეთის წერტილების ფიქსირება პირველად ჰიპარქმა შეასრულა დაახლოებით ამ ორიათასი წლის წინათ. მაშინ ეს წერტილები მდებარეობდნენ ვერძისა და სასწორის თანავარსკვლავედებში, შესაბამისად. ამ ხნის განმავლობაში დღედამტოლობის ხაზი ანუ ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის წერტილების შემადგენელი ხაზი (წმ) იმდენად მობრუნდა, რომ ახლა ეს წერტილები თევზებსა და ქალწულის თანავარსკვლავედებში იმყოფება (ნახ. 181), დღედამტოლობის წერტილების აღნიშვნები კი უცვლელადაა დატოვებული.

მთვარეც თავის მხრივ იწვევს დედამიწის ღერძის პრეცესიულ რყევას იმ ფარგლებში, რომლებსაც მისი ორბიტის ეკლიპტიკისადმი დახრა განსაზღვრავს. იგიც ცდილობს მოაბრუნოს თავისი ორბიტის სიბრტყესთან თანხვედნამ-



დე დედამიწის დანამატი. მთვარის მოქმედება მასის სიმცირის გამო სუსტი უნ-  
და იყოს, მაგრამ სიახლოვე აძლიერებს მას. ამიტომ მის მოქმედებას უფრო დიდი  
როლი აქვს.



ნახ. 181

ამასთანავე მთვარის ორბიტის სიბრტყე თვითონ განიცდის პრეცესიულ  
მოძრაობას—ე. წ. მთვარის კვანძების მოძრაობას 18.6 წლის პერიოდით. ეს მოვ-  
ლენა, სხვებთან კომბინაციაში, იწვევს დედამიწის ბრუნვის დერძის დამატებით  
რყევებს, რომელთაც ნ უ ტ ა ც ი ა ეწოდება. ნუტაციის გამო ჩრდილოეთი პო-  
ლუსი წრეწირს კი არ შემოწერს ცაზე, არამედ—ერთგვარად კლაკნილ ხაზს ისე,  
როგორც ეს გამოსახულია 182-ე ნახაზზე.

კლაკნილი ხაზი, არსებითად, წარმოადგენს პოლუსის ნამდვილ მდებარეო-  
ბათა ტრაექტორიას,—ხოლო წრიული—მის საშუალო მდებარეობათა ტრაექტო-  
რიას. როგორც ნახაზზე ვხედავთ, გადახრა საშუალოსაგან რკალის სულ მხო-  
ლოდ რამდენიმე სეკუნდია. პოლუსის ნამდვილი მდებარეობის საშუალოს ირგვ-  
ლივ შემოვლის პერიოდი დაახლოებით 19 წელიწადია (იგი განპირობებულია  
16°. ე. ხარაძე



მთვარის კვანძების პერიოდული მოძრაობით, რაც ზემოთ აღვნიშნეთ; (მთ). 182-ე ნახ.

პრეცესიის შედეგად იცვლება მნათობის ეკვატორული კოორდინატები. ეს თუნდაც იქიდან ჩანს, რომ  $P_1$  პოლუსი გადაინაცვლებს  $P_2$ -ში და ეკვატორისა და პირდაპირ აღვლენათა ათვლის საწყისი წერტილის მდებარეობებიც სათანადოდ იცვლება (182-ე ნახ.).

თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ 183-ე ნახაზიც, თუმცა იგი წინასემსგავსეა.

ეკლიპტიკის ცის ეკვატორთან გადაკვეთა იცვლის თავის ადგილს ისე, რომ გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილი —  $\Upsilon$  მოძრაობს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ეკლიპტიკის გასწვრივ,  $\Upsilon_1$ -დან  $\Upsilon_2$ -საკენ. მაშასადამე, მნათობის პირდაპირი აღვლენა მატულობს. ცვლილებას განიცდის მნათობის დახრილობაც. რაკი პრეცესიული მოძრაობის პერიოდი 26000 წელიწადია,  $\Upsilon$ -ს გადაადგილება ეკლიპტიკის გასწვრივ ერთ წელიწადში არის

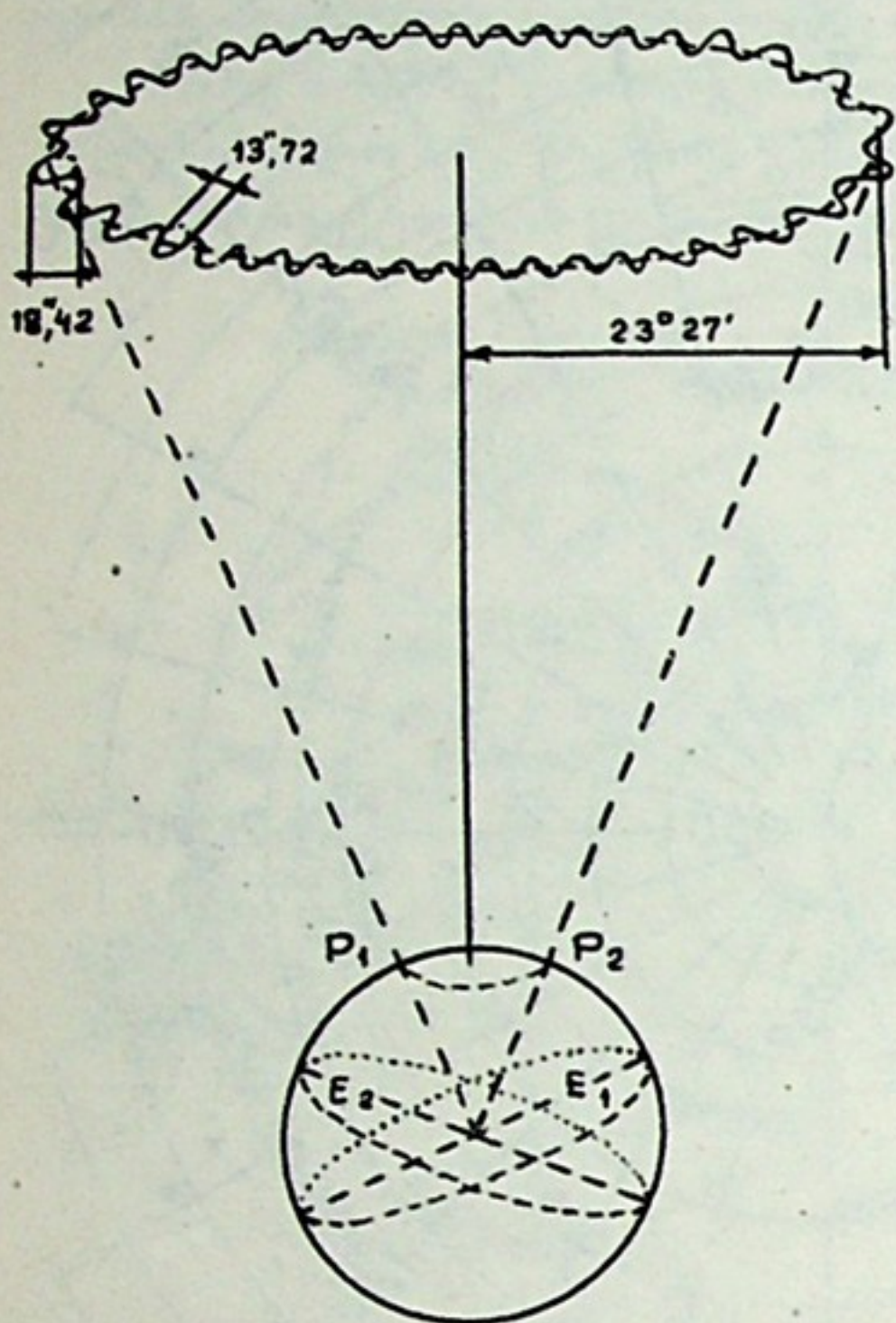
$$\frac{360 \cdot 60 \cdot 60''}{26000} \approx 50'',$$

ამ სიდიდეს პრეცესიის მუდმივა ეწოდება. რამდენადაც პრეცესიის გავლენით

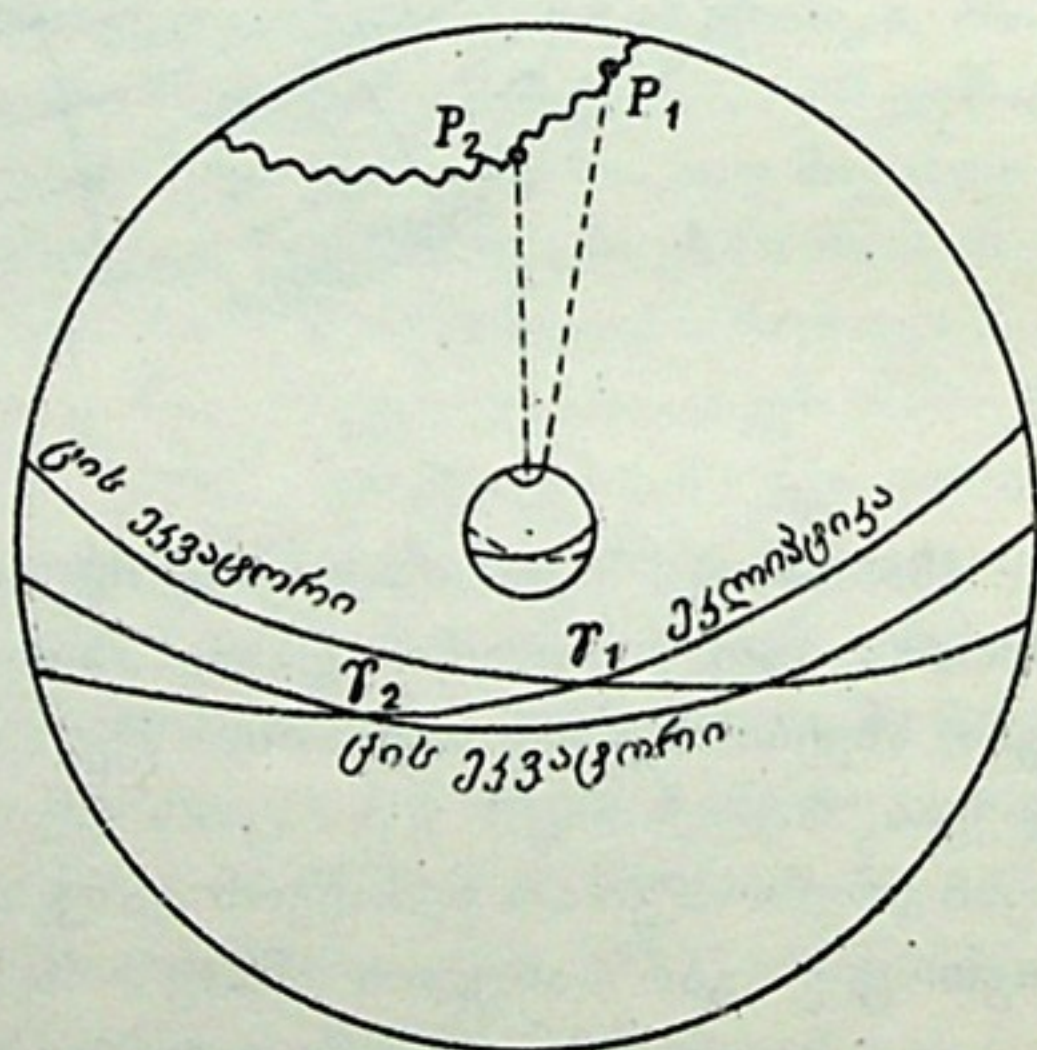
$\Upsilon$  მოძრაობს დასავლეთით, იგი თითქოს ეგებება მზეს მის წლიურ მოძრაობაში და ერთგვარად აჩქარებს დღედამტოლობის მომენტის დადგომას; მზე უფრო ადრე შემოდის გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილში, ვიდრე ერთ სრულ წრეს შემოწერდეს. სწორედ ამიტომ ეწოდა აღწერილ მოვლენას პრეცესია, რაც დასწრებას ანუ წინასწრებას ნიშნავს.

184-ე ნახ. გვიჩვენებს, რომ 72 წლის განმავლობაში ეკლიპტიკაში მდებარე ვარსკვლავი  $1^\circ$ -ით დაშორებული აღმოჩნდება ვერძის წერტილის მიმართ, მის აღმოსავლეთით.

ნუტაციის გავლენა კოორდინატებზე არ აღემატება  $9''$ -ს. დაახლოებით ამ ფარგლებშია პოლუსის წერტილის ფაქტიური გადახრები იმ საშუალო წრეწირისაგან, რომელსაც პოლუსის წერტილის პრეცესიული ტრაექტორია წარმოადგენს.



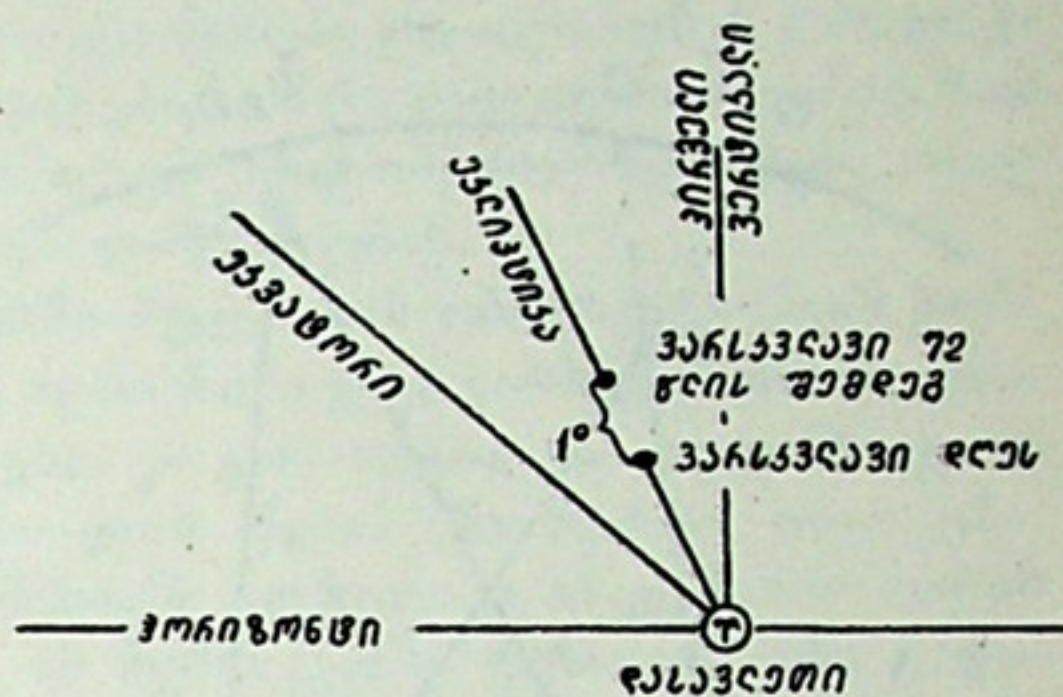
ნახ. 182



ნახ. 183



პრეცესია და ნუტაცია გამოწვეულია გარე ძალებით (მზისა და მთვარის-  
მიერი მიზიდულობით), რომლებიც ცვლიან სამყაროს სივრცეში დედამიწის  
ღერძის ორიენტაციას. დედამიწის  
სხეულის მიმართ კი ღერძი უცვ-  
ლელი რჩება; არ იცვლება ადგი-  
ლის განედიც: მაშასადამე, პრეცე-  
სიასა და ნუტაციას არა აქვს გავ-  
ლენა არც კლიმატზე. სამაგიეროდ,  
ისინი ცვლიან წელიწადის დროთა  
ანუ სეზონების დაწყების მომენ-  
ტებს, გადაადგილებენ რა დედა-  
მიწის წლიური ორბიტის გასწვრივ  
იმ წერტილებს, საიდანაც იწყება  
ესა თუ ის სეზონი.



ნახ. 184

§ 110. დედამიწის წლიური მოქცევა მზის გარშემო (დედამიწის ორბიტული  
გარემოქცევა) და მისი დამამტკიცებელი ფაქტები. მზის ყოველდღიური ხილული  
გადაადგილება ცაზე  $1^\circ$ -ით აღმოსავლეთის მიმართულებით შედეგია დედამი-  
წის მოქცევისა მზის გარშემო, მაგრამ ეს არ ჩაითვლება ამ ფაქტის დამამტკიცებ-  
ლად. ეს ხილული მოძრაობა გარეგნულად შეიძლება ახსნილ იქნეს მზის მოძ-  
რაობით დედამიწის ირგვლივ, როგორც ამას საუკუნეების მანძილზე ასწავლიდა  
პტოლემოსისეული გეოცენტრული მოძღვრება. XVI საუკუნეში ნ. კოპერნიკმა  
წამოაყენა მოძღვრება, რომლის მიხედვით მზე წარმოადგენს პლანეტური ოჯახის  
ცენტრალურ სხეულს და ყველა პლანეტა, დედამიწის ჩათვლით, მის გარშემო  
მოიქცევა. მაგრამ, თუ დედამიწა, მართლაც, მოძრაობს მზის გარშემო წლიური  
გზით, ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწა სხვადასხვა მდებარეობაშია მზის მი-  
მართ, მოექცევა რა მას ხან ერთი და ხან მეორე მხრიდან. ასე, მაგალითად, მდე-  
ბარეობა, რომელიც დედამიწას ივნისში აქვს, განსხვავდება დეკემბრის მდებარე-  
ობისაგან. დროის ამ მომენტებში დედამიწა მზის გარშემო წლიური გზის დია-  
მეტრის ერთსა და მეორე ბოლოში იმყოფება; ამ მდებარეობათა შორის მანძილი  
დაახლოებით 300 მილიონი კილომეტრია. რომელიმე ვარსკვლავი, რომელსაც  
დედამიწიდან ვაკვირდებით ივნისსა და დეკემბერში, ე. ი. ვუმზერთ სხვადასხვა  
ადგილიდან, სხვადასხვა მიმართულებით მოჩანს ცაზე. მაშასადამე,  
ნახევარი წლის მანძილზე ვარსკვლავის მდებარეობამ ცაზე უნდა გადაინაც-  
ვლოს. როცა წლის მეორე ნახევარიც გაივლის და დედამიწა კვლავ ივნისის  
შესაბამის მდებარეობაში დაბრუნდება, ვარსკვლავიც დაუბრუნდება ცაზე თავის  
პირვანდელ ხილულ მდებარეობას.

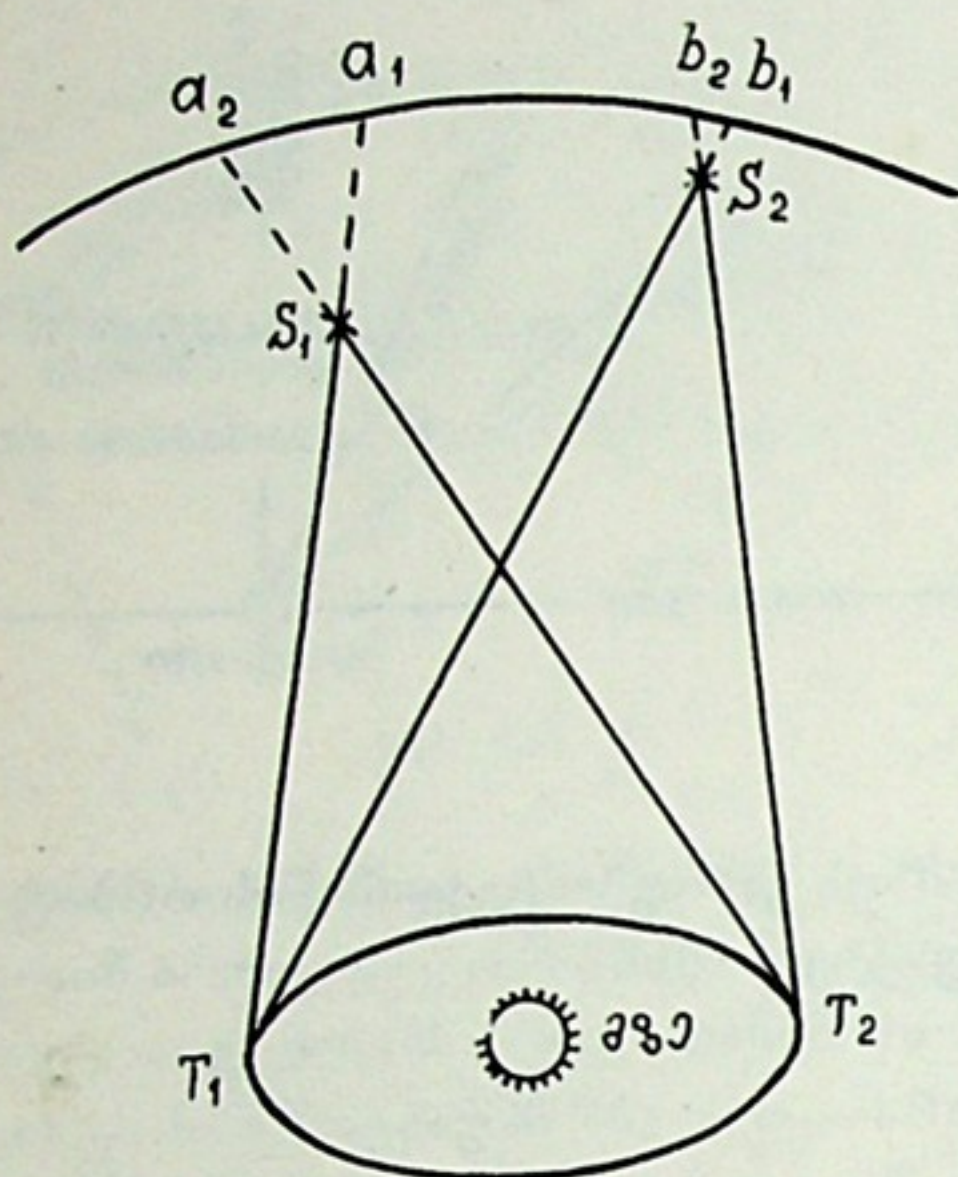
განვიხილოთ ნახ. 185-ე, რომელზეც  $T_1$  და  $T_2$  წარმოადგენენ წლიურ ორ-  
ბიტაზე, ვთქვათ, ივნისსა და დეკემბრის შესაბამის, დედამიწის ორ, დიამეტრუ-  
ლად მოპირდაპირე მდებარეობას. ამ ორი მდებარეობიდან რომელიმე ვარსკვლა-  
ვი  $S_1$  გეგმილდება ცის ფონზე სხვადასხვა მიმართულებით:  $T_1 S_1 a_1$  და  $T_2 S_1 a_2$ .

რაკი დედამიწა ერთი წლის განმავლობაში მზის ირგვლივ ერთ სრულ წრეს  
შემოწერს, ადებული ვარსკვლავიც, იმავე ერთი წლის განმავლობაში, შემოწერს  
ცაზე ჩაკეტილ მრუდს, რომელიც ასახავს დედამიწის წლიურ მოქცევას.

კიდევ უფრო მეტი სიცხადით ეს 186-ე ნახაზზე ჩანს, სადაც  $A, B, C, D$



დედამიწის ოთხი მდებარეობაა მის წლიურ გზაზე მზის გარშემო.  $Aa, Bb, Cc$  და  $Dd$  ამ მდებარეობებიდან შესაბამისი მიმართულებანია  $S$  ვარსკვლავზე. პატარა ელიფსი  $abcd$  ვარსკვლავის მიერ ერთი წლის განმავლობაში შესრულებული ხი-



ნახ. 185

ლული გადაადგილების „კვალია“. კვირვების პუნქტებიდან მასზე მიმართული წრეები (185-ე ნახაზის შემთხვევაში, მაგალითად,  $T_1S_1T_2$  კუთხე ან  $ASC$  კუთხე).

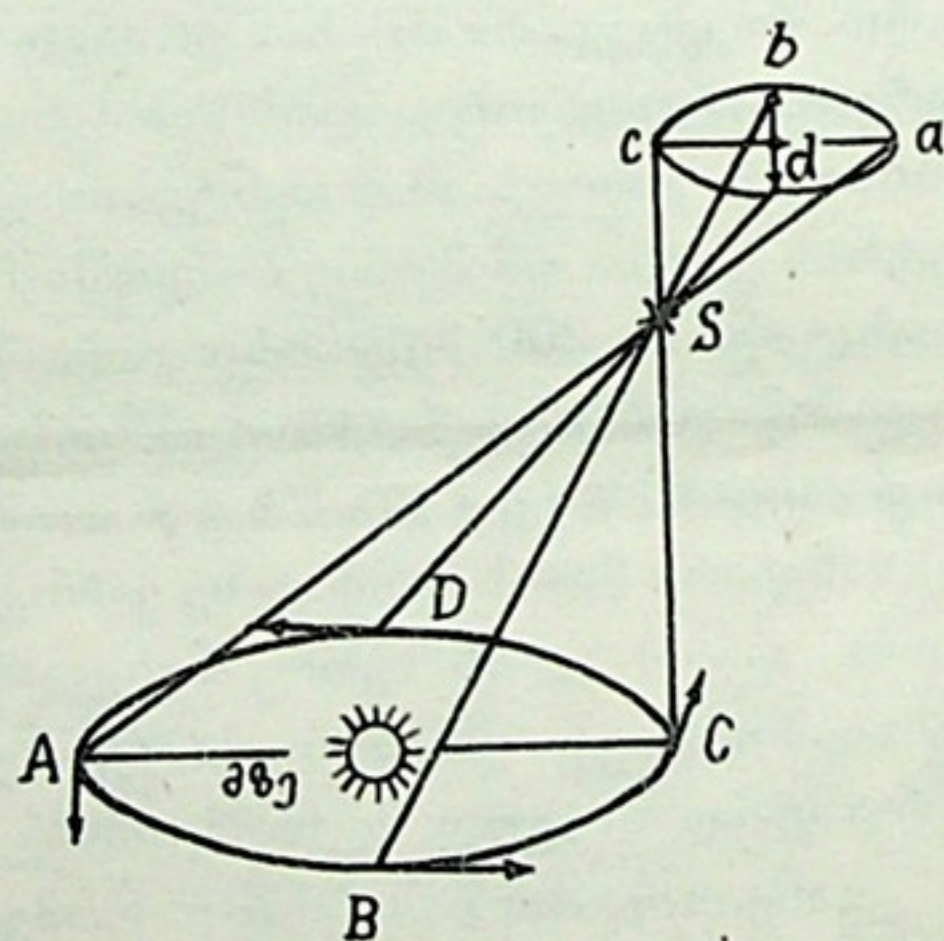
185-ე ნახაზზე ეს უკანასკნელი გარემოება კიდევ უფრო თვალსაჩინოდ არის დასურათებული. მართლაც,  $S_2$  ვარსკვლავი, როგორც ნათლად ჩანს, უფრო შორსაა, ვიდრე  $S_1$  ვარსკვლავი და სათანადო  $T_1S_2T_2$  კუთხე უფრო მცირეა, ვიდრე  $T_1S_1T_2$  კუთხე.

ვარსკვლავების პარალაქსური გადაადგილება საერთოდ მეტად მცირეა და უახლოეს ვარსკვლავებისთვისაც რკალის სეკუნდის მეათედი და მეასედი ნაწილებით გამოიხატება.

ამიტომ, თუმცა ყოველი ვარსკვლავი განიცდის პარალაქსურ გადაადგილებას დედამიწის მოძრაობის გამო, ვარსკვლავებიანი ცის საერთო სურათი, თანავარსკვლავედთა სახე და მათი ურთიერთგანლაგების ცვლილება თვალისათვის მაინც შეუმჩნეველია.

პარალაქსური გადაადგილების გამოსავლინებლად საჭიროა მეტისმეტად ზუსტი და ფაქიზი დამზერის წარმოება და უმცირესი კუთხეების გაზომვა. ამიტომ იყო, რომ ეს მოვლენა დიდხანს სრულიად შეუმჩნეველი რჩებოდა და მხოლოდ XIX საუკუნის მეორე მეოთხედში აღმოაჩინეს.

კოპერნიკის მოძღვრება მზის გარშემო დედამიწის მოქცევის შესახებ უფრო მაღე მიიღებდა საყოველთაო აღიარებას, პარალაქსური გადაადგილება ადრე



ნახ. 186



რომ ყოფილიყო შენიშნული. მისი აღმოჩენა ჩაითვალა კოპერნიკის მოძღვრების სისწორის, დედამიწის მზის გარშემო წლიური მოქცევის საბოლოო დამტკიცებად.

ჯერ კიდევ XVII—XVIII საუკუნის ასტრონომები ცდილობდნენ პარალაქსური გადაადგილების აღმოჩენას იმ საშუალებათა მეშვეობით, რომლებიც მათ გააჩნდათ. ეს ამოცანა ბევრს იზიდავდა სწორედ იმიტომ, რომ აღმოჩენა ახალ მოძღვრებას მაშინვე მოუპოვებდა ფიზიკურ დამტკიცებას.

მხოლოდ XIX ს-ის ოცდაათიან წლებში პულკოვოს ობსერვატორიის პირველმა დირექტორმა ვ. სტრუვემ მოახერხა აღმოჩენა ვეგა ვარსკვლავის (α ქნარის) წლიური პარალაქსური გადაადგილება. ეს გადაადგილება სულ მხოლოდ 0".12-ია; ვარსკვლავი ჩვენგან 26 სინათლის წლის მანძილზე იმყოფება.

მაღე ამის შემდგომ, ფ. ბესელმა გერმანიაში აღმოაჩინა ამავე წარმოშობის გადაადგილება „გელი 61“ ვარსკვლავისა. ამ შემთხვევაში პარალაქსური გადაადგილება მეტი იყო—0".3-მდე. ეს ვარსკვლავი თითქმის  $2\frac{1}{2}$ -ჯერ უფრო ახლოა, ვიდრე ვეგა (უფრო სწორად, აქ მოყვანილია პარალაქსის მნიშვნელობა; იხ. ქვემოთ).

იმავე დროს ინგლისელმა ჰენდერსონმა განსაზღვრა სამხრეთის ცაზე მდებარე ვარსკვლავის—ცენტავრის α-ს პარალაქსური გადაადგილება, რომელიც 0".75 აღმოჩნდა. ერთი სისტემის წევრებია ეს ვარსკვლავი და მისი მეზობელი, სახელად პროქსიმა, რომლის პარალაქსი მოგვიანებით იქნა გაზომილი და ცოტა უფრო მეტი აღმოჩნდა. 0".77, მაშასადამე, უფრო ახლოს ყოფილა ჩვენთან. ამიტომ დაერქვა ცენტავრის α-ს საკუთრივ ამ მდგენელს პროქსიმა, რაც უახლოესს ნიშნავს. სინათლის სხივი, რომლის გავრცელების სიჩქარეა 300000 კმ/წმ, ამ ვარსკვლავამდე მანძილის გარბენას ანდომებს 4.3 წელიწადს. ეს უახლოესი ვარსკვლავია ჩვენგან; ამაზე უფრო ახლო ვარსკვლავს არ ვიცნობთ, თუ არა თვით ჩვენს მზეს, რომელიც თავისი ბუნებით აგრეთვე ვარსკვლავია.

ადვილი მისახვედრია, მეტადრე, თუ 187-ე ნახაზსაც დავიხმართ საკითხის გასაჩვენად, რომ იმ შემთხვევაში, როცა ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსშია ან მის ახლო, მისი წლიური პარალაქსური გადაადგილების ტრაექტორია თითქმის წრეწირს ან ელიფსს წარმოადგენს. პოლუსიდან რაც უფრო დაშორებულ ანუ ეკლიპტიკის სიბრტყესთან მიახლოებულ ვარსკვლავს ავიღებთ, მით უფრო მეტად გაწელილი იქნება სათანადო ელიფსი. ხოლო, თუ ვარსკვლავი თვით ეკლიპტიკის სიბრტყეში ძევს, მისი პარალაქსური გადაადგილების ელიფსი იმდენად „შეიკუმშება“, რომ წრფის მონაკვეთად გადაიქცევა.

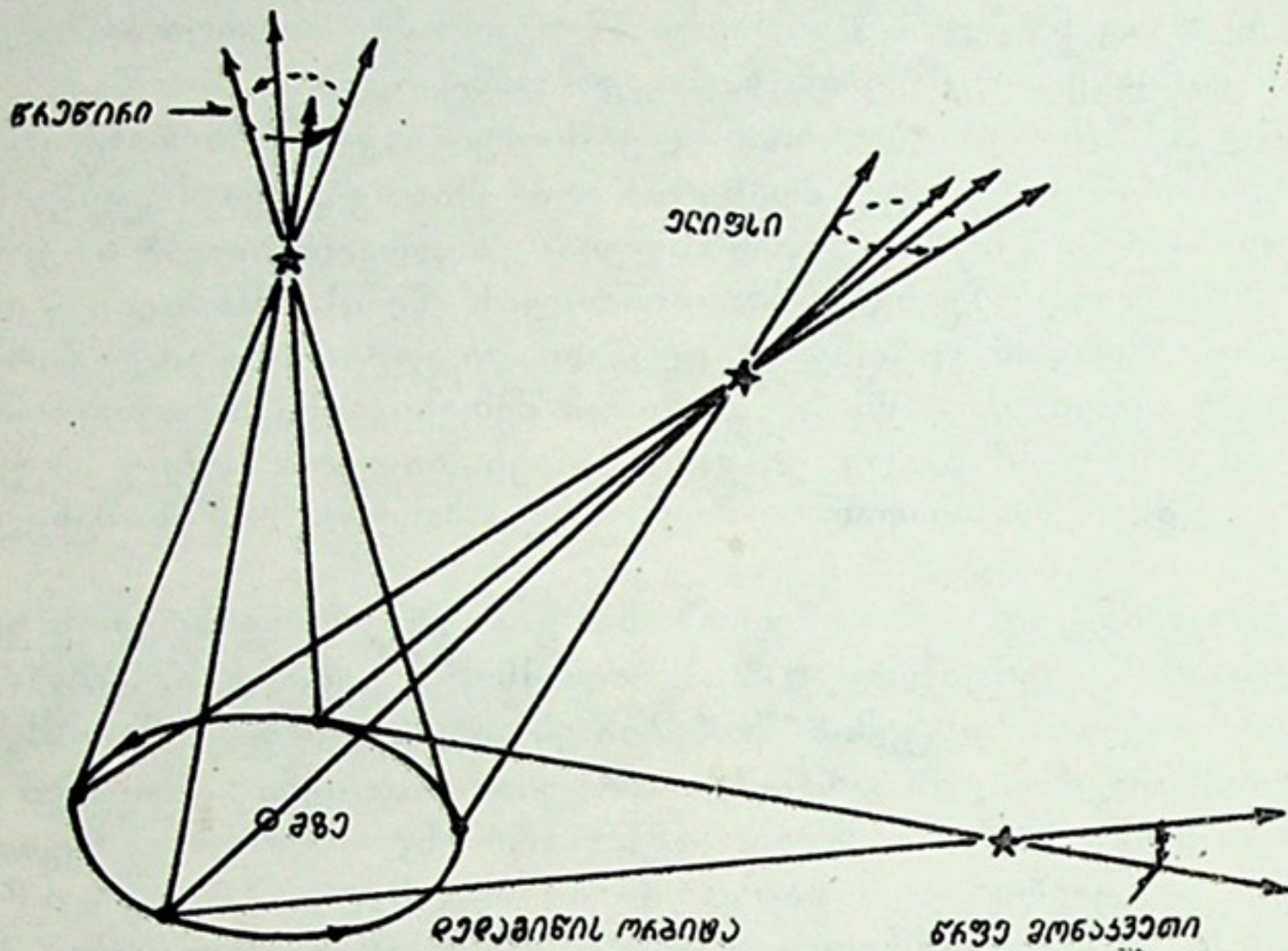
ვ. სტრუვეს, ფ. ბესელისა და თ. ჰენდერსონის აღმოჩენების შემდეგ ვარსკვლავთა პარალაქსური გადაადგილების გამოვლინება ძალიან გახშირდა; დაკვირვების ტექნიკის გაუმჯობესებისა და სიზუსტის ზრდასთან ერთად იმ ვარსკვლავების რიცხვი, რომელთა მიმართ გადაადგილება დასტურდებოდა, სწრაფად იზრდებოდა. ამას უადრესად დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა არა მარტო იმიტომ, რომ საბოლოოდ მტკიცდებოდა კოპერნიკისეული მოძღვრების სისწორე, არამედ—ამავე დროს—უფრო სრული და სწორი წარმოდგენა ყალიბდებოდა იმაზე, თუ რას წარმოადგენს ვარსკვლავთ სამყარო, რა სივრცეზეა განვრცობილი და რა მასშტაბისაა იგი.

დედამიწის სივრცეში მოძრაობის, კერძოდ,—მზის გარშემო მისი წლიური



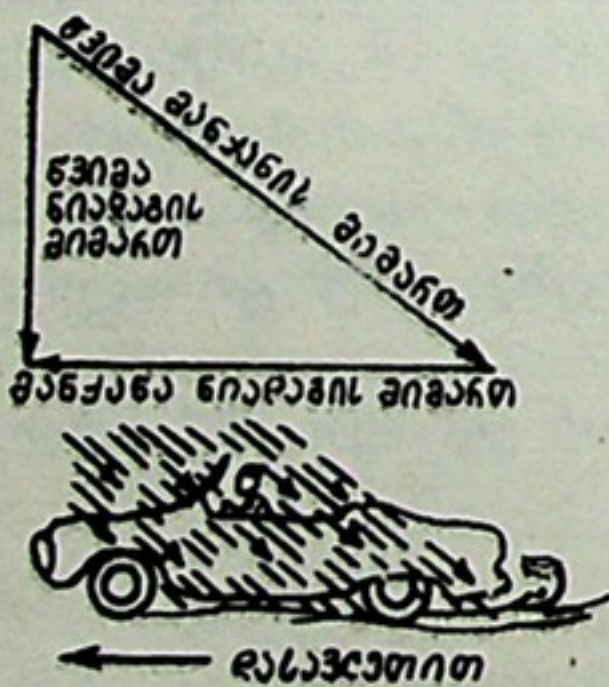
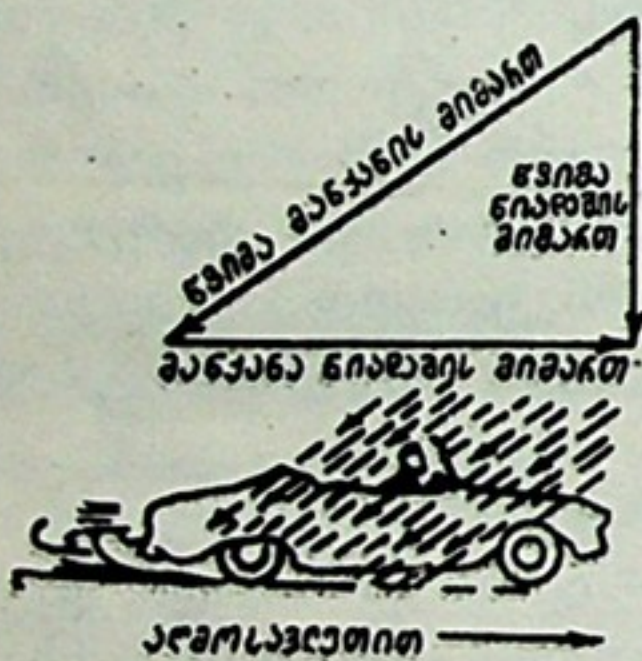
მოქცევის ფიზიკურ დამტკიცებას წარმოადგენს ე. წ. ვარსკვლავთ სინათლის აბერაცია.

ამ მოვლენის არსს უფრო ადვილად ჩავწვდებით, თუ წინასწარ გავიხსენებთ გამოცდილებიდან ცნობილ შემდეგ მოვლენას. წარმოვიდგინოთ, რომ წვიმის



ნახ. 187

წვეთები ვერტიკალურად ეშვება (ნახ. 188). თუ დამკვირვებელი ისრით ნახვენები მიმართულებით მოძრაობს, მაგალითად, ავტომანქანით, მას ეჩვენება თითქოს წვიმის წვეთები ირიბად ეცემა (დახრილი წვეტილი ხაზები იმავე ნახაზზე). ამგვარად, წვიმის მოჩვენებითი მიმართულება, გამოწვეული მანქანის მოძრაობით, განსხვავდება იმ მიმართულებისაგან, რომელიც მას სინამდვილეში აქვს.



ნახ. 188

აქ ხდება მოძრაობათა ერთგვარი შეკრება წვიმის წვეთების შევეული მოძრაობისა (ვარდნისა) და მანქანის ჰორიზონტალური გადაადგილებისა.

თუ დამკვირვებელი გამოიცვლის მოძრაობის მიმართულებას, წვიმის წვეთების ვარდნის მოჩვენებითი მიმართულებაც გამოიცვლება და ისე, რომ მოჩვენებითი დახრა დამკვირვებლის მოძრაობის შემხვედრი იქნება. ამავე დროს წვიმის მოჩვენებითი მიმართულება მით უფრო მეტად დაშორდება შევეულ მიმართულებას, რაც უფრო მეტია დამკვირვებლის მოძრაობის სიჩქარე.

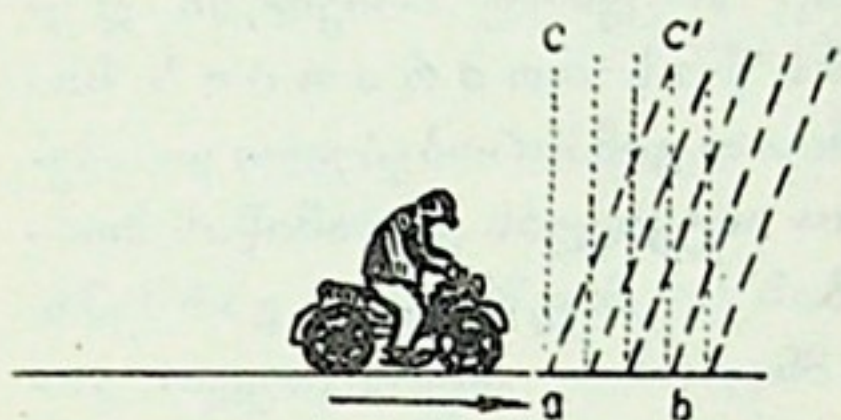
ადვილად გამოითვლება, თუ წვიმის წვეთების სიჩქარედ დაახლოებით 30 კმ-ს ჩავთ-



ვლით საათში და ავტომანქანის სიჩქარესაც 30 კმ-ს საათში, კუთხე წვიმის წვე-  
თების მოჩვენებით მიმართულებასა და შვეულს შორის  $45^\circ$  იქნება. თუ სიჩქარე  
60 კმ-ია საათში, ეს კუთხე  $60^\circ$ -ს აღწევს. საერთოდ, ამ კუთხეს განსაზღვრავს  
წვიმის წვეთების ვარდნისა და ავტომანქანის სიჩქარეები.

თუ უძრავად ვდგავართ, წვიმისაგან თავდასაცავად ქოლგა ვერტიკალურად  
უნდა გვეჭიროს. თუ დავიძვრებით და ჩქარი ნაბიჯით წავალთ, იძულებული  
ვიქნებით ქოლგა წინ დავხართ და მით მეტად, რაც უფრო სწრაფად ვივ-  
ლით. ჩვენთვის ამ დროს წვიმის წვეთები თითქოს „შემხვედრია“, მაშინაც კი,  
როდესაც უქარო ამინდია და წვიმა ნამდვილად შვეულად მოდის. წვიმის წვეთე-  
ბის მოჩვენებითი გადახრა ადვილი შესამჩნევია მოძრავი მატარებლის ფანჯრის  
მინაზე. ეს აბერაციის მოვლენაა.

განვიხილოთ ანალოგიური სურათი უფრო სქემატურად (ნახ. 189). წვიმის  
წვეთები— $c$  და  $c'$ —შვეულად ეშვება. სანამ ეს წვეთები, შესაბამისად,  $a$  და  $b$ -ში



ნახ. 189

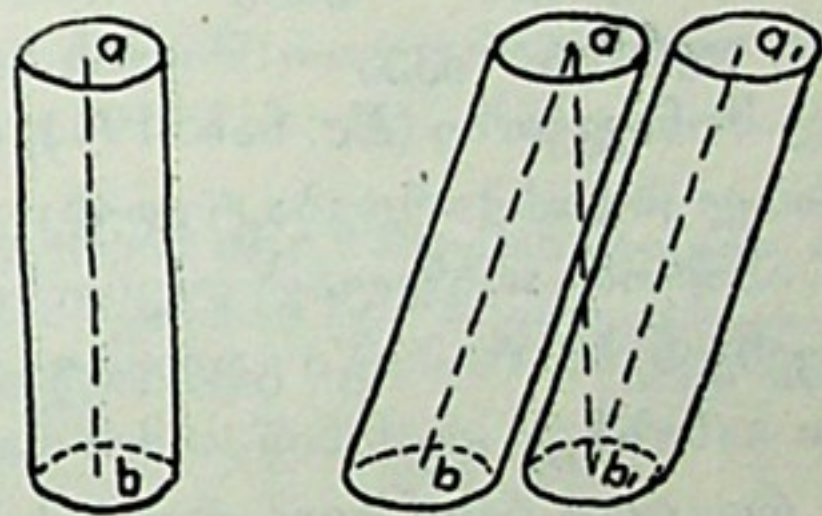
დაეცემოდეს, მოტოციკლი  $a$  წერტილიდან  
 $b$  წერტილში მივა, მოტოციკლზე მჯდომა-  
რეს  $c$  წვეთი ასცდება, უკან ჩამორჩება და  
სამაგიეროდ  $c'$  წვეთი წინიდან შეხვდება.

განვიხილოთ ახლა ერთი ცდა-მაგა-  
ლითი. ავიღოთ ვერტიკალურად დაყენებუ-  
ლი გრძელი მილი (ნახ. 190) და თავისუფ-  
ლად ჩავუშვათ მასში ბურთი ზუსტად შუა-  
ში,  $a$  წერტილიდან. ბურთი დაეცემა მი-

ლის ფუძის შუაში ( $b$  წერტილი).

ვთქვათ ახლა, რომ ვერტიკალური მილი  $ab$  მოძრაობს  $ab$ -ს მართობული  
მიმართულებით. თუ ასეთ პირობებში ბურთს კვლავ წინანდებურად ჩავუშვებთ,  
იგი ვერ მიაღწევს მილის ფუძის შუაგულს: მას დაეჯახება მოძრავი მილი თავისი  
გვერდითი შიდა ზედაპირით და ამის შემდგომ ბურთი ძირს ჩავორდება.

თუ გვსურს, რომ ბურთი მოძრავ  
მილში ვარდნისას მილის  $ab$  ღერძს მი-  
ჰყვებოდეს და სწორედ  $b$  წერტილში  
დაეცეს, საჭიროა მილი მოძრაობის მი-  
მართულებით დავხართ ისე, რო-  
გორც ეს იმავე ნახაზის მარჯვენა მხა-  
რეზეა ნაჩვენები. დროის შუალედში,  
რომელიც საჭიროა ბურთის  $a$  წერტი-  
ლიდან  $b$ -ში მისადწევად,  $b$  წერტილი  
უნდა გადაადგილდეს  $b_1$ -ში. მილის  
დახრის სიდიდე დამოკიდებული იქნება მისი მოძრაობის სიჩქარეზე, თუ ბურ-  
თის ვარდნის სიჩქარე უცვლელია.



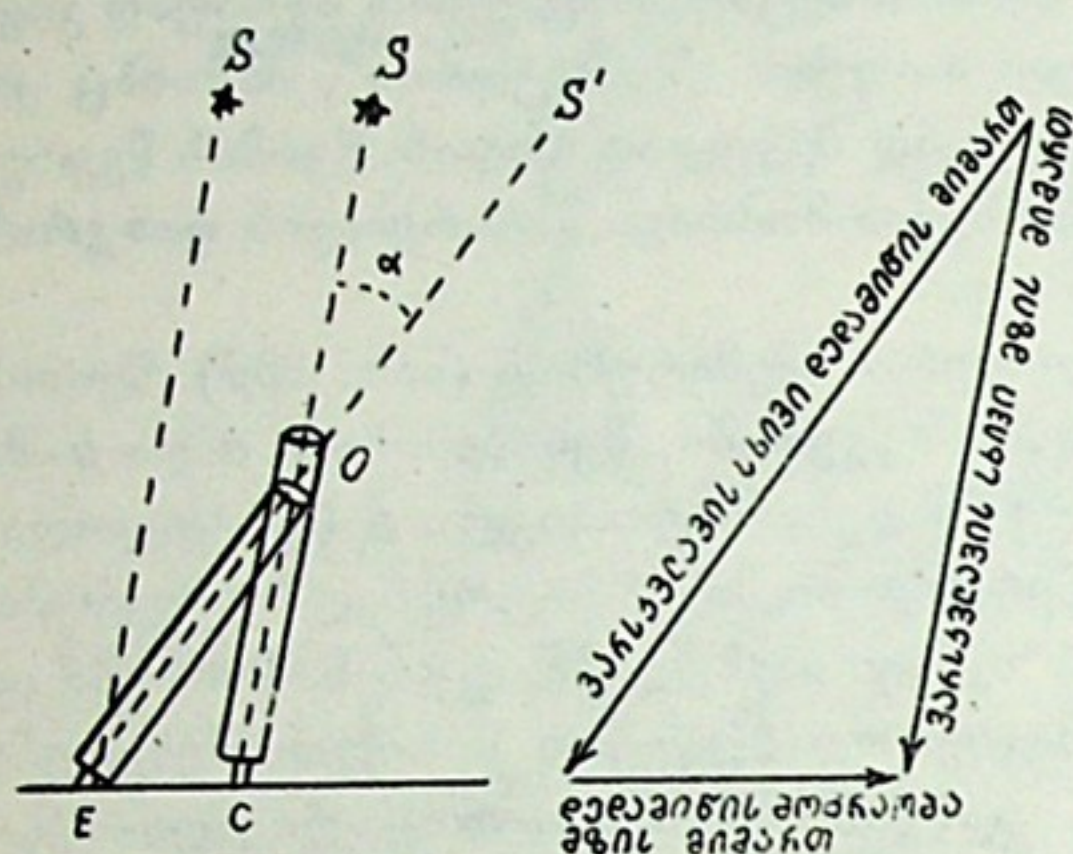
ნახ. 190

სრულიად მსგავს მოვლენას აქვს ადგილი მნათობის ტელესკოპით დაკვირ-  
ვების შემთხვევაში. სინათლის სიჩქარესთან შედარებით დედამიწის მოძრაობის  
სიჩქარე ძალიან მცირეა, მაგრამ არცთუ სრულიად უმნიშვნელო. ამიტომ, ვიდრე  
მნათობის სინათლის სხივის ელემენტი ტელესკოპის ობიექტივიდან ოკულარამ-  
დე—დამკვირვებლის თვალამდე გაირბენდეს, დედამიწა გარკვეული სიდიდით  
გადაადგილდება სივრცეში. ასე რომ, თუ დამკვირვებელს სურს ტელესკოპში და-



ინახოს არჩეული მნათობი, მან ტელესკოპის მილი ოდნავ უნდა გადახაროს მნათობის ნამდვილი მიმართულებისაგან იქით, საითაც დედამიწა მოძრაობს (ნახ. 191).

პრაქტიკულად ეს მოვლენა, რომელსაც სინათლის აბერაცია ეწოდება, ცვლის მიმართულებას მნათობზე. ვარსკვლავი, რომელიც სინამდვილეში მდებარეობს  $S$  წერტილში, მოჩანს  $S'$  წერტილში.  $\alpha$  კუთხე აბერაციით გამოწვეული გადახრაა და გვიჩვენებს განსხვავებას ვარსკვლავის ნამდვილსა და ხილულ მიმართულებათა შორის (ნახ. 191).



ნახ. 191

არ ცვლის ვარსკვლავებიანი ცის საერთო სახეს. თუმცა, იგი შესამჩნევად აღემატება ვარსკვლავთა პარალაქსურ გადაადგილებას.

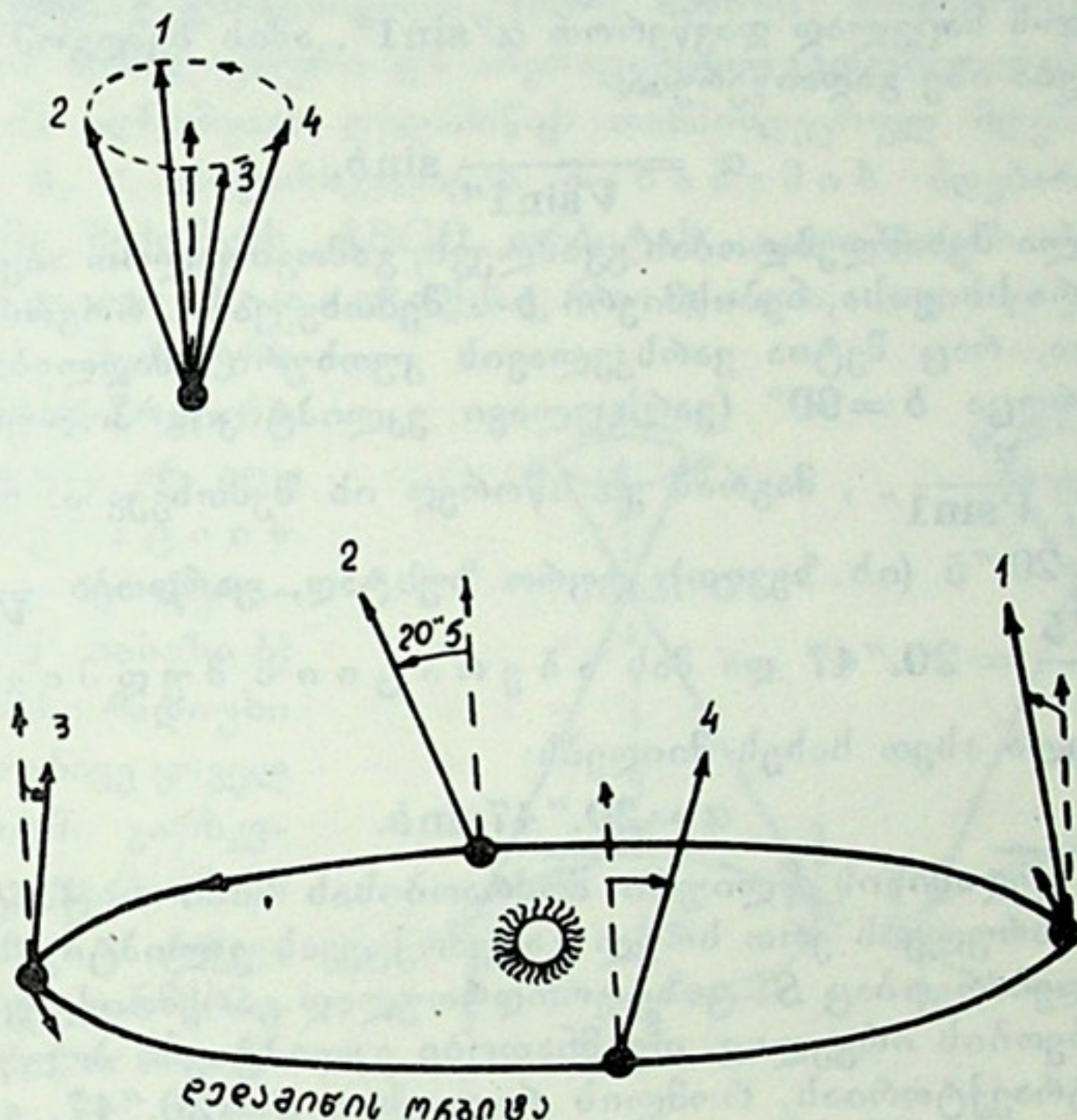
**§ 111. სხივის აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი.** განვიხილოთ აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი დაწვრილებით და წინასწარ გავარჩიოთ შემთხვევა, როცა ეკლიპტიკის პოლუსის ახლომდებარე ვარსკვლავს ვაკვირდებით (ნახ. 192). მაშასადამე, დედამიწის სიჩქარე შეადგენს ვარსკვლავიდან მომავალი სხივების მიმართულებისადმი მართ კუთხეს. აღწერილი აბერაციული მოვლენის გამო ტელესკოპის მილი სათანადოდ უნდა დავხაროთ, უფრო გარკვევით: მილის საოკულარო ბოლო უკან უნდა დავწიოთ იმ გზის ტოლ მონაკვეთზე ( $Ec$ , ნახ. 191), რომელსაც დედამიწა გაირბენს იმ დროში, რაც სინათლეს დასჭირდება ტელესკოპის ობიექტივიდან მის ოკულარამდე მისაღწევად. ამიტომ ვარსკვლავს დავინახავთ 1, 2, 3, 4 მიმართულებებით და, მაშასადამე, მოგვეჩვენება, რომ იგი გადაადგილდება იქით, საითაც დედამიწა მოძრაობს (ისრები ნახაზზე); დედამიწის მოძრაობა კი ყოველ მომენტში მიმართულია ისე, როგორც მისი მდებარეობის წერტილში გავლებული მისივე ორბიტის მხეზი. წერტილს, საითაც მიმართულია დედამიწის მოძრაობა მოცემულ მომენტში, ეწოდება დედამიწის წლიური მოძრაობის აპექსი. მაგრამ, რამდენადაც დედამიწის ტრაექტორია, შეიძლება ითქვას, წრეწირია, მზის ირგვლივ შემოვლებული, ამდენად აპექსის წერტილი განუწყვეტლივ გადაინაცვლებს. ადვილი მისახვედრია (იხ. ნახ. 192), რომ აპექსის წერტილი მდებარეობს ეკლიპტიკის სიბრტყეში და აპექსის მიმართულება ადგენს მზეზე მიმართულებასთან  $90^\circ$ -ის ტოლ კუთხეს. ამასთანავე, როგორც ამავე ნახაზზე ჩანს, აპექსის მდებარეობა მზის მიმართ მუდამ დასავლეთითაა.

განვსაზღვროთ აბერაციული გადაადგილების სიდიდე. ამისათვის დავუბრუნდეთ 191-ე ნახაზს.  $V$  აღნიშნავდეს სინათლის გავრცელების სიჩქარეს,



$v$  — დედამიწის მოძრაობის სიჩქარეს. ვთქვათ,  $oc$  მანძილს (მილის სიგრძე) სინათლე გადის დროის  $t$  შუალედში, ხოლო დედამიწა ამავე დროის შუალედში გადის  $Ec$  მანძილს. შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{Ec}{oc} = \frac{vt}{Vt},$$



ნახ. 192

აბერაციული გადაადგილების  $\alpha$  კუთხე განისაზღვრება  $oEc$  სამკუთხედიდან. თუ ჩავთვლით, რომ ეს სამკუთხედი ახლოა სწორკუთხოვანთან (ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსის ახლოა), მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Ec}{oc} = \frac{v}{V}.$$

გავიხსენოთ ახლა  $V$  და  $v$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობანი: დაახლოებით 300000 კმ/სეკ და 30 კმ/სეკ, შესაბამისად. ჩავსვათ რა მათ  $\operatorname{tg} \alpha$ -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx 0.0001,$$

რაც შეესაბამება  $\alpha$ -ს მნიშვნელობას დაახლოებით 20.5.

პრაქტიკული დაკვირვება სწორედ ამ სიდიდის კუთხით გადახრას იძლევა.

გავარჩიოთ ახლა ზოგადი შემთხვევა, როცა ვარსკვლავი მდებარეობს ეკლიპტიკის პოლუსს დაშორებულ წერტილში — ცის სფეროს ნებისმიერ ადგილას. განვსაზღვროთ ვარსკვლავის მდებარეობა  $b$  კუთხით, რომელიც წარმოადგენს აპექსსა და ვარსკვლავზე მიმართულებებს შორის კუთხეს (იგივე 191-ე ნახ.; ოღონდ იგულისხმება, რომ  $Sc$  მიმართულება შედარებით მცირე კუთხეს ქმნის



$E_c$ -თან). განვიხილოთ კვლავ  $Eoc$  სამკუთხედი, სადაც კუთხე  $Eoc = \alpha$ , კუთხე  $Eco = 180^\circ - b$ , ხოლო კუთხე  $oEc = b - \alpha$ . შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(b - \alpha)} = \frac{v}{V}.$$

რადგანაც  $\alpha$  ერთობ მცირე კუთხეა,  $(b - \alpha)$ -ს ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ  $b$ , ხოლო  $\sin \alpha$ -ს ნაცვლად დავწეროთ  $\alpha'' \sin 1''$ . ამის შემდგომ აქ მოყვანილი დამოკიდებულება ასე გადაიწერება:

$$\alpha = \frac{v}{V \sin 1''} \sin b.$$

ეს ფორმულა შესაძლებლობას გვაძლევს, გამოვთვალოთ აბერაციით გამოწვეული გადახრა სხივისა, ნებისმიერი  $b$ -ს შემთხვევაში. როგორც ჩანს, გადახრა მით მეტია, რაც მეტია ვარსკვლავის კუთხური ამალღება ეკლიპტიკის სიბრტყიდან. როცა  $b = 90^\circ$  (ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსშია), მაშინ  $\sin b = 1$  და  $\alpha = \frac{v}{V \sin 1''}$ , მაგრამ ეს სწორედ ის შემთხვევაა, როცა  $\alpha$  დაახლოებით არის  $20.''5$  (იხ. ზევით). უფრო ზუსტად, ფარდობა  $\frac{v}{V \sin 1''} = \frac{206265 \cdot 29.75}{299800} = 20.''47$  და მას აბერაციის მუდმივა ეწოდება.

ზოგადი ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\alpha = 20.''47 \sin b.$$

რადგანაც დედამიწის წლიური მოძრაობისას მისი აპექსიც წელიწადის განმავლობაში ასრულებს ერთ სრულ გარემოქცევას ეკლიპტიკაზე, ვარსკვლავის ხილული მდებარეობაც  $S'$  ცაზე ერთდროულად გარემოქცევა მისი ჭეშმარიტი  $S$  მდებარეობის ირგვლივ. თუ მნათობი ეკლიპტიკის პოლუსშია,  $S'$  აღწერს წრიულ ტრაექტორიას, რომლის რადიუსია  $a = 20.''47$ . ვარსკვლავები, რომლებიც ეკლიპტიკის პოლუსში არ მდებარეობენ, წლის განმავლობაში ელიფსურ ტრაექტორიებს შემოწერენ მათ ჭეშმარიტ მდებარეობათა გარშემო.

ვინაიდან  $\sin b$  იცვლება  $+1$ -დან  $-1$ -მდე (ზოგჯერ ხომ ისეთ ვარსკვლავებსაც ვაკვირდებით, რომლებიც დედამიწის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგო მხარეზე ან ეკლიპტიკის სამხრეთით მდებარეობენ!), ამიტომ აბერაციით გამოწვეული ხილული მდებარეობის გადახრა ჭეშმარიტი მდებარეობიდან  $+20.''5$ -დან  $-20.''5$ -მდე იცვლება.

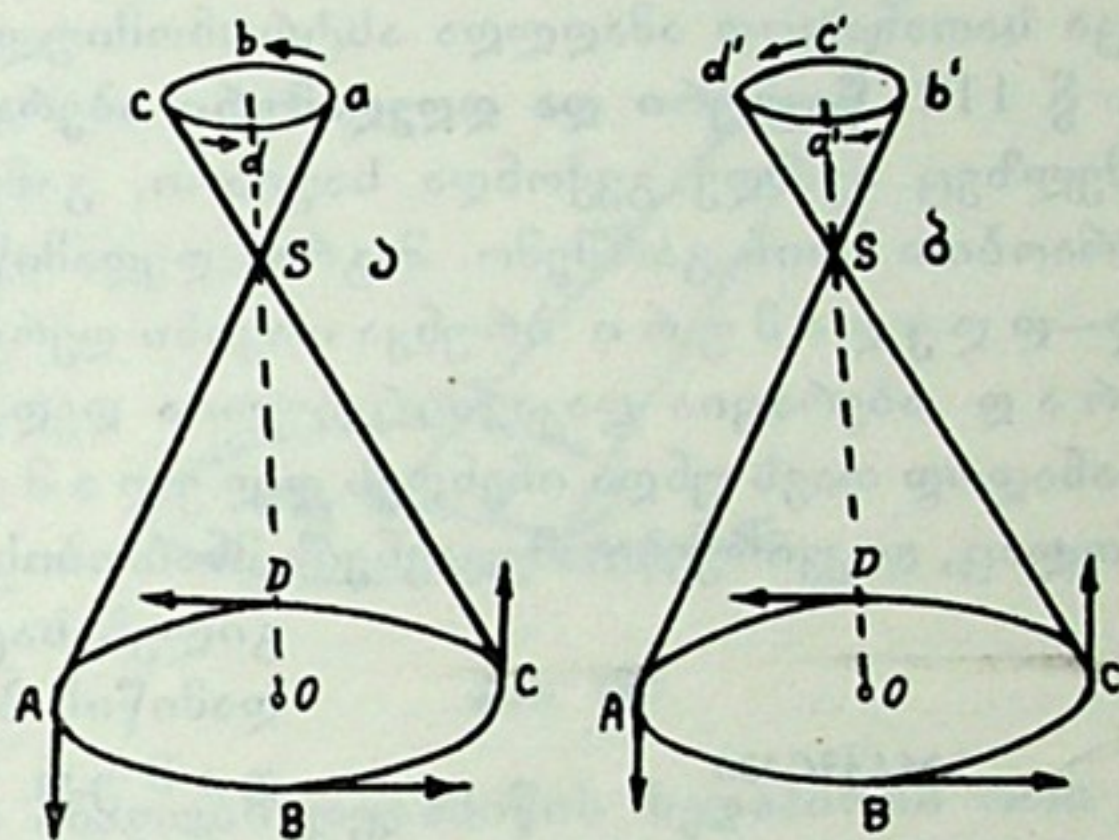
ცხადია, რომ აბერაციის გავლენა აღებული ვარსკვლავის მდებარეობაზე (მის კოორდინატებზე) წლიური პერიოდისაა; წლის დასასრულს ვარსკვლავი თავის მდებარეობას უბრუნდება.

მივაქციოთ ყურადღება, რომ პრეცესიის გამო აღებული ვარსკვლავის კოორდინატები სისტემატურად იცვლება ერთი მიმართულებით: ან მატულობს, ან კლებულობს (ეს დამოკიდებულია ცამრგვალზე მნათობის მდებარეობაზე). ნუტაცია, თავის მხრივ, ვარსკვლავის კოორდინატებს პერიოდულად ცვლის. იმისათვის, რომ გავარკვიოთ ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობა (იხ. ქვევით), უნდა მოვახერხოთ მის კოორდინატებზე აბერაციის, პრეცესიისა და ნუტაციის გავლენის გათვალისწინება ანუ გამოირიცხვა (როგორც ამბობენ, გაგათავისუფლოთ ვარსკვლავის მდებარეობა აბერაციის, პრეცესიისა



და ნუტაციისაგან). ასეთი გამორიცხვის განხორციელება ემყარება დამუშავებული მეთოდებს, რომლებიც ასტრომეტრიის კომპეტენციაში შედის.

მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ პარალაქსური წლიური გადაადგილებაც მსგავსად წლიური აბერაციისა ჩაკეტილი მრუდის გასწვრივ ამოძრავებს ვარსკვლავს ცაზე და ამ მოძრაობასაც წლიური პერიოდი აქვს. როგორ განვასხვაოთ ერთმანეთისაგან ეს ორი, სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული მოვლენა? განვიხილოთ 193-ე ნახაზი, რომელზეც სქემატურად წარმოდგენილია პარალაქსური და აბერაციული გადაადგილებანი. ა ნახაზზე  $A, B, C, D$  აღნიშნავს დედამიწის თანმიმდევრულ მდებარეობებს მის ორბიტაზე;  $a, b, c, d$ —ვარსკვლავის შესაბამის მდებარეობებს ცაზე. როცა დედამიწა შემოწერს  $ABCD$  ორბიტას, ეკლიპტიკის პოლუსის მახლობელი ვარსკვლავი პარალაქსური გადაადგილების გამო ცის სფეროზე შემოწერს მცირე ზომის  $abcd$  წრეწირს (რომლის რადიუსი არ აღწევს  $1''$ -ს). აბერაციის გავლენით შემოწერილი წრე ( $a'b'c'd'$ , ნახაზი ბ) უფრო დიდია; მისი რადიუსი  $20''.5$ -ია. ამასთანავე ყოველ



ნახ. 199

აღებულ მომენტში ვარსკვლავის გადაადგილება მისი პარალაქსური ტრაექტორიის ცენტრიდან მიმართულია დედამიწის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ; მაგალითად, როცა დედამიწა  $A$  წერტილშია (ნახ. ა) და მოძრაობს  $B$ -კენ, ვარსკვლავის ხილული პარალაქსური გადაადგილება  $a$ -დან  $b$ -კენ არის მიმართული. ამასთანავე, როცა დედამიწა  $A$  წერტილშია და  $B$ -კენ მოძრაობს, ამის შესაბამისი აბერაციული გადაადგილება ვარსკვლავისა (ნახ. ბ) მიმართულია მუდამ აპექსისაკენ, ე. ი.  $a'$ -დან  $b'$ -კენ. მაშასადამე, ყოველ მოცემულ მომენტში ვარსკვლავის გადაადგილება აბერაციული წრის ცენტრიდან მიმართულია, შეიძლება ითქვას, მზისგან დასავლეთით მდებარე და  $90$ -ით დაშორებული წერტილისაკენ. ვარსკვლავი თითქოს სრული წრეწირის ერთი მეოთხედით ჩამორჩება პარალაქსურ გადაადგილებას. თუ 193-ე ნახაზის ორივე ნაწილს (ა და ბ) ერთმანეთთან შევათავსებთ, სურათი ისე წარმოგვიდგება, რომ პარალაქსური და აბერაციული წრეწირები კონცენტრული იქნება; მათ საერთო ცენტრში მოთავსდებოდა ვარსკვლავი, თუ მას დედამიწის ორბიტის ცენტრიდან ანუ მზიდან გავხედავდით. პარალაქსური წრის რადიუსი არ აღწევს  $1''$ -ს და უძრავლეს შემთხვევაში ამაზე გაცილებით ნაკლებია, დამოკიდებულია რა ვარსკვლავის დაშორებაზე ჩვენგან. აბერაციული გადაადგილების ტრაექტორიის ფორმა ზოგადად ელიფსს წარმოადგენს, რომლის დიდი ნახევარღერძი ყოველთვის  $20''.5$ -ია, მცირე კი დამოკიდებულია მნათობის ეკლიპტიკურ განედზე. ეკლიპტიკის პოლუსთან იგი ყველა ვარსკვლავისათვის  $20''.5$ -ია.



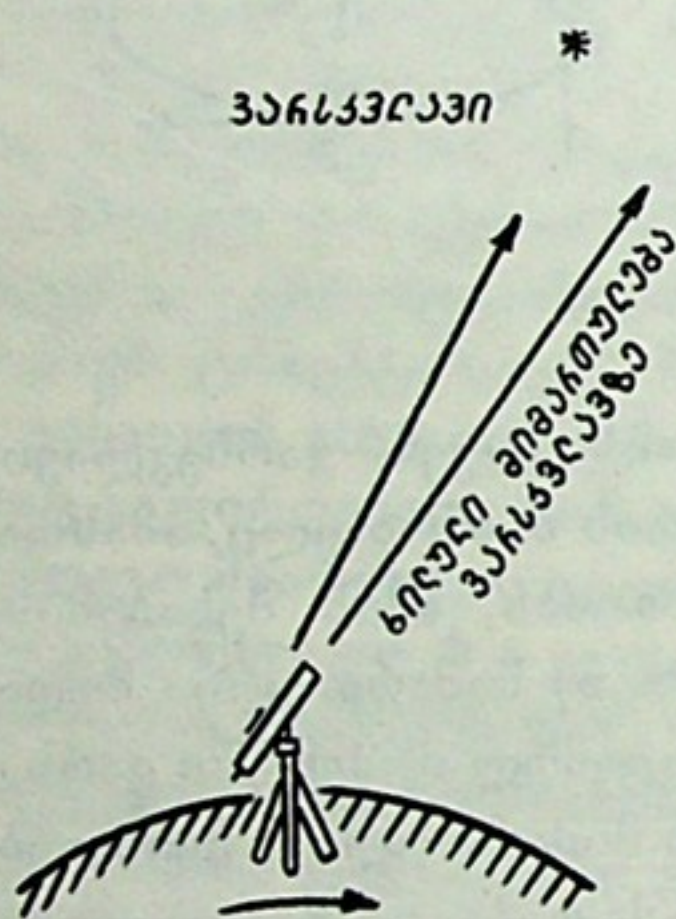


აბერაციის მოვლენა აღმოაჩინა ინგლისელმა ასტრონომმა ბრადლიმ XVIII საუკუნეში. იგი გულმოდგინედ ეძებდა ვარსკვლავის პარალაქსურ გადაადგილებას. როგორც დედამიწის მზის ირგვლივ წლიური მოძრაობის უტყუარ მოწმობას. ბრადლიმ იმთავითვე შენიშნა აბერაციულ მოვლენაში წლიური პერიოდი, მაშასადამე, — კავშირი დედამიწის წლიურ მოძრაობასთან, მაგრამ მისთვის გაუგებარი რჩებოდა გადაადგილების ხასიათი, რომელიც ვერ პოულობდა ახსნას პარალაქსურ მოძრაობაში. სხივის პარალაქსური გადაადგილება პერსპექტიული მოვლენაა, აბერაციული გადაადგილება კი — ფიზიკური. მისი აღმოჩენა ადასტურებდა დედამიწის რეალურ მოძრაობას და ამაში იყო მისი დიდი მნიშვნელობა, თუმცა მაშინვე არ მოხერხდა ამ მოვლენის ახსნა. პარალაქსური გადაადგილება აღმოჩენილ იქნა მთელი საუკუნით გვიან, რადგანაც, როგორც ვნახეთ, მისი სიდიდე რამდენიმე ათეულჯერ ნაკლებია, ვიდრე აბერაციის მუდმივა, და მხოლოდ იმ დრომ მოუპოვა მეცნიერებას ეს აღმოჩენა, როცა სათანადოდ ამაღლდა ასტრონომიული დაკვირვების სიზუსტე.

§ 112. წლიური და დღელამური აბერაცია. აბერაციული გადაადგილება, რომელზეც აქამდე გვქონდა საუბარი, გამოწვეულია დედამიწის წლიური მოძრაობით მზის გარშემო. მაგრამ დედამიწას სხვა მოძრაობაც გააჩნია, კერძოდ — დღელამური ბრუნვა თავისი ღერძის ირგვლივ. რამდენადაც ფიზიკურად აბერაცია დაკავშირებულია დედამიწის მოძრაობასთან, იგი სათანადოდ თავს უნდა იჩენდეს დღელამურ ბრუნვასთან კავშირშიც. მართლაც, დაკვირვება ამჟღავნებს მნათობის სხივის ისეთ აბერაციულ გადაად-

გილებასაც, რომელიც განპირობებულია დედამიწის ბრუნვით. ამგვარ აბერაციას დღელამურ აბერაციას უწოდებენ, აქამდე აღწერილი წლიური აბერაციისაგან განსასხვავებლად (ნახ. 194).

დღელამური აბერაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა წლიურისაზე თითქმის 65-ჯერ ნაკლებია და სულ მხოლოდ  $0''.32$  შეადგენს. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება განედის მნიშვნელობას  $\varphi = 0^\circ$ , ე. ი. ეკვატორს, სადაც წრფივი სიჩქარე — დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული — უდიდესია ( $460$  მ/წმ). საერთოდ, რომელიმე  $\varphi$  განედისათვის დღელამური აბერაციის მნიშვნელობა წარმოადგენს შემდეგ სიდიდეს:  $0''.32 \cos \varphi$ . ადვილი



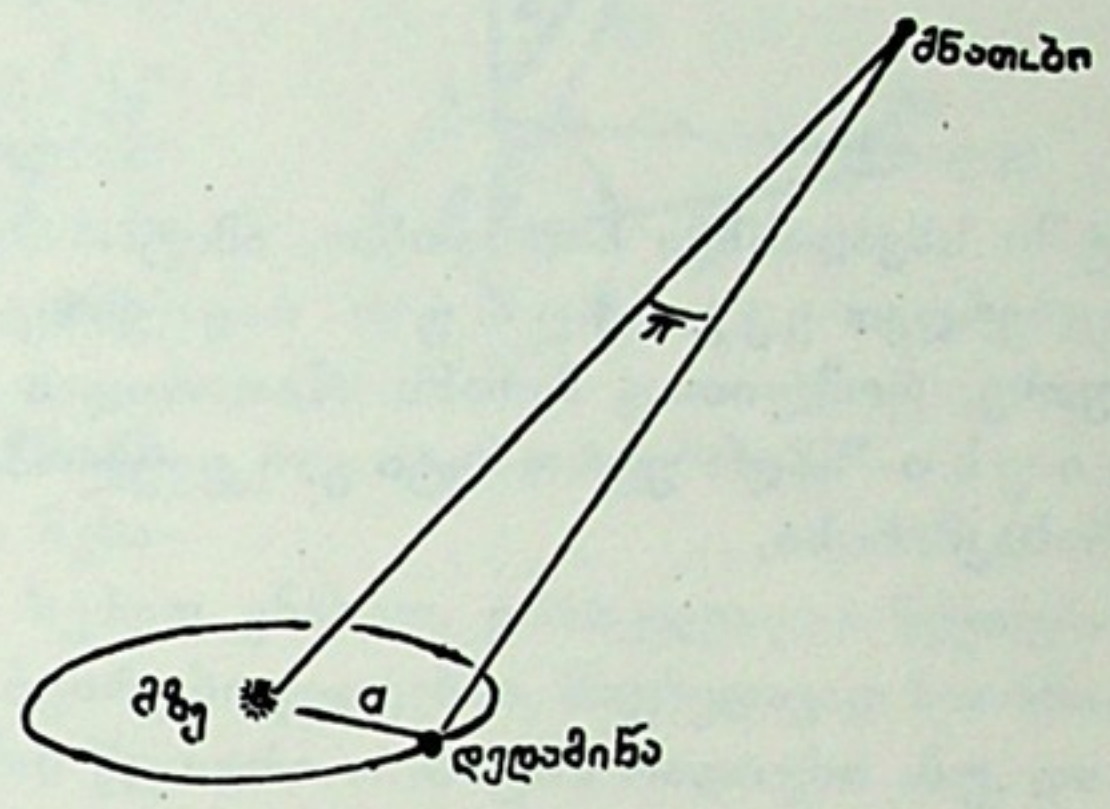
ნახ. 194

მისახვედრია, რომ დღელამური აბერაციის სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე იმაზე, თუ სად მდებარეობს მნათობი ცამრგვალზე; კერძოდ, როგორია მისი საათ-კუთხე; მერიდიანში აბერაცია მაქსიმალურია.

§ 113. წლიური და დღელამური პარალაქსი. ზემოთ გავეცანით ვარსკვლავის პარალაქსური გადაადგილების მოვლენას და ავხსენით იგი როგორც მზის ირგვლივ დედამიწის წლიური მოქცევის შედეგი. ამ მოვლენის არსი ისაა, რომ ვარსკვლავს, როცა ვუყურებთ მას დედამიწის წლიური ორბიტის სხვადასხვა წერტილიდან, სხვადასხვა მიმართულებით ვხედავთ. მეტი გარკვეულობისათვის საჭიროა ავარჩიოთ ორი ისეთი წერტილი, რომლებიც ერთიმეორის მიმართ ყოველ-

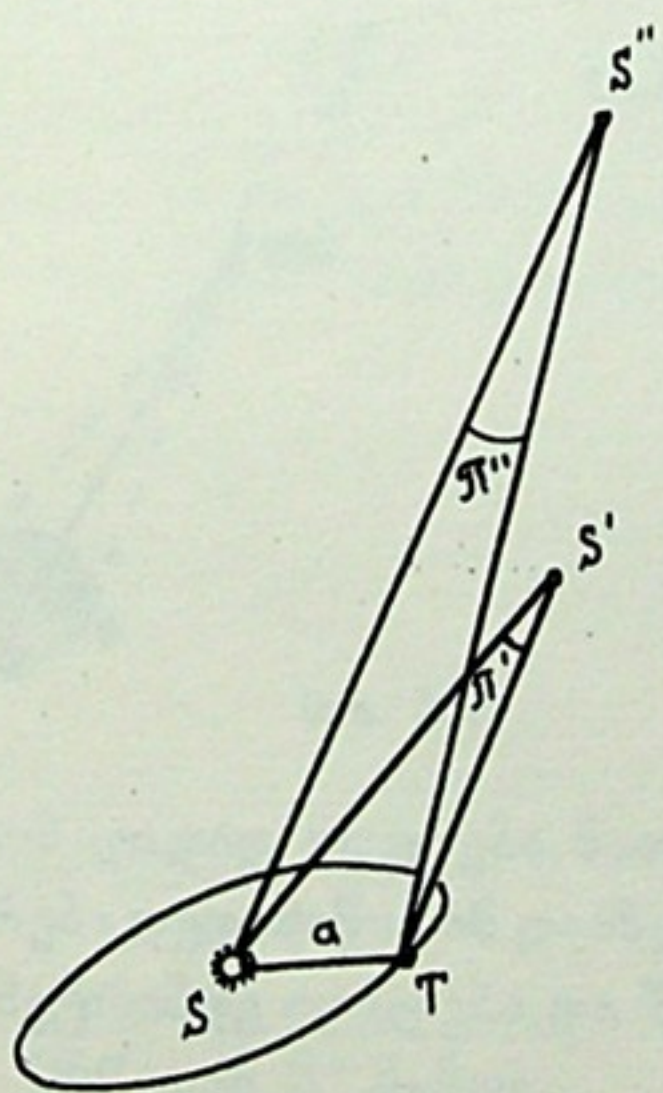


თვის ერთ და იმავე მანძილზე იქნება. საერთოდ, ასეთ წერტილებიდან ირჩევენ დედამიწას მისი ორბიტის რომელიმე წერტილზე და მზეს—ორბიტის ცენტრში. მართალია, ასეთ არჩევანს უფრო თეორიული მნიშვნელობა აქვს, რამდენადაც მზიდან ვარსკვლავზე გახედვა პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგრამ პარალაქსის კუთხე თავისი სიდიდით უფრო გარკვეულად, ცალსახად განისაზღვრება. იგი არის ამ შემთხვევაში ის კუთხე, რომლითაც გამოჩნდებოდა ვარსკვლავი დედამიწის წლიური ორბიტის  $a$  რადიუსი იმ დაშვებით, რომ დედამიწიდან ვარსკვლავზე მიმართულება რადიუსის მართობულია (ნახ. 195). ასეთ შემთხვევაში წლიური პარალაქსთან გვაქვს საქმე. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ წლიური პარალაქსის ბაზისს დედამიწის ორბიტის რადიუსი წარმოადგენს. როგორც ვხედავთ (ნახ. 196), რაც უფრო შორსაა მნათობი, მით ნაკლებია მისი პარალაქსი. მართლაც, ორ შემთხვევაში, როცა ბაზისი ერთი და იგივეა ( $ST$ ), ერთი ვარსკვლავის ( $S'$ ) წლიური პარალაქსი ( $\pi'$ ) მეტია, ვიდრე მეორისა ( $S''$ ), რომელიც უფრო შორსაა ( $\pi''$ ).



ნახ. 195

ბაზისი ისეც შეგვიძლია შევარჩიოთ, რომ დედამიწის ზედაპირზე თავსდებოდეს. სხვა სიტყვებით, შეგვიძლია დავაკვირდეთ მნათობს დედამიწის ზედაპირის ორი სხვადასხვა პუნქტიდან. ამის მაგალითი ნაჩვენებია 197-ე ნახაზზე, რომელიც თავისთავად გასაგებია და განმარტებას თითქმის არ მოითხოვს. დავუმატებთ მხოლოდ იმას, რომ, თუ მნათობი  $S_n$  მეტისმეტად შორსაა, იგი ბაზისის ორივე ბოლოდან ერთი და იმავე მიმართულებით მოჩანს და მისი პარალაქსური კუთხე პრაქტიკულად ნულია.



ნახ. 196

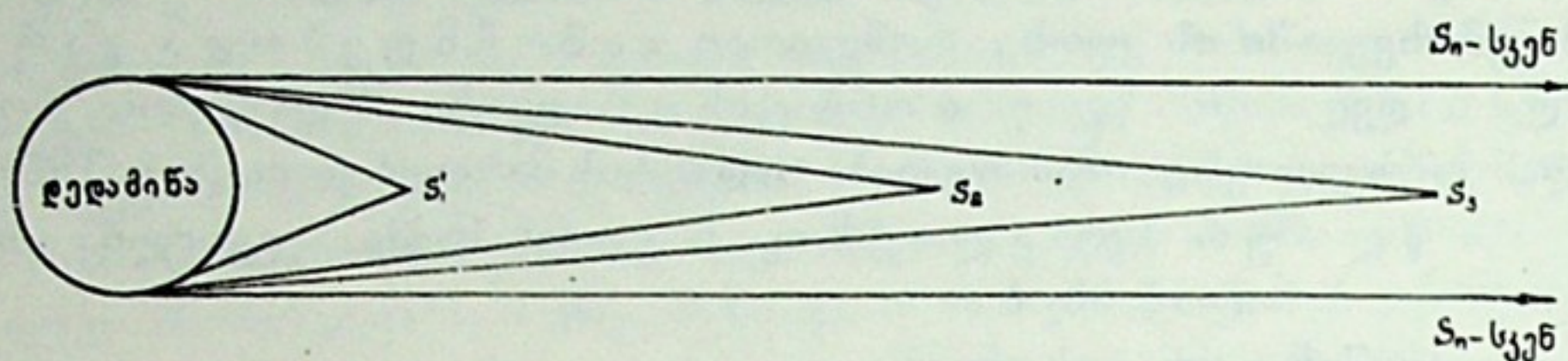
შემდეგ 198-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მთვარის პარალაქსური გადაადგილება ვარსკვლავების მიმართ ვარსკვლავებიანი ცის ფონზე, როცა დამკვირვებელი აკვირდება მას ორი სხვადასხვა ადგილიდან ანუ ორი ობსერვატორიიდან:  $A$  და  $B$ -დან.  $A$ -დან მთვარე  $a$  ვარსკვლავის მიმართულებით მოჩანს,  $B$ -დან— $b$  ვარსკვლავის მიმართულებით.

მაგრამ, თუ გვინდა მთვარის დაშორება რომელიმე სხვა მნათობის—პლანეტის დაშორებას შევადაროთ, ბაზისს უფრო გარკვეული და უცვლელი მნიშვნელობა უნდა მივანიჭოთ ანუ სათანადოდ შევარჩიოთ ბაზისი. ასეთ შემთხვევაში უმჯობესია ბაზისად ავიღოთ დედამიწის რადიუსი და გავავლოთ მიმართულებანი, რომელთაც წარმოადგენენ თვალთახედვის ხაზები დედამიწის ზედაპირის რომელიმე პუნქტიდან მნათობს.

ნახ. 197-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მთვარის პარალაქსური გადაადგილება ვარსკვლავების მიმართ ვარსკვლავებიანი ცის ფონზე, როცა დამკვირვებელი აკვირდება მას ორი სხვადასხვა ადგილიდან ანუ ორი ობსერვატორიიდან:  $A$  და  $B$ -დან.  $A$ -დან მთვარე  $a$  ვარსკვლავის მიმართულებით მოჩანს,  $B$ -დან— $b$  ვარსკვლავის მიმართულებით.

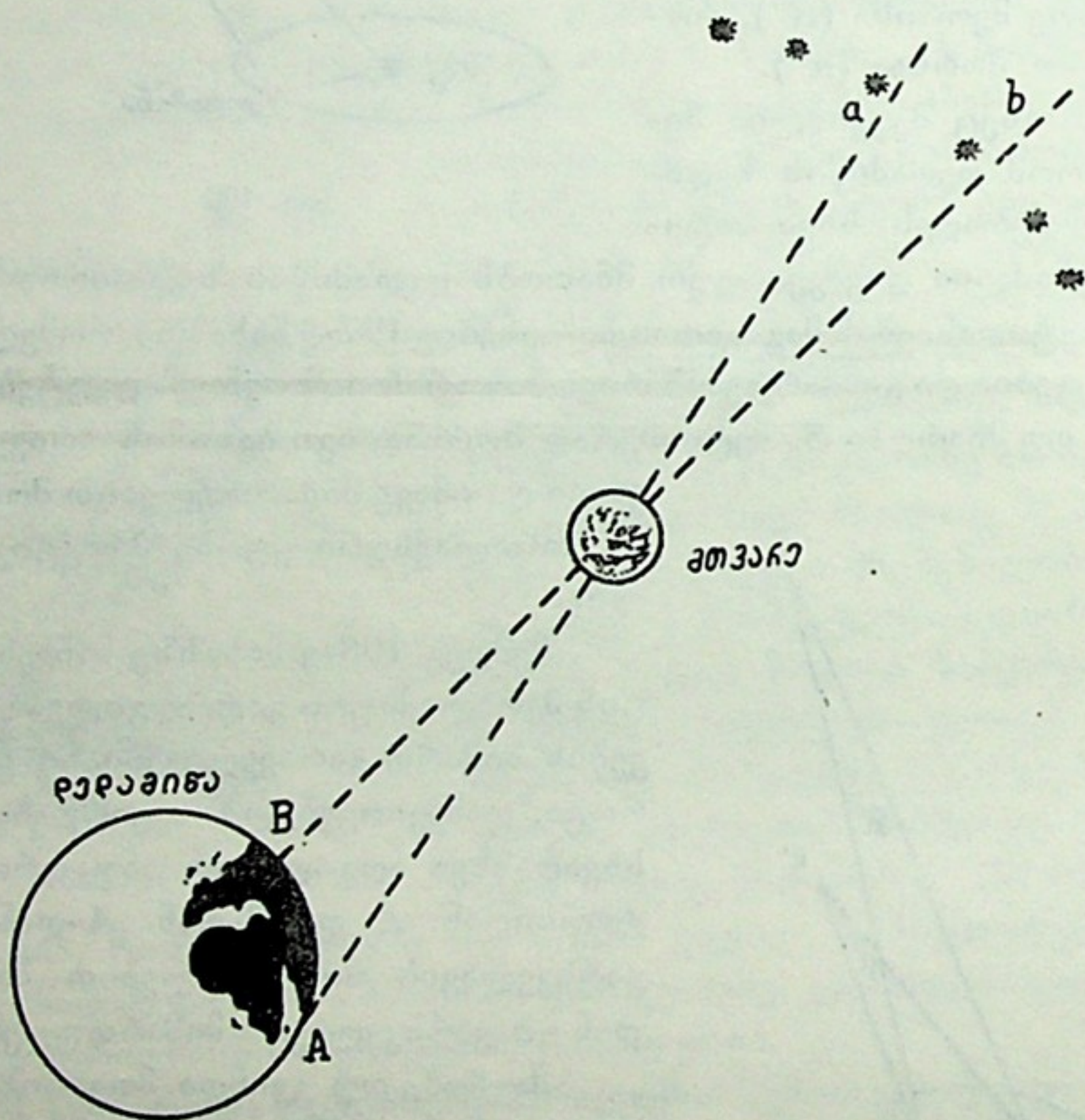


თობამდე და დედამიწის ცენტრიდან იმავე მანძილამდე. მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ამ შემთხვევაში მნათობის პარალაქსი წარმოადგენს კუთხეს, რომლითაც მნათობიდან გამოჩნდება დედამიწის რადიუსი. მაგრამ, რადგანაც დედამიწის რადიუსი — დედამიწის სფეროიდულობის გამო სხვადასხვა პუნ-



ნახ. 197

ქტში სხვადასხვა სიდიდისაა, ამიტომ მეტი გარკვეულობისათვის უმჯობესია შევჩერდეთ ეკვატორულ რადიუსზე და პარალაქსი განვმარტოთ როგორც კუთხე, რომლითაც მოჩანს მნათობიდან დედამიწის ეკვატორული რადიუსი. ახლა უფრო მეტი გარკვეულობაა საკითხში, თუმცა ჯერ კიდევ მაინც არასაკმარისი.

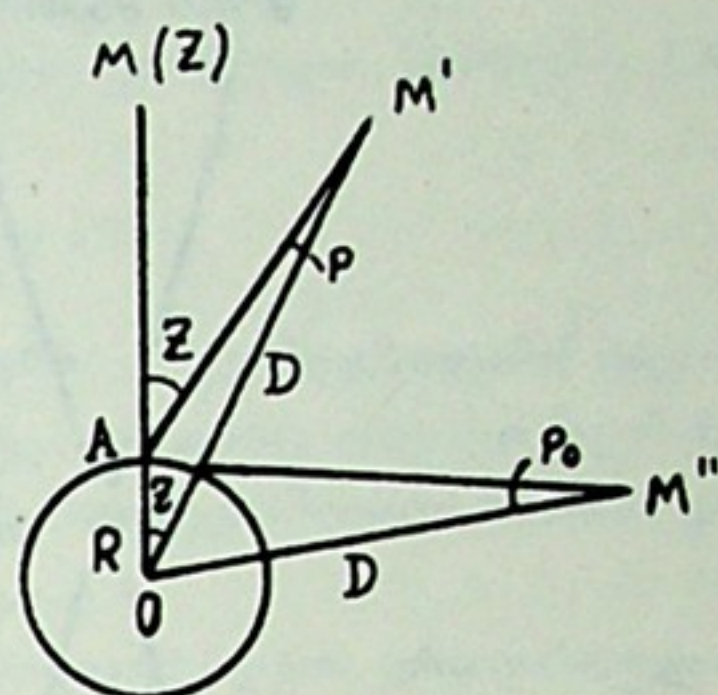


ნახ. 198

მართლაც, განვიხილოთ 199-ე ნახაზი, სადაც, როგორც ვამჩნევთ, პარალაქსური კუთხე მცირდება ჰორიზონტიდან მნათობის სიმაღლის ზრდასთან ერთად. როცა მნათობი ზენიტში იმყოფება, მისი პარალაქსის კუთხე ნულის ტოლია.

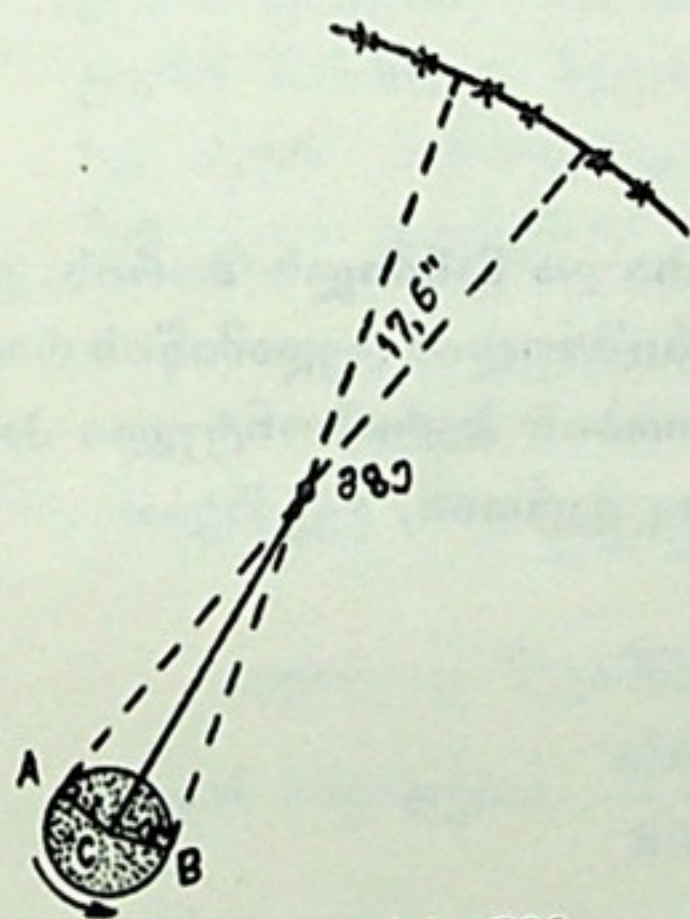


პარალაქსის კუთხის მნიშვნელობა მაქსიმალურია, როცა მნათობი პორი-  
ზონტზეა. ასეთ პარალაქსურ კუთხეს პორიზონტული პარალაქსი  
ეწოდება და იგი უკვე სრულიად გარკვეული, მხოლოდ მნათობის მანძილზე  
დამოკიდებული სიდიდეა. საბოლოოდ ვღებულობთ პარალაქსის შემდეგ განსაზ-  
ღვრას: ეს არის მახვილი კუთხე მართკუთხა  
სამკუთხედში, რომლის ჰიპოტენუზა წარმოა-  
დგენს მანძილს დედამიწის ცენტრიდან მნა-  
თობამდე, ხოლო ერთ-ერთი (მცირე) კათეტი-  
დედამიწის ეკვატორულ რადიუსს. ასეთი პარა-  
ლაქსის სრული სახელწოდებაა პორიზონ-  
ტულ-ეკვატორული პარალაქსი.  
ზოგადად კი მას დღეღამური პარალაქსი  
ეწოდება, რამდენადაც მისი ბაზისი დამკვირ-  
ვებლის დღეღამური და არა წლიური გააად-  
გილების ფარგლებშია.



ნახ. 199

განხილული ნახაზები აშკარად მოწმობს,  
რაც უფრო დიდია ბაზისი, მით დიდია შესა-  
ბამისი პარალაქსის კუთხე. როგორც ზემოთ ვნახეთ, ვარსკვლავთა წლიური  
პარალაქსების მნიშვნელობანი ერთობ მცირე სიდიდეებია, მიუხედავად სათანა-  
დო ბაზისის დიდი სიგრძისა (დედამიწის წლიური ორბიტის რადიუსი ანუ, და-  
ახლოებით, 150 მილიონი კილომეტრი!). ცხადია, რომ, თუ ვარსკვლავთა პარა-  
ლაქსის კუთხეების განსახილველად და განსასაზღვრავად ავირჩევდით ბაზისად  
დედამიწის რადიუსს, რომელიც 23000-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ბაზისი წლიურ



ნახ. 200

პარალაქსში, ისეთ მცირე კუთხესთან გვექნე-  
ბოდა საქმე, რომლის გაზომვას ვერც მოვახერ-  
ხებდით. ამიტომ ვარსკვლავთათვის განიხი-  
ლება, განისაზღვრება და გამოიყენება წლი-  
ური პარალაქსები. ჩვენი პლანეტური  
სისტემის მნათობების მიმართ, კერძოდ,  
მზისა და მთვარის, დიდი და მცირე ცთომი-  
ლებისათვის გამოიყენება დღეღამური  
პარალაქსი. სიდიდით ეს კუთხე მთვარისა და  
მზისათვის (ნახ. 200) წარმოადგენს დაახლო-  
ებით 57' და 9"-ს, შესაბამისად. მთვარეს, რო-  
გორც ჩვენთან უახლოეს მნათობს, უდი-  
დესი პარალაქსი აქვს. ცთომილების პარა-  
ლაქსები დიდ ფარგლებში იცვლება იმის გა-

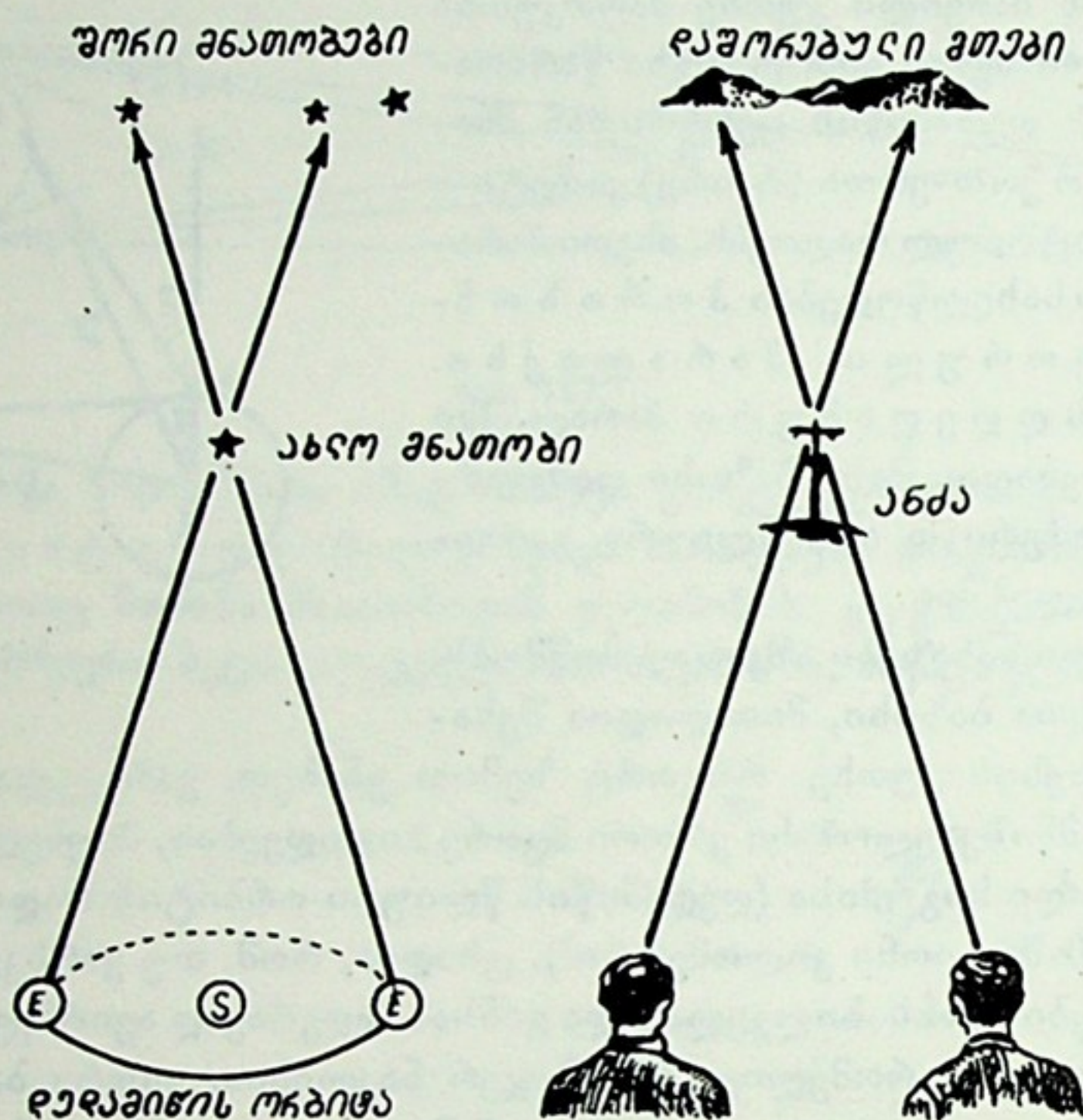
მო, რომ დიდად იცვლება მათი მანძილები დედამიწიდან. მაგალითად, მარსის  
დაშორება დედამიწიდან დაახლოებით 55 მილიონი კილომეტრიდან 400 მილიონ  
კილომეტრამდე იცვლება და შესაბამისად იცვლება მისი დღეღამური პარალაქ-  
სიც — 26"-დან 3".5-მდე.

პარალაქსური გადაადგილების მოვლენას ხშირად ყოველდღიურ ცხოვრე-  
ბაშიც ვხვდებით და აქაც იგი მანძილების შეფასების საშუალებას გვაძლევს  
(ნახ. 201).

პარალაქსის ცნება და მისი გამოყენება ძირითადად და მეტად მნიშვნელო-  
ვანს, სარწმუნო საშუალებას წარმოადგენს მნათობთა მანძილების გამოსათვლე-



ლად. ამაში ზემოთ განხილული ნახაზებითაც დავრწმუნდით, მაგრამ ახლა მათე-  
მატიკურად გამოვსახოთ დამოკიდებულება პარალაქსსა და მანძილს შორის.



ნახ. 201

§ 114. დამოკიდებულება მნათობის პარალაქსსა და მანძილს შორის. გან-  
ვიხილოთ იგივე 199-ე ნახაზი, რომელზეც  $R$ -ით აღნიშნულია დედამიწის რადი-  
უსი,  $D$ -თი მანძილი მნათობამდე და  $p_0$ -ით კი მნათობის ჰორიზონტული პარა-  
ლაქსი.  $OAM''$  სამკუთხედში, რომელშიც  $A$  კუთხე მართია, გვექნება:

$$\sin p_0 = \frac{R}{D},$$

$$D = \frac{R}{\sin p_0}.$$

ამ უკანასკნელი ფორმულიდან, თუ ცნობილია  $R$  და  $p_0$ , მარტივად გამოი-  
თვლება  $D$  მანძილი.

მაგალითად, რამდენადაც მთვარისათვის პარალაქსის მნიშვნელობა საშუ-  
ალოდ ეტოლება  $57'$ -ს, თუ დედამიწის რადიუსის სიდიდედ  $6400$  კმ-ს მივიჩნევთ,  
 $D$ -თვის (მანძილი მთვარემდე) მივიღებთ  $384000$  კმ-ს.

მთვარის პარალაქსთან შედარებით ცთომილების პარალაქსების მნიშვნე-  
ლობანი მცირეა და რკალის რამდენიმე სეკუნდით, ზოგ შემთხვევაში მისი ნა-  
წილებით გამოიხატება. ამიტომ, მანძილის გამოსათვლელ აქ მოყვანილ ფორმუ-



ლაში  $\sin p_0$ -ს ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ თვით  $p_0$ , თუ უკანასკნელი გამარტივდება: მოსახულია რადიანებით, და ფორმულა ერთობ გამარტივდება:

$$D = \frac{R}{p_0}.$$

თუ მოითხოვება  $p_0$ -ის რკალის სეკუნდებით გამოსახვა, მაშინ  $\sin p_0$ -ის ნაცვლად დავწეროთ  $p_0 \sin 1''$  ანუ  $p_0'' \frac{1}{206265}$  და ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$D = 206265 \frac{R}{p_0''}.$$

§ 115. მნათობის პარალაქსის განსაზღვრა დაკვირვებიდან. საკითხავია, როგორ განვსაზღვროთ ან გავზომოთ ის კუთხე, რომელიც თავისი წვეროთი მნათობის ცენტრშია მოთავსებული და ჩვენთვის მიუწვდომელია იმისათვის, რომ ამ მიზნით იქ კუთხმზომი იარაღი ვიხმაროთ.

ამისათვის საკმარისია, რომ მნათობს დავაკვირდეთ ერთდროულად ერთ მერიდიანზე მდებარე ორი სხვადასხვა,  $A$  და  $B$  ობსერვატორიიდან, რომელთა განედებია  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  შესაბამისად (ნახ. 202). დაკვირვება ჩავატაროთ კულმინაციის მომენტებში და გავზომოთ მნათობის კოორდინატები:  $\delta_1$  და  $\delta_2$  დახრილობანი და  $z_1$  და  $z_2$  ზენიტური მანძილები, შესაბამისად\*. აღვნიშნოთ ახლა მნათობის გეოცენტრული დახრილობა და ზენიტური მანძილი  $\delta$  და  $z$  ასოებით.

მაშასადამე, ეს ის დახრილობა და ზენიტური მანძილია, რომელიც ექნებოდა მნათობს, თუ დავაკვირდებოდით დედამიწის ცენტრიდან. ცხადია, რომ  $z_1$  ტოპოცენტრული ზენიტური მანძილი მეტი იქნება  $z$  გეოცენტრულ ზენიტურ მანძილზე  $BMO$  კუთხით. ნახაზის მიხედვით დავწეროთ:

$$z_1 = \varphi_1 - \delta_1; \quad z = \varphi_1 - \delta.$$

ანუ

$$z_1 - z = \delta - \delta_1.$$

აღვიღად შევამჩნევთ, რომ  $z_1 - z = p$ , ხოლო ამასთანავე,  $BOM$  სამკუთხედიდან მივიღებთ:  $\frac{\sin p}{\sin z_1} = \frac{R}{D}$ . მაშასადამე,

$$\sin p = \sin p_0 \sin z_1$$

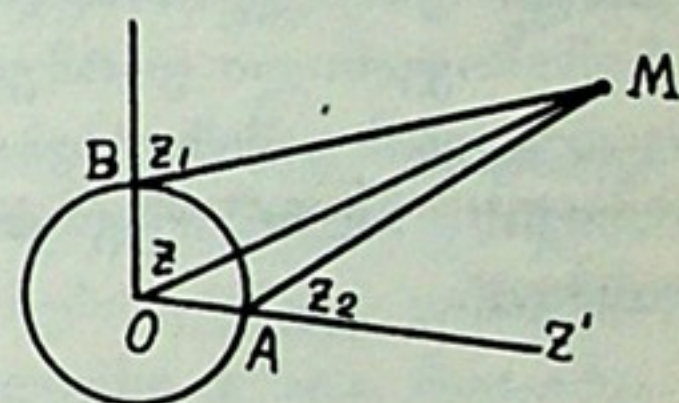
ანუ,  $p$  და  $p_0$ -ის სიმცირის გამო:

$$p = z_1 - z = p_0 \sin z_1.$$

ამიტომ

$$\delta - \delta_1 = p_0 \sin(\varphi_1 - \delta_1).$$

\* ამ კოორდინატებს ტოპოცენტრული უნდა ვუწოდოთ, რადგანაც ისინი განისაზღვრებიან დამკვირვებლის ადგილის მიხედვით, ე. ი. დამკვირვებლის ადგილია ამ სისტემაში კოორდინატთა საწყისი წერტილი.



ნახ. 202



ანალოგიური დაკვირვება მეორე ობსერვატორიიდან მოგვცემს სრულიად მსგავს დამოკიდებულებას:

$$\delta - \delta_2 = p_0 \sin(\varphi_2 - \delta_2).$$

ორი უკანასკნელი ტოლობიდან მივიღებთ:

$$P_0 = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\sin(\varphi_2 - \delta_2) - \sin(\varphi_1 - \delta_1)}.$$

ამგვარად,  $p_0$  გამოითვლება დაკვირვებებით განსაზღვრული სიდიდეების ( $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ) მიხედვით.

მაგრამ დაკვირვება ორი ობსერვატორიიდან აუცილებელი არაა. მნათობის პარალაქსი შეიძლება განისაზღვროს ერთი ობსერვატორიიდან რამდენჯერმე წარმოებული დაკვირვების საფუძველზეც. ეს იმიტომ ხერხდება, რომ დამკვირვებელი თვითონ გადაადგილდება სივრცეში დედამიწის ბრუნვის გამო. ისევე როგორც დედამიწის წლიური მოძრაობა საშუალებას აძლევს ერთ დამკვირვებელს შექმნას სივრცეში ბაზისი (დედამიწის ორბიტის დიამეტრის ტოლი) და წელიწადის სხვადასხვა დროს დააკვირდეს მნათობს ამ ბაზისის ორი ბოლო წერტილიდან, ასევე დედამიწის დღედამური ბრუნვა, მაგალითად, ეკვატორთან მყოფ დამკვირვებელს 12 საათის განმავლობაში გადაადგილებს ბაზისის მეორე ბოლოში, რომელიც პირველს დაშორებულია დაახლოებით 13000 კმ-ით (დედამიწის დიამეტრი).

წლიური პარალაქსის განსაზღვრისათვის დამუშავებულია მეთოდები, რომლებიც ასტრომეტრიისა და ვარსკვლავთ ასტრონომიის კურსებში შეისწავლება.

ზემომოყვანილი ფორმულა, რომელიც პარალაქსსა და მანძილს შორის დამოკიდებულებას გამოხატავს, გამოყვანილი იყო დღედამური პარალაქსის შემთხვევისათვის. მაგრამ მსგავსივე ფორმულა გამოიყენება წლიური პარალაქსისთვისაც:

$$D = \frac{a}{\sin \pi}.$$

აქ  $\pi$  ვარსკვლავის წლიური პარალაქსია,  $a$  — საშუალო მანძილი მზიდან დედამიწამდე ანუ ასტრონომიული ერთეული,  $D$  — მანძილი ვარსკვლავამდე. რაკი წლიური პარალაქსი ძალიან მცირე სიდიდეა, ადვილი მისახვედრია, რომ

$$D = \frac{206265}{\pi''}.$$

შეგვიძლია ვთქვათ, რომ პარალაქსსა და მანძილს შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულება არსებობს.

თუ აღებული ვარსკვლავის პარალაქსური კუთხე ანუ პარალაქსი სულ მხოლოდ  $1''$ -ია, მაშინ მანძილი ამ ვარსკვლავამდე 206265-ჯერ აღებული მზედედამიწის მანძილია ანუ 206265-ჯერ აღემატება მანძილს მზესა და დედამიწას შორის. ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავიც კი უფრო შორსაა, ვიდრე ეს მანძილი და, სახელდობრ, 270000-ჯერ აღემატება მისი ჩვენგან დაშორება მზედედამიწის მანძილს. ამიტომ მისი პარალაქსი  $1''$ -ზე ნაკლებია, მხოლოდ  $0.''77$ -ია!



§ 116. ვარსკვლავთა მანძილები. როგორც ვთქვით, უახლოეს ვარსკვლავამდე მანძილი 270000-ჯერ აღემატება მზე-დედამიწის მანძილს. თუ გვსურს კილომეტრებით გამოვსახოთ ეს მანძილი, 150000000 კმ უნდა გავამრავლოთ 270000-ზე. მივიღებთ საკმაოდ დიდ სიდიდეს:  $4 \cdot 10^{13}$  კმ, ე. ი. უახლოეს ვარსკვლავამდე მანძილის გამოსათვლელად დაგვჭირდება არანაკლებ 14 ციფრისაგან შემდგარი რიცხვის გამოყენება. თუ კილომეტრის ნაცვლად სიგრძის ერთეულად ავიღებთ ასტრონომიულ ერთეულს, მაშინ უახლოეს ვარსკვლავამდე მანძილი 270000-ით გამოიხატება. აქაც საკმაოდ დიდ რიცხვთან გვაქვს საქმე. საერთოდ კი, თუ გალაქტიკის და მეტადრე გარეგალაქტიკურ სივრცეებში გაბნეული ვარსკვლავებისა და სხვა ობიექტების მანძილებს მოვიყვანთ, ასტრონომიული ერთეულიც ძალზე მცირე საზომ ერთეულად წარმოგვიდგება.

ამის გამო ასტრონომიაში მიმართავენ მანძილების გამოსახვას ე. წ. სინათლის წლებით. ეს არის მანძილი, რომელსაც სინათლე ერთი წლის განმავლობაში გადის. თუ გავიხსენებთ, რომ სინათლე ვრცელდება სიჩქარით, დაახლოებით 300000 კმ/წმ და წელიწადი მოიცავს დაახლოებით 31 მილიონ წამს, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ კილომეტრებში გამოსახული ეს მანძილი დაახლოებით  $10^{13}$ -ია!

უახლოეს ვარსკვლავამდე (რომლის პარალაქსი, როგორც ზემოთ ვნახეთ, 0."77-ია) მანძილი 4.3 სინათლის წელია, ე. ი. ამ ვარსკვლავიდან ჩვენამდე მოღწევას სინათლის სხივი დაახლოებით 4 წელსა და 4 თვეს ანდომებს. უფრო დაშორებული ვარსკვლავებიდან სხივის მოსვლას კიდევ უფრო მეტი დრო სჭირდება — ათეული, ასეული და ათასეული წლები.

სინათლის წლის მაგივრად ასტრონომიაში მანძილის ერთეულად კიდევ უფრო ხშირად პარსეკს ხმარობენ. პარსეკი შედგენილი სიტყვაა და წარმოადგენს ორი სიტყვის — პარალაქსი და სეკუნდი — შემოკლებულ კომბინაციას. ეს არის მანძილი ვარსკვლავამდე, რომლის პარალაქსი 1"-ია. როგორც ზემოთაც ვაჩვენეთ, ის შეადგენს 206265 ასტრონომიულ ერთეულს ანუ, დაახლოებით,  $3.1 \cdot 10^{13}$  კმ-ს.

მაშასადამე, თუ მანძილს პარსეკებით გამოვსახავთ, ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$D = \frac{1}{\pi''} \text{ პარსეკი.}$$

ამავე დროს 1 პარსეკის ტოლი მანძილი გამოიხატება 3.26 სინათლის წლით.

საერთოდ სასარგებლოა შემდეგ დამოკიდებულებათა დახსომება:

1 პარსეკი = 3.26 სინ.წელი = 206265 ასტრონ. ერთეული =  $3.1 \cdot 10^{13}$  კმ;  $\pi = 1''$ .

1 სინ. წელი = 0.31 პარსეკი = 63290 ასტრ. ერთ. =  $0.95 \cdot 10^{13}$  კმ;  $\pi = 3.''26$ .

ასტრონომები ხშირად მიმართავენ კოსმოსური მანძილების კიდევ უფრო დიდ ერთეულს, როგორცაა კილოპარსეკი (კპს), შემდგარი 1000 პარსეკისაგან, და მეგაპარსეკი — მილიონი პარსეკი. მეგაპარსეკი იხმარება მეტაგალაქტიკური მანძილებისათვის, ე. ი. გალაქტიკებს შორის მანძილების შესაფასებლად. მაგალითისათვის შეგვიძლია გავიხსენოთ, რომ ჩვენს გალაქტიკასა და მეზობელ გალაქტიკას (ანდრომედას) შორის მანძილი დაახლოებით 2000000 სინათლის წელია ანუ 610 000 პარსეკია. სხვა სიტყვებით, ეს მანძილი

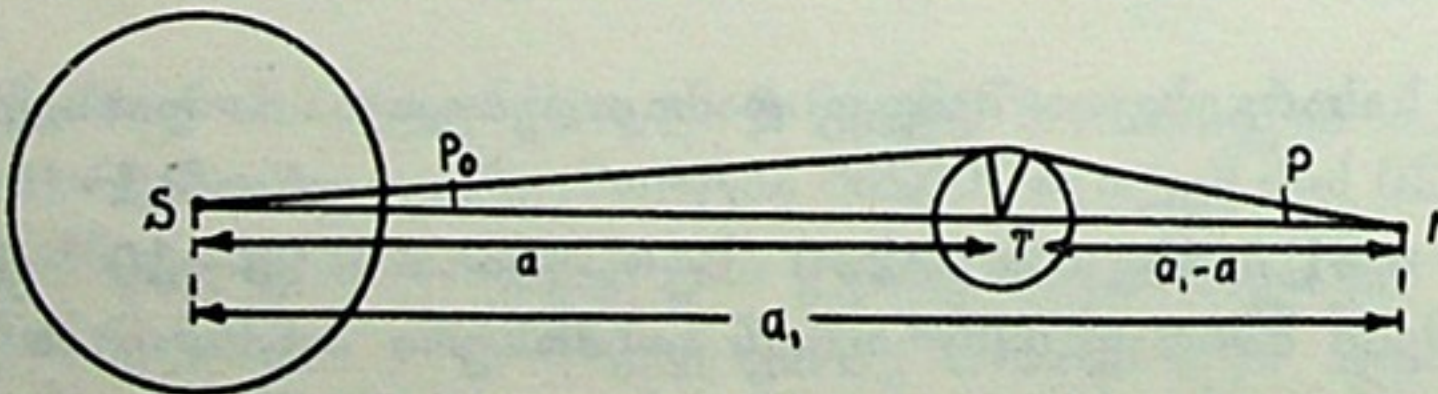


გამოიხატება 610 კილოპარსეკით; იგი ნახევარ მეგაპარსეკზე მეტია.

§ 117. **მზის პარალაქსის განსაზღვრა.** მზის დედამიწის პარალაქსის განსაზღვრით გამოითვლება მანძილი დედამიწიდან მზემდე. მანძილი დედამიწიდან მზემდე ასტრონომიაში მეტად მნიშვნელოვან მუდმივს წარმოადგენს. ეს ფუნდამენტური სიდიდეა, რომელსაც ასტრონომიაში სივრცის ძირითადი ერთეულის მნიშვნელობა აქვს. ამ ერთეულის ზუსტ განსაზღვრაზე დამოკიდებულია ბევრი სხვა სიდიდის გამოთვლა და სხვადასხვა მოვლენათა სივრცითი მასშტაბების შეფასება. ამ მანძილის ცოდნის გარეშე ვერც მზის ნამდვილ სიდიდეს, მასასა და სიმკვრივეს გავიგებდით და ვერც მის ზედაპირზე მიმდინარე მოვლენების მასშტაბზე გვექნებოდა წარმოდგენა. ამით აიხსნება ის, რომ მზის მანძილის განსაზღვრისათვის ასტრონომებს ბევრი ენერგია და დრო შეუწირავთ და ბევრი სხვადასხვა მეთოდი და ხერხი დაუმუშავებიათ.

პრაქტიკულად მზის პარალაქსის განსაზღვრა ერთ-ერთი ურთულესი ასტრონომიული ამოცანაა. მართლაც, როგორც ვნახეთ, პარალაქსის განსაზღვრის ამოცანა დაკავშირებულია მცირე კუთხის ზუსტ განსაზღვრასთან, რაც მოითხოვს მნათობის კოორდინატების უზუსტეს განსაზღვრას. მაგრამ მზის კოორდინატების საჭირო სიზუსტით განსაზღვრა მეტისმეტად ძნელია, რამდენადაც, ჯერ ერთი, მზე წერტილოვან ობიექტს კი არ წარმოადგენს, არამედ საკმაოდ დიდი ზომის დისკოა, რომლის კიდეები დედამიწის ატმოსფეროს გავლენით, მუდამ მღელვარე და მთრთოლვარეა და ასეთ პირობებში ძნელია სათანადო სიზუსტით დაუმიზნო და დააყენო ტელესკოპი მზის ცენტრზე (ან კიდეებზე, დიამეტრის ბოლოებში, შემდგომ—ცენტრზე მიყვანის მიზნით). მეორეც, მზეზე მიმართული, მაშასადამე, მზის სხივების ქვეშ მყოფი მგრძნობიარე კუთხმზომი იარაღი სწრაფად თბება, რაც არღვევს ინსტრუმენტის დადგმულობას. ამიტომ მზის პარალაქსის გამოთვლისათვის მიმართავენ სხვადასხვა არაპირდაპირ ხერხს. ერთი ამ ხერხთაგანია მზის პარალაქსის განსაზღვრა ცთომილ მარსზე ან რომელიმე მცირე ცთომილზე დაკვირვების მეშვეობით.

როგორც ცნობილია, ცთომილი მარსი მზეს დაშორებულია უფრო მეტად, ვიდრე დედამიწა. მისი ორბიტა მზის გარშემო დედამიწის წლიურ ორბიტას გარედან მოიცავს. დედამიწისა და მარსის მზის გარშემო მოქცევის პერიოდები სხვადასხვაა და დედამიწას მარსი ყოველ ორ წელიწადში ერთხელ იმდენად უახლოვდება, რომ მარსი-დედამიწის მანძილი ორჯერ და უფრო მეტადაც ნაკლებ-



ნახ. 203

ბი ხდება, ვიდრე მანძილი მზე-დედამიწა. ამ დროს, როგორც ამბობენ, მარსი მზესთან პირისპირდგომაშია (იხ. დაწვრილებით ქვევით). ეს მდებარეობაა გამოსახული 203-ე ნახაზზე.



პირისპირდგომისას  $S$  მზე,  $T$  დედამიწა და  $M$  მარსი ზუსტად ან დაახლოებით ერთ სწორ ხაზზეა. ამ დროს მარსის პარალაქსი, ჩვენთან შედარებითი სიახლოვის გამო, უფრო დიდია და საკმარისად მაღალი სიზუსტით იზომება. პარალაქსის განსაზღვრისთვის საჭირო კოორდინატებში დაკვირვებების წარმოებაც მარსზე გაცილებით უფრო ადვილია, რამდენადაც მცირე ჭოგრში მარსი თითქმის წერტილოვან ობიექტს წარმოადგენს.

$R$ -ით აღვნიშნოთ დედამიწის რადიუსი,  $a$  და  $a_1$ -ით მანძილები მზე-დედამიწა და მზე-მარსი, ხოლო  $p_{\odot}$  და  $p$ -თი — მზისა და მარსის პარალაქსები. ადვილი სანახავია, რომ  $R = a \sin p_{\odot}$  და  $R = (a_1 - a) \sin p$ , საიდანაც

$$\frac{\sin p_{\odot}}{\sin p} = \frac{a_1}{a} - 1.$$

$p_{\odot}$  და  $p$  მცირე კუთხეებია და მათი სინუსები შეგვიძლია შევცვალოთ შესაბამისი  $p_{\odot}$  და  $p$  რკალებით. მაშინ,

$$p_{\odot} = \left( \frac{a_1}{a} - 1 \right) p.$$

ფარდობა  $\frac{a_1}{a}$  ადვილად გამოითვლება ცთომილთა მოძრაობის თეორიიდან (იხ. ქვევით), ასე რომ, ცნობილ სიდიდედ ჩაითვლება; რიცხობრივად იგი ეტოლება 1.52.  $p$ , როგორც ვთქვით, ჩვეულებრივი მეთოდით სარწმუნოდ განისაზღვრება. მაშასადამე,  $p_{\odot}$  უბრალოდ გამოითვლება ამ უკანასკნელი ფორმულიდან, რომელიც ღებულობს მარტივ სახეს:

$$p_{\odot} = 0.52p.$$

მაშასადამე, ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ თავიდან ავიციდინეთ გასაზომად ძნელი სიდიდის — მზის პარალაქსის გაზომვა და იგი მხოლოდ გამოითვალეთ გასაზომად უფრო ადვილი სიდიდის — მარსის პარალაქსის გაზომვის საფუძველზე.

თვით დამოკიდებულებიდან  $p_{\odot} = 0.52p$  ჩანს, რომ მარსის პარალაქსის განსაზღვრაში დაშვებული ცდომილება, რომელიც თავისთავად მცირეა, მზის პარალაქსში ორჯერ ნაკლებ ცდომილებას იძლევა. მიუხედავად ამისა, მარსი სავსებით მოხერხებული როდია მზის პარალაქსის განსაზღვრისათვის, რამდენადაც მარსიც მაინც ბადროიანი მნათობის სახით მოჩანს, მეტადრე, თუ მოზრდილი ტელესკოპით ვაკვირდებით. სამაგიეროდ, მცირე ცთომილებები უფრო წერტილოვანი მნათობების სახით წარმოგვიდგება, როგორც ვარსკვლავები, და მათზე წარმოებული დაკვირვება, კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით, მეტ სიზუსტეს უზრუნველყოფს. ამავე დროს ყურადღება უნდა მიექცეს სხვა გარემოებასაც. მართალია, მცირე ცთომილების უმრავლესობა უფრო შორსაა, ვიდრე მარსი და ამიტომ მათი პარალაქსები უფრო მცირეა მარსის პარალაქსთან შედარებით, რაც თითქოს მნიშვნელობას უკარგავს ამ მეთოდს, მაგრამ გვხდება ისეთი მცირე ცთომილები, რომელნიც დროის გარკვეულ შუალედებში მარსის ორბიტის შიგნით შემოიჭრებიან და ამდენად მარსზე უფრო მეტად გვიახლოვდებიან.



კერძოდ, წარსული საუკუნის დამლევს აღმოჩენილ იქნა მცირე ცთომილი, შემდგომში ეროსად წოდებული, რომელიც დროდადრო დედამიწას იმდენად უახლოვდება, რომ მისი დაშორება დედამიწიდან ორნახევარჯერ ნაკლებია, ვიდრე მანძილი დედამიწა-მარსი. ეროსი საუკეთესო ობიექტია იმისათვის, რომ ვაწარმოოთ მზის პარალაქსის განსაზღვრა აღწერილი მეთოდით.

ეროსის პირისპირდგომა ყოველწლიურად ხდება. ეს მომენტები ხელსაყრელია პარალაქსის განსაზღვრისათვის. მაგრამ, ეროსის ორბიტის დიდი ელიფსურობის, ე. ი. გაწელილობის გამო, ყველა პირისპირდგომაში როდია იგი ერთნაირად ახლო დედამიწასთან. უმეტესად დიდი მოახლოება ეროსისა, ე. ი. საუკეთესო პირობები პარალაქსის განსაზღვრისათვის დგება 37 წელიწადში ერთხელ. ეს ე. წ. „დიდი პირისპირდგომა“. ეროსის აღმოჩენის დროიდან (1898) პირველი ასეთი პირისპირდგომა მოხდა 1930—1931 წწ. ზამთარში. ამ დროს

ეროსი დაუახლოვდა დედამიწას მზე-დედამიწა მანძილის  $\frac{1}{7}$ -ით. მაშასადამე, მისი პარალაქსი 7-ჯერ მეტი გახდა, ვიდრე მზისაა, და მიაღწია  $60''$ -ს. ასეთ ხელსაყრელ პირობებში ეროსს აკვირდებოდნენ და მის პარალაქსს ზომავდნენ რამდენიმე ათეული ქვეყნის ობსერვატორიებში. დაგროვდა დიდძალი დამზერითი მასალა; მისმა ერთობლივმა დამუშავებამ 1942 წელს მიიყვანა ასტრონომები მზის პარალაქსის საუკეთესო განსაზღვრამდე, რომლის მიხედვით მისი მნიშვნელობა  $8.''794$ -ია. ეს შეესაბამება 149.6 მილიონ კმ.

საერთაშორისო შეთანხმების მიხედვით, ამჟამად მზე-დედამიწის მანძილის მნიშვნელობად სწორედ ეს მნიშვნელობაა აღიარებული.

**§ 118. დისკოიანი მნათობის სიდიდის განსაზღვრა.** თუ ცნობილია მანძილი ისეთ მნათობამდე, რომელსაც ხილული დისკო აქვს (მზე, მთვარე, ცთომილები), მაშინ ადვილია მისი სიდიდის განსაზღვრა. ამისათვის საკმარისია, რაც შეიძლება ზუსტად გავზომოთ მნათობის დისკოს ხილული (კუთხური) დიამეტრი ან რადიუსი რკალის ერთეულებში. თუ მნათობის კუთხურ რადიუსს აღვნიშნავთ  $\rho$  ასოთი (ნახ. 204), დედამიწის რადიუსს —  $R$ -ით, მანძილს დედამიწასა და მნათობს შორის (მათ ცენტრებს შორის) —  $D$ -თი, მაშინ მნათობის საძიებელი წრფივი (ჭეშმარიტი) რადიუსი გამოითვლება ფორმულით:

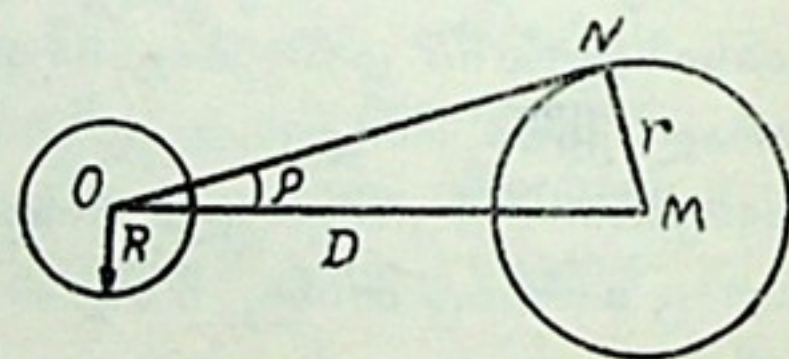
$$r = D \sin \rho.$$

რადგანაც  $\rho$  საერთოდ მცირეა (მზისა და მთვარისათვის იგი ცოტათი განსხვავდება  $15'$ -გან, ხოლო ცთომილებისათვის გაცილებით ნაკლებია),  $\sin \rho$  შეგვიძლია შევცვალოთ შესაბამისი რკალით და დავწეროთ:

$$r = D \rho'' \sin 1'',$$

$$\rho'' = \frac{r}{D \sin 1''} = 206265'' \frac{r}{D}.$$

ადვილად გამოიყვანება ისეთი ფორმულაც, რომლითაც გამოითვლება მნათობის დიამეტრი (რადიუსი) დედამიწის დიამეტრთან (რადიუსთან) შეფარდებით. მართლაც, ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში  $D$ -ს ნაცვლად შევიტანოთ მისი წინათ მიღებული გამოსახულება პარალაქსის მეშვეობით:  $D = \frac{R}{\sin p_0}$  მაშინ დაიწერება:



ნახ. 204



$$r = R \frac{\sin \rho}{\sin p_0}.$$

$\rho$  და  $p_0$ -ის სიმცირის გამო მათი სინუსების შეფარდების ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ თვით არგუმენტების შეფარდება:

$$r = R \frac{\rho}{p_0}.$$

მაგალითად, მთვარისათვის  $p_0 = 57'$ ,  $\rho = 15.5'$ , ამიტომ

$$\frac{r}{R} = \frac{15.5}{57} = 0.27.$$

მაშასადამე,

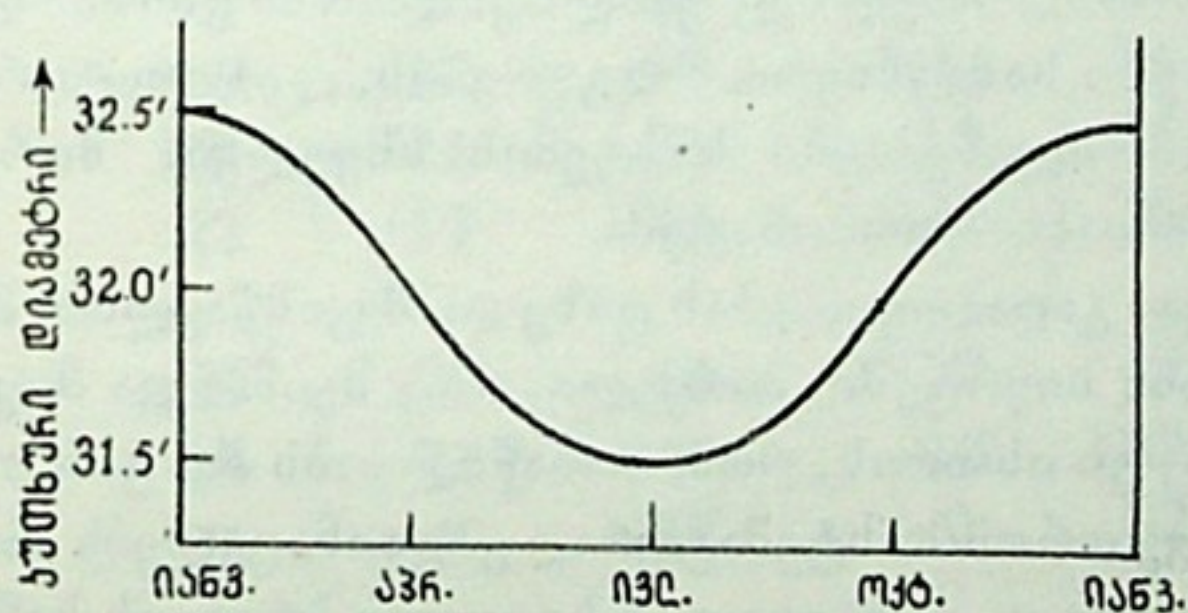
$$r = 0.27R,$$

ე. ი. მთვარის რადიუსი (დიამეტრი) ცოტათი აღემატება დედამიწის რადიუსის (დიამეტრის) მეოთხედს.

როგორც ვნახეთ, იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ დისკოიანი მნათობის ნამდვილი სიდიდე (მისი რადიუსი), საჭიროა მანძილის ცოდნასთან ერთად მოვახერხოთ მისი დისკოს ხილული რადიუსის გაზომვა. ეს აღვიღად შესასრულებელი ოპერაციაა, მაგალითად, მთვარისათვის, რამდენადაც მთვარეს, როგორც ატმოსფერულ გარსს მოკლებულ მნათობს, დისკოს მკვეთრი და მკაფიო მოხაზულობა აქვს. მზისათვის კი ხილული რადიუსის გაზომვა ერთობ რთულად შესასრულებელი ოპერაციაა იმავე მიზეზებით, რაც ზემოთ ჩამოვთვალეთ, როცა აღვწერდით მზის პარალაქსის განსაზღვრის სიძნელეს. მიუხედავად ამისა, მზის დისკოს რადიუსს მაინც მაღალი სიზუსტით ზომავენ, ხმარობენ რა ამისათვის სპეციალურ ხელსაწყოს — ჰელიოგრაფს. ასტრონომიულ ყოველწლიურებში მზის ხილული რადიუსის მნიშვნელობა მოცემულია წელიწადის ყოველი

დღისათვის რკალის სეკუნდის ერთი მეასედის სიზუსტით. თუმცა, ეს წინასწარ გამოთვლილი მნიშვნელობებია.

საერთოდ, მზის ხილული დისკოს სიდიდე ცვალებადობს, რადგანაც იცვლება მანძილი დედამიწიდან მზემდე, რამდენადაც მზის გარშემო დედამიწის მოქცევის წლიური გზა ელიფსია. საყ-



ნახ. 205

ხულში მზიდან თითქმის 5 მილიონი კილომეტრით უფრო შორს ვიმყოფებით, ვიდრე ზამთარში. მზემდე უმცირესი მანძილი 147.1 მლნ კმ და უდიდესი 152.1 მლნ კმ-ია. ივნისის დამლევს და ივლისის დასაწყისში კუთხე, რომლითაც მოჩანს მზის დიამეტრი წლის განმავლობაში, უმცირესია და ეტოლება  $31'30''$ . სამაგიეროდ, ზამთარში, დეკემბრის ბოლოს და იანვრის დასაწყისში, როცა მზესთან უახლოეს მანძილზე ვართ, მისი ხილული დიამეტრი აღწევს  $32'35''$ -ს. 205-ე ნახაზზე მოყვანილია გრაფიკი, რომელიც მზის ხილული დიამეტრის წლიურ ცვალებადობას გამოხატავს.



თ ა ვ ი X

**მთვარის ხილული და ჭეშმარიტი მოძრაობა**

§ 119. მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე. მთვარის სიღერული თვე. მზის შემდეგ მთვარე წარმოადგენს ჩვენთვის ყველაზე უფრო კაშკაშა მნათობს. თავის ადგილას გავეცნობით მის ფიზიკურ ბუნებას და დავრწმუნდებით, რომ თავისთავად იგი მზესთან ან ვარსკვლავებთან შედარებით უმნიშვნელო მნათობია; უმნიშვნელოა თავისი სიდიდით, მასით, მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების აქტივობით. მიუხედავად ამისა, ჩვენთვის მას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო იმიტომ, რომ იგი ხშირად ღამით გვინათებს, არამედ უფრო მეტად მით, რომ დედამიწაზე იწვევს ზღვა-ოკეანეების წყლისა და აგრეთვე ატმოსფეროს მასების მიქცევა-მოქცევას; თუმცა ატმოსფეროს მიქცევა-მოქცევა ზღვა-ოკეანეებთან შედარებით ნაკლებად შეიმჩნევა. მთვარის მნიშვნელობას ჩვენთვის მისი სიახლოვეც განაპირობებს, რამდენადაც ეს აადვილებს მის შესწავლას ოპტიკური საშუალებებით და ექსპერიმენტულად კოსმოსური რაკეტების, ავტომატური სადგურების, ხომალდების გამოყენებით. მთვარეა უთუოდ ის პირველი მნათობი, რომელზეც უახლოეს დროში გახშირდება ავტომატურად მოქმედი დასაშვარი სამეცნიერო სადგურების, ლაბორატორიების, ობსერვატორიების მუშაობა. პლანეტური სისტემის სხეულებს შორის პირველად მასზე შედგა ფეხი ადამიანმა-კოსმონავტმა.

დავაკვირდეთ მთვარის ხილულ გადაადგილებას ცაზე და შევისწავლოთ მისი ნამდვილი, ჭეშმარიტი მოძრაობა სივრცეში. პირველი, რაც შეიმჩნევა მთვარის მდებარეობებზე დაკვირვებით, ეს ის არის, რომ, მონაწილეობს რა ცის თაღის დღედამურ ბრუნვაში, იგი ამავე დროს სისტემატურად გადაინაცვლებს ვარსკვლავების მიმართ აღმოსავლეთით, ე. ი. ცამრგვალის ხილული ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

მაშასადამე, ხდება ისეთივე მოვლენა, როგორიც მზის შემთხვევაშია (იხ. ზევით), მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ მთვარე უფრო შესამჩნევად, უფრო სწრაფად გადაადგილდება და ამიტომ იგი მზის მიმართაც აღმოსავლეთით გადაინაცვლებს. სხვა სიტყვებით, მთვარე ასწრებს მზეს ხილულ მოძრაობაში აღმოსავლეთით. როგორც გვახსოვს, მზის გადაინაცვლება გამოიხატება დღე-ღამეში საშუალოდ  $1^{\circ}$ -ით; მთვარისა კი—დაახლოებით  $13^{\circ}$ -ით (უფრო ზუსტად  $13^{\circ}.18$ ). ამიტომ ყოველ ღამით მთვარეს ვხედავთ წინა ღამესთან შედარებით შესამჩნევად გადაინაცვლებულს თანავარსკვლავედთა შორის. ყოველ ერთ საათში მთვარე გადაინაცვლებს თავისი ხილული დიამეტრის სიდიდით. ასე რომ, რამდენიმე საათის უბრალო დაკვირვებითაც შეგნიშნავთ, რომ მას ადგილი შეუცვლია ვარსკვ-



ლავეს შორის. ამის გამო ყოველ საღამოს მთვარე სხვადასხვა დროს ამოდის ჰორიზონტიდან; ყოველდღიურად მისი ამოსვლა აგვიანებს ნახევარი საათიდან თითქმის ერთ საათამდე. ასეთი მოვლენები ადვილად შეიმჩნევა და ამიტომ მთვარის ხილული მოძრაობის კანონზომიერებანი ძველთაგანვე ცნობილია; უძველესი დროის ასტრონომიული დაკვირვებისა და ცოდნის შინაარსის დიდ ნაწილს მთვარის მოძრაობა შეადგენდა.

მზე, გადაადგილდება რა აღმოსავლეთით ვარსკვლავებს შორის დღე-ღამეში დაახლოებით  $1^\circ$ -ით, მთელი წლის განმავლობაში წრეს შემოწერს ვარსკვლავებიან ცაზე. მთვარის გადაადგილებით აღმოსავლეთით დღე-ღამეში  $13^\circ$ -ზე ცოტა უფრო მეტით აგრეთვე შემოიწერება ცაზე წრეწირი, მაგრამ უფრო მოკლე დროის განმავლობაში, სახელდობრ, 27.3 დღე-ღამეში. მართლაც,  $360:13.2=27.3$ .

მაშასადამე, მთვარის ერთი ხილული გარემოქცევა ცაზე სრულდება 27.3 დღე-ღამეში ანუ თითქმის ერთ თვეში.

მაგალითისა და თვალსაჩინოებისათვის მივმართოთ 1983 წლის ასტრონომიულ კალენდარს (წელიწდეულს), რომელშიც მოცემულია მთვარის ეკვატორული კოორდინატები ყოველი დღისათვის. ავიღოთ, მაგალითად, ივლისის თვე და ამოვწეროთ კოორდინატების მნიშვნელობები ყოველი მესამე დღისათვის, ამ კოორდინატებით მოვძებნოთ მთვარის მდებარეობა ჩვენს წიგნთან დართულ ვარსკვლავიერი ცის რუკაზე და მივუწეროთ შესაბამისი თანავარსკვლავედები:

ივლისი	$\alpha$	$\delta$	თანავარსკვლავედი
1	22 სთ 56 წთ	$-12^\circ 21'$	მერწყული
4	1	$+2$	თევზები
7	3	$+16$	კურო
10	6	$+24$	მარჩბივი
13	9	$+17$	ლომი
16	12	$+1$	ქალწული
19	15	$-14$	სასწორი
22	17	$-23$	გველისმჭერისა და მშვილდოსნის საზღვარი
25	20	$-22$	თხისრქა
28	22	$-13$	მერწყული
31	0	$+0$	თევზებისა და ვეშაპის საზღვარი

როგორც ვხედავთ, მართლაც, ერთ თვეზე ნაკლები დროის განმავლობაში მთვარის „ნაკვალევმა“ ვარსკვლავებიან ცაზე შეკრა წრე.

დროის შუალედს, რომლის განმავლობაში მთვარე ამგვარ ხილულ წრეწირს შემოწერს ცაზე (ერთი რომელიმე ვარსკვლავიდან—იმავე ვარსკვლავამდე), ეწოდება მთვარის სიღერული\* (ანუ ვარსკვლავთმძიერი) თვე. უფრო ზუსტად მისი ხანგრძლივობა გამოიხატება 27.3217 დღე-ღამით ანუ 27 დღე-ღამით, 7 საათით, 43 წუთით და 11.47 წამით. მაგრამ უნდა დავძინოთ, რომ ეს მაინც მისი საშუალო მნიშვნელობაა, რამდენადაც იგი ერთგვარად ცვალებადობს იმის გამო, რომ მთვარე განიცდის ძლიერ გრავიტაციულ შეშფოთებებს, რაც ცვლის მისი ორბიტის ელემენტებს (იხ. ქვემოთ).

\* ლათინური *sidus*—ცის მნათობი, ვარსკვლავი.





მთვარის ხილულ მოძრაობაში ცაზე მარტო მისი აღმოსავლეთისაკენ გადაადგილება როდი შეინიშნება. ამავე დროს იცვლება მთვარის დახრილობა და, მაშასადამე,—მისი სიმაღლე პორიზონტიდან კულმინაციის მომენტებში. ეს ცვლილებანი როგორც თვის, ისე წლის პერიოდისაა. აღვილად შეიმჩნევა, მაგალითად, რომ სავსე მთვარე ზამთრობით უფრო მაღლაა, ვიდრე ზაფხულობით. ამის მიზეზს ქვევით განვმარტავთ, როცა მთვარის ნამდვილ ანუ ტელოკრატიკ მოძრაობაში გავერკვევით.

**§ 120. მთვარის ფაზები. მთვარის სინოდური თვე.** ვინ არ იცის, რომ მთვარის სახე პერიოდულად იცვლება; მთვარე ხან მთლიან ბადროს წარმოადგენს და მასზე ამბობენ, რომ სავსეა, ხან ნამგლის ფორმისაა. ეს „ნამგალიც“ ხან ძალიან ვიწროა, ხან კი „შევსებული“; ამასთანავე „ნამგალი“ თავისი ამოზნექილობით ზოგ პერიოდში დასავლეთით, ზოგში კი აღმოსავლეთით არის მიქცეული. ვინც მთვარის სახეს ცოტაოდენი ყურადღებით დაჰკვირვებია, მას ისიც შენიშნული აქვს, რომ დასავლეთისაკენ ამოზნექილი „ნამგალი“ ცაზე სადამოობით, მის დასავლეთ მხარეზეა; აღმოსავლეთისაკენ ამოზნექილი „ნამგალი“ კი აღმოსავლეთის ცაზე მოჩანს გათენების წინ (და ამიტომ უფრო იშვიათად ვხედავთ); ხოლო სავსე მთვარე, მართალია, სადამოობითაც ხშირად გვინახავს აღმოსავლეთის ცაზე, ამოსვლისას, მაგრამ უფრო მეტად დაგვხსომებია მისი კიაფი შუალამით სამხრეთის ცაზე.

მთვარის სახის ასეთი პერიოდულად განმეორებადი ცვალებადობა გვაძლევს მთვარის ფაზების თანმიმდევრობას.

მთვარის ფაზას, როცა იგი ამოზნექილობით დასავლეთისაკენ მიქცეული ვიწრო ნამგლის ფორმისაა, ეწოდება ახალი მთვარე (ნახ. 206-ა). ამ ფაზაში მთვარეს ვხედავთ სადამოობით, ცის დასავლეთ მხარეზე, მოკლე დროის განმავლობაში მზის ჩასვლის შემდგომ.

სამაგიეროდ ძველი მთვარეა, როცა მთვარის ნამგალი ადრე დილით მოჩანს აღმოსავლეთის ცაზე (ნახ. 206-ბ).

სავსე მთვარეობაა, როცა მთვარე მთელი თავისი ბადროთი ანათებს. ამ დროს იგი წრესავით მრგვალია (ნახ. 206-დ) და მთელი ღამის განმავლობაში მოჩანს.

დროის შუალედი ახალმთვარეობიდან ახალმთვარეობამდე (ან სავსემთვარეობიდან სავსემთვარეობამდე) წოდებულია მთვარის სინოდური\* თვე და მისი ხანგრძლივობა არის 29.531 დღე-ღამე ანუ 29 დღე-ღამე, 12 საათი, 44 წუთი და 2.78 წამი. ეს პერიოდიც ცვალებადობს თითქმის 13 საათის ფარგლებში იმის გამო, რომ დედამიწის გზა მზის ირგვლივ და მთვარისა—დედამიწის ირგვლივ ზუსტად წრეწირები კი არა, ელიფსებია და მათი სიჩქარეები ელიფსების გასწვრივ არათანაბარია.

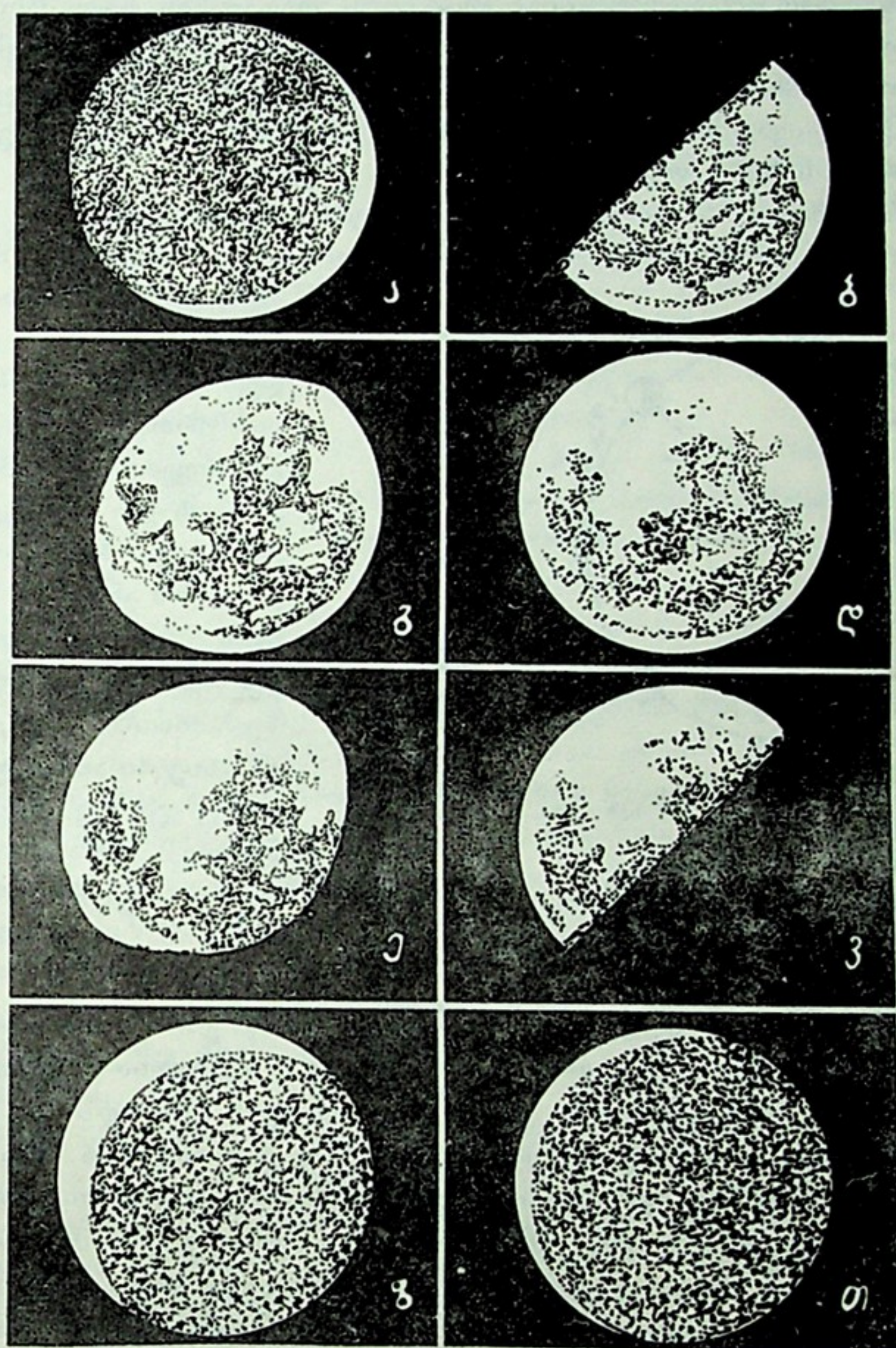
თავისი ხანგრძლივობით სინოდური თვე უფრო ახლოა ჩვენს კალენდარულ თვესთან, ვიდრე სიდერული.

**§ 121. მთვარის მოძრაობა სივრცეში. მისი ხილული მოძრაობისა და ფაზების ახსნა.** მთვარის ხილული გადანაცვლება ცაზე მით არის გამოწვეული, რომ

\* ბერძნული συνδιος ნიშნავს შეერთებას, შეხვედრას. იგულისხმება მზისა და მთვარის ცაზე შეხვედრა.



სინამდვილეში მთვარე მოიქცევა დედამიწის გარშემო; იგი თითქმის წრიულ გზას ანუ ორბიტას შემოწერს დედამიწის ირგვლივ იმ დროის განმავლობაში, რომელსაც სიდერული თვე ვუწოდეთ. ეს მოძრაობა მიმართულია დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ასეთ პირობებში, ვუყურებთ რა მთვარეს (ვაგეგმილებთ რა მას



ნახ. 206

ვარსკვლავებიან ცაზე), თანმიმდევრულად გადანაცვლებულს ვხედავთ ვარსკვლავების მიმართ (მისი გეგმილი ცაზე გადაინაცვლებს).

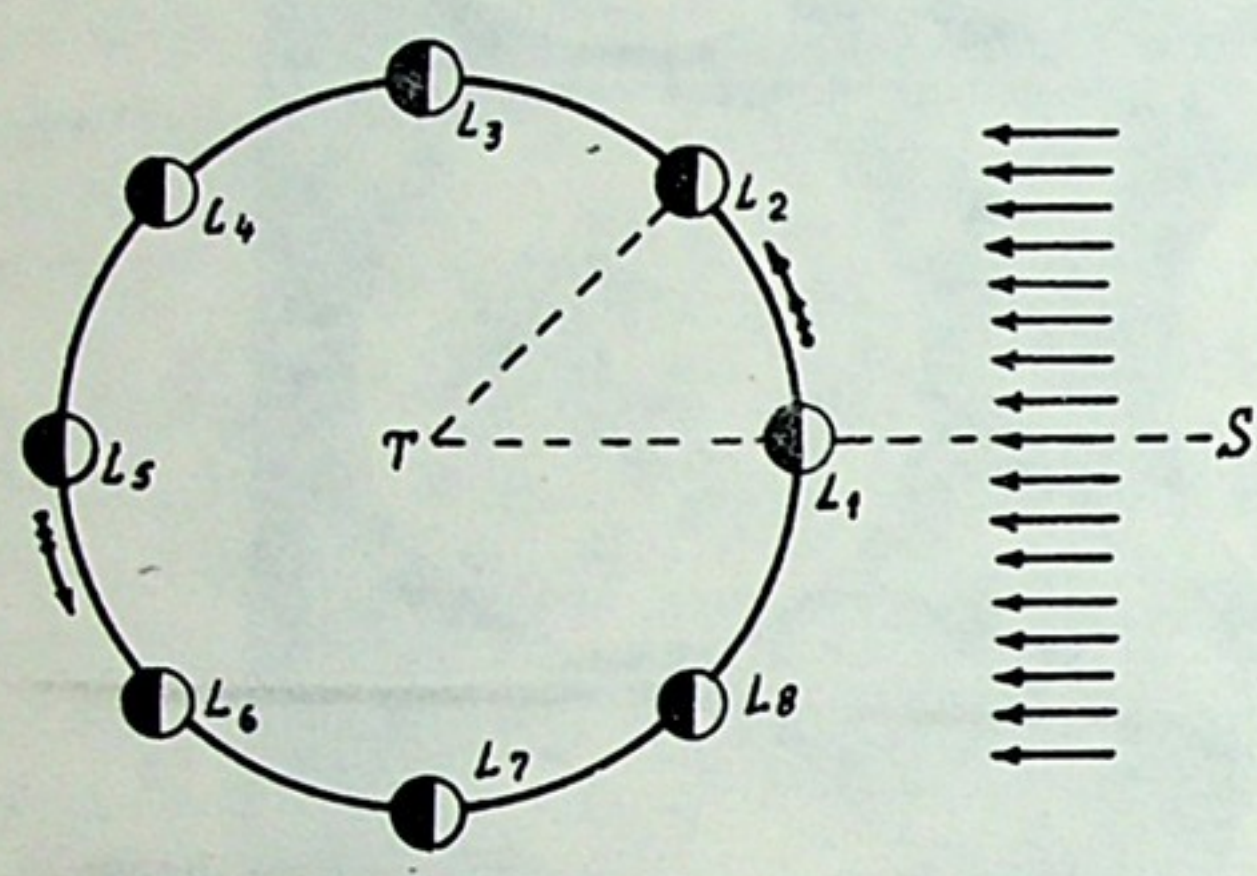
რატომ იცვლება ამავე დროს მთვარის დახრილობა? ეს მით არის გამოწვეული, რომ სიბრტყე, რომელშიც მთვარის ორბიტა ძევს, დახრილია ეკვატორის სიბრტყის მიმართ.





მთვარის მოძრაობის ტრაექტორია პლანეტური სისტემის სივრცეში საკმაოდ რთულია: მთვარე მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ ისე, რომ იცვლება მისი ორბიტის ორიენტაცია სივრცეში, თვითონაც განიცდის მზისაგან გრავიტაციულ შეშფოთებებს და ამასთან ერთად მიჰყვება დედამიწას ამ უკანასკნელის წლიურ სრბოლაში მზის გარშემო. მთვარეს დედამიწის თანამგზავსაც უწოდებენ სწორედ იმიტომ, რომ იგი არ ტოვებს დედამიწას, სულ მასთან არის, მის ირგვლივ მოძრაობს. მთვარე დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრია. ახლა ადამიანი ქმნის და აგზავნის კოსმოსურ სივრცეში ისეთ სხეულებს, რომლებიც ხანგრძლივად მოძრაობენ ინერციით დედამიწის გარშემო. ასეთი სხეულები დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებია.

ამგვარად, მთვარის ხილული გადანაცვლება ცაზე აიხსნება მისი ნამდვილი, ჭეშმარიტი მოძრაობით სივრცეში დედამიწის ირგვლივ. რითღა ავსხნათ მთვარის ფაზები? იმავე მიზეზით: მთვარის მოძრაობით დედამიწის გარშემო და მასთან ერთად მით, რომ მთვარე—სფეროს მოყვანილობის კოსმოსური სხეული — თავისთავად ბნელი სხეულია; მას ანათებს მზე, რომლის სხივები ყოველთვის ეფინება მთვარის სფერული ზედაპირის ნახევარს; ეს სხივები აირეკლება ჩვენკენაც და ასე ვხედავთ განათებულ მთვარეს; ვხე-



ნახ. 207

დავთ მის განათებულ ნახევარსფეროს ზოგჯერ სრულად (სავსემთვარეობა) და უფრო ხშირად—ნაწილობრივ, მის დიდსა თუ მცირე ნაწილს. გავარჩიოთ ეს მოვლენა დაწვრილებით.

207-ე ნახაზზე  $T$  დედამიწას აღნიშნავს. მის გარშემო შემოწერილია მთვარის ორბიტის აღმნიშვნელი წრეწირი. მასზე მოცემულია მთვარის რამდენიმე მდებარეობა, რომლებიც მას ექნება გარემოქცევის პერიოდში:  $L_1, L_2, L_3, \dots$  მთვარის ორბიტის რადიუსი საშუალოდ 384.000 კილომეტრია. მზე არ არის წარმოდგენილი ნახაზზე. იგი შორს, მარჯვენა მხარეზე ვიგულოთ. მისი დაშორება დედამიწიდან დაახლოებით 400-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე მთვარის ორბიტის რადიუსი ანუ მანძილი დედამიწა-მთვარე. პარალელური ისრებით გამოხატულია მზის სხივები, რომლებიც ჩვენს ნახაზზე მარჯვნიდან ეფინება მთვარის სფეროს.

ცხადია, სადაც უნდა იყოს მთვარე თავის ორბიტაზე, მზე ანათებს მისი სფერული ზედაპირის ნახევარს. მაგრამ ჩვენ,  $T$  წერტილიდან, მთვარის განათებული ნახევარის სხვადასხვა, მეტ თუ ნაკლებ ნაწილს ვხედავთ იმის მიხედვით, თუ სად იმყოფება მთვარე აღებულ შემთხვევაში.

ასე, სახელდობრ,  $L_1$  მდებარეობაში მთვარეს სულაც ვერ ვხედავთ, რადგანაც, ჯერ ერთი, ამ დროს ჩვენკენ მოქცეულია მისი გაუნათებელი ნახევარი და, მეორეც, — მთვარე პირდაპირ მზის მიმართულებით მდებარეობს და მის თვალისმომჭრელ სხივებში „იკარგება“.



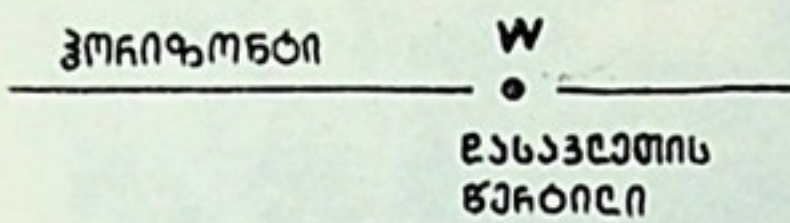
ეს მომენტი ჩავთვალოთ მთვარის თვიური გარემოქცევის საწყისად და ვუწოდოთ მას მთვარის შ ე ე რ თ ე ბ ა. „შეერთებულია“ ანუ თანხვედნილია მთვარისა და მზის გეგმილები ცაზე. ასეთ მდგომარეობაში მზისა და მთვარის კულმინაცია ან მათი ამოსვლა-ჩასვლა ერთდროულად ხდება.

შეერთების მომენტიდან 2—3 დღე-ღამით გვიან, თავის გარემოქცევაში დასავლეთიდან აღმოსავლეთით (ისარი ნახაზზე), მთვარე გადაადგილდება  $L_2$  წერტილში. მაშინ  $T$ -დან დავინახავთ მისი განათებული ნახევრის მცირე ნაწილს— „ნამგალს“, რომელიც ამოზნექილობით მარჯვნივ ანუ დასავლეთით (მზისკენ) არის მიმართული. მთვარის ფაზა ამ მომენტში ისეთია, როგორც ეს 206-ე ა ნ ა ხ ა ზ ზ ე ა.

☾ მესამე ლაგე

☾ მეორე ლაგე

☾ პირველი ლაგე



ნახ. 208

ეს ახალმთვარეობაა. როგორც ვიცით, ასეთ ფაზაში მთვარეს ახალ მთვარეს უწოდებენ. მაგრამ, მკაცრად, ახალი მთვარის მომენტად მისი გარემოქცევის საწყისი მომენტი ანუ მზესთან „შეერთების“ მომენტი უნდა ვიგულისხმოთ.

ახალი მთვარე მზის მახლობლად მოჩანს, რაც ჩვენი ყოველდღიური, ჩვეულებრივი დაკვირვებით უნდა გვქონდეს შემჩნეული. ჩვენს ნახაზზედაც დას-

ტურდება ეს. მართლაც, კუთხე  $TS$  და  $TL_2$ -ს შორის ანუ მზეზე და მთვარეზე თვალთახედვის მიმართულებათა შორის კუთხე შედარებით მცირეა.

რადგანაც ამ დროს მზე მთვარის დასავლეთით (მარჯვნივ) მდებარეობს, ახალი მთვარე ს ა დ ა მ ო ბ ი თ მოჩანს დასავლეთის ცაზე და, ახლოა რა მზესთან, მალე ჩადის ჰორიზონტის ქვეშ მზის ჩასვლის შემდეგ.

გადის რამდენიმე დღე. ვამჩნევთ, რომ მთვარის ნამგალი ფართოვდება და თანდათან მზეს შორდება; სულ უფრო და უფრო მეტად ჩამორჩება მზეს და მოგვიანებით ჩადის ჰორიზონტის ქვეშ (ეს გამოხატულია 208-ე ნახაზზე, სადაც მოცემულია მზარდი მთვარის მდებარეობა ცაზე სამი მომდევნო საღამოს ერთსა და იმავე საათზე), სხვა სიტყვებით, მთვარე „ხანში შედის“. როცა მთვარე  $L_3$  მდებარეობაშია, კუთხე მზესა და მთვარეზე გავლებულ მიმართულებათა შორის  $90^\circ$ -ს მიაღწევს. ამ დროს დედამიწიდან მოჩანს მთვარის სფერული ზედაპირის განათებული ნახევრის ნ ა ხ ე ვ ა რ ი ანუ ფაზა, რომელიც გამოიხატება 206-ე ბ ნ ა ხ ა ზ ზ ე ა, ე. ი. ნ ა ხ ე ვ ა რ ბ ა დ რ ო. ამ ფაზას მთვარის პ ი რ ვ ე ლ მ ე ო თ - ხ ე დ ს ა ც უწოდებენ. რამდენადაც მზესა და მთვარეზე მიმართულებათა შორის კუთხე  $90^\circ$ -ია, მთვარის კულმინაცია ნ საათით ჩამორჩება მზისას. ასე რომ, ღამის პირველი ნახევრის განმავლობაში მთვარე ჰორიზონტის ზემოთაა.

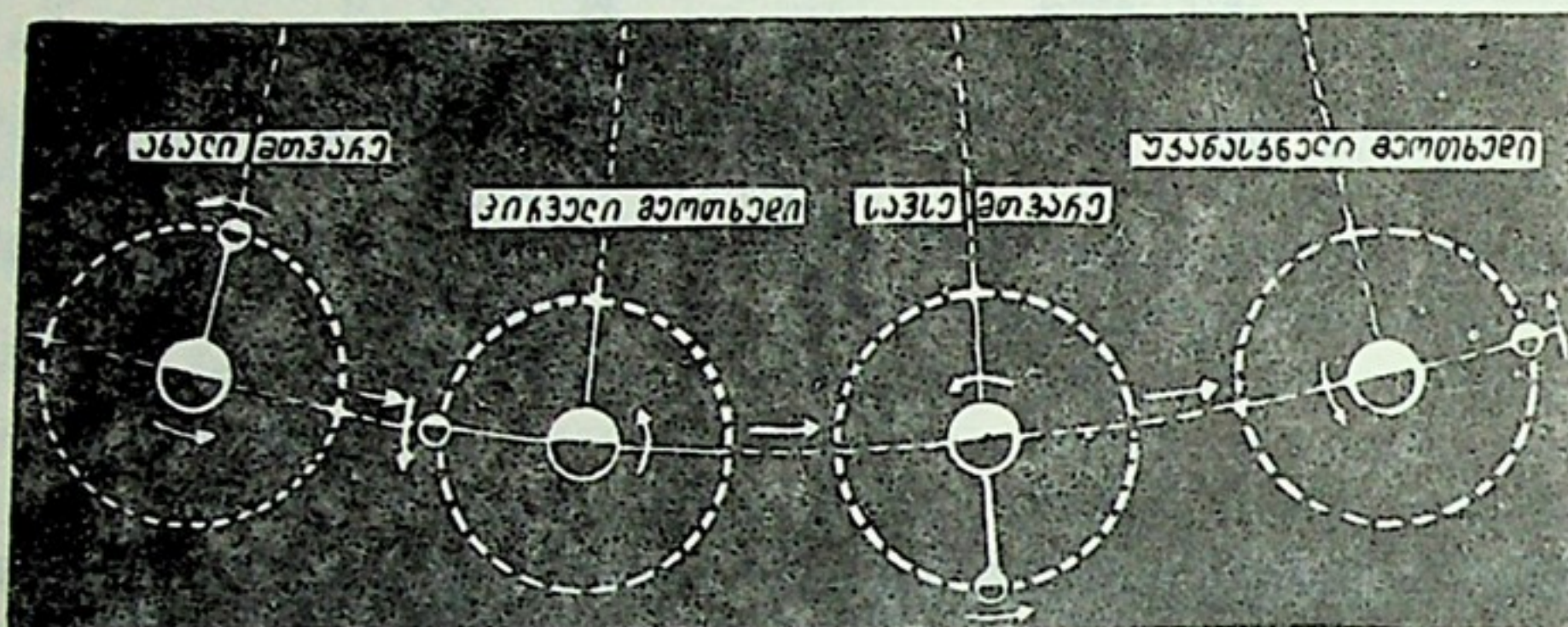
თუ აღებულ დღეს მზისა და მთვარის კულმინაციათა შორის განსხვავება ზუსტად ნ საათია, შეგვიძლია თუ არა დავსკვნათ, რომ მათი ჩასვლის მომენტებს შორისაც იგივე ექვსსაათიანი განსხვავებაა? არა, განსხვავება ნ საათზე ცოტა მეტი იქნება იმის ხარჯზე, რომ მთვარის კულმინაციის მომენტიდან ჩასვლამდე დღე-ღამის მეოთხედი გადის და ამ ხნის განმავლობაში მთვარე კიდევ ჩამორჩება მზეს, გადაინაცვლებს რა მის აღმოსავლეთით დაახლოებით ( $13^\circ - 1^\circ$ ):  $:4 = 3^\circ$  სიდიდით;  $3^\circ$ -ს შეესაბამება საშუალოდ დროის 12 წუთი! ცხადია, მთვარის დახრილობის ცვლილებაც თავის გავლენას ახდენს ჩასვლის მომენტზე.



ნახევარბადროს ფაზის შემდეგ გაივლის კიდევ ერთი კვირა და მთვარეში აღწევს  $L_5$  მდებარეობას. ახლა დედამიწა აღმოჩნდება მზესა და მთვარეს შორის. ამ დროს მთვარე, როგორც ამბობენ, მზესთან პირისპირდგომაშია. დედამიწიდან მთლიანად მოჩანს მთვარის განათებული ნახევარი და მთვარის ფაზა სრული ბადროა—სავსემთვარეობა (ნახ. 206-დ). ახლა მთვარის კულმინაცია 12 საათით ჩამორჩება მზისას, მაშასადამე, მისი ზედა კულმინაცია შუალამის მომენტშია; მთვარე პორიზონტის ზევითაა მთელი ღამის განმავლობაში.

ამის შემდეგ იწყება ცხრომა ანუ მთვარის დაღევა. ერთი კვირის შემდგომ მთვარე იქნება  $L_7$  მდებარეობაში და იგი კვლავ მეოთხედ ფაზაში გამოჩნდება. მაგრამ ამ დროს მისი ნახევარბადროს ამოზნექილი კიდე აღმოსავლეთით იქნება მიქცეული (ჩვენთვის—მარცხნივ; ნახ. 206-ვ). მთვარის ამ ფაზას უკანასკნელ მეოთხედს უწოდებენ. ახლა მთვარე 6 საათით ასწრებს მზეს ამოსვლას და კულმინაციას.

$L_8$  მდებარეობაში მთვარე,  $L_2$ -ის მსგავსად, ნამგლის სახით წარმოგვიდგება, ოღონდ ახლა ნამგალი ამოზნექილობით აღმოსავლეთით (მარცხნივ) არის



ნახ. 209.

მიმართული (ნახ. 206-თ). ეს ძველი მთვარეა. იგი კვლავ მზის ახლო ჩანს ცაზე, მაგრამ მის დასავლეთ მხარეზე (მის მარჯვნივ) და, მაშასადამე, გათენების წინ ამოდის პორიზონტიდან.

ორი-სამი დღის შემდეგ მთვარე ისევ მზესთან შეერთებაში აღმოჩნდება და ამით ასრულებს თავისი ფაზების ერთი პერიოდის თანმიმდევრობას, რათა კვლავ დაიწყოს შემდგომი პერიოდის ფაზების გავლა.

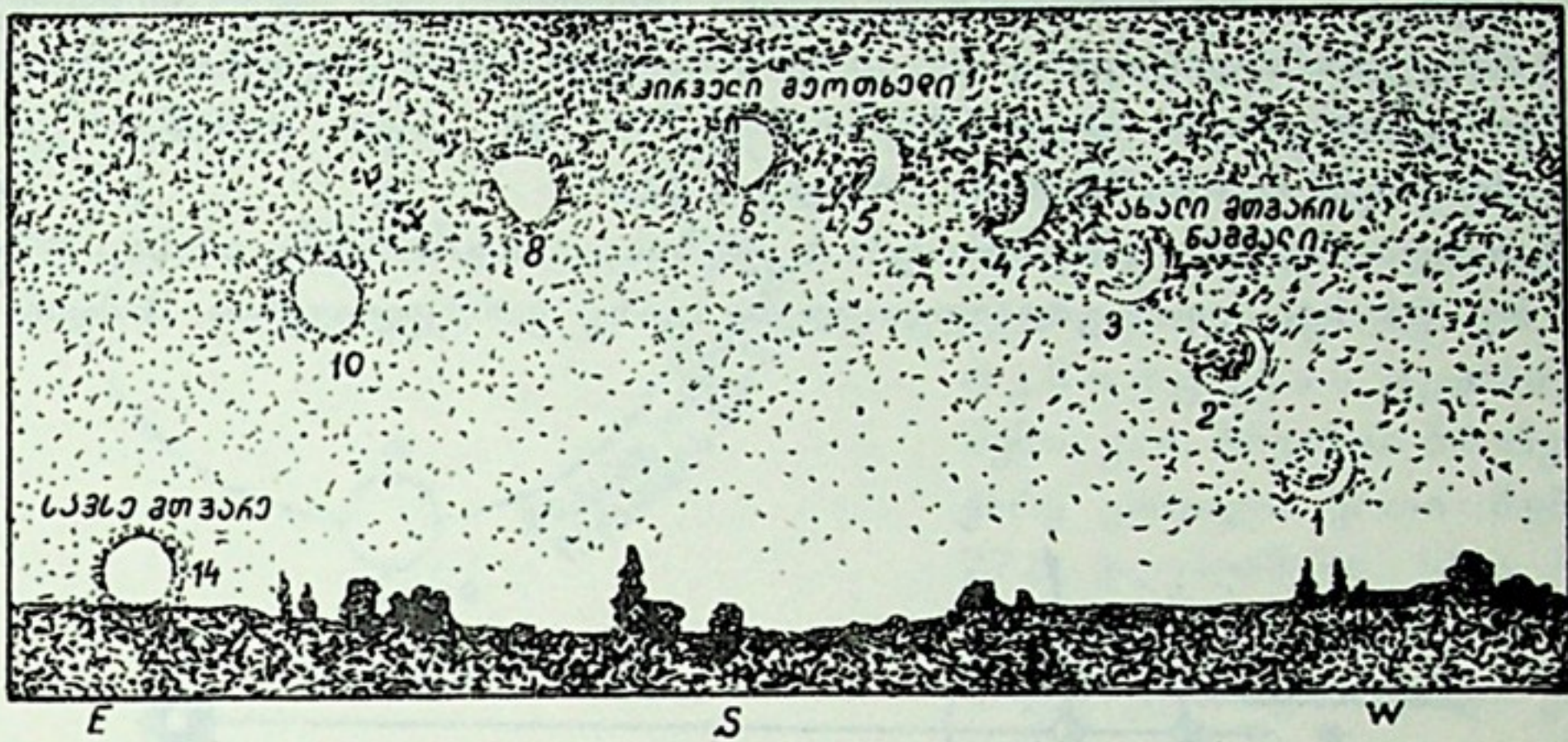
ახალმთვარეობისა და სავსემთვარეობის მდგომარეობას სიზიგიებს უწოდებენ (ბერძნული სიტყვა *συνυμία* — დაწყვილება, შეერთება). ხოლო, როცა მზესა და მთვარეზე გავლებულ მიმართულებებს შორის  $90^\circ$ -ია (მზის აღმოსავლეთით ან დასავლეთით) ანუ, როცა მთვარე  $L_3$  ან  $L_7$  მდებარეობაშია, ამბობენ, რომ მთვარე კვადრატურაშია. მკითხველმა გაარჩიოს აგრეთვე 209-ე ნახაზი.

210-ე ნახაზზე მოცემულია სქემატური, ნაკრები სურათი: მთვარის ყოველდღიური ხილული მდებარეობა ცაზე ახალმთვარეობიდან სავსემთვარეობამდე, საღამოობით, მზის ჩასვლიდან 1 საათის შემდეგ.

ზემოთ ვთქვით, რომ დროის შუალედი ერთ ფაზიდან იმავე მომდევნო ფაზამდე, ე. ი. ახალმთვარეობიდან ახალმთვარეობამდე ან სავსემთვარეობიდან

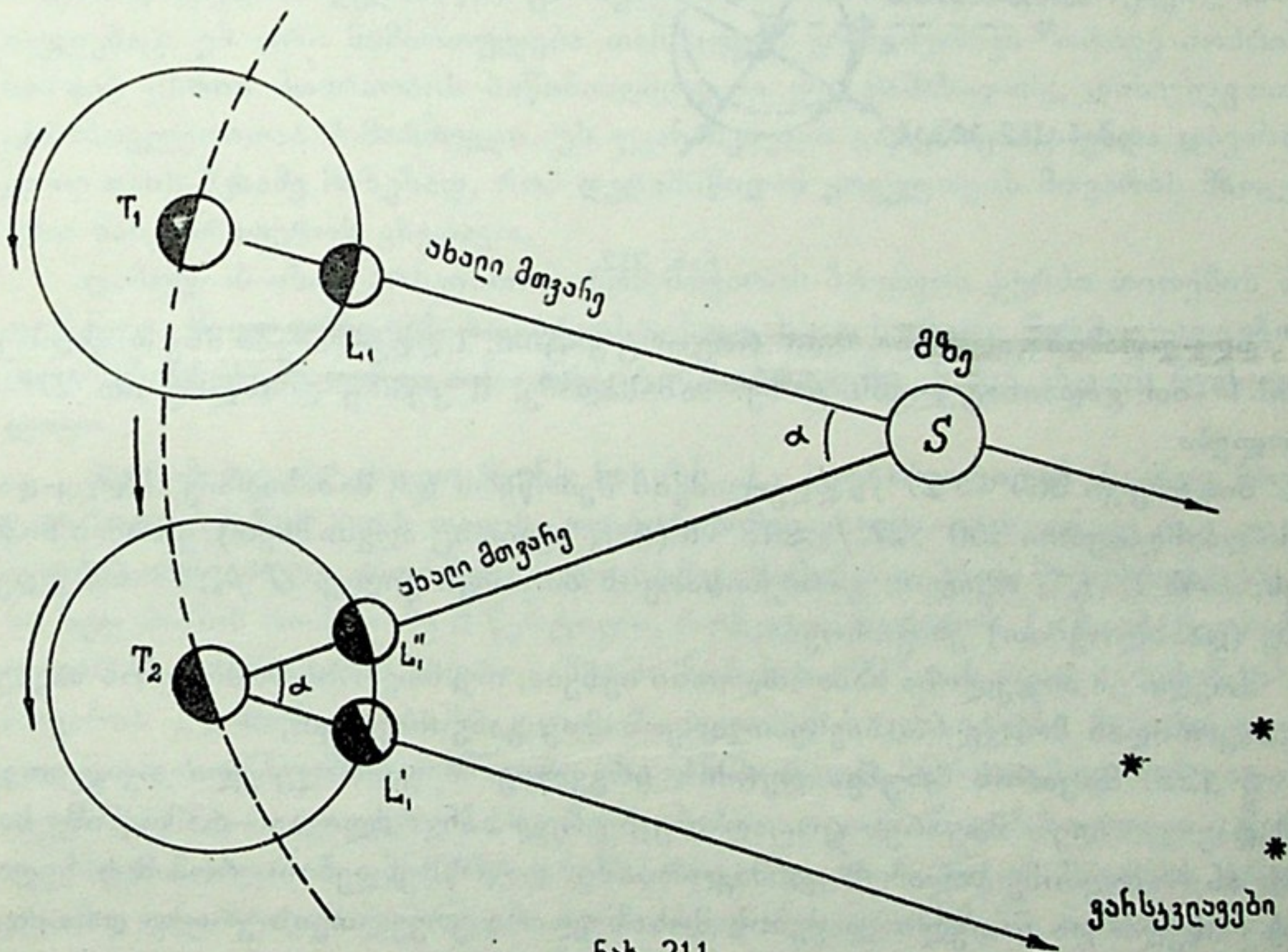


შემდგომ სავსემთვარეობამდე 29.531 დღე-ღამეა. ეს იგივეა, რაც პერიოდი შეერთებიდან შეერთებამდე. მაგრამ, ისმის კითხვა, — თუკი მთვარის დედამიწის გარს-მოქცევის პერიოდი 27.322 დღე-ღამეა (იხ. ზევით), რა განსაზღვრავს სინოდურ პერიოდს 29.531 დღე-ღამით? პასუხისათვის მივმართოთ 211-ე ნახაზს რომე-



ნახ. 210.

ლიდაც მომენტში, როცა დედამიწა  $T_1$  მდებარეობაშია, მთვარე შეერთებაში იმყოფება ( $T_1 L_1 S$ ) და ახალმთვარეობაა. ამის შემდგომ მთვარე განაგრძობს თავის თვითურ გარემოქცევას დედამიწის ირგვლივ საკუთარ ორბიტაზე, ისრით ნაჩვენებ-



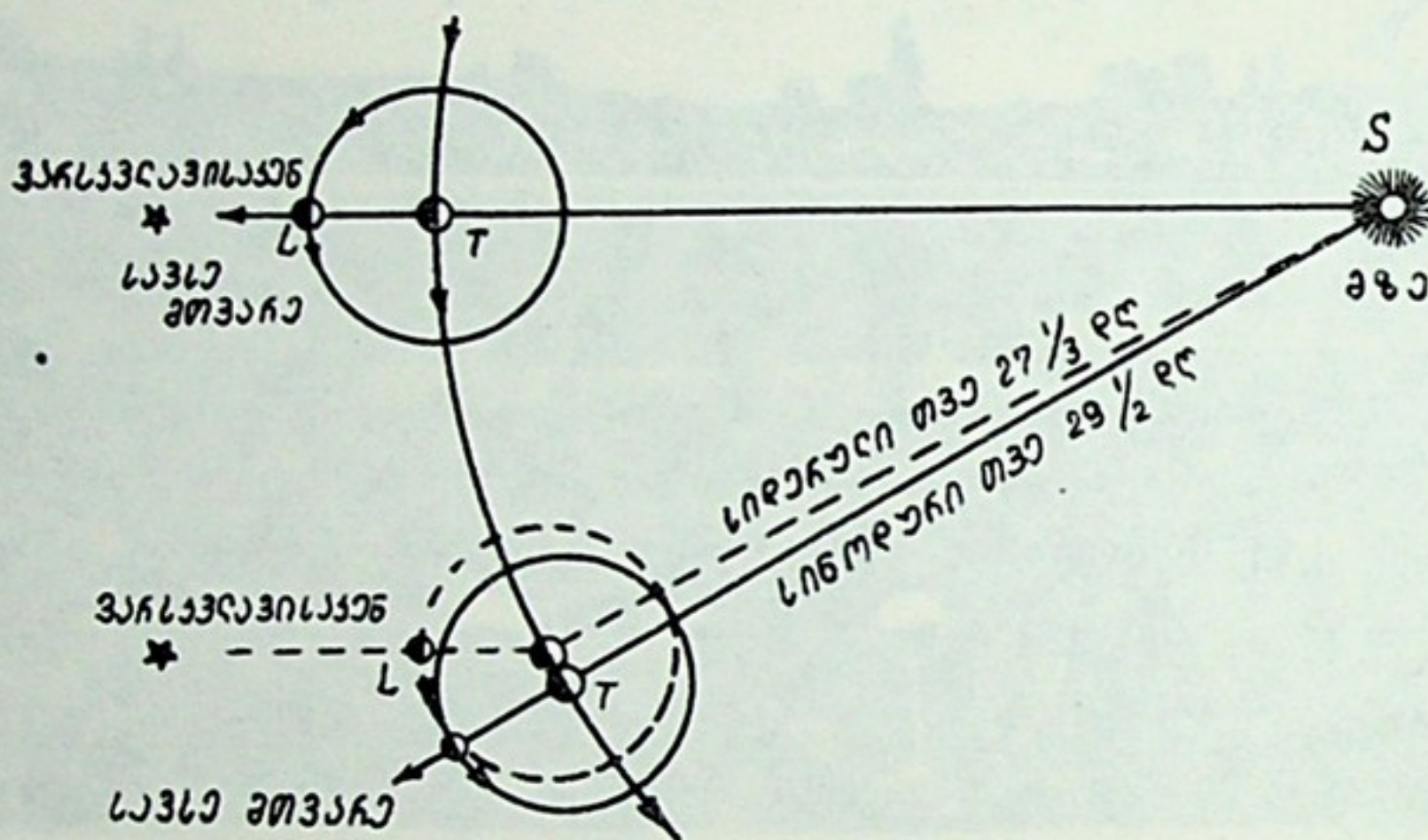
ნახ. 211.

ნები მიმართულებით. დედამიწაც გადაინაცვლებს თავის ორბიტაზე, რომელზეც აგრეთვე ნაჩვენებია ისრით წლიური მოძრაობის მიმართულება.



$27\frac{1}{3}$  დღე-ღამის განმავლობაში მთვარე ერთ სრულ წრეს შემოწერს დედამიწის გარშემო. ამ დროის დასასრულისათვის დედამიწა  $T_2$ -ში მივა. ახლა მთვარის მდებარეობა  $L'_1$ -ით განისაზღვრება ( $T_2L'_1$  პარალელურია  $T_1L_1$ -ისა). ეს იქნება მთვარის ერთი სრული გარემოქცევის დასასრული—სიდეურული პერიოდი (27.32 დღე-ღამე). მაგრამ ჯერ არ იქნება მისი ფაზების პერიოდის დასასრული, ე. ი. არ იქნება შესრულებული სინოდური თვე, — ჯერ არ დამდგარა მეორე, მომდევნო ახალმთვარეობა. ეს უკანასკნელი მაშინ დადგება, როცა მთვარე  $L''_1$  მდებარეობაში მივა (შეერთება:  $T_2L''_1S$ ), ე. ი. შემოწერს თავის ორბიტაზე კიდევ მცირე სიგრძის რკალს  $L'_1L''_1$ .

ეს რკალი, რომელიც შეესაბამება  $\alpha$  კუთხეს, ერთდროულად იმასაც გამოხატავს, თუ რა სიდიდით გადაადგილდება ცაზე ვარსკვლავების მიმართ მზე



ნახ. 212.

$27\frac{1}{3}$  დღე-ღამის განმავლობაში. როგორც ვიცით, 1 დღე-ღამეში მზე დაახლოებით  $1^\circ$ -ით გადაინაცვლებს ცაზე. მაშასადამე,  $\alpha$  კუთხე დაახლოებით  $27^\circ$ -ს ეტოლება.

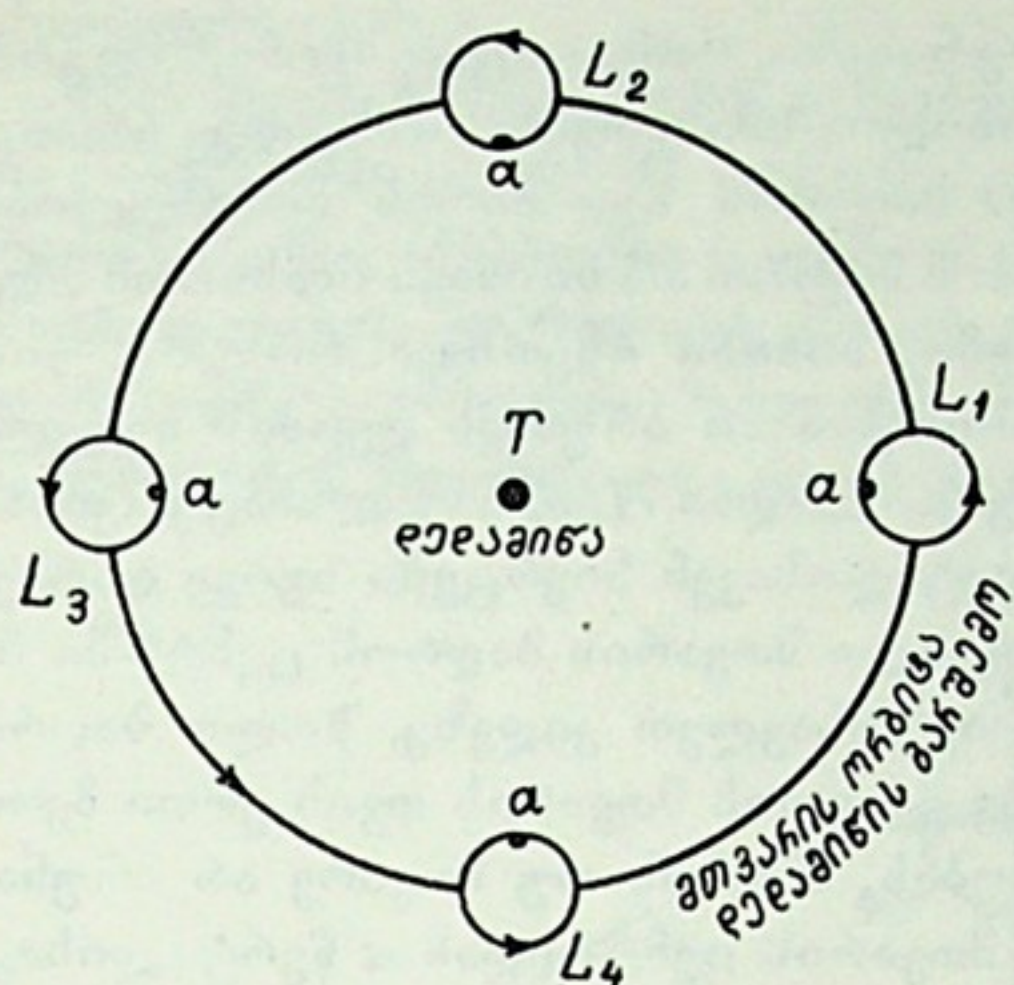
მთვარე კი  $360^\circ$ -ს  $27\frac{1}{3}$  დღე-ღამეში შემოწერს და, მაშასადამე, 1 დღე-ღამეში დაახლოებით  $360^\circ : 27\frac{1}{3} \approx 13^\circ$ -ს (რაც ზევითაც აღვნიშნეთ). ეს იმას ნიშნავს, რომ  $L'_1L''_1$  რკალის გარბენისათვის მთვარეს კიდევ  $27\frac{1}{3} : 13 = 2$  დღე-ღამე (დაახლოებით) ესაჭიროება.

მთელი ეს მსჯელობა სამართლიანი იქნება, თუ მთვარის მოძრაობას სავსე-მთვარეობიდან მომდევნო სავსემთვარეობამდე განვიხილავთ.

**§ 122. მთვარის ბრუნვა ღერძის ირგვლივ.** შეუიარაღებელი თვალითაც რომ დავაკვირდეთ მთვარეს ცოტად თუ ბევრად ხანგრძლივად—რამდენიმე საათის ან რამდენიმე საღამოს განმავლობაში, დავრწმუნდებით, რომ მის ზედაპირზე ბნელი და ნათელი ლაქების მოხაზულობა ყოველთვის ერთსა და იმავე ადგილას ჩანს, უძრავია მთვარის ბადროს კიდეების მიმართ. ეს დაკვირვება თითქოს იმის მაჩვენებელია, რომ მთვარე არ ბრუნავს საკუთარი ღერძის ირგვლივ. მაგრამ, ეს ასე არაა. მთვარე, როგორც ცის ყველა სხვა სხეული: თვით დედამიწა,



მზე, პლანეტები, ვარსკვლავები ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ასეთი ბრუნვა, სივრცულ მოძრაობასთან ერთად, კოსმოსური სხეულების საერთო თვისებაა. მაშ რატომ წარმოგვიდგება მთვარის ზედაპირი ასე უძრავად?



ნახ. 213.

მიზეზი ისაა, რომ მთვარის ბრუნვა ისეთი სიჩქარით ხდება, რომ მის ერთ მობრუნებას ღერძის ირგვლივ იგივე დრო სჭირდება, როგორც ერთ გარემოქცევას დედამიწის გარშემო, ე. ი. მთვარის ბრუნვის სიჩქარე ყოფილა ერთი მობრუნება 27.3 დღე-ღამეში. სხვა სიტყვებით, მთვარის დღე-ღამე მთვარის სიდერული თვის ტოლი ყოფილა.

ამასთანავე მთვარის ბრუნვის ღერძი თითქმის ეკლიპტიკის მართობულია.

ახლა მოვლენის უფრო მკაცრ, გეომეტრიულ ილუსტრაციას მივმართოთ. 213-ე ნახაზზე  $T$  დედამიწას გამოხატავს და  $L_1, L_2, L_3, L_4$  — მთვარის ოთხ თანმიმდევარ მდებარეობას მის ორბიტაზე დედამიწის გარშემო. დედამიწა აქ წერტილით არის გამოხატული, ხოლო მთვარე — წრეებით. ისრებით ნაჩვენებია როგორც მთვარის დედამიწის გარშემო მოძრაობის, ისე მისი ბრუნვის მიმართულებაც. ეს ორი მიმართულება თანხვედრა ერთიმეორეს: ორივე მოძრაობა საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოა და, მაშასადამე, დასავლეთიდან აღმოსავლეთითაა მიმართული. ეს უკანასკნელი გარემოებაც უნდა დავასახელოთ იმის შესამე მიზეზად, რომ დედამიწიდან ყოველთვის მთვარის მხოლოდ ერთ ნახევარსფეროს ვხედავთ.

დაბოლოს ისიც არსებითია, რომ მთვარის ბრუნვის ღერძი თითქმის მართობულია მისი ორბიტის სიბრტყისა. სულ სხვა სურათი წარმოგვიდგებოდა, მთვარის ბრუნვის ღერძი მისი ორბიტის სიბრტყეში ან მის ახლოს რომ ყოფილიყო.

მაგრამ მივუბრუნდეთ ჩვენს ნახაზს.  $L_1$  მდებარეობიდან  $L_2$ -მდე მთვარე გადის დედამიწის გარს თავისი ორბიტის მეოთხედს. ამასთანავე იგი თავისი ღერძის ირგვლივაც ერთი მეოთხედით იმავე მიმართულებით შემობრუნდება. მისი ზედაპირის რომელიმე  $a$  წერტილი, რომელიც მთვარის  $L_1$  მდებარეობაში  $T$  დედამიწიდან მთვარის ბადროს შუაში მოჩანდა,  $90^\circ$ -იან რკალს შემოწერს, და მთვარის  $L_2$  მდებარეობაში კვლავ  $T$  დედამიწისაკენ იქნება მიმართული და კვლავ ბადროს შუაში გამოჩნდება. ასე განმეორდება სურათი მთვარის გადანაცვლებისას  $L_3, L_4$  და კვლავ  $L_1$  მდებარეობებში. დედამიწიდან ხილული  $a$  წერტილი მუდამ ბადროს ცენტრში რჩება. როგორც აღვნიშნეთ, მთვარის ბრუნვის ღერძი ეკლიპტიკის სიბრტყის მართობული იგულისხმება; ნახაზზე მთვარის ბრუნვის ღერძი ქაღალდის სიბრტყის მართობულად გვაქვს წარმოდგენილი, თუმცა დედამიწის წლიური ორბიტა არა გვაქვს შემოხაზული მასზე. დიდი გარშემოწერილობა ნახაზზე მთვარის ორბიტას გამოხატავს, მაგრამ მისი სი-

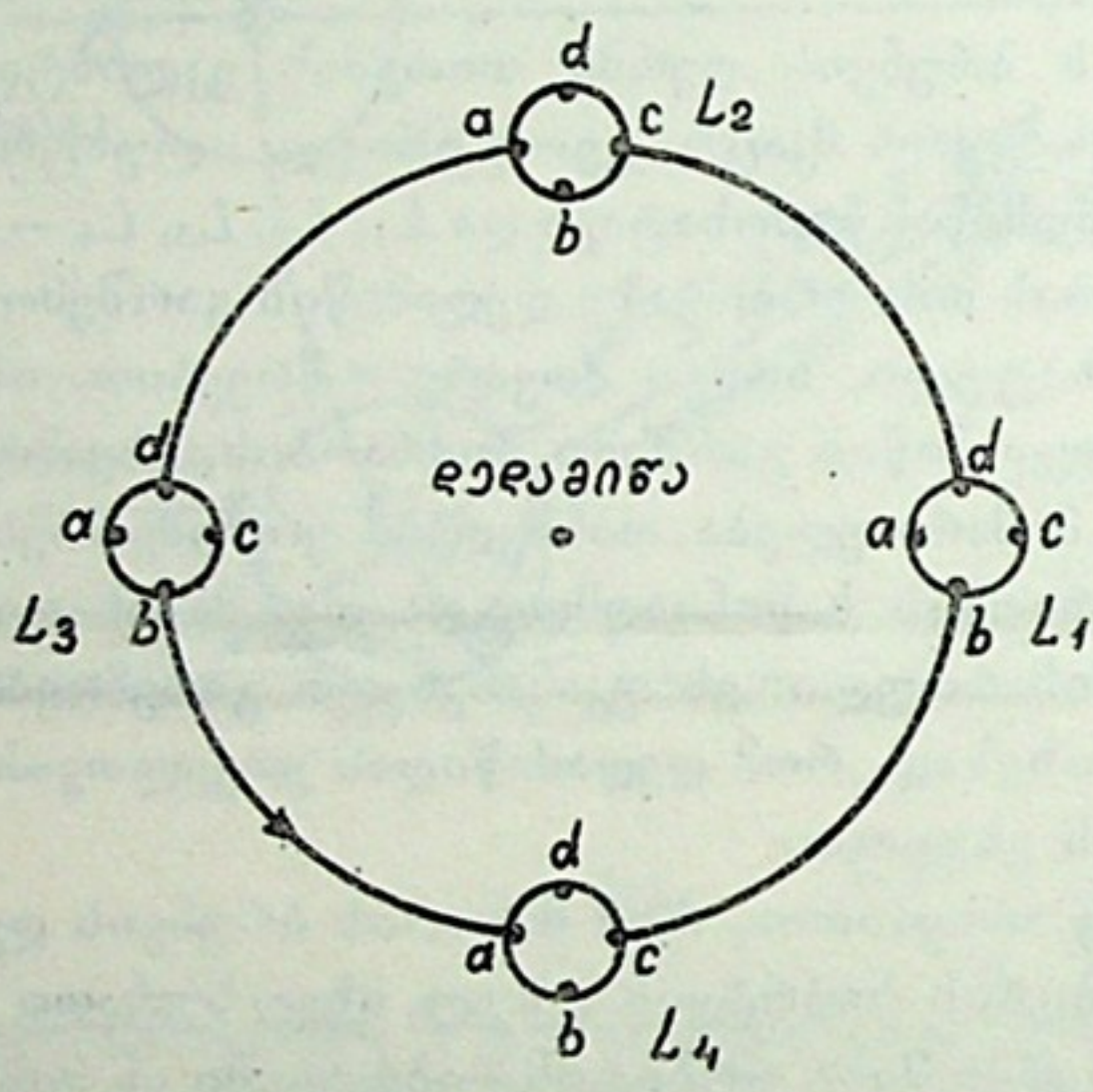




ქართული  
ენების  
სწავლის  
საქართველოს  
საქართველოს  
საქართველოს

ბრტყე დიდად არ შორდება ეკლიპტიკის სიბრტყეს, თუმცა სრული თანხვედნა არაა (მთვარის ორბიტის სივრცულ ორიენტაციაზე ქვემოთ გვეყენება უფრო დაწვრილებითი საუბარი).

განვიხილოთ ახლა შემდგომი, 214-ე ნახაზი, რომელიც ჭეშმარიტ მდგომარეობას კი არ გამოხატავს, არამედ მოყვანილია იმისათვის, რომ კიდევ ერთხელ დავრწმუნდეთ მსჯელობის სისწორეში. მთვარის ზედაპირის მოხაზულობის უცვლელობა ბადროს ცენტრის ან კიდეების მიმართ არ ნიშნავს იმას, რომ მთვარე არ ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ნახაზი ისეთივეა როგორც წინა, მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ მთვარე თითქოს არ ბრუნავს ღერძის ირგვლივ (სათანადო ისარი ამ ნახაზს არა აქვს).  $L_1$ -დან  $L_2$ -ში გადანაცვლებისას მიმართულება მთვარის ცენტრიდან  $a$  დეტალისაკენ სივრცეში იგივე დარჩება და თუ მთვარის  $L_1$  მდებარეობაში  $a$  წერტილი მთვარის ბადროს ცენტრში მოჩანდა, ახლა იგი გამოჩნდება ბადროს აღმოსავლეთ კიდეზე, ხოლო ბადროს ცენტრში გამოჩნდება  $b$  წერტილი. კიდევ გაივლის მთვარის თვის ერთი მეოთხედი და მთვარე მიაღწევს  $L_3$  მდებარეობას. მაგრამ, თუ მთვარე არ ბრუნავს ღერძის ირგვლივ, მაშინ მიმართულება მთვარის ცენტრიდან  $a$  წერტილისაკენ



ნახ. 214.

გვლავ იგივე იქნება,  $a$  წერტილი ჩვენთვის მთვარის უკანა მხარეზე მოექცევა, ბადროს ცენტრში კი გამოჩნდება  $c$  წერტილი, რომელიც მთვარის  $L_1$  მდებარეობაში მის უკანა მხარეზე იმყოფებოდა. ასე თანმიმდევრობით გამოჩნდება მთვარის სფეროს მთელი ზედაპირი.

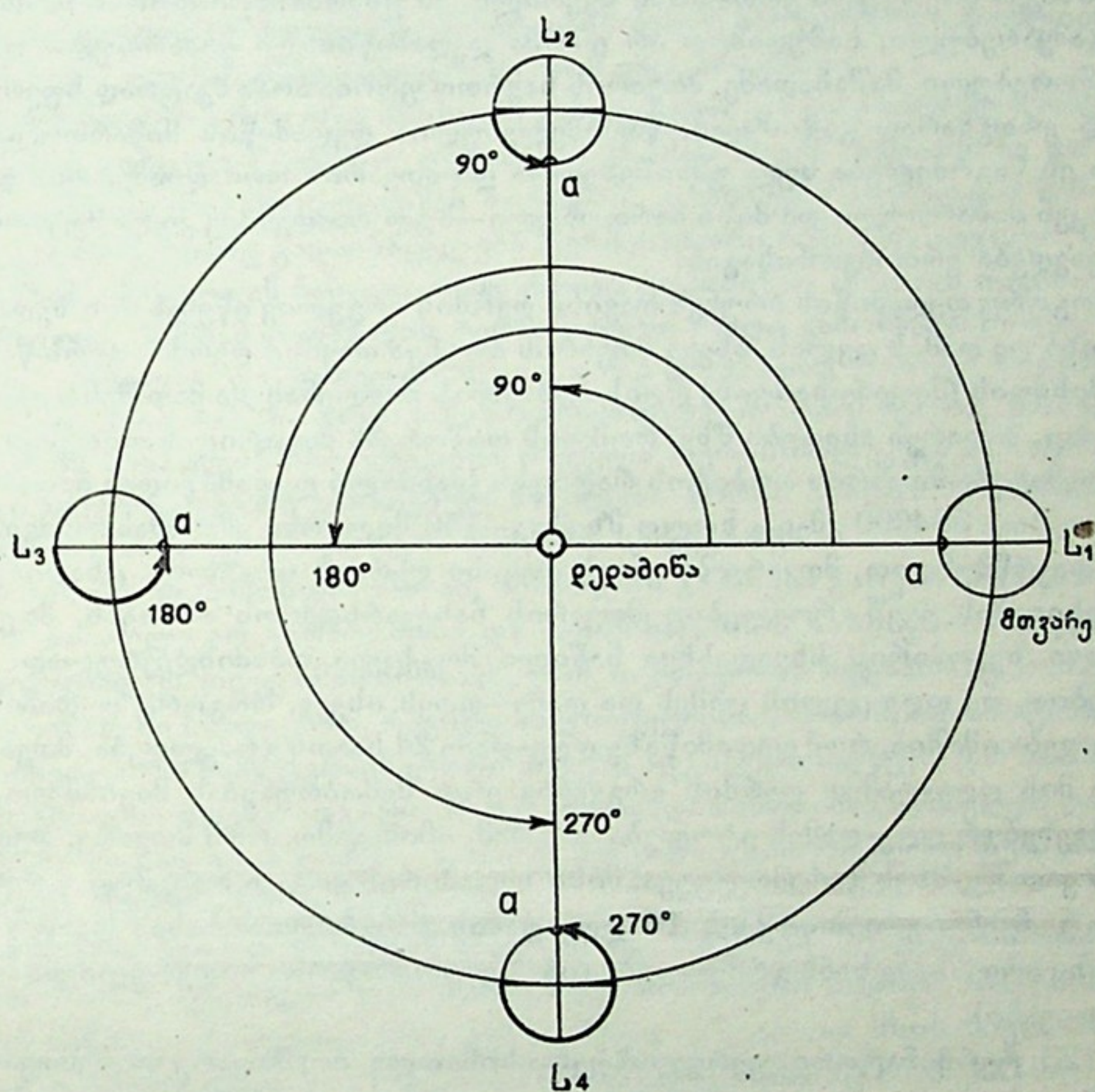
აღსანიშნავია ისიც, რომ მთვარის ბრუნვა დედამიწის გარს მისი მოქცევის მიმართულების საწინააღმდეგო რომ ყოფილიყო და თუნდაც — იმავე ერთი მთვარის თვის პერიოდისა, მაშინაც მთვარის ორივე მხარეს დავინახავდით და ორ-ორჯერ ერთი მთვარისეული თვის მანძილზე. ამაში აღვიღად დარწმუნდება მკითხველი, თუ დაუფიქრდება საკითხს და გაარჩევს მას ნახაზზე ან რაიმე მოდელზე.

სასურველია მკითხველმა გაარჩიოს 215-ე ნახაზი, რომელიც სხვა ვარიანტში იძლევა ზემოთ გადმოცემულის ილუსტრაციას, და, ამას გარდა, თვითონ შე-



ადგინოს მსგავსი ნახაზი შებრუნებული მიმართულებით მთვარის მოქცევის შემთხვევისათვის.

1959 წლის 4 ოქტომბერს გაშვებულ იქნა საბჭოთა მესამე კოსმოსური რაკეტა (შემდგომში „ლუნა-3“-ად წოდებული), რომელმაც პირველად ირგვლივ შემოუარა მთვარეს, მოახდინა მისი მეორე მხარის ავტომატურად ფოტოგრაფირება და სატელევიზიო და რადიოტექნიკის გამოყენებით ფოტოსურათები გადმოსცა დედამიწაზე. ასეთი ცდები შემდგომში არაერთხელ გამეორდა. თვით ადამიანებმაც შემოუარეს მთვარეს და გადაიღეს სურათები. ამის წყალობით გვაქვს ახლა



ნახ. 215.

მთვარის მეორე ნახევარსფეროს ზედაპირის აგებულების სურათი და რეალური წარმოდგენა მასზე.

საინტერესოა ვიკითხოთ, შემთხვევითია მთვარის ღერძის ირგვლივ ბრუნვისა და დედამიწის გარსმოქცევის პერიოდების თანხვედენა, თუ ამაში რაიმე კანონზომიერებაა? თუ ეს კანონზომიერებაა, მის ერთ-ერთ ახსნად შემდეგი ჰიპოთეზა შეიძლება განვიხილოთ. იმ შორეულ ეპოქაში, როცა მთვარე თხევად მდგომარეობაში იმყოფებოდა, იგი უთუოდ გაცილებით უფრო დიდი სიჩქარით ბრუნავდა თავისი ღერძის ირგვლივ. დედამიწა, რომლის მასა, დაახლოებით, 80-





ჯერ აღმატება მთვარისას, ძლიერ მიიზიდავდა თავისაკენ მთვარის ზედაპირის თხევად მასებს და ამნაირად იწვევდა მათ მოქცევა-მოქცევას. ასეთ მოვლენას ახლა მთვარე იწვევს დედამიწის ზღვა-ოკეანის წყალზე, მაგრამ გაცილებით უფრო სუსტ ფორმებში (ამაზე დაწვრილებით საუბარი ქვემოთ გვექნება). ამგვარი მოქცევები არღვევდა მთვარის სფერულ ფორმას და ქმნიდა მასზე ერთგვარ ბლანტ შვერილებს. ამის შემდეგ, დედამიწის მიზიდულობის მოქმედებით მთვარეზე წარმოიშვა ძალები, რომლებიც ერთნაირად არ მოქმედებდნენ მთვარის დედამიწასთან ახლო და შორეულ ნაწილებზე; გაჩნდა ერთგვარი მოქცევითი ხახუნი, რომელიც ხანგრძლივი მოქმედებით თანდათანობით აყოვნებდა მთვარის ბრუნვას, სანამ ბოლოს და ბოლოს ბრუნვის სიჩქარე იმდენად არ შემცირდა, რომ დედამიწისაკენ მოქცეული ერთ-ერთი შვერილი, ამ უზარმაზარი დროის მანძილზე უკვე გამყარებული, სამუდამოდ არ დარჩა დედამიწისაკენ მიმართული და გაწონასწორებული. მაშასადამე, მთვარის საერთო ფორმა არაა მკაცრად სფერული, არამედ ერთგვარად გაჭიმული, წაგრძელებულია დედამიწის მიმართულებით, თუმცა ეს წაგრძელება სულ უმნიშვნელოა და მთვარის ორი დიამეტრი—დედამიწისაკენ მიმართული და მისი მართობული—სულ რამდენიმე კილომეტრით თუ განსხვავდება ერთიმეორისაგან.

როგორც დედამიწის ბრუნვა თავისი ღერძის ირგვლივ იწვევს მის ზედაპირზე დღისა და ღამის ცვლას, ასევე მთვარის ბრუნვა თავისი ღერძის გარს წარმოშობს მისთვის (მთვარისათვის) დღისა და ღამის მოვლენას და მათ შენაცვლებას. მართლაც, მთვარეს ანათებს მზე, რომლის დაშორება მთვარიდან თითქმის 400-ჯერ აღმატება მთვარის ორბიტის რადიუსს (მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე დაახლოებით 384000 კმ-ია, ხოლო მზემდე—150 მილიონი კმ). ამასთანავე, როგორც დავრწმუნდით, მთვარე ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ. ცხადია, რომ მზის სხივების ქვეშ, რომლებიც მთვარის ნახევარსფეროს ანათებს, მთვარის მბრუნავი ზედაპირის სხვადასხვა ნაწილი მოექცევა თანმიმდევრულად. სხვა სიტყვებით, იქ დღე ცვლის ღამეს და ღამე—დღეს ისევე, როგორც დედამიწაზე. განსხვავება იმაშია, რომ დედამიწაზე დღე-ღამე 24 საათს გრძელდება, მთვარეზე კი, თუ მის დღე-ღამედ ღერძის ირგვლივ ერთ შემობრუნებას მივიჩნევთ, იგი  $27\frac{1}{3}$  ჩვენებურ დღე-ღამეს ეტოლება. მაგრამ, იმის გამო, რომ მთვარე, დედამიწასთან ერთად, მზეს გარემოქცევა, მისი ზედაპირის ყოველ მოცემულ წერტილში დღე ჩვენებური თითქმის 15 დღე-ღამის ხანგრძლივობისაა და ღამეც მთვარეზე ამდენსავე ხანს გრძელდება (იხ. ზემოთ მთვარის სიდერული და სინოდური თვეები).

**§ 123. ტერმინატორი. ფერფლისფერი სინათლე.** თუ მთვარე სავსემთვარეობისაგან განსხვავებულ ფაზაშია, მისი ბადრო მხოლოდ ნაწილობრივია განათებული. ხაზს, რომელიც გამოჰყოფს ბადროს ბნელ ნაწილს ნათელისაგან, ეწოდება ტერმინატორი. ეს ხაზი ფაქტობრივად გამოჰყოფს მთვარის მზისაგან განათებულ ნახევარსფეროს გაუნათებელისაგან და დიდ წრეწირს წარმოადგენს. მაგრამ დედამიწიდან ხილული, კვადრატურის მომენტში იგი წარმოგვიდგება როგორც წრე, ხოლო სხვა ფაზებში—ელიფსის რკალის სახით. ცხადია, ახალმთვარეობასა და პირველ კვადრატურას შორის ისევე, როგორც მეორე კვადრატურასა და მომდევნო ახალმთვარეობას შორის, მთვარის ბადროს განათებული ნაწილი შემოიფარგლება ბადროს წრეწირის ნაწილითა და ტერმინატორის ელიფსური რკალით; ორივე ერთ მხარეზეა (მზის მხარეზე) მიმართული თა-





ვისი ამოზნექილობით. კვადრატურებსა და სავსემთვარეობის შუა მოქცეულ დროში დისკოს წრეწირის რკალისა და ტერმინატორის ამოზნექილობა ერთიმეორის საწინააღმდეგოა (ნახ. 206).

წრფე, რომელიც ტერმინატორის ბოლოებს აერთებს, ახალმთვარეობიდან კვადრატურამდე ბადროს გაუნათებელ ნაწილზე გადის, ხოლო კვადრატურიდან სავსემთვარეობამდე—განათებულზე, მაგრამ ყოველთვის მართობულია მზემთვარის შემაერთებელი დიდი წრეწირის რკალისა.

ადვილი მისახვედრია, რომ ტერმინატორი ის ხაზია მთვარის ზედაპირზე, სადაც მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მზე ამოდის ან ჩადის. ახალმთვარეობიდან სავსემთვარეობამდე ჩვენს წინ მთვარის დისკოზე ტერმინატორის ის ნახევარწრეა, რომელზეც მზის ამოსვლა ხდება. სავსემთვარეობიდან მომდევნო ახალმთვარეობამდე ვხედავთ ტერმინატორის მეორე ნახევარწრეს, რომლიდანაც მზის ჩასვლა დაინახებოდა, მთვარეზე რომ ვმდგარიყავით.

ტერმინატორი, როგორც მზისაგან განათებული და გაუნათებელი ნახევარსფეროების გამყოფი წრეწირი, დედამიწასაც აქვს თავის ზედაპირზე და მისი დანახვაც შეიძლება, თუ დედამიწას შორიდან, კოსმოსური სივრციდან შემოვხედავთ. დედამიწაზედაც გადაინაცვლებს ტერმინატორი როგორც ადგილი, სადაც ხდება მზის ამოსვლა ან ჩასვლა, რამდენადაც დედამიწაც ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ. მაგრამ დედამიწის ტერმინატორი როდის გამოჩნდება ისევე მკაფიოდ, ბნელისა და ნათელის მკვეთრად გამყოფ ხაზად, როგორც ეს მთვარეზეა. ამის მიზეზი დედამიწის გარემომცველი ატმოსფეროა, რომელშიც ხდება მზის სინათლის მრავალგზისი არეკვლა ჰაერის მოლეკულებისაგან, გაბნევა და გაუნათებელ და განათებულ ნაწილებს შორის ბინდის სინათლის ზოლის გაჩენა, რაც უკარგავს ტერმინატორს სიმკვეთრეს.

მთვარეზე კი ატმოსფერო არაა, სინათლის გამბნევი გარემო არ მოიპოვება, ბინდის სინათლე არ წარმოიშობა და ტერმინატორის ხაზი ერთობ მკვეთრია. პრაქტიკულად ეს კიდევ იმას ნიშნავს, რომ, თუ მთვარის ზედაპირზე, მის გაუნათებელ ნაწილში იმყოფებით, რაგინდ ახლო ტერმინატორთან, იქ თითქმის სრული სიბნელეა. რა წამს ტერმინატორი თქვენს ადგილს მოადწევს, ერთბაშად განათდება, გათენდება. ადგილი არ ექნება თანდათანობით გადასვლას ღამიდან დღეზე და არც დღიდან ღამეზე. საკმაოდ მკვეთრად გამოიკველება ტემპერატურა იქ, სადაც ტერმინატორი გაივლის.

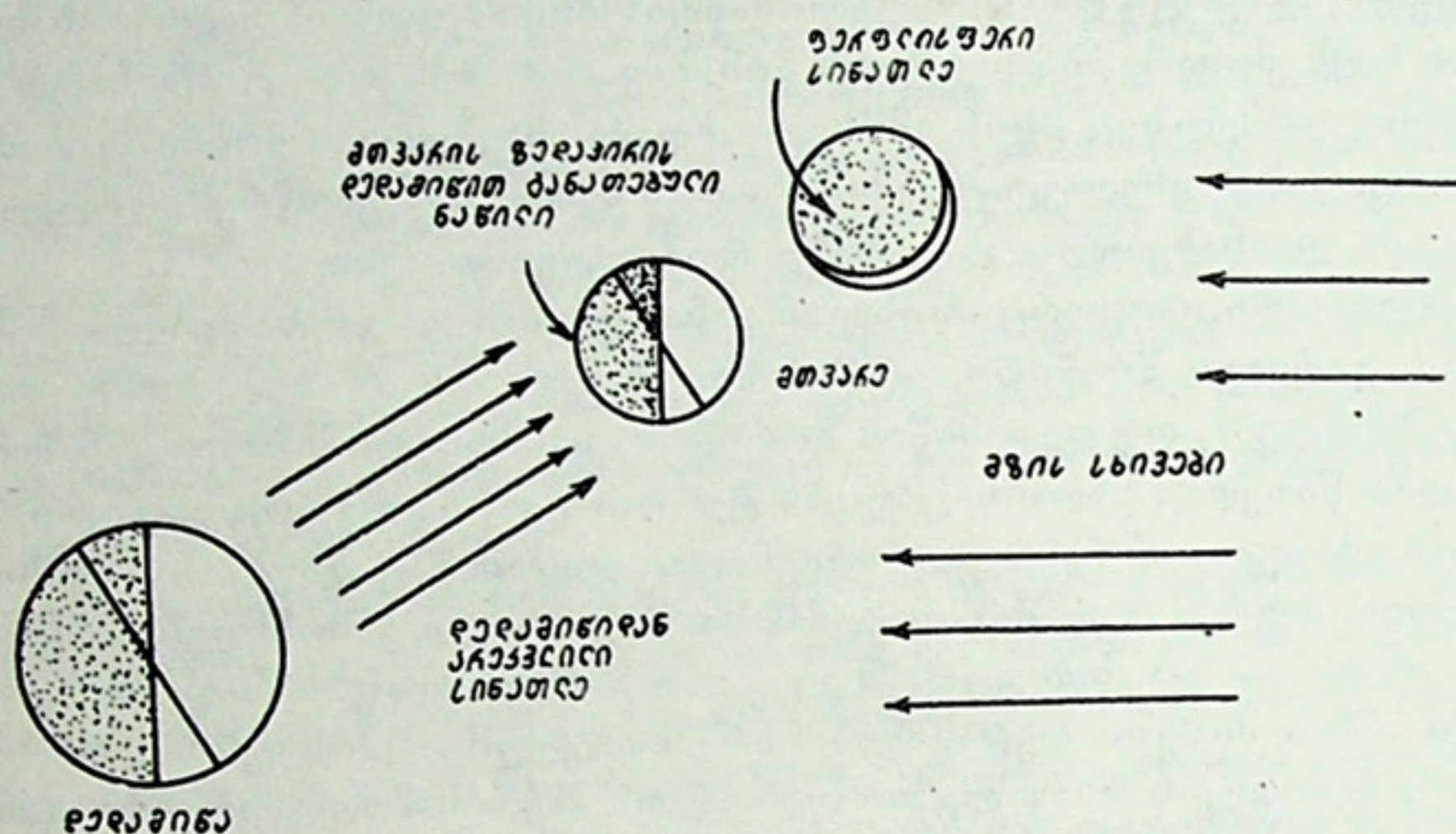
ახალმთვარეობის მომენტის ახლო, როცა მთვარის „ნამგალი“ საკმარისად ვიწროა, მაინც შეგვიძლია გავარჩიოთ მთვარის მთელი ბადრო. ამ დროს მთვარის ის ნაწილი, რომელიც არაა განათებული უშუალოდ მზის მიერ, თითქოს სრულიად ბნელი უნდა იყოს, მაგრამ სინამდვილეში მაინც ანათებს, თუმცა ერთობ მკრთალად. მზის მიერ მთვარის გაუნათებელი ნაწილის ასეთ ნათებას უწოდებენ ფერფლის ფერ ანუ ფერფლისებრ სინათლეს.

ფერფლის ფერი სინათლე წარმოადგენს დედამიწის ზედაპირიდან არეკვლილ სინათლეს (ნახ. 216). საერთოდ, მთვარის მსგავსად, დედამიწაც თავისთავად ბნელი, არამნათი სხეულია, მას მზე ანათებს და მის სხივებს აირეკლავს. თუ წარმოვიდგენთ ჩვენს თავს მთვარეზე და იქიდან დედამიწას დავაკვირდებით, დედამიწის ფაზებს შევნიშნავთ; ოღონდ, როცა ჩვენთვის ახალმთვარეობაა, მთვარიდან დედამიწა სრულ ფაზაში გამოჩნდება, სავსე იქნება. პირიქით, როცა აქ სავსემთვარეობაა, მთვარეზე მყოფ დამკვირვებელს დედამიწა ადრინ-



დელ ან „დაძველებულ“ ფაზაში წარმოუდგება და მის განათებულ ვიწრო „ნამგალს“ დაინახავს.

დედამიწის ბადროს ფართობი მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის თითქმის 16-ჯერ დიდია მთვარისაზე და დედამიწიდან არეკვლილი სინათლეც მეტია. მაშასადამე, დედამიწა უფრო მეტად ანათებს მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის, ვიდრე მთვარე—დედამიწისათვის. იმის გამო, რომ ატმოსფეროთი



ნახ. 216.

მოცული დედამიწიდან სინათლის არეკვლის პირობები სხვაა, ვიდრე მთვარის მწირი და ატმოსფეროს გარეშს მოკლებული ზედაპირიდან, დედამიწის ბადრო მთვარეზე 16-ჯერ კი არა, თითქმის 80-ჯერ მეტად ანათებს, ვიდრე მთვარისა—დედამიწაზე. ეს სინათლე საკმარისია იმისათვის, რომ მთვარის მზისაგან გაუნათებელი ზედაპირი დავინახოთ. ფერფლისებრი სინათლე ყოველ ფაზაში (რათქმა უნდა, სავსემთვარეობის გარდა) არსებობს, მაგრამ ყველაზე შესამჩნევად ახალმთვარეობის მახლობლობაში ჩანს, რადგანაც, ჯერ ერთი, ამ დროს მთვარის „ნამგალი“ იმდენად ვიწროა და იმდენად მცირე სინათლეს იძლევა, რომ ხელს ვერ გვიშლის გავარჩიოთ მის გვერდით მდებარე მკრთალად განათებული ზედაპირი. მეორეც, სწორედ ახალმთვარეობისას მთვარისათვის დედამიწა სავსე ფაზაშია და საკმაოდ დიდ სინათლეს აფრქვევს მთვარეზე. შეიძლება ითქვას, რომ, როცა ფერფლისებრი სინათლეს ახალ მთვარეზე ვხედავთ სადამოობით, ეს იმას ნიშნავს, რომ ვამჩნევთ ატლანტის ოკეანიდან და ამერიკის კონტინენტიდან არეკვლილ და მთვარეზე დაცემულ სინათლეს (თუ ევროპის ტერიტორიიდან ვაკვირდებით).

ფერფლისებრი სინათლეზე სისტემატურ დაკვირვებას და მისი ცვალებადობისა და სხვა თვისებების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც მის მიხედვით შეგვიძლია გვქონდეს წარმოდგენა, თუ რა ფერისაა ან რა სიკაშკაშე აქვს ჩვენს პლანეტას — დედამიწას — კოსმოსური სივრციდან დაკვირვებისას. ამის გარკვევა საინტერესოა როგორც თვით დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე ცვლილებების შესასწავლად, ასევე შედარების საფუძველზე, სხვა პლანეტების ფიზიკური აგებულების გამოსაჯლევად. ადამიანი შეიჭრა კოსმოსურ



სივრცეში, საიდანაც ახლა უშუალოდ აკვირდება დედამიწის დიდ სივრცეებს მომავალში, როცა ადამიანი გაახშირებს ჩვენი პლანეტის შორიდან დაკვირვებას, მთვარის ფერფლისებრი სინათლის ამ თვალსაზრისით შესწავლის მნიშვნელობა, უნდა ვიფიქროთ, შემცირდება.

§ 124. დამოკიდებულება მთვარის სიღერულსა და სინოდურ თვეთა შორის. აღვნიშნოთ მთვარის სიღერული თვის ხანგრძლივობა, გამოხატული დედამიწის დღე-ღამეებში,  $T$  ასოთი, ხოლო მისი სინოდური თვისა —  $S$  ასოთი. ამავე დროს  $E$  გამოხატავდეს, იმავე დღე-ღამეებში, ვარსკვლავთმცოდნე წელიწადს ანუ დროის იმ შუალედს, რომლის განმავლობაში მზე ერთ სრულ წრეს შემოწერს ცაზე.

მზის დღედამური გადაადგილება შეადგენს წრეწირის  $\frac{1}{E}$  ნაწილს; მთვარისა კი — წრეწირის  $\frac{1}{T}$  ნაწილს. მთვარის დღედამური გადაადგილება მზის მიმართ გამოიხატება  $\frac{1}{S}$ -ით. მაგრამ, ცხადია, რომ ეს უკანასკნელი გადაადგილება მიიღება, თუ მთვარის დღედამური გადაადგილებიდან ვარსკვლავების მიმართ გამოვაკლებთ მზის დღედამურ გადაადგილებას ისევ ვარსკვლავების მიმართ და, მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}.$$

ამ განტოლებას უწოდებენ სინოდური მოძრაობის განტოლებას და იგი გვაძლევს დამოკიდებულებას სინოდურ და სიღერულ თვეებს შორის.

მოყვანილი განტოლება შემდეგნაირადაც დაიწერება:

$$1 = S \left( \frac{E - T}{TE} \right)$$

$$S = \frac{TE}{E - T}.$$

აღვილი მოსაფიქრებელია, რომ ერთ ვარსკვლავთმცოდნე წელიწადში მოთავსებულ მთვარის სიღერულ თვეთა რაოდენობა ერთით აღემატება მასშივე მოთავსებულ მთვარის სინოდურ თვეთა რაოდენობას. ეს რაოდენობებია, შესაბამისად, 13.369 და 12.369.

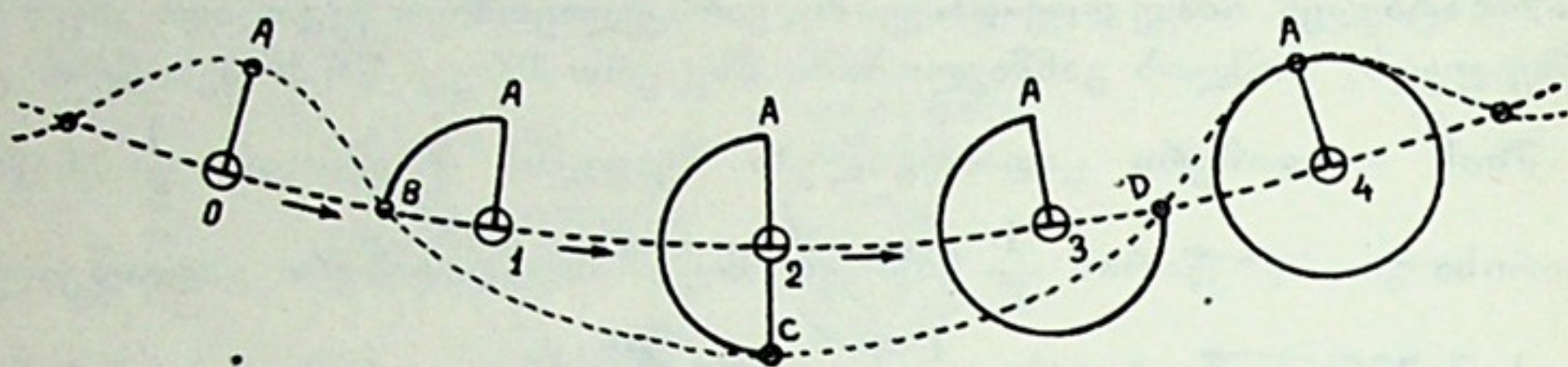
§ 125. მთვარის გზა პლანეტათშორის სივრცეში. მოიქცევა რა ყოველთვიურად დედამიწის ირგვლივ, მთვარე ამასთანავე მისდევს დედამიწას მის სრბოლაში მზის გარშემო. ამიტომ მთვარე ერთი წლის მანძილზე მზის გარშემოც შემოივლის, დედამიწასთან ერთად, რომელსაც არასოდეს არ შორდება; იგი მუდამ დაკავშირებულია დედამიწასთან მიზიდულობის ძალით, რის გამო მისი თანამგზავრიც ეწოდება.

რამოყვანილობისაა მთვარის გზა მზის მიმართ? იგი ერთგვარად ემსგავსება ეპიცikliდს. ეს ისეთი მრუდია, რომელსაც ბორბლის რომელიმე ექსცენტრული წერტილი შემოწერს, როცა ბორბალი მიგორავს. მიიღება





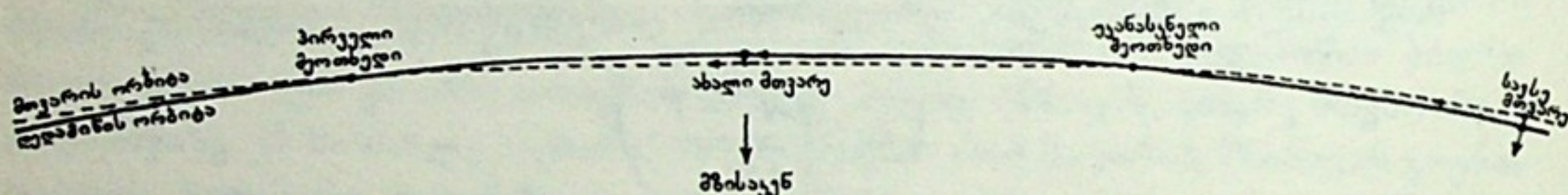
თავისებური ტრაექტორია, რომელსაც არც ნასკვები აქვს, რამდენადაც თავის-  
თავს არ გადაკვეთს, არც წვეროები. 217-ე ნახაზზე გამოხატულია მთვარის გზა  
პლანეტურ სივრცეში მზის მიმართ. პუნქტირი, რომელსაც რამდენიმე ისარი  
ახლავს, დედამიწის წლიური ორბიტის მონაკვეთს წარმოადგენს; მოზრდილი  
წრე — დედამიწას; მომცრო — მთვარეს. განვიხილოთ დედამიწისა და მთვარის მო-



ნახ. 217.

ძრაობა საწყისი მომენტიდან, როცა დედამიწა  $O$  მდებარეობაშია, ხოლო მთვარე  
 $A$ -ში. ამ დროს ახალმთვარეობაა (მზე ქაღალდის სიბრტყეში, ზემო მხარეზე  
იგულისხმება). სინოდური თვის ერთი მეოთხედის (დაახლოებით  $7\frac{1}{2}$  დღე-ღამე-  
ის) შემდეგ დედამიწა გადმოინაცვლებს 1-ელ მდებარეობაში.

ამ ხნის განმავლობაში მთვარე მას გარს უვლის საათის ისრის საწინა-  
აღმდეგო მიმართულებით. დედამიწა რომ უძრავი ყოფილიყო, მაშინ მთვარის გზა  
გამოიხატებოდა წრეწირის მეოთხედით  $O$ -ს ირგვლივ. მაგრამ სინამდვილეში  
მთვარის გზას სივრცეში განსაზღვრავს როგორც მისი საკუთარი მოქცევა დედა-



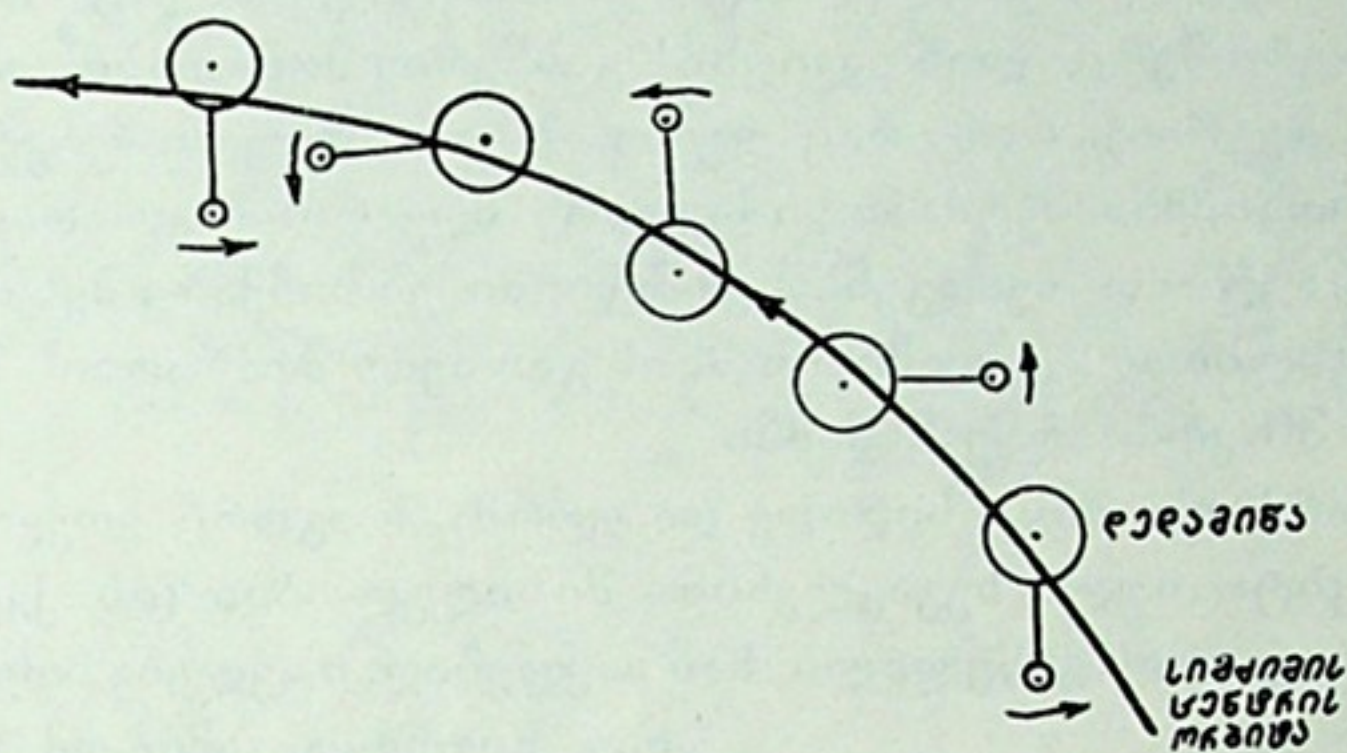
ნახ. 218.

მიწის ირგვლივ, ისე დედამიწისა — მზის ირგვლივ. ამიტომ, ამ ხნის განმავლობა-  
ში მთვარეს უმოძრავია  $AB$  პუნქტირის გასწვრივ. ასე შეგვიძლია განვაგრძოთ  
მსჯელობა დედამიწის შემდგომ მდებარეობებზე (2), როცა სავსემთვარეობაა, და  
(3) როცა მთვარის ფაზის უანასკნელი მეოთხედი. საინტერესოა, მივაქციოთ  
ყურადღება მოძრაობას 3-დან 4-მდე. ერთი შეხედვით, თითქოს მთვარე დედამი-  
წას კვლავ „მარცხნიდან“ მოექცა. სინამდვილეში კი იგი აქაც, რა თქმა უნდა,  
„მარჯვნიდან“, საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით უვლის მთვარეს,  
მაგრამ სივრცეში იგი  $DA$  პუნქტირს აღწერს. ამით დამთავრდება ერთი სინო-  
დური თვე.

მზის გარშემო მთვარის შედგენილი გზის საბოლოო სახეს განსაზღვრავს  
დედამიწისა და მთვარის მოძრაობათა სიჩქარეები და მანძილები დედამიწიდან  
მთვარემდე და მზემდე. 217-ე ნახაზზე არაა დაცული მასშტაბი, მაგრამ მეტია  
თვალსაჩინოება. ნამდვილ სურათთან უფრო ახლოა 218-ე ნახაზი, რომელზეც,  
როგორც ვხედავთ, მთვარის გზა მუდამ ჩაზნექილია მზის მიმართ, მაშინაც კი



როცა ახალმოვარეობაა. ეს ასეცაა სინამდვილეში. ასე გამოჩნდებოდა მთვარის ტრაექტორია, მისთვის რომ შორიდან, კოსმოსური სივრციდან შემოგვვხვდა. მაგრამ დედამიწის ორბიტაც არაა ისე მარტივი, როგორც ეს წინა ნახაზზეა წარმოდგენილი. უნდა გვახსოვდეს, რომ მთვარე და დედამიწა მათი საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო მოიქცევიან (ნახ.219).



ნახ. 219.

§ 126. მთვარის ორბიტის თვისებები და ცვლილებები. მთვარის დრაკონული თვე. მთვარის ნამდვილი მოძრაობის დახასიათების სისრულისათვის აუცილებელია განვიხილოთ აგრეთვე დედამიწის ირგვლივ მისი გარემოქცევის ტრაექტორიის ანუ ორბიტის თვისებები. მთვარის თვიური გზა დედამიწის გარშემო შეგვიძლია ჩავთვალოთ ელიფსად, მიუხედავად იმისა, რომ სხვადასხვა გრა-ვიტაციული ზემოქმედების ან, როგორც ამბობენ, შეშფოთების შედეგად ელიფსური ორბიტა განიცდის ერთგვარ დეფორმაციებს, რომლებიც სახეს უცვლის მას.

რაკი მთვარის ორბიტა დედამიწის ირგვლივ მაინც ელიფსს წარმოადგენს, მთვარე როდია ყოველთვის ერთ და იმავე მანძილზე დედამიწიდან. დედამიწა ამ ელიფსის ფოკუსში უნდა იყოს მოთავსებული და, მაშასადამე, მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე იცვლება გარკვეული კანონზომიერებით ისე, როგორც იცვლება ელიფსის წერტილის რადიუს-ვექტორის სიგრძე, როცა ეს წერტილი ელიფსის გასწვრივ მოძრაობს.

მთვარის ორბიტის იმ წერტილს, რომელიც ყველაზე უფრო ახლოს არის ჩვენთან, ეწოდება პერიგეუმი.

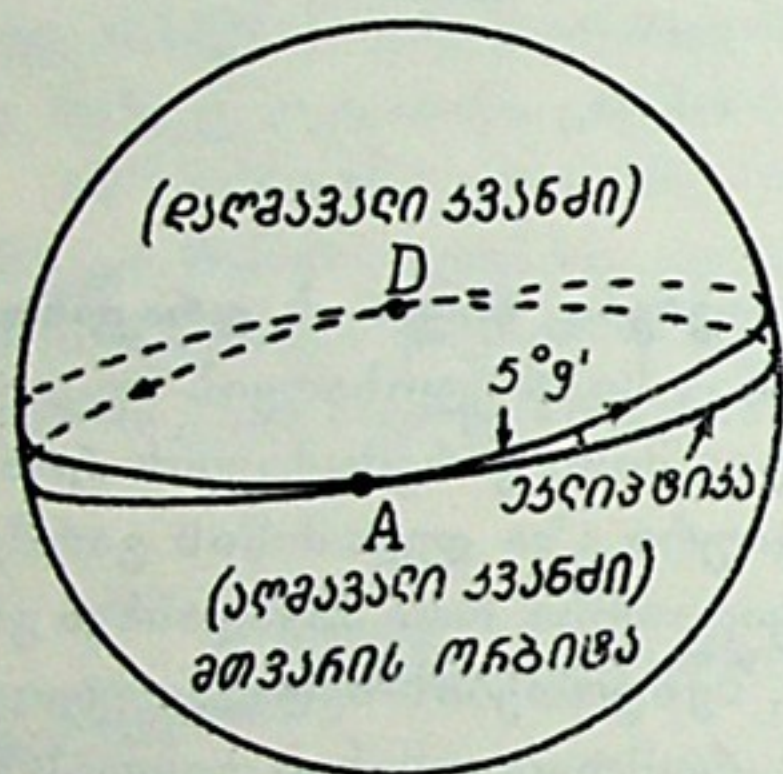
სიტყვა „პერიგეუმი“ ბერძნული წარმოშობისაა და ნიშნავს დედამიწასთან სიახლოვეს:  $\pi\epsilon\rho\iota$ —ახლო,  $\gamma\eta$ —დედამიწა:  $\pi\epsilon\rho\iota\gamma\epsilon\iota\omicron\nu$ . პერიგეუმის წერტილის დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილში, ცხადია, მთვარე უშორეს მანძილზეა დედამიწიდან. მთვარის ორბიტის იმ წერტილს, რომელიც დედამიწიდან უშორეს მანძილზეა, ეწოდება აპოგეუმი ( $\alpha\pi\omicron$ —შორს). ამ ტერმინებს ხმარობენ მაშინაც, როცა ახასიათებენ ან აღწერენ დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ან ხომალდი-თანამგზავრების ორბიტებს დედამიწის ირგვლივ. ასე, მაგალითად, ცნობილია, რომ კოსმონავტის, პ. პოპოვიჩის ხომალდის „აღმოსავლეთი-4“ ორბიტის აპოგეუმი დაშორებული იყო დედამიწას 251 კმ-ით, ხოლო პერიგეუმი—მხოლოდ 183 კმ-ით.



ელიფსი, რომელიც დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობას ანუ მის ორბიტას გამოხატავს, მნიშვნელოვნად განსხვავდება წრისაგან და უფრო მეტად, ვიდრე, მაგალითად, დედამიწის ორბიტის გამომხატველი ელიფსი: მთვარის ორბიტის ელიფსი უფრო მეტადაა გაწელილი. მისი ექსცენტრისიტეტი ეტოლება 0.06-ს. მთვარის საშუალო მანძილი დედამიწიდან შეადგენს 384400 კმ-ს; პერიგეუმში მთვარე ჩვენთან ახლოა ამ საშუალო სიდიდის  $1/18$ -ით ანუ თითქმის 21300 კმ-ით, ხოლო აპოგეუმში იგი ამდენადვე უფრო შორსაა (შეადარეთ დედამიწის ორბიტის მახასიათებელს, რაც ზემოთაა მოყვანილი).

მატერიალური წერტილის ელიფსის გასწვრივ მოძრაობის კანონზომიერება კი ისეთია (იხ. ქვევით), რომ, რაც უფრო ახლოა სხეული ფოკუსში მყოფ მიმზიდველ სხეულთან, მით მეტია მისი სიჩქარე. მთვარის მოძრაობის სიჩქარე ორბიტაზე საშუალოდ შეადგენს 1 კმ-ს წამში. ეს სიჩქარე შესამჩნევად ნაკლებია, ვიდრე, მაგალითად, დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობის სიჩქარე, რომელიც თითქმის 30 კმ-ს აღწევს წამში.

მთვარის ორბიტა, მისი სიდიდე და ფორმა, როგორც ვთქვით, მუდამ იცვლება მზის გრავიტაციული ზეგავლენით—მიზიდულობით (იხ. ქვევით). მთვარის ელიფსი ხან მეტად არის გაწელილი, ხან ნაკლებად. იცვლება მთელი გზის საერთო სიგრძეც. ამიტომ მთვარის თვის ხანგრძლივობაც ცვლილებას განიცდის; სინოდური თვე შეიძლება იყოს 6 საათით უფრო ხანგრძლივი ან მოკლე, ვიდრე მისი ზემომოყვანილი საშუალო ხანგრძლივობაა.



ნახ. 220.

პერიგეუმისა და აპოგეუმის წერტილების შემადგენელ ხაზს აფსიდების ხაზს უწოდებენ. სხვა სიტყვებით, ეს ელიფსის (მთვარის ორბიტის) დიდი ღერძია. იგიც იცვლის თავის მდებარეობას და მობრუნდება თვით

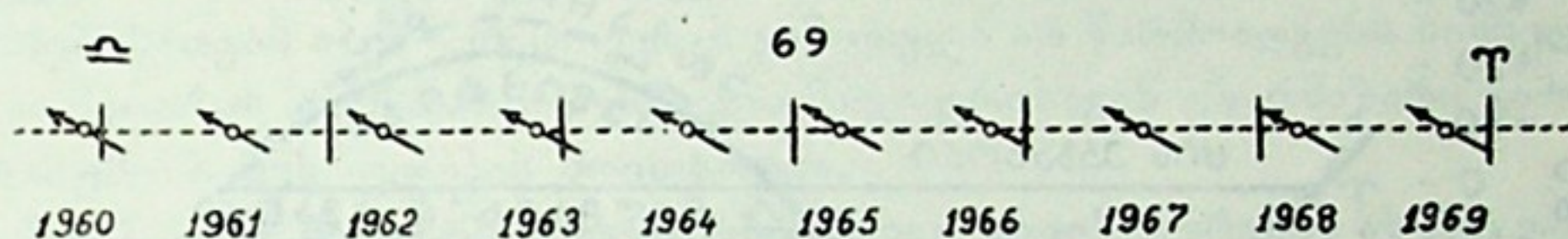
ელიფსის სიბრტყეში. მაშასადამე, იცვლება მთვარის ორბიტის დიდი ღერძის მიმართულება. ამ ცვლილებაში პერიგეუმის წერტილი აღმოსავლეთით მოძრაობს და ერთ სრულ მობრუნებას ანდომებს 9 წელიწადს (3232 საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს).

თუ ერთი თვის მანძილზე დავაკვირდებით მთვარის მდებარეობებს ვარსკვლავთ მიმართ, შევამჩნევთ, რომ ეს მდებარეობანი შემოწერენ ცაზე მთვარის გზას, რომელიც დიდ წრეწირს წარმოადგენს. უკანასკნელი კი არ თანხვდება ეკლიპტიკის წრეს ცაზე, არამედ გადაკვეთს მას ორ დიამეტრიულად მოპირდაპირე წერტილში და დაახლოებით  $5^{\circ}9'$ -ის ტოლ კუთხეს ადგენს მასთან. გადაკვეთის წერტილებს უწოდებენ მთვარის ორბიტის კვანძებს. რადგანაც მთვარე სულ ერთი მიმართულებით მოძრაობს თავისი ორბიტის გასწვრივ და ორბიტის სიბრტყე კი დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყესთან, ერთ კვანძზე გავლისას მთვარე გადადის ეკლიპტიკის ჩრდილოეთ მხარეზე, შორდება რა ეკლიპტიკის სამხრეთ პოლუსს, ხოლო მეორეზე გავლისას—ჩრდილოეთი მხრიდან სამხრეთისაზე. პირველს ეწოდება აღმავალი კვანძი და აღინიშნება  $\Omega$  ნიშნით, მეორეს—დადმავალი— $\omega$ .



ცხადია, როცა მთვარე აღმავალ ან დაღმავალ კვანძშია, მისი დაშორება ეკლიპტიკიდან ნულია. რაც უფრო შორდება მთვარე კვანძის წერტილს, მით უფრო შორდება ეკლიპტიკის წრესაც. აღმავალ და დაღმავალ კვანძთა შორის ზედ შუა მანძილზე მთვარე მაქსიმალურად დაშორებულია ეკლიპტიკას და რკალის ერთეულებში ეს დაშორება ეტოლება  $5^{\circ}9'$ -ს, რამდენადაც ამ სიდიდისაა მთვარის ორბიტის ეკლიპტიკასთან დახრის კუთხე.

მთვარის კვანძებიც განუწყვეტლივ გადაადგილდება ეკლიპტიკაზე და ასევე თის მიმართულებით. მთვარის ერთი სრული გარემოქცევისას კვანძების გადაადგილება დაახლოებით  $1^{\circ}.5$ -ს შეადგენს, რაც ერთ წელიწადში თითქმის  $20^{\circ}$ -ს ქმნის, ხოლო 18 წლისა და 7 თვის მანძილზე კვანძები შეასრულებენ ერთ სრულ გარემოქცევას და საწყის მდებარეობას დაუბრუნდებიან (იხ. 221-ე ნახ., რომელზეც პუნქტირის ხაზი ეკლიპტიკას გამოხატავს, ისრები — მთვარის ორბიტის რკალებს კვანძის ახლო, მომდევნო წლებში). რაკი ეს მოძრაობა დასავლეთითაა მიმართული, ხოლო ასტრონომიაში აღმოსავლეთისაკენ



ნახ. 221.

გადაადგილდება პირდაპირ მოძრაობად არის მიჩნეული, მას კვანძების უკუმოძრაობას ან რეგრესიას უწოდებენ. ეს მოძრაობა მოგვაგონებს ეკვატორის ეკლიპტიკასთან გადაკვეთის წერტილების პრეცესიულ გადაადგილებას. ოღონდ ეს უკანასკნელი შეუდარებლად უფრო ნელა მიმდინარეობს და სრულ შემობრუნებას  $360^{\circ}$ -ით, როგორც უნდა გვახსოვდეს, 26000 წელიწადს ანდომებს.

ზემოთ მთვარის სიდერული თვე ვუწოდეთ დროის შუალედს, რომელსაც მთვარე ანდომებს დედამიწის გარშემო ერთი სრული წრის შემოწერას. ასტრონომიაში განიხილავენ ისეთ პერიოდსაც, რომელიც მოთავსებულია მთვარის მიერ აღმავალი კვანძის ერთ გავლასა და იმავე კვანძის მომდევნო გავლას შორის. ასე განსაზღვრულ დროის შუალედს მთვარის კვანძურ ანდრაკონულ\* თვეს უწოდებენ. ხანგრძლივობით იგი ნაკლებია, ვიდრე სიდერული თვე, რამდენადაც კვანძების რეგრესიის გამო კვანძი თითქოს „წინ ეგებება“ თავის ორბიტაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით მოძრავ მთვარეს (აქაც გავიხსენოთ პრეცესია ანუ წერტილის წინსწრება). დრაკონული თვის ხანგრძლივობა 27.2122 დღე-ღამეა (27 დღ. ღ. 5 სთ 5 წთ. 35.8 წმ), მაშინ როდესაც სიდერულისა — 27.3217.

ცის მექანიკაში განიხილავენ კიდევ ე. წ. მთვარის ანომალის-ტურთვეს. ეს არის დროის შუალედი მთვარის მიერ პერიგეუმის ერთი გავლის მომენტიდან მეორე, მომდევნო გავლამდე. რამდენადაც აფსიდების ხაზი, როგორც ზემოთ აღვწერეთ, პირდაპირი მიმართულებით მოძრაობს, მთვარე ყოველი გარემოქცევისას უნდა „დაეწიოს“ გადანაცვლებული პერიგეუმის წერ-

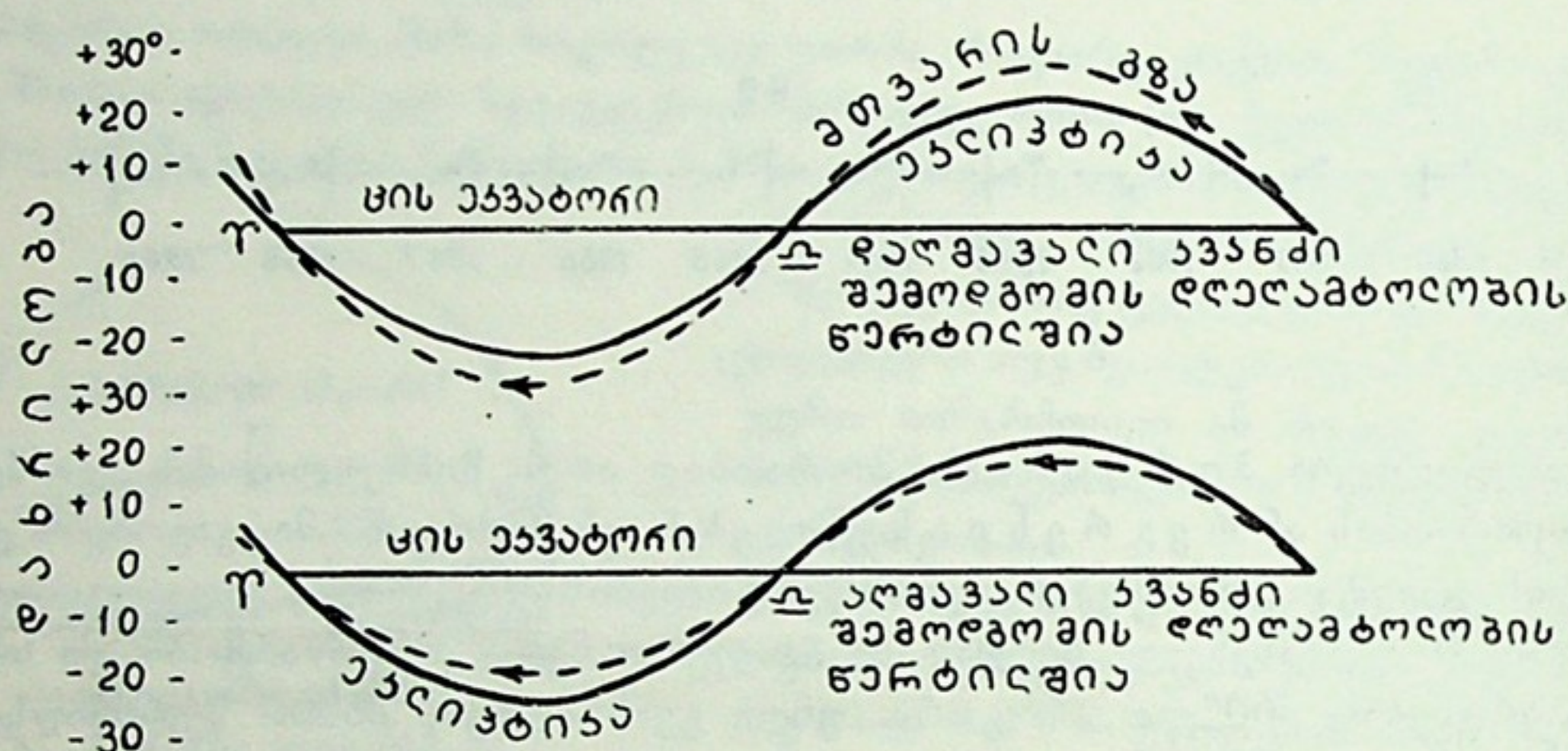
\* ასეთი სახელწოდების ახსნას ქვემოთ ვიპოვიოთ, როცა მზის დაბნელების მოვლენას განვიხილავთ.



ტილს. ამიტომ ანომალისტური თვე სიდერულზე უფრო გრძელი უნდა იყოს. მართლაც, მისი ხანგრძლივობა 27.555 დღე-ღამეა.

კვანძების აღწერილ გარემოქცევაში დგება ისეთი მომენტიც, როცა აღმავალი კვანძი ემთხვევა გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილს. ასეთ პირობებში მთვარის ორბიტა მდებარეობს ეკლიპტიკასა და ცის ეკვატორს შორის მოთავსებულ კუთხის გარეთ. ამ დროს მთვარის ორბიტის დახრა ცის ეკვატორისადმი შედგება 1) ეკლიპტიკას და ეკვატორს შორის მოთავსებული კუთხისა და 2) ეკლიპტიკისა და მთვარის ორბიტის სიბრტყეს შორის კუთხის ჯამისაგან:  $23^{\circ}27' + 5^{\circ}9' = 28^{\circ}36'$ .

მეორე მხრივ, კვანძების გარემოქცევის პერიოდში ერთხელ გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილს ემთხვევა მთვარის ორბიტის დაღმავალი კვანძი. მაშინ მთვარის ორბიტა მოექცევა ცის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის.



ნახ. 222.

რის კუთხის შიგნით და, ადვილი მისახვედრია, მთვარის ორბიტის დახრა ცის ეკვატორისადმი იქნება  $23^{\circ}27' - 5^{\circ}9' = 18^{\circ}18'$  (განიხილეთ 222-ე ნახ.).

პირველ შემთხვევაში მთვარე მაქსიმალურად დაშორდება ეკვატორს. როცა აღმავალი კვანძიდან ორბიტის მეოთხედს გაივლის, მაშინ მისი დახრილობა  $28^{\circ}36'$  იქნება. მეორე შემთხვევაში შესაბამისი დახრილობა  $18^{\circ}18'$  იქნება. რადგანაც ორბიტის ერთ ნახევარში მთვარე ეკვატორის ჩრდილოეთითაა, მეორეში — სამხრეთით, ამიტომ ეს დაშორება როგორც ჩრდილოეთით, ისე სამხრეთით ხდება და, მაშასადამე, მთვარის დახრილობა იცვლება  $28^{\circ}36'$ -დან  $-28^{\circ}36'$ -დე ფარგლებში, ე. ი.  $57^{\circ}12'$ -ის საზღვრებში. მაშასადამე, მთვარის ორბიტის კვანძების მოძრაობა შესამჩნევად ცვლის მთვარის ხილვადობის პირობებს. თუმცა, ამ ცვლილებათა პერიოდი საკმაოდ დიდია; როგორც ვთქვით, 18 წელი და 7 თვეა (6793 საშუალო დღე-ღამეა).

მთვარის მაქსიმალური სიმაღლე ზედა კულმინაციაში, კვანძის აღმავალი წერტილის გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილთან თანხვედრით გამოწვეული, უკანასკნელად 1970 წელს იყო, შემდგომ კი — 1988 წელს.

ზუსტ გამოთვლებში გასათვალისწინებელია ისიც, რომ მთვარის ორბიტის დახრაც ეკლიპტიკისადმი ცვლილებებს განიცდის  $\pm 11'$ -ის ფარგლებში ნახევარწელიწადში. დაბოლოს, პერიოდულად (8,9 წლის პერიოდით) იცვლება მთვა-



რის ორბიტის ექსცენტრისიტეტი, ე. ი. ელიფსის გაწელილობა, რაც გამოიხატება, კერძოდ, მთვარის ორბიტული ელიფსის დიდი ნახევარღერძის სიგრძის ცვლილებებში რამდენიმე ათასი კმ-ის ფარგლებში.

მაშასადამე, მთვარის მოძრაობა, მისი ორბიტის ასე თავისებური ცვლილების გამო, ერთობ რთულია. ამიტომ მთვარის მოძრაობის შესწავლა, მისი მდებარეობათა წინასწარ გამოთვლა და, საერთოდ, როგორც ამბობენ, მთვარის მოძრაობის თეორია წარმოადგენს ერთ-ერთ ურთულეს ასტრონომიულ პრობლემას.

მთვარის ორბიტის აღწერილი ცვლილებები, რომლებიც ასე ართულებენ საქმეს, განპირობებულია მთვარეზე მზის მიზიდულობის ძალის შემაშფოთებელი მოქმედებით, განიხილება ცის მექანიკაში და შეისწავლება დინამიკური ასტრონომიის მეთოდებით (იხ. ქვევით). მთვარის მოძრაობის სრულ თეორიაში მთვარის მოძრაობა წარმოიდგინება განტოლებებით, რომლებითაც მთვარის კოორდინატები გამოხატულია დროის მიმართ მწკრივების სახით. ამ მწკრივებში წევრთა რაოდენობა, იმის მიხედვით, თუ რა სიზუსტეს საჭიროებს მკვლევარი, ათეულებსა და ასეულებსაც აღწევს. თანამედროვე ელექტრონული სათვლელი მანქანებისათვის ასეთი მწკრივების გამოთვლა არ წარმოადგენს სიძნელეს. წინათ კი მთვარის მოძრაობის შესწავლა მკვლევრისაგან უზარმაზარი გამოთვლითი სამუშაოს შესრულებას მოითხოვდა.

**§ 127. ცაზე მთვარის ხილვადობის ზოგი თავისებურების ახსნა.** დაკვირვებულ მკითხველს შემჩნეული ექნება, რომ სავსე მთვარე ზამთრობით უფრო ხანგრძლივად ჩანს ცაზე, ვიდრე ზაფხულობით; ჩვენ გვამახსოვრდება უფრო მეტად ზამთრის მთვარიანი ღამეები, ვიდრე ზაფხულისა. ამას გარდა, მას შემჩნეული ექნება ისიც, რომ ახალი მთვარის „ნამგალი“ ზოგჯერ მეტად, ზოგჯერ ნაკლებად დახრილია ჰორიზონტის მიმართ. ამ და მსგავს მოვლენებს ახსნა ესაჭიროება.

სავსე მთვარე ცაზე მზის მოპირდაპირე მხარეზეა. შუაღამეს, როცა მზე ქვედა კულმინაციაშია, ჰორიზონტის ქვეშ, სავსე მთვარე ზედა კულმინაციაშია. ზამთარში (დეკემბერში) მზე მაქსიმალურად დაშორებულია ეკვატორს სამხრეთიდან: მისი დახრილობა ეტოლება  $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს, რაც ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის კუთხით განისაზღვრება. მაშასადამე, მისი მოპირდაპირე წერტილი ცაზე მაქსიმალურად ამაღლებულია ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და  $+23\frac{1}{2}^{\circ}$  დახრილობა აქვს. ს ა ვ ს ე მთვარე ამ წერტილის მახლობლობაში იქნება ამ დროს. გათვალისწინებულია, რა თქმა უნდა, მთვარის ორბიტის ეკლიპტიკისადმი დახრაც, რაც პერიოდულად ცვლის მთვარის დაშორებას ეკლიპტიკიდან ანუ მის დახრილობას  $\pm 28\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის ფარგლებში.

საილუსტრაციოდ ვნახოთ 1983 წლის ქართულ ასტრონომიულ კალენდარში (წელიწდეულში) მთვარის კოორდინატები დეკემბრის სავსემთვარეობის დღეს. კალენდრის 68-ე გვერდზე ამოვიკითხავთ, რომ სავსემთვარეობა 20 დეკემბერსაა, ხოლო 67-ე გვერდზე, სადაც მოცემულია მთვარის ეკვატორული კოორდინატები, ვნახავთ, რომ 20 დეკემბერს მთვარის დახრილობა, მართლაც,  $+24^{\circ}21'$ -ია!

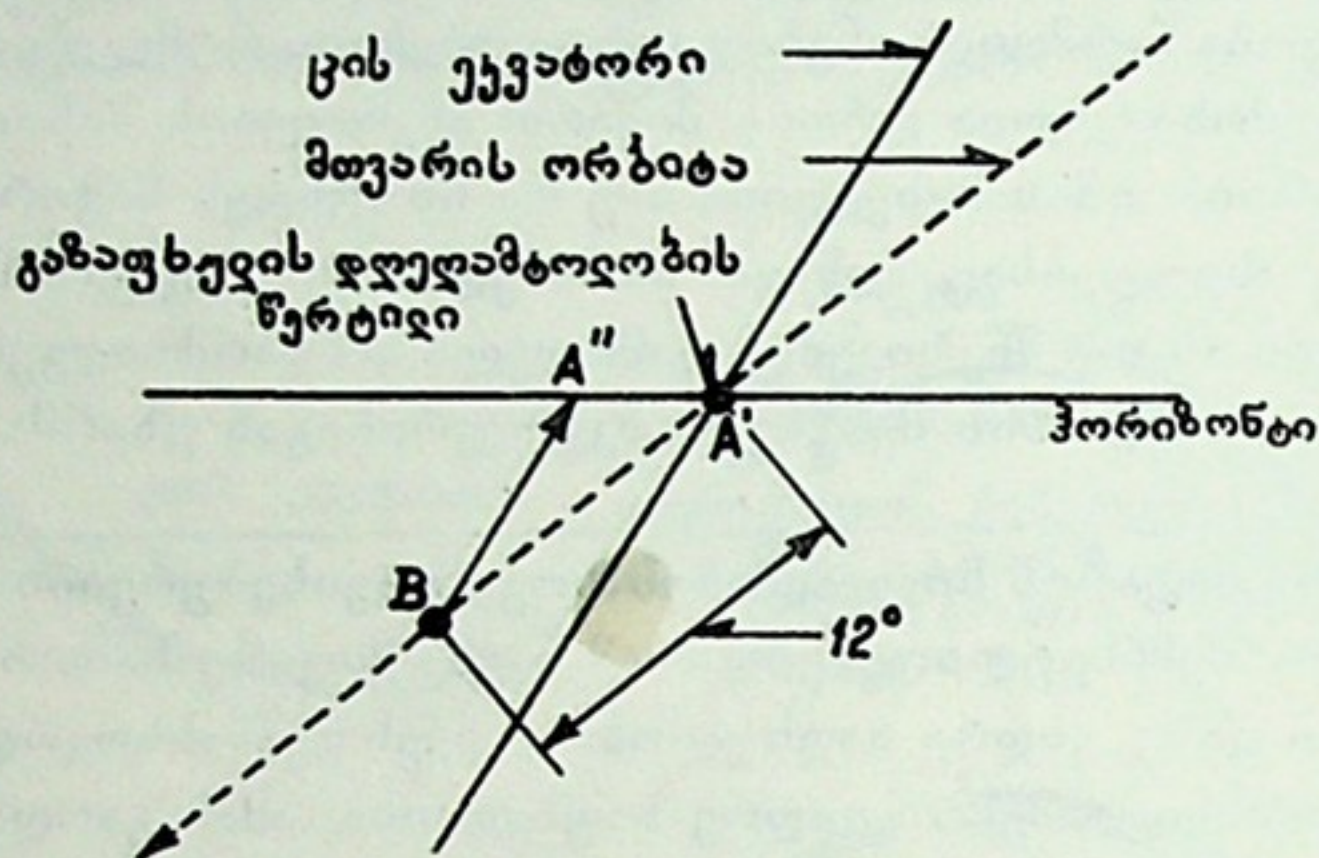
ასეთი დახრილობით ჰორიზონტიდან მთვარე უნდა ამოდიოდეს წერტილში, რომელიც აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის მდებარეობს, და ჩადიოდეს დასავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის; მისი დღეღამური პარალელი მეტი ნაწილით ჰორიზონტის ზემოთ მდებარეობს, მთვარე ხანგრძლივადაა ჰორიზონტის ზევით. მართლაც, იმავე წელიწდეულში, იმავე 67-ე



გვერდზე ამოვიკითხავთ, რომ 20 დეკემბერს მთვარე ამოდის 16 სთ 50 წთ და ჩა-  
დის 7 სთ 37 წთ-ზე, ე. ი. თითქმის 15 საათს იგი ჰორიზონტის ზევით არის, მთე-  
ლი ღამის განმავლობაში ანათებს!

ადვილი საჩვენებელია, რომ ზაფხულში, სავსემთვარეობის დღეს მთვარე  
ზედა კულმინაციაშიც კი შედარებით ახლოა ჰორიზონტთან; მისი ამოსვლის  
წერტილი აღმოსავლეთისა და სამხრეთის წერტილებს შორის მდებარეობს;  
მთვარე შედარებით ხანმოკლედ ანათებს. მკითხველს ვურჩევთ შეამოწმოს ეს  
იმავე წელიწადულის 68-ე და 62-ე გვერდების მონაცემებით.

შემოდგომის დღელამტოლობის დროს მზე  $\pm$  წერტილში იმყოფება (ეკვა-  
ტორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის იმ წერტილში, სადაც მზე ჩრდილოეთ ნა-



ნახ. 223

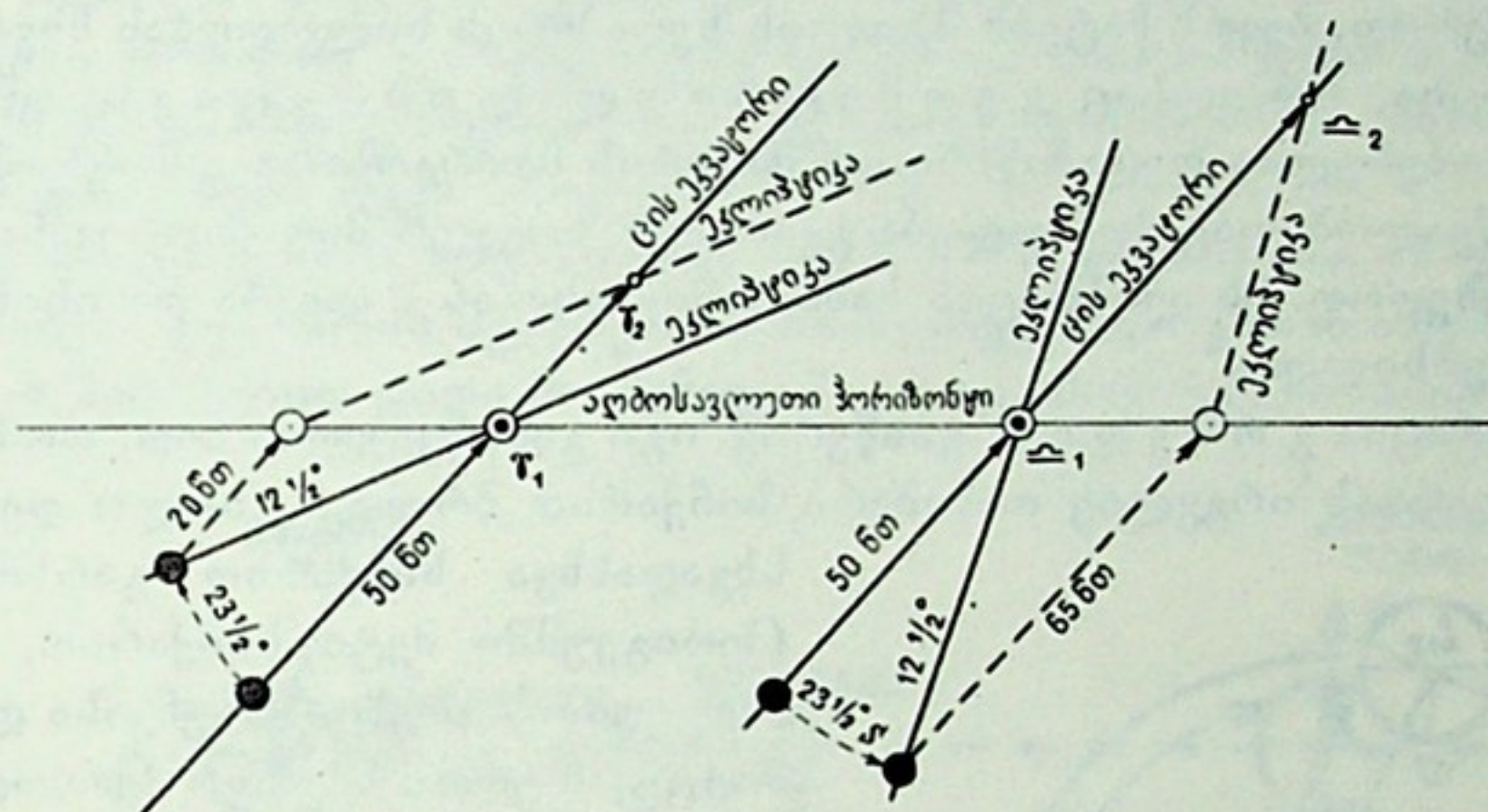
ხევარსფეროდან სამხრეთში გადადის). ამ დღეს ეს წერტილი საღამოს ჩადის.  
სავსე მთვარე კი, რომელიც ცაზე მზის მოპირდაპირე წერტილშია, ამოდის  
ჰორიზონტიდან. როგორც ეკლიპტიკის ჰორიზონტის მიმართ მდებარეობის  
აღწერიდან უნდა გვახსოვდეს, ვერძის წერტილის ამოსვლის მომენტში ეკ-  
ლიპტიკა მინიმალურ კუთხეს ადგენს ჰორიზონტთან. აქედან ის გამომდინარე-  
ობს, რომ მეორე საღამოს მთვარე დიდად არ დააგვიანებს ამოსვლას წინა  
დღესთან შედარებით. მართლაც, 223-ე ნახაზზე,  $A'$  მთვარის ჰორიზონტიდან  
ამოსვლის ადგილია აღებულ დღეს,  $A'B$ —მისი დღელამური გადაადგილება მის-  
სავე ორბიტაზე (დაახლოებით  $12^\circ$ ),  $A''$ —ამოსვლის ადგილი მეორე დღეს  
( $BA''$  ცის ეკვატორის პარალელურია).  $B$  როდია დიდად დაშორებული ჰორი-  
ზონტს, რამდენადაც მთვარის ორბიტა მცირე კუთხეს ადგენს ჰორიზონტთან.  
მართლაც, როგორც ვთქვით, მეორე დღეს მთვარე დიდად არ დააგვიანებს  
ამოსვლას.

ახლა ისევ წელიწადულის მივმართოთ (გვ. 64). სავსემთვარეობის დღეს—22  
სექტემბერს მთვარე ამოდის 18 სთ 28 წთ-ზე. მომდევნო დღეს—23 სექტემბერს  
მთვარის ამოსვლა 18 სთ 51 წთ-ზეა, ე. ი. სულ მხოლოდ 23 წთ-ით გვიან. ყოველ-  
თვის როდია ასე; მაგალითად: იმავე თვის 9, 10 და 11-ში მთვარე ამოდის 1 სთ  
14 წთ და 1 სთ 11 წთ-ით გვიან (გაიხსენეთ მთვარის ხილული მოძრაობის აღ-  
წერა). ამიტომ გვამახსოვრდება შემოდგომის დღეები, ხშირი თავისი მთვარიანი  
საღამოებით. გლეხს, მიწისმუშა-კოლმეურნეს შენიშნული აქვს ბუნების ეს კა-  
ნონზომიერება და კარგად იყენებს მას სამუშაო დროის გასახანგრძლივებლად,



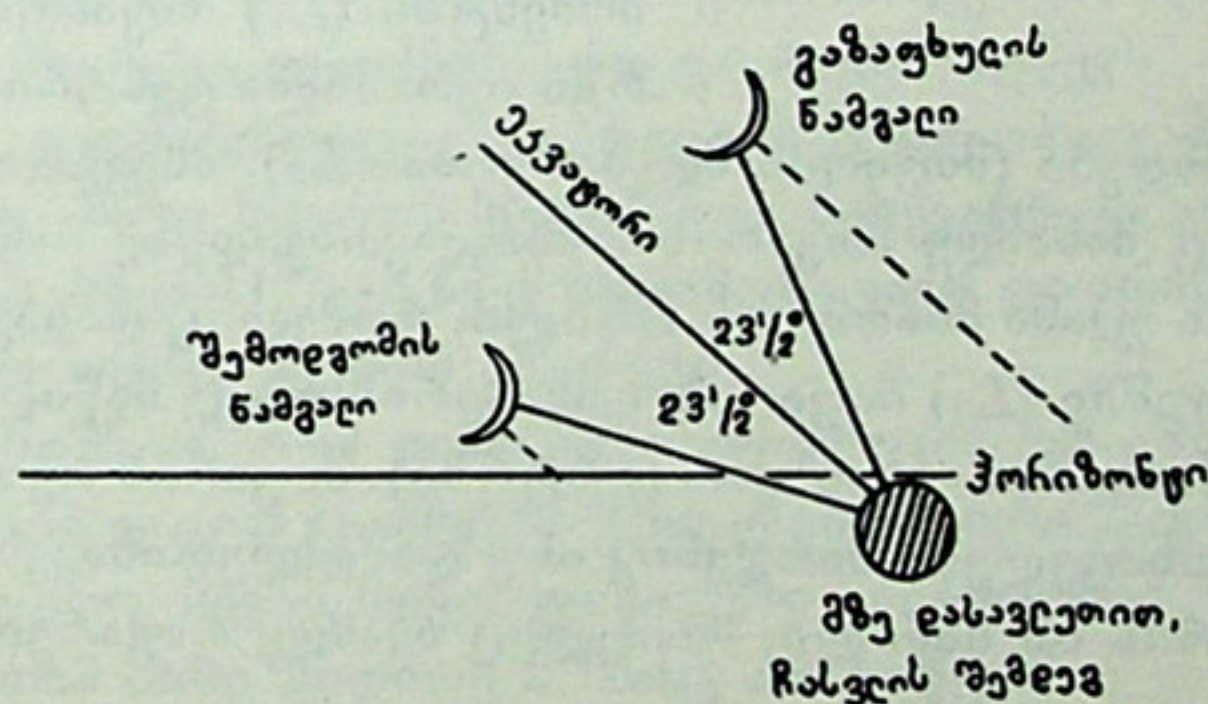
როცა ეშურება მოსავლის ადებას. უფრო ზოგადია ნახ. 224, რომლის განხილვასა და ანალიზს მკითხველს მივანდობთ.

ახლა დავხედოთ 225-ე ნახაზს. ამ ხელოვნურ სურათზე წარმოდგენილია ახალმთვარეობის ორი შემთხვევა: მარცხენა, როცა ახალი მთვარის ნამგალი ჰორიზონტთან ახლოა და ამოზნექილობით თითქმის შეუღლისავენ არის მიმართული; მეორე შემთხვევაში ნამგალი მაღლაა, მაგრამ—ამოზნექილობით ჰორიზონტისაკენ მიმართული. პირველი შემთხვევა შემოდგომას შეესაბამება (მზე შემოდ-



ნახ. 224

გომის დღედამტოლობის წერტილშია, ახალი მთვარე ახლოა მზესთან, მზის ჩასვლისას ეკლიპტიკის დახრა ჰორიზონტისადმი მცირეა), მეორე — გაზაფხულს (მზე გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილშია), მზის ჩასვლისას ეკლიპტიკის დახრა ჰორიზონტისადმი დიდია (გაიხსენეთ ნახ. 116).



ნახ. 225

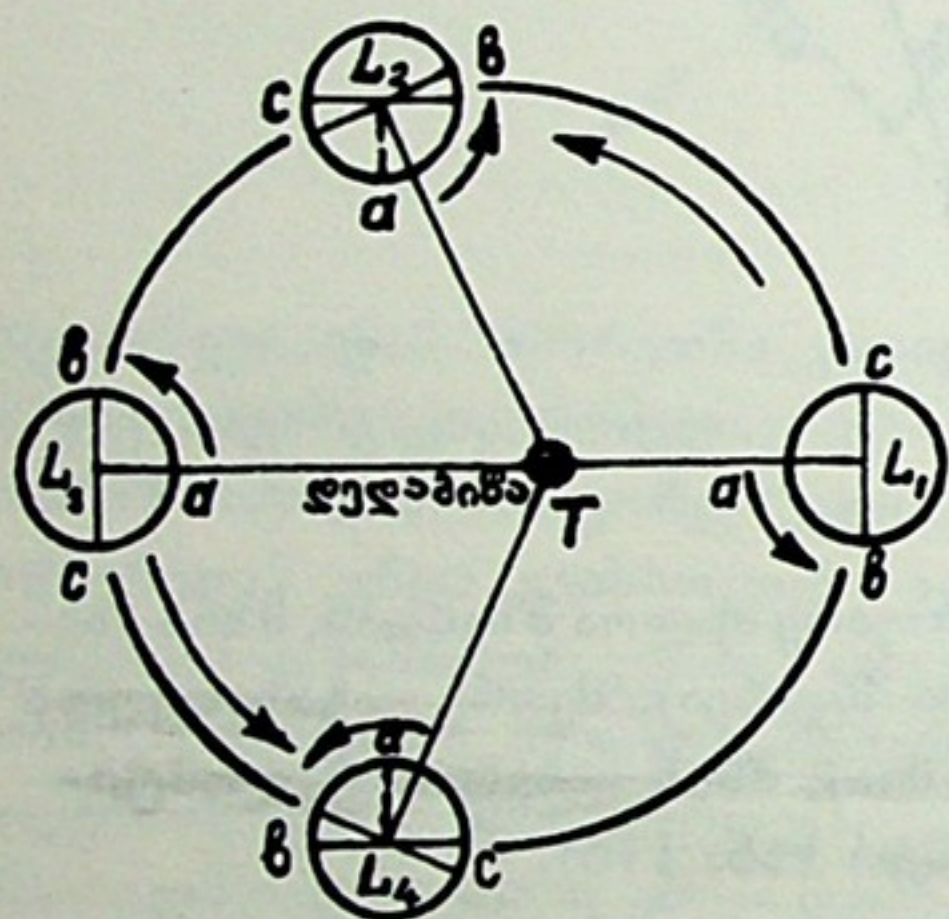
§ 128. მთვარის ლიბრაცია. თავის ადგილას აღვნიშნეთ რომ, მთვარის ბრუნვისა და მოქცევის არსებულ კანონზომიერებათა გამო ჩვენ მთვარის ზედაპირის მხოლოდ ნახევარს ვხედავთ და ეს ნახევარი ყოველთვის ერთნაირი სახით მოჩანს.



ახლა დროა ამ მტკიცებაში საჭირო კორექტივი შევიტანოთ. საქმე ისაა, რომ მთვარის ბრუნვა საკუთარი ღერძის ირგვლივ ერთგვარ რხევას განიცდის, რაც გამოწვეულია იმით, რომ მთვარე ზუსტად სფერო კი არაა, არამედ სამღერძოვან ელიფსოიდს წარმოადგენს: მას აქვს სამი ურთიერთმართობული, სხვადასხვა სიგრძის დიამეტრი\*. მათგან უგრძესი მომართულია დედამიწისაკენ, მაშასადამე, მთვარეს მოქცეული აქვს ჩვენკენ ერთგვარი ნამატი. დედამიწის მიზიდულობა, მოქმედებს რა ამ ნამატზე, აქეთ-იქით „არწევს“ მას, რის გამოც მთვარის დისკოს ცენტრი ოდნავ ირხევა საშუალო მდებარეობის მიმართ და ჩვენ საშუალება გვეძლევა ცოტა მეტი დავინახოთ, ვიდრე მთვარის ერთი ნახევარია. მაგრამ ეს ეფექტი, რომელსაც მთვარის ფიზიკური ლიბრაცია (*libratio*—რხევა, ქანაობა) ეწოდება, ერთობ მცირე და უმნიშვნელოა.

სამაგიეროდ, ბევრს მატებს მთვარის ზედაპირის ხილვადობას სხვა სახეობის ლიბრაცია, რომელსაც გეომეტრიულ ლიბრაციას უწოდებენ. იგი განპირობებულია დედამიწისა და მთვარის მოძრაობათა კანონზომიერებებით. მისი წყალობითაც საშუალება გვეძლევა ზოგჯერ მთვარის უკანა მხარის ნაწილს შევხედოთ. ეს ლიბრაცია სამი ნაწილისაგან შედგება და ისინი ცალცალკე განვიხილოთ.

1. ლიბრაცია გრძედის გასწვრივ. იგი გამოწვეულია მით, რომ მთვარე საკუთარი ღერძის ირგვლივ თანაბარი სიჩქარით ბრუნავს, ხოლო დედამიწას



ნახ. 226

სხვადასხვა სიჩქარით გარსმოქცევა (პერიგეუმში მეტი სიჩქარით, ვიდრე აპოგეუმში). თუმცა ბრუნვასა და გარემოქცევას ერთი საერთო პერიოდი აქვს, მაინც, სიჩქარეთა აღნიშნული განსხვავება შემდეგ ეფექტს იწვევს: პერიგეუმიდან მთვარის თვის ერთი მეოთხედის ტოლი დროის გავლის შემდეგ მთვარე გაივლის ორბიტის ერთ მეოთხედზე მეტს, ხოლო საკუთარი ღერძის ირგვლივ ზუსტად  $1/4$ -ით ანუ  $90^\circ$ -ით შემობრუნდება. *a* წერტილი (226-ე ნახ.), რომელიც პერიგეუმში მთვარის ყოფნის მომენტში ( $L_1$ ) მთვარის დისკოს ცენტრში იყო, ახლა ცენტრის მარცხნივ, აღ-

მოსავლეთით გამოჩნდება (მთვარის მდებარეობა— $L_2$ ). ასევე გადაინაცვლებს *b* წერტილი, რომელიც მანამდე მთვარის დასავლეთ კიდეზე ჩანდა. მაშასადამე, გამოჩნდება მთვარის უკანა მხარის ის ნაწილი, რომელიც დასავლეთ კიდეზე იყო მოფარებული. აპოგეუმში ( $L_3$ ) მთვარის ზედაპირის იმავე ნაწილს ვხედავთ, რომელიც პერიგეუმში ჩანდა (*a* — დისკოს ცენტრში). მთვარის თვის ერთი მეოთხედის შემდეგ *a* გადაინაცვლებს მარჯვნივ ანუ დასავლეთისაკენ და გამოჩნდება მთვარის მეორე მხარის ის ნაწილი, რომელიც აქამდე მოფარებული იყო აღმო-

\* განსხვავებები როდია დიდი: სულ მხოლოდ სამი კილომეტრით აღემატება უდიდესი დიამეტრი უმცირესს.

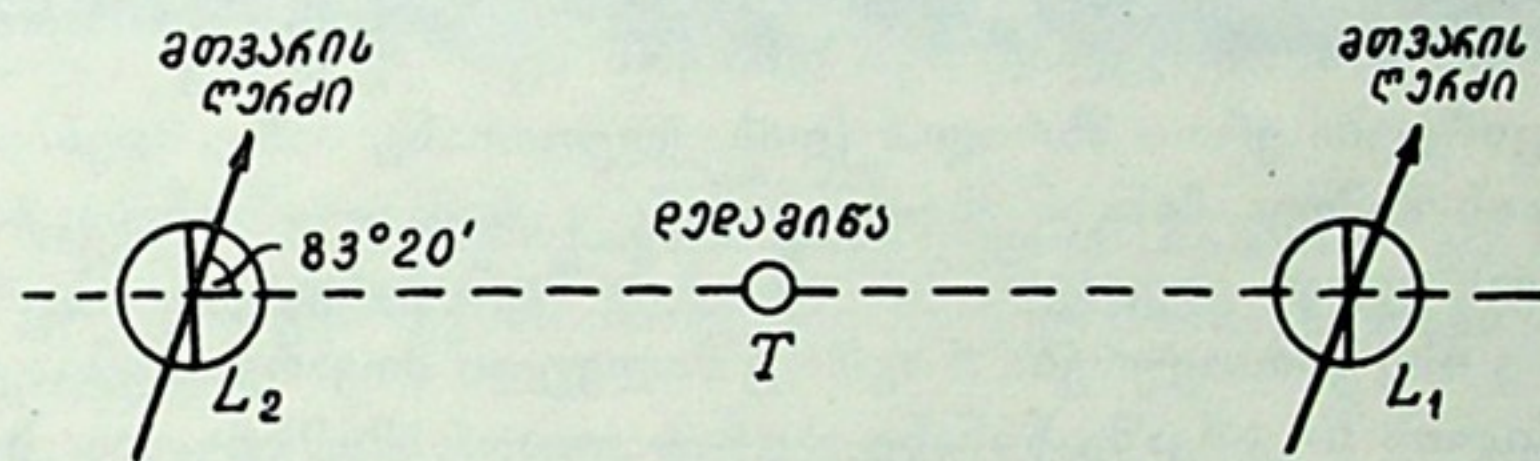


სავლეთის კიდის უკან (c). როგორც ვხედავთ, გრძედზე ლიბრაციის პერიოდი მთვარის თვეს\* ეტოლება.

ამ ლიბრაციის სიდიდე  $7^{\circ}54'$ -ს აღწევს აღმოსავლეთით და ამდენსავეს— დასავლეთით. სათანადო ფართობი ემატება მთვარის ხილვად ზედაპირს. ამ ფართობის მერიდიანული ზოლის განივკვეთი რამდენიმე ასეული კმ-ია.

2. ლიბრაცია განედის გასწვრივ. ამ ლიბრაციის გამომწვევია მთვარის ბრუნვის ღერძის დახრა მისი ორბიტის სიბრტყისადმი და მისი მიმართულების უცვლელობა სივრცეში (227-ე ნახ.). ამ ფაქტის შედეგად მთვარის გარემოქცევის განმავლობაში შენაცვლებით ვხედავთ ხან მთვარის ჩრდილოეთი პოლუსის ირგვლივ ზედაპირის ნაწილს, ხან სამხრეთი პოლუსისას (ანალოგიისათვის გაიხსენეთ დედამიწის წლიური გარემოქცევა და მზის მიერ მისი ხან ჩრდილოეთი, ხან სამხრეთი პოლუსის განათება). რადგანაც მთვარის ბრუნვის ღერძის დახრა მისი ორბიტის სიბრტყისადმი  $83^{\circ}20'$ -ია, ამიტომ ლიბრაცია განედით აღწევს  $6^{\circ}40'$ -ს ჩრდილოეთით და ამდენსავე სამხრეთით. მისი პერიოდი მთვარის დრაკონულ თვეს ეტოლება.

3. დ დ ე დ ა მ უ რ ი ა ნ უ პ ა რ ა ლ ა ქ ს უ რ ი ლიბრაცია. ამ უკანასკნელს განაპირობებს დედამიწის შედარებითი სიახლოვე მთვარესთან ანუ მთვარის პარალაქსის შედარებით დიდი მნიშვნელობა. როცა მთვარეს მისი ამოსვლისა და



ნახ. 227

ჩასვლის მომენტების ახლო ვაკვირდებით, ფაქტიურად ვაკვირდებით მას დიდი ბაზისის ორი ბოლოდან, რომლებიც ერთიმეორეს დაშორებულია დაახლოებით 13000 კმ-ით (დედამიწის დიამეტრი). ამიტომ მთვარის ამოსვლისას ვხედავთ მისი დასავლეთი კიდის მიღმა მდებარე ზედაპირის ნაწილს, ჩასვლისას კი—აღმოსავლეთის კიდის უკან მდებარე ზედაპირის ნაწილს. ამ ლიბრაციის სიდიდე მთვარის პარალაქსის მნიშვნელობით განისაზღვრება ( $5705''$ ). მაშასადამე, იგი თითოეულ მხარეზე თითქმის ერთ გრადუსს აღწევს.

აღწერილი გეომეტრიული ლიბრაციის წყალობით მთვარის ზედაპირის უხილავი ნაწილი მისი სფეროს ზედაპირის ნახევარს კი არ შეადგენს, არამედ მხოლოდ  $41^{\circ}/0$ -ს. სხვა  $41^{\circ}/0$ -ს ჩვენ მუდამ ვხედავთ და არასდროს ის არ იფარება.  $18^{\circ}/0$ -ს კი დროგამოშვებით ვხედავთ.

ზემოთ შევნიშნეთ, რომ ფიზიკური ლიბრაცია უმნიშვნელო ეფექტს გვაძლევს. ახლა, როცა ვიცით გეომეტრიული ლიბრაციით გამოწვეული რაოდენობრივი ეფექტი, უფრო შევნიშნავთ ფიზიკური ლიბრაციის უმნიშვნელობას, თუ გვეცოდინება, რომ მისი სიდიდე  $5''$ -საც არ აღწევს!

\* უფრო ზუსტად—მთვარის ანომალის ტურ თვეს, რამდენადაც ლიბრაციის ამ შემთხვევაში გარკვეულ როლს ასრულებს აფსიდთა ხაზის მოძრაობა.



თ ა ვ ი XI

**მზისა და მთვარის დაბნელება**

§ 129. **მზის დაბნელება.** ბუნების მოვლენათა შორის მზის დაბნელება, მეტადრე—ს რ უ ლ ი დაბნელება, ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ძლიერად შთაბეჭდავი მოვლენაა. წარმოიდგინეთ, რომ მოწმენდილ ცაზე ჩვეულებრივ ბრწყინავს მზე; თითქოს არაფერი მოასწავებს რაიმე განსაკუთრებულს და აი, რომელიღაც მომენტში მზის თვალისმომჭრელად გაშკაშა ბადროს მარჯვენა (დასავლეთ) კიდეზე თითქოს რაღაც ჩრდილი შემოიჭრება; წუთი წუთს მისდევს და ეს ჩრდილი ანუ ბინდი სულ უფრო მეტად ფარავს მზის ბადროს. ბადრო კარგავს თავის წესიერ, მრგვალ ფორმას; პირველად იგი თითქოს მცირედ ჩამოჭრილია, შემდგომ თანდათან მცირდება ერთი მხრიდან (დასავლეთიდან), ნახევრდება; რამდენიმე ათეული წუთის შემდეგ მისგან მხოლოდ ვიწრო „ნამგალი“ რჩება; ბადროს დანარჩენ ნაწილს ველარ ვხედავთ; მას თითქოს შავი ბინდი გადაჰკვრია.

ახლა მზე ისე გამოიყურება როგორც მიღებული მთვარე, თუმცა ამ დაუბნელებელი ნაწილის სიკაშკაშე წინანდებურად თვალისმომჭრელია; საერთო სინათლემ კი შესამჩნევად იკლო, თითქოს ჩამობინდდა კიდეც; ცამ ფერი იცვალა, გამუქდა; ჩვენს გარშემო საგნები გაფერმკრთალდა. თუ ცხოველებსა და ფრინველებს ვუთვალთვალებთ ამ წუთებში, ადვილად შევამჩნევთ მათ შეშფოთებას, მოუსვენრობას; ზოგი მცენარე ფოთლებსაც კი კეცავს, თითქოს ღამის მყუდროებისათვის ეშხადება; აგრილებაც იგრძნობა.

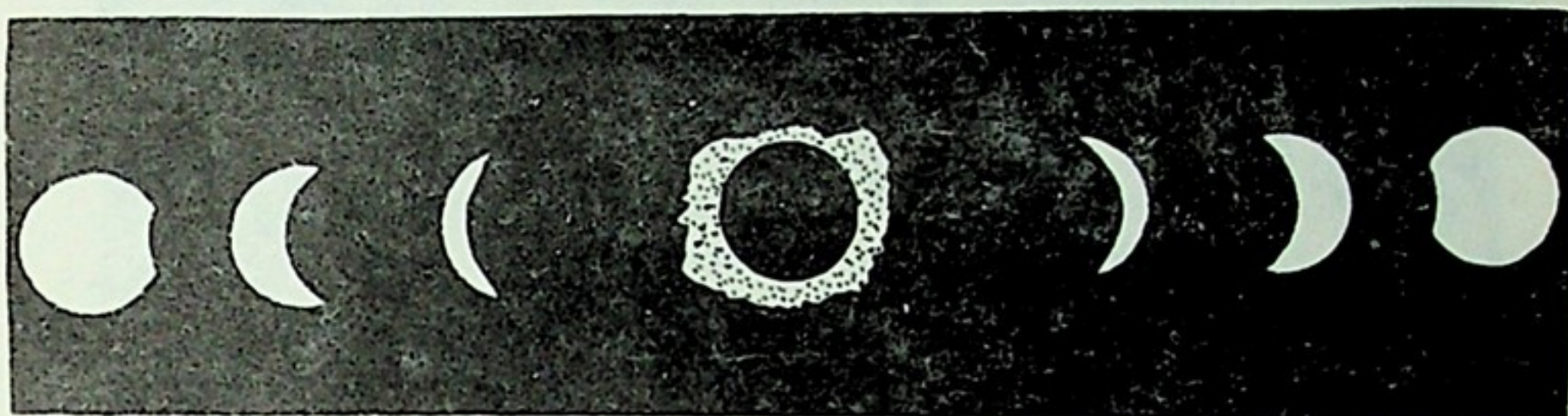
მოვლენა ჯერ კიდევ განაგრძობს განვითარებას—მზის ნამგალი სულ უფრო და უფრო ვიწროვდება და, ბოლოს, ერთ გარკვეულ წამს იგი სრულიად ქრება. ამასთან ერთად იმდენად ჩამოლამდება, რომ ცაზე გაშკაშა ვარსკვლავები აინთება. იმ ადგილას, სადაც მზის მოკაშკაშე ბადრო ბრწყინავდა, ახლა კუბრივით შავი ბადრო მოჩანს; მის ირგვლივ შემოვლებულია რაღაც ნათელი არშია, გვირგვინი, რომელიც თუმცა შედარებით მკრთალად, მაგრამ მაინც ანათებს, ცილებს და უეცრად დამდგარ ღამის წყვდიადს ანელებს. ამ გვირგვინის შიგნით შავი ბადროს კიდევ მოწითალო ფერით იღებება და აქა-იქ მასზე მზის „ცეცხლოვანი“ შვერილები მოჩანს.

რამდენიმე ათეული წამის ან ერთი-ორი წუთის შემდგომ უეცრად,—ისევე უეცრად, როგორც ბრწყინვალე „ნამგალი“ გაქრა და არემარე ღამის წყვდიადმა მოიცვა, — ბნელი ბადროს მარჯვენა კიდე გაბრწყინდება, მზის ბადრო გამოაშუქებს მის დასავლეთის მხარეზე და მარჯვნივ გამოხნექილი მბრწყინავი ვიწრო ნამგალივით წარმოგვიდგება, რომელიც თანდათან ფართოვდება და, ბოლოს, რამდენიმე ათეული წუთის შემდეგ კვლავ სრულ ბადროდ იქცევა; გარემო ღებულობს ჩვეულებრივ სახეს, მზე წინანდებურად განაგრძობს ბრწყინვას.



მთელი მოვლენა, რომელიც, მოკლედ თუ ვიტყვით, იმაში გამოიხატება, რომ ზის ბადროს მარჯვნიდან მარცხნივ ანუ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით რაღაც ჩრდილი ანუ ბინდი გადაუვლის, ორ საათამდე გრძელდება. აქედან რამდენიმე ათეული წამის ან რამდენიმე წუთის განმავლობაში მზის ბადრო მთლიანად დაბნელებულია ანუ ს რ უ ლ ი დ ა ბ ნ ე ლ ე ბ ა ა.

228-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მზის დაბნელების ფოტოსურათები, რამდენიმე თანმიმდევრულ მომენტში გადაღებული. მარცხნიდან პირველი სურათი აღბეჭდავს დაბნელების დასაწყის ფაზას, როცა „ბინდი“ უკვე შესამჩნევად შემოსული მზის ბადროს მარჯვენა კიდეზე. შუა სურათი სრულ დაბნელებას წარ-



ნახ. 228

მოადგენს, როცა მზის მთელი ბადრო დაფარულია „ბინდით“ და მის გარშემო მკრთალად ციალებს გვირგვინი. მარჯვნივ პირველ სურათზე დაბნელება დასასრულს უახლოვდება.

229-ე ნახ. წარმოადგენს 1936 წ. 19 ივნისის მზის სრული დაბნელების ფოტოგრაფიას დაბნელების შუა მომენტში. დაბნელებული და გვირგვინშემოვლებული მზის მარჯვნივ—ჩრდილო-დასავლეთით მოჩანს პლანეტა ვენერა.

მაგრამ მზის დაბნელება ყოველთვის როდია სრული; უფრო ხშირად ვხვდავთ მზის ნ ა წ ი ლ ო ბ რ ი ვ დაბნელებას, რომელიც სრულისაგან მით განსხვავდება, რომ „შავი ბინდი“, რომელიც გადაეკვრის მზის ბადროს, მთლიანად როდი მოიცავს მას; მოვლენა ისე ჩაივლის, რომ დაბნელება მზის ბადროს დიდი თუ მცირე ნაწილი და დარჩენილი ნაწილის ბრწყინვა არ შეწყდება; ამიტომ სრულად არ ჩამოლამდება.

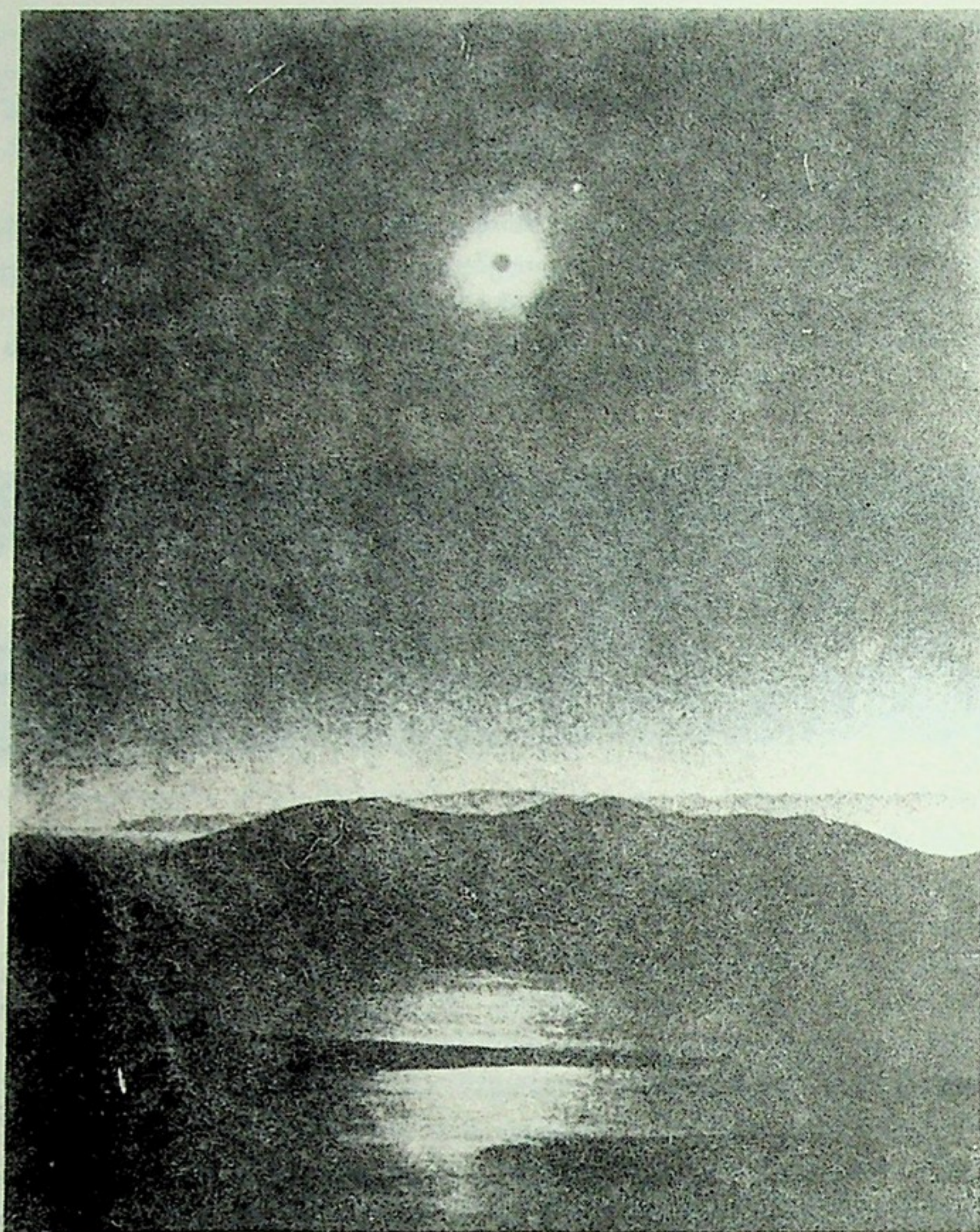
§ 130. **მზის დაბნელების გამომწვევი მიზეზები.** ძველად მზის დაბნელება ადამიანში ყოველთვის იწვევდა იღუმალ შიშს, ცრურწმენას, რამდენადაც ძველი დროის ადამიანს ვერ აეხსნა მისი მიზეზი. ახლა არა თუ ცნობილია მიზეზები, არამედ ისინი იმდენად კარგადაა შესწავლილი, რომ დაბნელების წინასწარმეტყველება ხდება, — დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები წინასწარ, რამდენიმე თვით თუ წლით ადრე, გამოითვლება ძალიან მაღალი სიზუსტით.

მზის დაბნელება დაკავშირებულია სამი ციური სხეულის — მზის, დედამიწის, მთვარის—ურთიერთგანლაგებასთან სივრცეში.

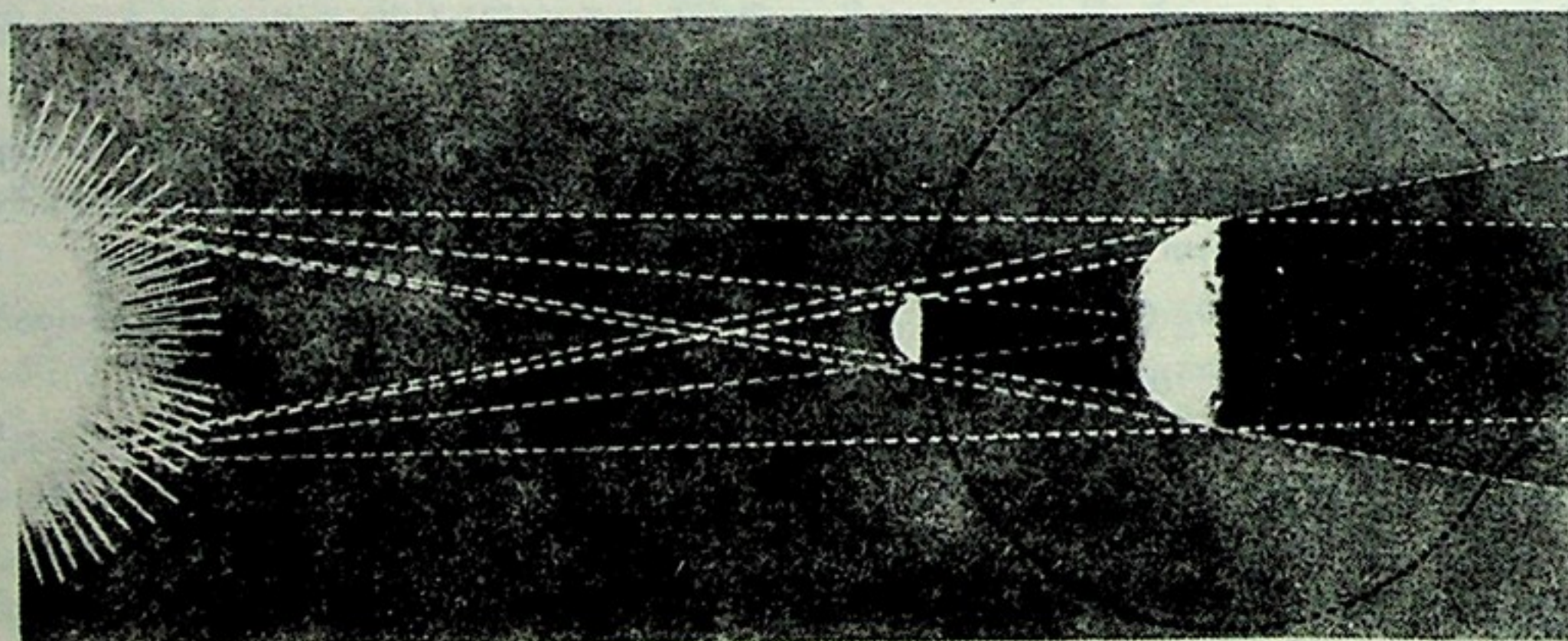
ჩამოთვლილ სამ სხეულთაგან ორს — დედამიწასა და მთვარეს — არა აქვს საკუთარი სინათლე; დედამიწას ანათებს მზე; მთვარეც განათებულია მზით, არეკლავს მის ზედაპირზე დაცემულ მზის სხივებს და მხოლოდ ამნაირად წარმოგვიდგება როგორც ცის მ ნ ა თ ო ბ ი.

ეს სხეულები, როგორც ვიცით, განუწყვეტლივ მოძრაობაშია; დედამიწა მზეს ურბენს გარშემო, ხოლო მთვარე—დედამიწას. დროგამოშვებით მზე, დედამიწა





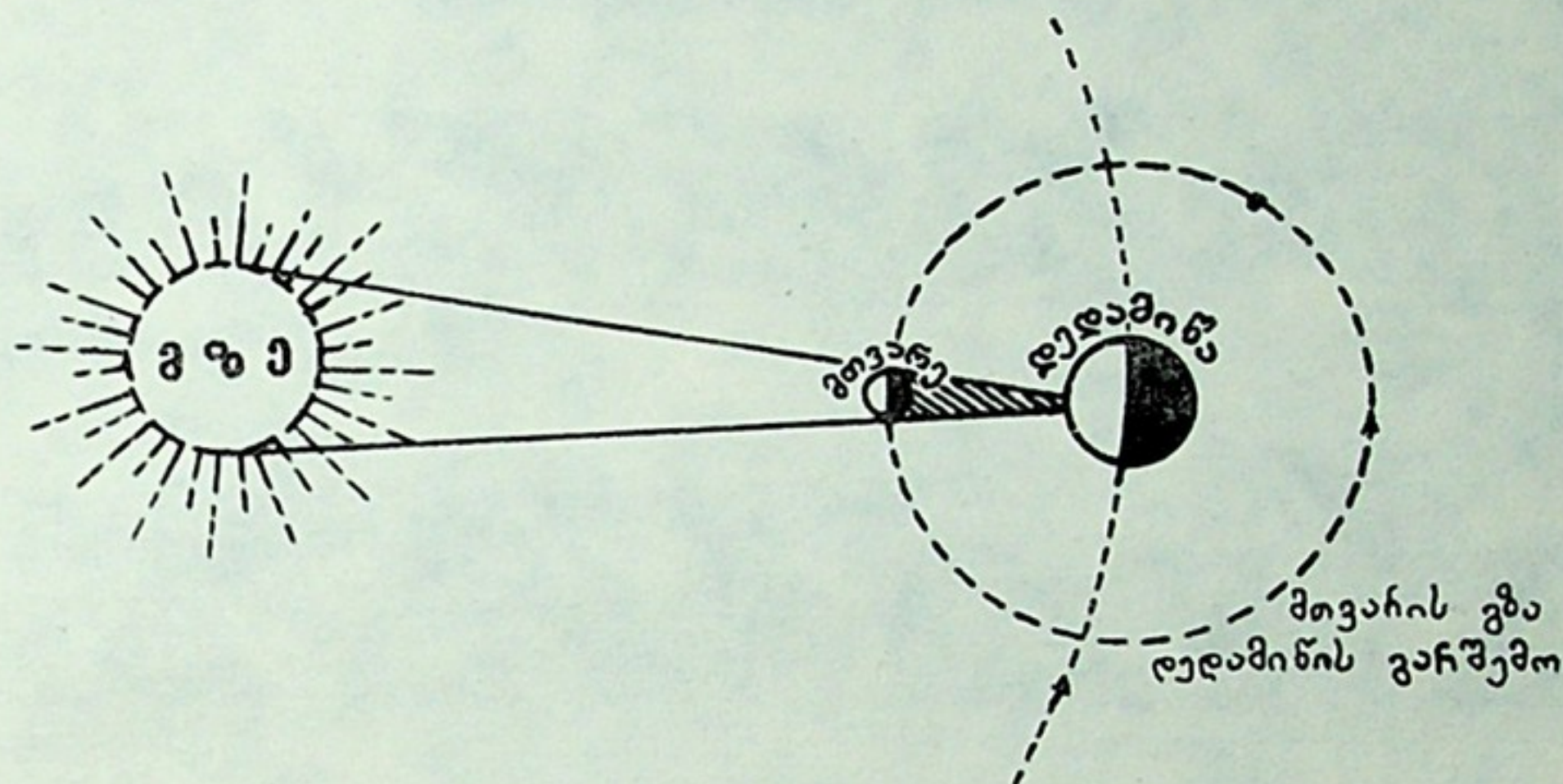
ნახ. 229



ნახ. 230



და მთვარე ისე განლაგდებიან ერთიმეორის მიმართ, რომ მთვარე სწორედ მზესა და დედამიწას შორის მოექცევა, მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზზე. იმის გამო კი, რომ დედამიწა სინათლეს მზისაგან ღებულობს, ხოლო მთვარე თავისთავად ბნელი სხეულია, ასეთი ურთიერთგანლაგებისას მთვარე ჩამოეფარება მზის სხივებს მათ გზაზე მზიდან დედამიწამდე და „დაბნელებს“ მზეს. სხვა სიტყვებით, მთვარის ჩრდილი, რომელიც მას მუდამ ახლავს სივრცეში (230-ე ნახ.) და, რომელიც, აშკარაა, მთვარისათვის მუდამ მზის მოპირდაპირე მხარეზეა მიმართული, დედამიწის ზედაპირზე დაეცემა. ამ ჩრდილის სიგრძე მცირედ ცვალებადობს, დაახლოებით მთვარე-დედამიწის მანძილის ტოლია,



ნახ. 231

მაგრამ უფრო ხშირად მას რამდენადმე აღემატება და დედამიწასთან შეხების ადგილას ჩრდილის კონუსის განივი რამდენიმე ათეულს ან ორ-სამ ასეულ კილომეტრს აღწევს. დედამიწის ზედაპირის იმ ადგილებიდან, რომლებიც მთვარის ჩრდილში მოექცევა, მზის დაბნელებას დაინახავენ.

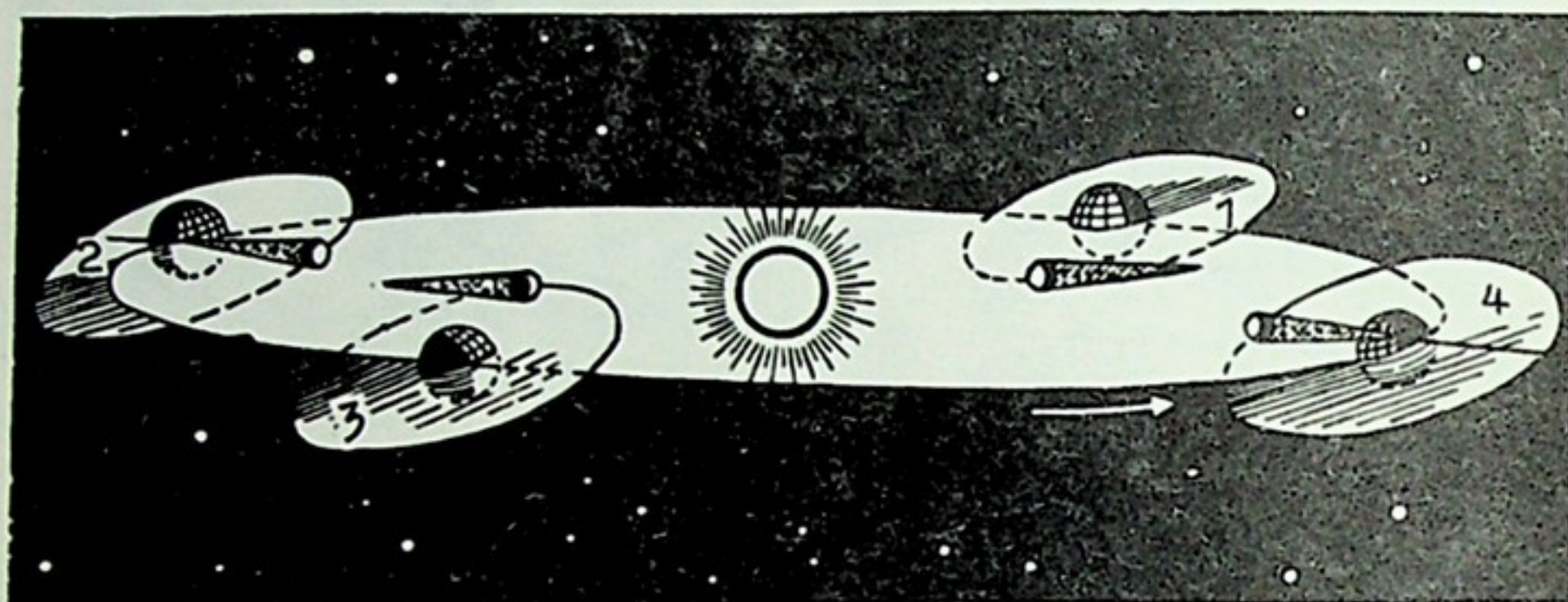
231-ე ნახაზზე ჩანს, რომ მთვარე სიდიდით დედამიწაზე ნაკლებია. მანძილი მთვარე-დედამიწაზე ნაკლებია, ვიდრე მანძილი მზე-დედამიწაზე. მაგრამ მასშტაბის დაცვა ამ ნახაზზე შეუძლებელია. ამ სხეულების სიდიდეებისა და ურთიერთმანძილების მასშტაბის დაცვას თუ მოვინდომებდით, მაშინ მზე უნდა შემოგვეხაზა დედამიწის გამომსახველ წრესთან შედარებით 109-ჯერ უფრო ფართო წრის სახით, ხოლო დედამიწა მზისგან უნდა დაგვეშორებინა 400-ჯერ უფრო დიდი მანძილით, ვიდრე მთვარე-დედამიწიდან. მაგრამ, ყოველ შემთხვევაში, აღებული სამი სხეულის სივრცეში მოძრაობისა და ურთიერთგანლაგების სქემა ამ ნახაზზე საკმარისი სიცხადითაა მოცემული.

230-ე ნახაზზე მზის დაბნელების სურათი წარმოდგენილია სივრცულ პერსპექტივაში. ვხედავთ დედამიწასა და მთვარეს, რომელთაც მზე-სურათზე მარცხნიდან და ზემოდან—ანათებს. დედამიწის ერთ ნახევარზე დღეა, მეორეზე — ღამე. მთვარის ჩრდილი სივრცეში კონუსის ფორმისაა; ამ კონუსის წვეროთი იგი დედამიწას ეცემა. მისი გადაკვეთა დედამიწის ზედაპირთან წრეა. ამ წრის შიგნით მოთავსებული წერტილებიდან მზე არ მოჩანს. იგი დაბნელებულია.



დავუბრუნდეთ 231-ე ნახაზს და გავითვალისწინოთ, რომ მასზე წარმოდგენილი სამივე სხეული მოთავსებულია ერთ სიბრტყეში (ქაღალდის სიბრტყეში). სინამდვილეში დედამიწის ირგვლივ მთვარის გზის (ორბიტის) სიბრტყე, როგორც ვიცით, დახრილია მზის ირგვლივ დედამიწის წლიური გზის ანუ ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი. ამიტომ მთვარე, დედამიწა და მზე ერთდროულად ყოველთვის როდი არიან ეკლიპტიკის სიბრტყეში. ისინი რომ ყოველთვის ამ სიბრტყეში ყოფილიყვნენ, მაშინ მზის დაბნელება ყოველთვის ურად მოხდებოდა, ყოველ ახალმთვარეობისას, რამდენადაც თვეში ერთხელ მთვარე უთუოდ მოექცევა მზესა და დედამიწას შორის.

მაშასადამე, მთვარის ორბიტის სიბრტყის ეკლიპტიკასთან დახრის გამო მთვარე ყოველთვის ურად, როცა იგი მზესა და დედამიწას შორის იმყოფება,



ნახ. 232

უთუოდ კი არ გადაკვეთს მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზს, არამედ უმრავლეს შემთხვევაში ან ჩრდილოეთიდან გადაუვლის მას შორიახლოს, ან სამხრეთიდან ჩაუვლის.

232-ე ნახ. წარმოდგენილია ეს სურათი. მდებარეობები 2 და 4 შეესაბამება შემთხვევებს, როცა მთვარე ახალმთვარეობის დროს ეკლიპტიკაშია, ამიტომ მისი ჩრდილი დედამიწის ზედაპირს ეცემა და დაბნელება ხდება. მდებარეობაში 3 მთვარე ახალმთვარეობის მომენტში „ზევიდან“ გადაუვლის ეკლიპტიკას, ჩრდილი ასცდება დედამიწას, დაბნელება არ მოხდება. ასევე, არ მოხდება დაბნელება 1-ელ მდებარეობაში, რადგან ჩრდილის კონუსი ეკლიპტიკის ქვეშ მოექცევა.

233-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სურათი, როგორ გაივლის მთვარე შეერთების ანუ ახალმთვარეობის მომენტის ახლო მზის ჩრდილოეთიდან, როდესაც დაბნელება არ მოხდება. ყურადღება მისაქცევია ისიც, რომ სანამ მზესა და მთვარეს შორის ხილული მანძილი  $7^{\circ}$ -ზე ნაკლებია, ჩვენ მთვარის „ნამგალსაც“ ვერ ვხედავთ.

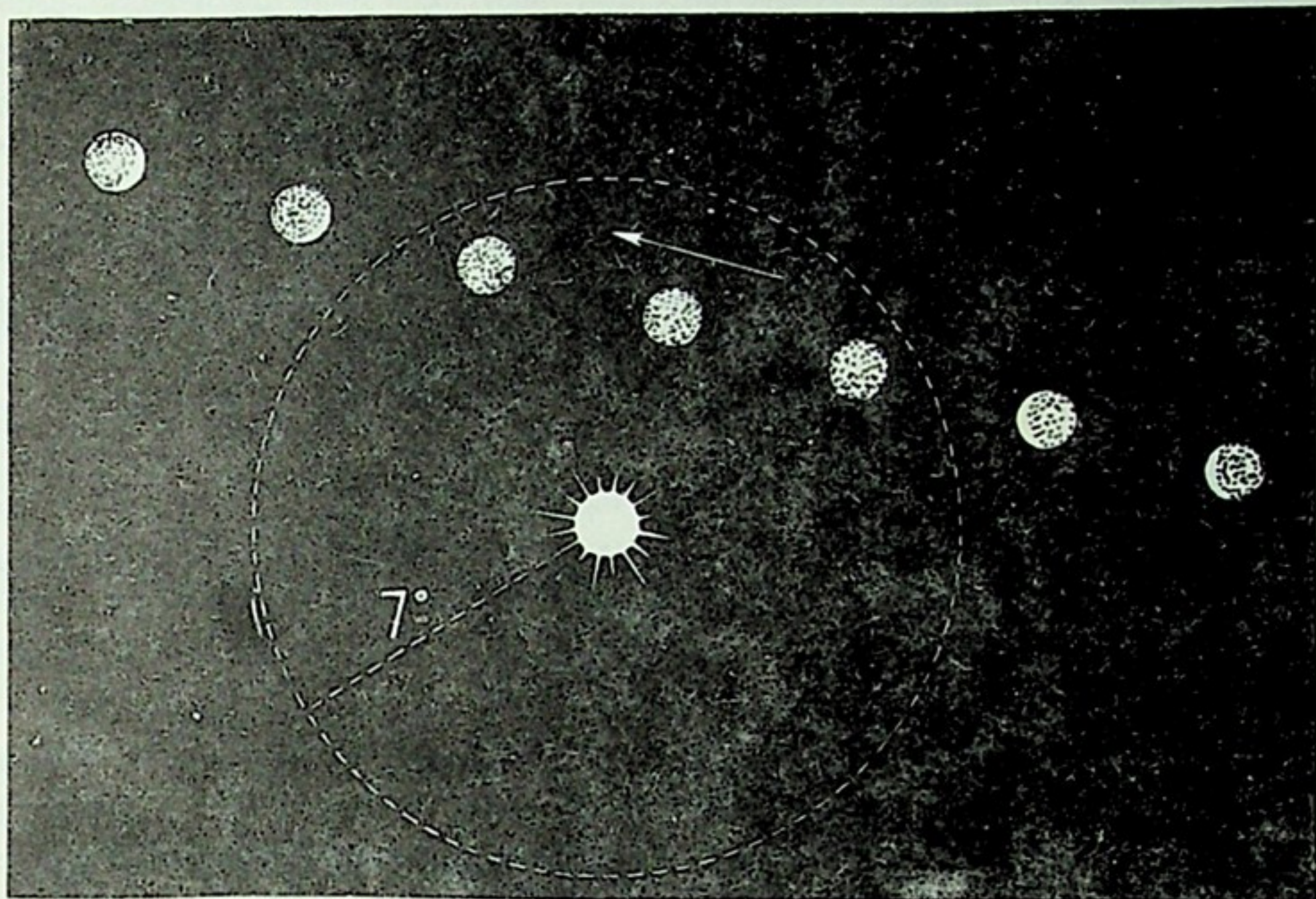
თვით მთვარის ორბიტის სიბრტყეც, როგორც ზემოთ ვთქვით, ერთგვარად მოძრაობს სივრცეში; ამ მოძრაობის კანონზომიერების მიხედვით, მთვარის ორბიტის კვანძების შემაერთებელი ხაზი ანუ კვანძთა ხაზი პერიოდულად თანხვდება ან საკმარისად ახლოა მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზთან და თუ ამავე დროს მთვარეც საკმარისად ახლოა კვანძის წერტილთან (და, მაშასადამე, ეკლიპტიკის სიბრტყესთან), დაბნელება გარდაუვალია.

სხვა სიტყვებით, მზის დაბნელება მაშინ ხდება, როცა ახალმთვარეობის



დროს კვანძთა ხაზი დედამიწა-მზის მიმართულების თანხედენილია ან ამ მიმართულებასთან საკმარისად ახლოა.

რა განაპირობებს ასეთი სიტუაციის სიხშირეს? თავისთავად გასაგებია, — კვანძთა ხაზის (ანუ მთვარის ორბიტის სიბრტყის) მობრუნების პერიოდი და მთვარის თვის ხანგრძლივობა. თავის როლს ასრულებს ამ მხრივ დედამიწის მოქცევაც მზის გარშემო.



ნახ. 233

§ 131. **საროსი.** უძველეს დროში, ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, ბაბილონელმა ვარსკვლავთმრიცხველებმა შენიშნეს, რომ მზისა და მთვარის (იხ. ქვევით) დაბნელება მეორდება პერიოდულად ყოველი 18 წლისა და 11 დღე-ღამის შემდეგ (უფრო ზუსტად 18 წ. და 10.3 ან 11.3 დღე-ღამის შემდეგ იმის მიხედვით, თუ რამდენი — თანამედროვე გაგებით — ნაკიანი წელიწადი მოდის აღებული 18 წლის ინტერვალზე). ამ პერიოდს უწოდეს **საროსი** (ეგვიპტური სიტყვაა, ნიშნავს გამეორებას). ეს ისე კი არ უნდა გვესმოდეს, თითქოს დაბნელება ხდება ერთხელ ყოველი 18 წლისა და 10 დღე-ღამის შემდეგ. არა, ერთი საროსის მომცველ დროის შუალედში შვიდ ათეულამდე მზისა და მთვარის დაბნელებაა. მაგრამ ყოველ მათგანს ახასიათებს რაღაც საკუთარი ვითარება: სისრულე თუ ნაწილობრივობა, ხანგრძლივობა თუ ხილვადობის ადგილი და სხვა (იხ. ქვევით) და ყოველი მათგანი თანმიმდევრულად მეორდება ყოველი 18 წ. და 10 დღ. შემდგომ დაახლოებით ამავე ვითარებაში.

საროსის საფუძველს ქმნის მზის, დედამიწის, მთვარისა და მთვარის ორბიტის კვანძების სივრცეში ურთიერთგანლაგების განმეორებადობა; სწორედ ამ უკანასკნელის გამო მეორდება მზისა და მთვარის დაბნელებათა თანმიმდევრობა.

საროსის მიხედვით ძველად წინასწარმეტყველებდნენ დაბნელებებს, ოღონდ მხოლოდ დაახლოებით, რამდენიმე დღე-ღამის კვირის ან თვის სიზუსტით. ახლა კი მათ წინასწარ ითვლიან ცის მექანიკის მეთოდებით ერთობ ზუსტად — წამის სიზუსტით.





შემდგომი მსჯელობისათვის საჭიროა გავიხსენოთ მთვარის დრაკონული თვის ზემოთ შემოღებული ცნება და დრაკონული თვის ხანგრძლივობა: 27.212 დღე-ღამე.

ვთქვათ, რომელიმე ახალმთვარეობისას მთვარე იმყოფება კვანძში. ამ დროს მზის დაბნელება აუცილებლად მოხდება. ერთი დრაკონული თვის გავლის შემდეგ, 27.2 დღე-ღამით გვიან, მთვარე კვლავ იმავე კვანძში აღმოჩნდება\*, ე. ი. ახალმთვარეობა ჯერ კიდევ არ იქნება დამდგარი; იგი ორი დღე-ღამით გვიან დადგება. ამ მომდევნო 2 დღე-ღამეში კი მთვარე მოასწრებს კვანძიდან გადაადგილებას. იგი მაინც კვანძის ახლო იქნება, მზისა და მთვარის ბადროების რადიუსების საერთო სიგრძის ფარგლებში, და დაბნელება მაინც მოხდება ოდონდ რამდენადმე განსხვავებულ პირობებში, სხვა ვითარებაში, ვიდრე პირველი დაბნელება იყო. შემდგომი დრაკონული თვის დამლევს მთვარეს ახალმთვარეობამდე უკვე ოთხი დღე-ღამე დააკლდება, ე. ი. ახალმთვარეობის მომენტში მთვარე იმდენად დაშორდება კვანძის წერტილს, რომ დაბნელება აღარ მოხდება. მაშასადამე, ახალმთვარეობა ყოველთვიურად ჩამორჩება მთვარის კვანძში მისვლას და გარკვეული პერიოდის გავლის შემდეგ მთვარის აღებულ კვანძში გავლა კვლავ დაემთხვევა ახალმთვარეობას, ე. ი. მზე, მთვარე და კვანძი პირვანდელ ურთიერთმდგომარეობაში მოექცევიან და დაბნელების ვითარებაც ისე გამეორდება, როგორც პირვანდელი იყო. ცხადია, რომ ეს პერიოდი უნდა მოიცავდეს როგორც სინოდური, ისე დრაკონული თვეების მთელ რიცხვს. ანგარიში გვიჩვენებს, რომ ამ პერიოდში თავსდება 223 სინოდური თვე ან 242 დრაკონული თვე. ეს პერიოდი გამოიხატება 6585.3 დღე-ღამით ანუ 18 წელიწადით და 10—11 დღე-ღამით. ეს არის საროსის ხანგრძლივობა.

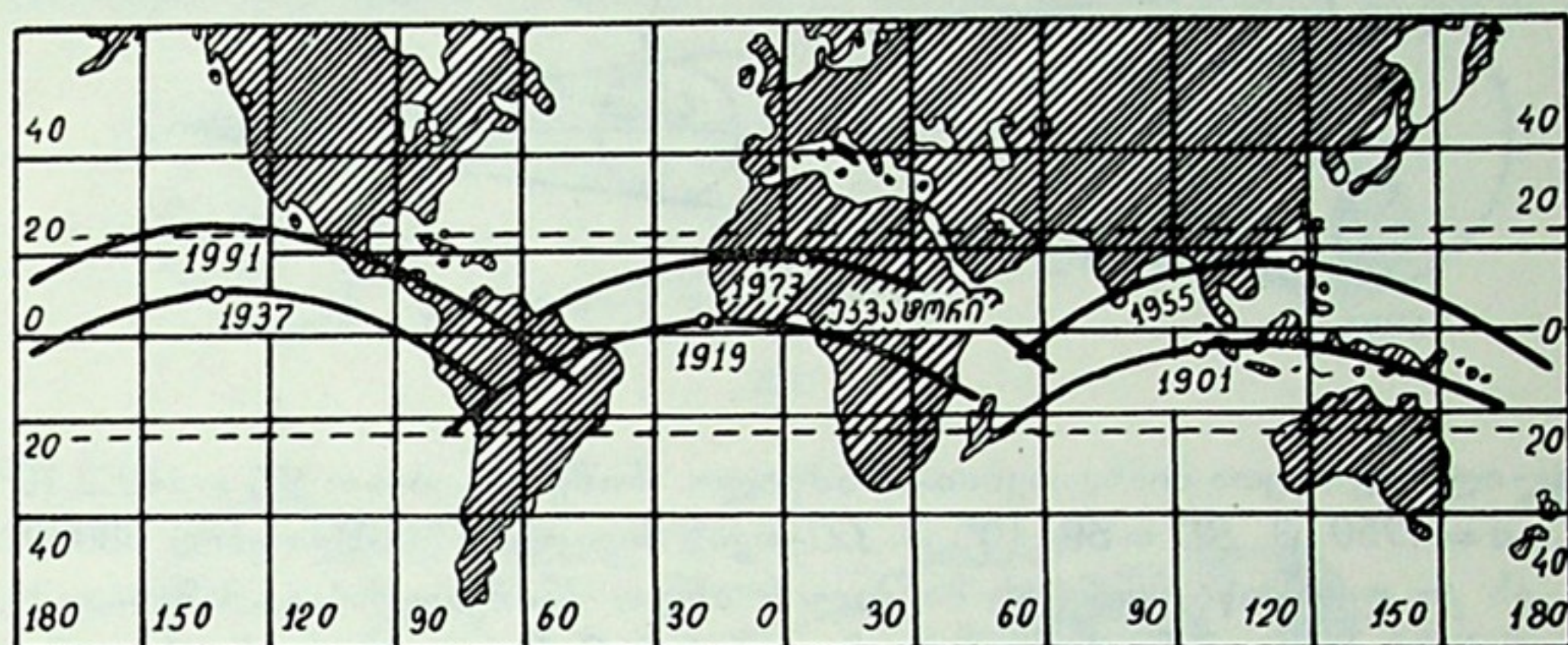
თუ ერთი საროსის პერიოდში ყველა დაბნელებას აღვრიცხავთ და დავნომრავთ, ვნახავთ, რომ შემდგომი საროსის მანძილზე იმავე თანმიმდევრობით განმეორდება დაბნელებები. ამის საფუძველზე წინასწარაც კი ვიტყვით, თუ როდის მოხდება დაბნელება და დაახლოებით—რა ვითარებაში. ამაზე იყო დაყრდნობილი ძველ დროში დაბნელებათა წინასწარმეტყველება, რომელიც დღევანდელი თვალსაზრისით, რა თქმა უნდა, არასრულყოფილი და მხოლოდ მიახლოებითია. საროსის მიხედვით დაბნელების დაწყება-დამთავრების მომენტები, როგორც ვთქვით, ზუსტად როდი დგინდება; არც ის ადგილი ზუსტდება, საიდანაც უნდა გამოჩნდეს ესა თუ ის დაბნელება. ორი საროსის ერთნაირი (ერთი და იმავე ნომრის) დაბნელება აღებული ადგილისათვის სრულიად ერთნაირ პირობებში როდი მიმდინარეობს. ეს იმიტომ ხდება ასე, რომ დაბნელებათა წინასწარგამოთვლის საროსისეული წესი ყველა იმ ფაქტორს არ ითვალისწინებს, რომლებსაც შეუძლია შეცვალოს დაბნელების ვითარება. თუნდაც მარტო ერთი ასეთი ფაქტორი აღვნიშნოთ: საროსი არ მოიცავს დღე-ღამეთა მთელ რიცხვს; ამიტომ მომდევნო საროსის აღებული ნომრის დაბნელება, 18 წლის შემდეგ, დღე-ღამის იმავე მომენტში კი არ მოხდება, არამედ 7 საათითა და 42 წუთით უფრო გვიან (საროსის ხანგრძლივობა ეტოლება 18 წ 11 დღ 7 სთ 42 წთ); 7 სთ 42 წთ-ს შეესაბამება დედამიწის მობრუნება თითქმის 116°-ით, მაშასადამე,

\* თუ პირველი მდებარეობა აღმავალ კვანძში იყო, მთვარე 13.6 დღე-ღამის შემდეგ დაღმავალ კვანძს გადაკვეთს და შემდგომი 13.6 დღე-ღამის გავლისას იმავე აღმავალ კვანძში აღმოჩნდება.



დაბნელება მოხდება მოცემულ პუნქტში კი არა, არამედ მისგან  $116^{\circ}$ -ით დასავლეთით დაშორებულ პუნქტში.

1936 წლის 19 ივნისსა და 1954 წლის 30 ივნისის მზის სრული დაბნელება ორი მეზობელი საროსის „ერთი და იგივე“ დაბნელება იყო. ამ ორ დაბნელებათა შორის, მართლაც, 18 წ. და 11 დღე-ღამეა. ეს ორივე დაბნელება საქართველოს ტერიტორიიდანაც გამოჩნდა, მაგრამ, თუ პირველი მათგანი საქართველოში



ნახ. 234

არც ერთი პუნქტიდან არ მოჩანდა როგორც სრული, მეორე სრულ დაბნელებად მოგვევლინა აღმოსავლეთ საქართველოში.

234-ე ნახაზზე წარმოდგენილია 1901, 1919, ..., 1991 წწ., „ერთი და იმავე“ მზის დაბნელების ზოლები. აქ საქმე გვაქვს 6 მომდევნო საროსის ერთ-ერთ დაბნელებასთან. თუმცა ყველა საროსში დაბნელება თავისი თავის მსგავსია, დაბნელების ზოლები ანუ პუნქტები, საიდანაც დაბნელება ჩანს, დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა ადგილზე მოდის. მკითხველი უნდა მიხვდეს, რატომ ჩამორჩება 1919 და 1937 წწ. დაბნელების ზოლები 1901 წ. დაბნელებას (გრძედების მიხედვით), ხოლო 1955 წ. დაბნელება კვლავ თითქმის იქ ხდება, სადაც 1901 წელს მოხდა?

როგორც ვხედავთ, დაბნელება ხდება, როცა მთვარე კვანძშია ან მის ახლო, ე. ი. იმ მდებარეობაშია, რომელიც დრაკონული თვის დასაწყისს ან დასასრულს განსაზღვრავს. უძველესი დროის ცრუ წარმოდგენით მზის დაბნელებას იწვევდა სასწაულებრივი გველეშაპის ანუ დრაკონის გამოჩენა, რომელიც შთანთქავდა მზეს. აქედან წარმოსდგა ერთი გვარის (მაგალითად, აღმავალ) კვანძზე ორ მომდევნო გავლათა შორის პერიოდის სახელწოდება: დრაკონული თვე.

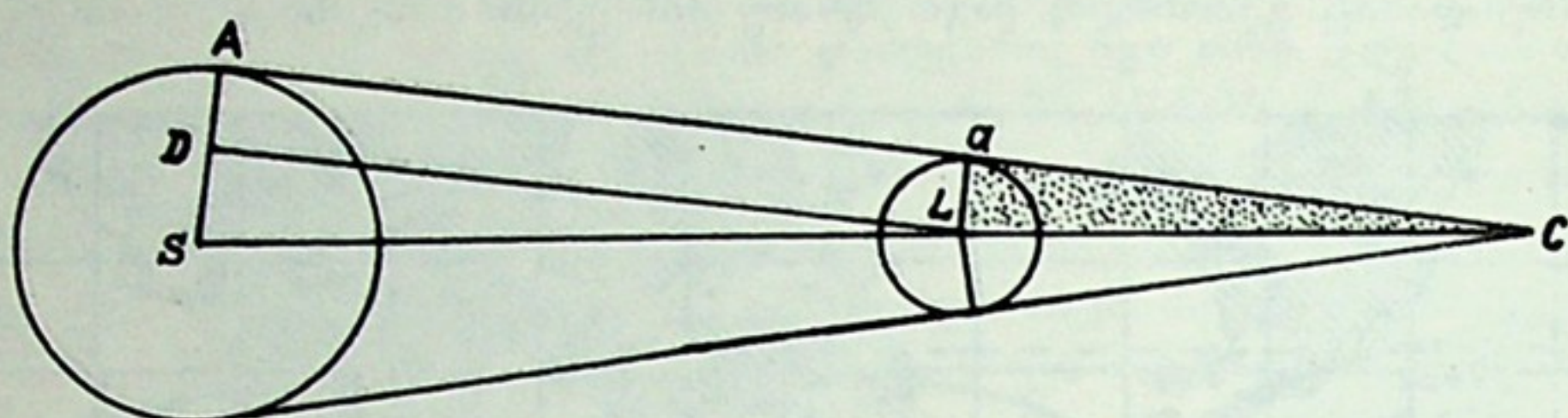
**§ 132. მზის დაბნელების ვითარება.** მზის დაბნელების ვითარებას სხვა ფაქტორებთან ერთად განსაზღვრავს მთვარის ჩ რ დ ი ლ ის ს ი გ რ ძ ე ც და მასზე დამოკიდებული მთვარის ჩრდილის კვეთის დიამეტრი დედამიწის ზედაპირზე.

გამოვითვალთ მთვარის ჩრდილის კონუსის სიგრძე. ამისათვის განვიხილოთ 235-ე ნახაზი, რომელზეც  $S$ ,  $L$  და  $C$ , შესაბამისად, მზისა და მთვარის ცენტრები და ჩრდილის კონუსის წვეროა.

აშკარაა, რომ კონუსის მსახველი ანუ ჩრდილის საზღვარი მთვარისა და მზის მხებია  $a$  და  $A$  წერტილებში. გავავლოთ  $Aa$ -ს პარალელური  $DL$ . მაშინ მიიღება  $SDL$  სამკუთხედი, რომელიც მსგავსი იქნება  $LaC$  სამკუთხედისა. ამი-



ტომ დაიწერება  $LC:SL=La:SD$ .  $SL$  არის მანძილი მზე-მთვარე, როცა მთვარე მოქცეულია მზესა და დედამიწას შორის,  $La$ —მთვარის რადიუსი;  $SD$ —მზისა და მთვარის რადიუსების სხვაობა; ხოლო  $LC$ —საძიებელი სიდიდე: მთვარის ჩრდილის კონუსის სიგრძე. მიახლოებითი ანგარიშისათვის გამოვიყენოთ ჩა-



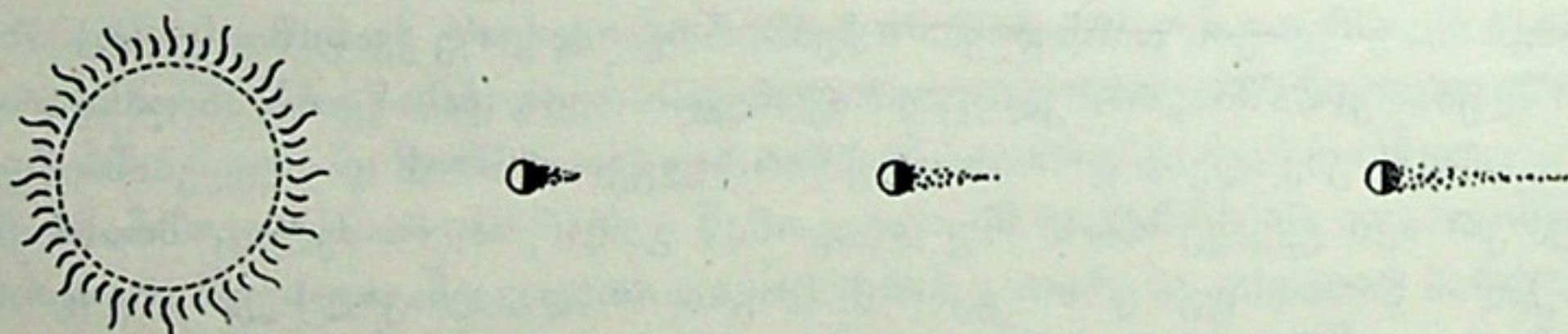
ნახ. 235

მოთვლილ სიდიდეთა მიახლოებითი საშუალო მნიშვნელობანი:  $SL=149.2 \cdot 10^6$  კმ,  $La=1750$  კმ,  $SD=69 \cdot 10^4$  კმ.  $LC$ -თვის მივიღებთ დაახლოებით 380000 კმ-ს. ეს კი დედამიწა-მთვარის მანძილის ახლო მნიშვნელობაა. მაშასადამე, ჩვენს ნახაზზე დედამიწა (ანუ მისი ზედაპირი)  $C$  წერტილთან ახლოა. იმის მიხედვით, თუ რამდენად ახლოა მასთან, განისაზღვრება ჩრდილის წრის განიკვეთიცი (ჯერჯერობით იგულისხმება, რომ მანძილი დედამიწის ზედაპირიდან მთვარემდე ტოლია ან ნაკლები ჩრდილის სიგრძეზე).

ჩრდილის კონუსის სიგრძე იცვლება, რამდენადაც იცვლება დედამიწა-მზისა და დედამიწა-მთვარის მანძილები (დედამიწისა და მთვარის ორბიტების ელიფსურობის გამო).

236-ე ნახ. თვალნათლივ გვიჩვენებს, თუ როგორაა დამოკიდებული მთვარის ჩრდილის სიგრძე მთვარე-მზის მანძილზე.

მთვარის მინიმალური მანძილი დედამიწის ცენტრამდე შეიძლება იყოს 357 ათასი კმ. მაშინ დედამიწის ზედაპირამდე იქნება 351 ათასი კმ. თუ ამავე



ნახ. 236.

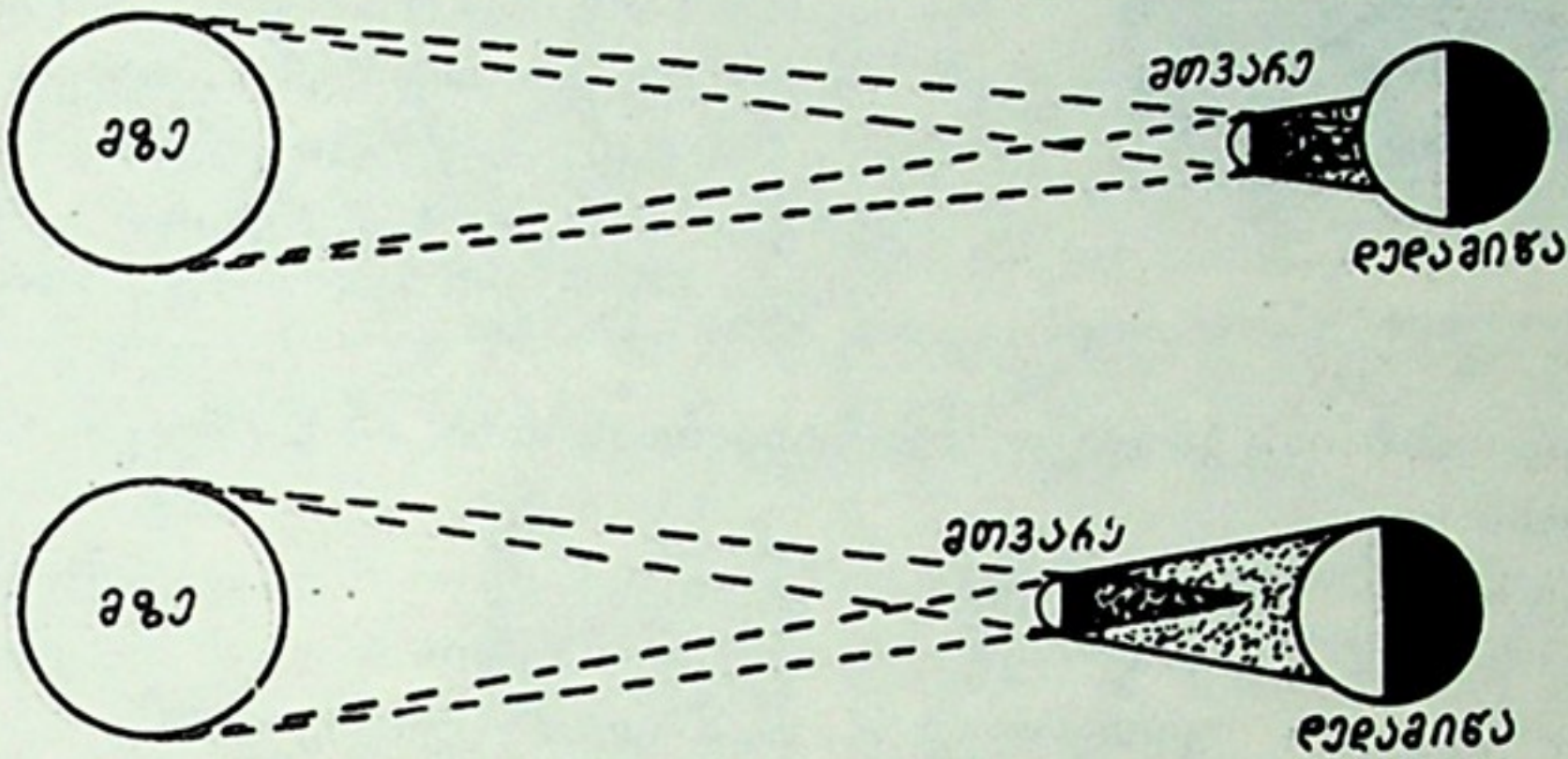
დროს დედამიწა აფელიუმშია (მზესთან უშორეს მანძილზე მის წლიურ, ელიფსურ გზაზე)\*, მაშინ მთვარის ჩრდილი უგრძესია და თითქმის 28 ათასი კმ-ით აღემატება მთვარე-დედამიწის მანძილს. ასეთ შემთხვევაში ჩრდილის კონუსის კვეთა დედამიწის ზედაპირთან საკმარისად დიდი წრეა, დიამეტრით თითქმის 270 კილომეტრი. ეს მაქსიმალურია ასეთი კვეთის შესაძლო სიდიდეებს შორის,

\* ასეთ პირობებში მთვარის კუთხური დიამეტრი მაქსიმალურია და მზისას  $1'19''$ -ით აღემატება.



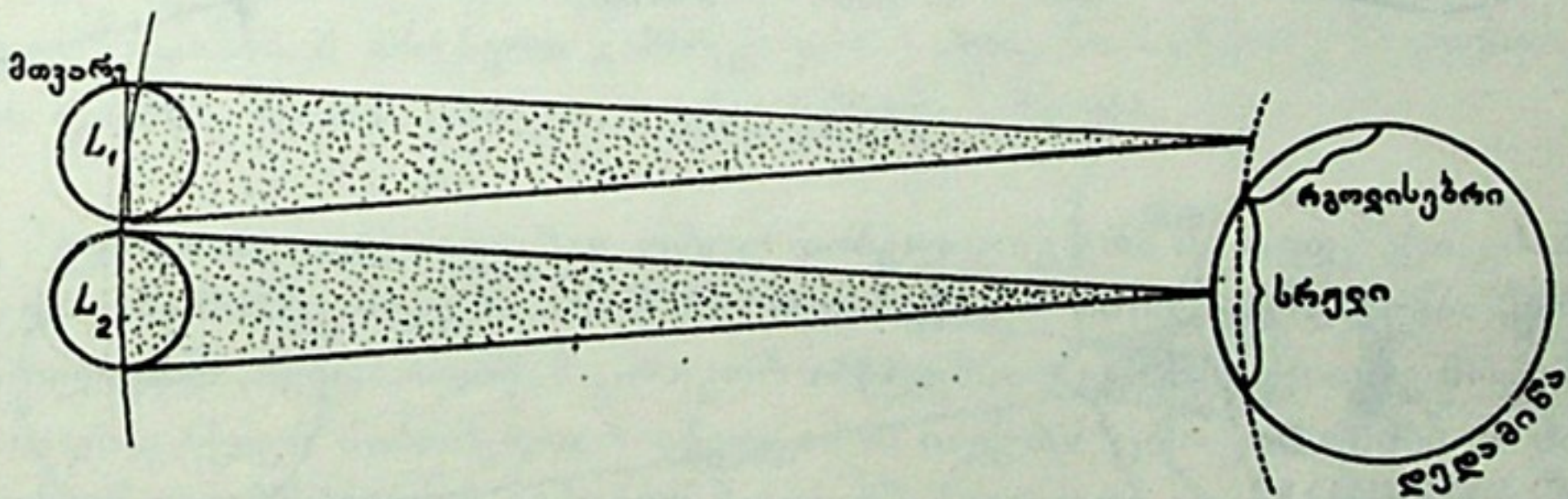
თუმცა, თუ ჩრდილის კონუსი დედამიწის ზედაპირს ერთგვარად აღმაცერად ეცემა (როცა დაბნელებული მზე ადგილის ზენიტიდან შორსაა), ჩრდილის წრე ოვალურ ფორმასღებულობს და სიგრძით ეს ოვალი 270 კილომეტრს აღემატება.

მეორე მხრივ, შესაძლოა ისეთი შემთხვევაც, როცა მთვარის დაშორება დედამიწიდან მაქსიმალურია (406000 კმ ცენტრიდან და 400000 კმ ზედაპირიდან), ხოლო მთვარის ჩრდილის სიგრძე — მინიმალური (367000 კმ). მაშინ ჩრდილის კონუსის წვერო ვერ წვდება დედამიწის ზედაპირს. მაშასადამე, დამკვირვებელი მთვარის ჩრდილის კონუსის გარეთ იქნება მოთავსებული; მთვარეს იგი



ნახ. 237

დაინახავს უფრო მცირე კუთხის ქვეშ, ვიდრე მზეს, ე. ი. მისთვის მზე ღიდ ნაწილში ცენტრის ირგვლივ დაბნელებული იქნება, მაგრამ მზის ბადროს კიდები — დაუბნელებელი. ეს ე. წ. რ გ ო ლ ი ს ე ბ რ ი დაბნელებაა, როცა მზე წარმოგვიდგება როგორც ერთგვარი კაშკაშა ვიწრო რგოლი (იხ. 237-ე ნახ., რომელზეც ერთიმეორის ქვეშ წარმოდგენილია ჩვეულებრივი (ზევით) და რგოლისებრი



ნახ. 238.

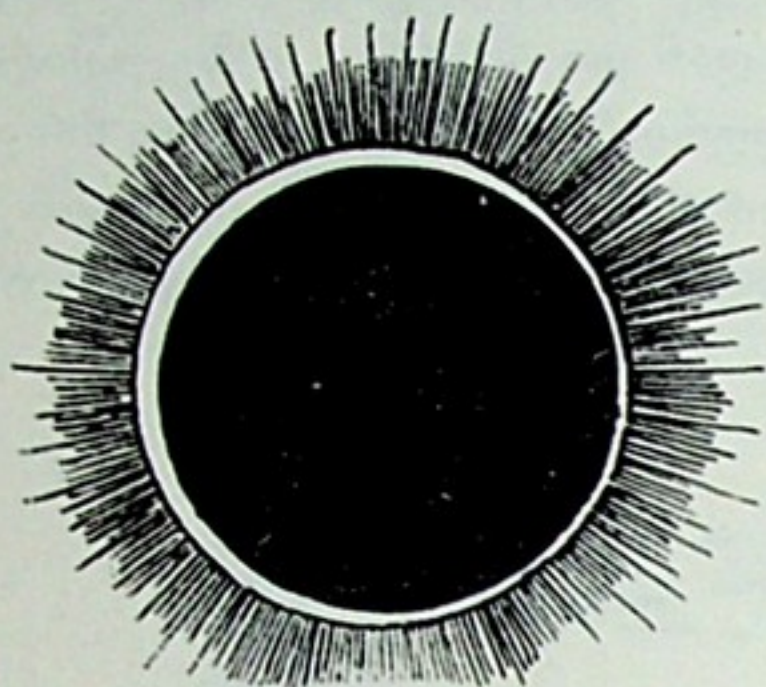
(ქვევით) დაბნელებები). ამ რგოლის სიგანე შეიძლება აღწევდეს  $1'35''$ -ს (გავიხსენოთ, რომ მზის ბადროს დიამეტრი დაახლოებით  $30'$ -ია).

რგოლისებრი დაბნელებები უფრო ხშირია, ვიდრე სრული. თუმცა შეიძლება ისეც მოხდეს, რომ ერთი და იგივე დაბნელება ზოგან სრულ და ზოგანაც რგოლისებრ დაბნელებად წარმოგვიდგეს. ეს ილუსტრირებულია 238-ე ნახაზით; მოცემულია მთვარის ორი მდებარეობა, რომელთაგან პირველი რგოლისებრ, ხოლო მეორე სრულ დაბნელებას შეესაბამება.





239-ე ნახაზზე წარმოდგენილია რგოლისებურად დაბნელებული მზის (აღმოსავლეთი) მომენტში მზისა და მთვარის ბადროების ცენტრები ერთიმეორეს ზუსტად არ ემთხვევა).

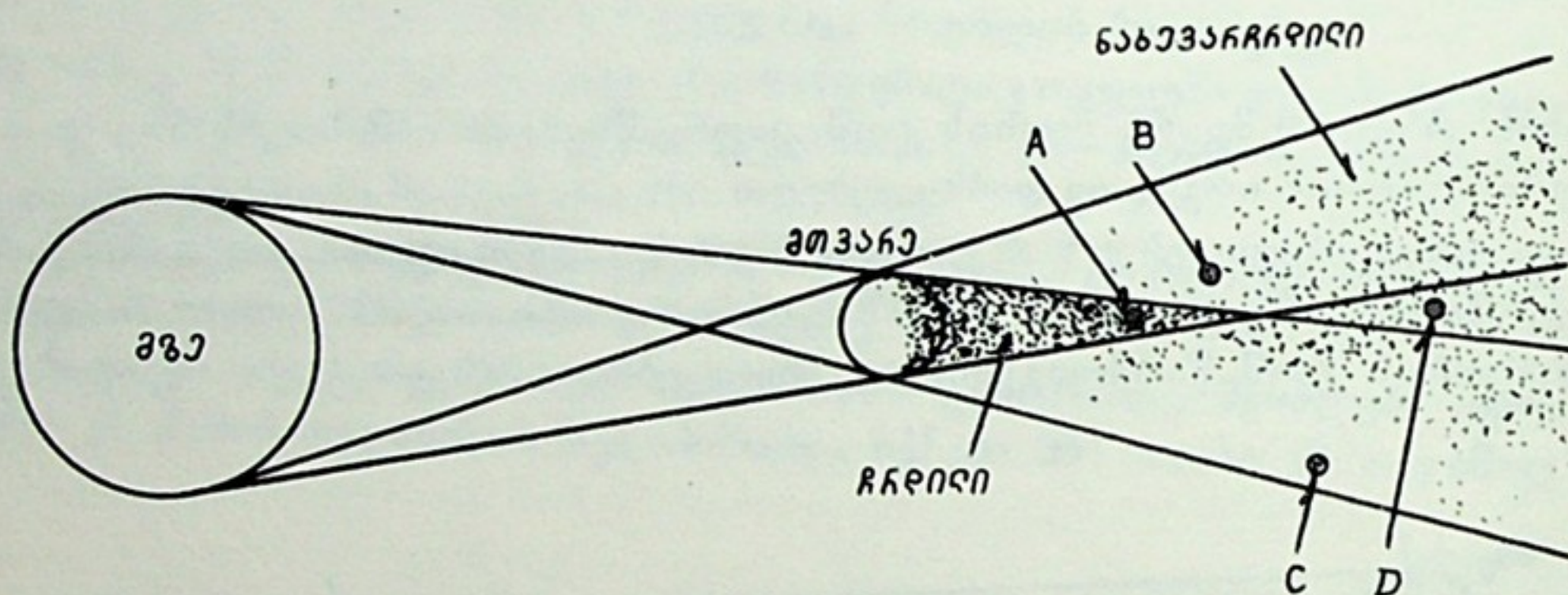


ნახ. 239.

მზის ნაწილობრივი დაბნელება მოკლედ ზემოთ დავახასიათეთ. 240-ე ნახაზზე ვხედავთ, რომ მთვარის ჩრდილის კონუსი გარემოცულია ე. წ. ნახევარჩრდილის არეთი (ნახაზზე—ნაკლებად გამუქებული არე). ამ არეს შიგნით მოქცეული წერტილებიდან მზის ბადრო ნაწილობრივ დაფარული ხანს. ამ არეს უწოდებენ ნახევარჩრდილის არეს. *A* წერტილიდან მზის ბადროს ვერც ერთ ნაწილს, წერტილს ვერ ვხედავთ. ნახევარჩრდილის არის *B* წერტილიდან მის

მცირე ნაწილს მაინც ვხედავთ; *C* წერტილიდან კი ბადროს უფრო მოზრდილი ნაწილი დაინახება.

*D* წერტილში მოთავსებული დამკვირვებლისათვის ეს დაბნელება რგოლისებურად ხანს. 241-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მზის დისკოს სურათი ისე, როგორც მას ხედავენ, შესაბამისად *A*, *B*, *C* და *D* პუნქტებიდან.



ნახ. 240.

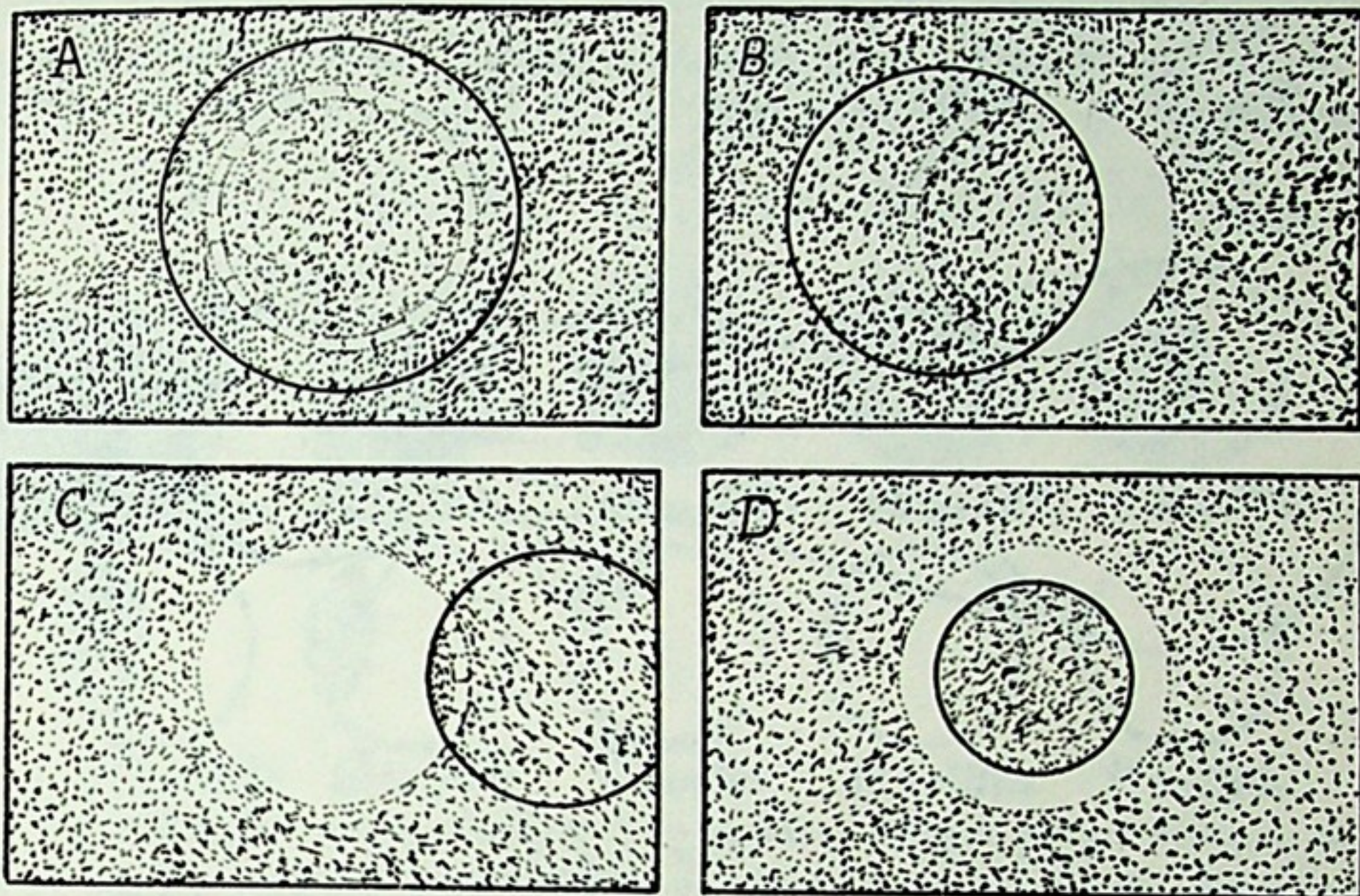
ნახევარჩრდილის არე გაცილებით უფრო ფართოა, ვიდრე ჩრდილის კონუსის წრე. სახელდობრ, მისი სიგანე ჩრდილის წრის ირგვლივ 3200 კმ-ს აღემატება. ამიტომ ერთი და იგივე დაბნელება როგორც ნაწილობრივი, მრავალი ადგილიდან მოხანს, როგორც სრული — ნაკლები რაოდენობის პუნქტებიდან.

რაც უფრო ახლოა ჩრდილის წრესთან მთვარის ნახევარჩრდილში მოქცეული დამკვირვებელი, მზის მით უფრო დიდ ნაწილს ხედავს დაბნელებულად. ნახევარჩრდილის გარე საზღვრის ახლო მეოფი დამკვირვებლისათვის დაბნელება ისე მოხდება, რომ იგი მხოლოდ ხანმოკლედ ნახავს დაბნელებულად მზის ბადროს მცირე ნაწილს.

დედამიწა რომ არ ბრუნავდეს თავისი ღერძის ირგვლივ, მთვარის ჩრდილის კონუსის დედამიწის ზედაპირთან გადაკვეთის ადგილის ანუ, მოკლედ, მთვარის ჩრდილის მსვლელობის სიჩქარე დედამიწის ზედაპირზე განპირობებული იქნებოდა მთვარის დედამიწის გარშემო და დედამიწის მზის ირგვლივ მოქცევის



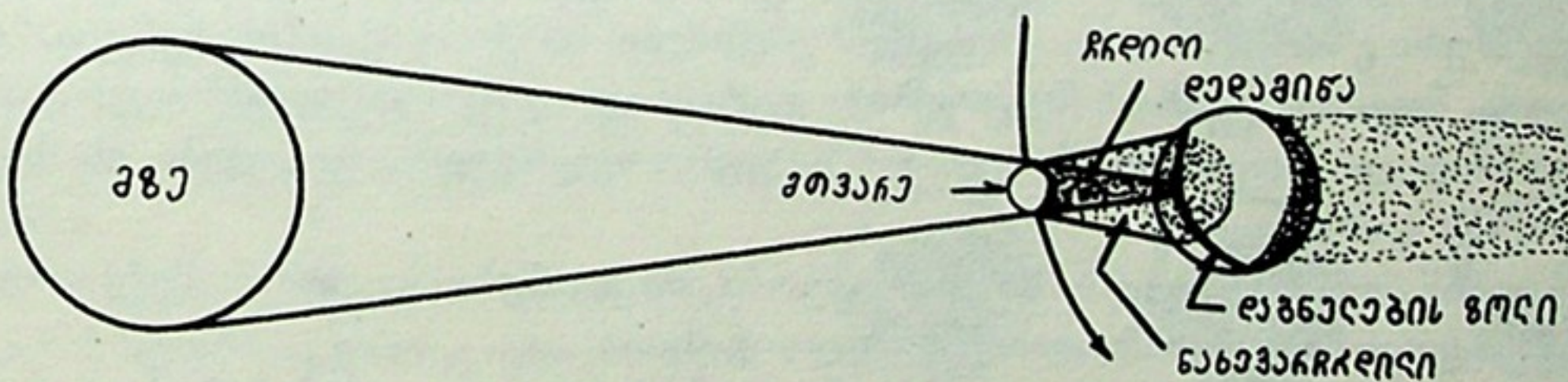
სიჩქარეებით. რაოდენობრივად ის იქნებოდა დაახლოებით 3380 კმ საათში. ამ სიჩქარით გაივლიდა ჩრდილი დედამიწის ზედაპირზე ადამოსავლეთ მიმართულებით. რამდენადაც დედამიწა ბრუნავს და იმავე მიმართულებით, ამიტომ ჩრდილის მსვლელობის სიჩქარე დედამიწის ზედაპირზე შესამჩნევად



ნახ.241.

ნაკლებია. სახელდობრ, ეკვატორის მახლობლად, სადაც დედამიწის ზედაპირის მოძრაობის ხაზოვანი სიჩქარე დაახლოებით 1675 კმ-ია საათში, ჩრდილის მსვლელობის სიჩქარე უნდა იყოს  $3380 - 1675 = 1705$  კმ საათში ანუ ხუთას მეტრამდე წამში.

ეს ანგარიში შეეხება დედამიწის ეკვატორულ ზოლს. მაღალ განედებზე, სადაც დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული ხაზოვანი სიჩქარე ნაკლებია, ჩრდილის გადანაცვლება, ცხადია, უფრო სწრაფად ხდება.



ნახ. 242.

ადვილი მისახვედრია, რომ იმ ადგილას, სადაც მთვარის ჩრდილი ერთობ დახრილად ეცემა დედამიწის ზედაპირს, რაც მაშინ ხდება, როცა ამ ადგილისათვის მზის ამოსვლის ან ჩასვლის ახლო მომენტებია, ჩრდილი ძალიან სწრაფად გადაინაცვლებს.

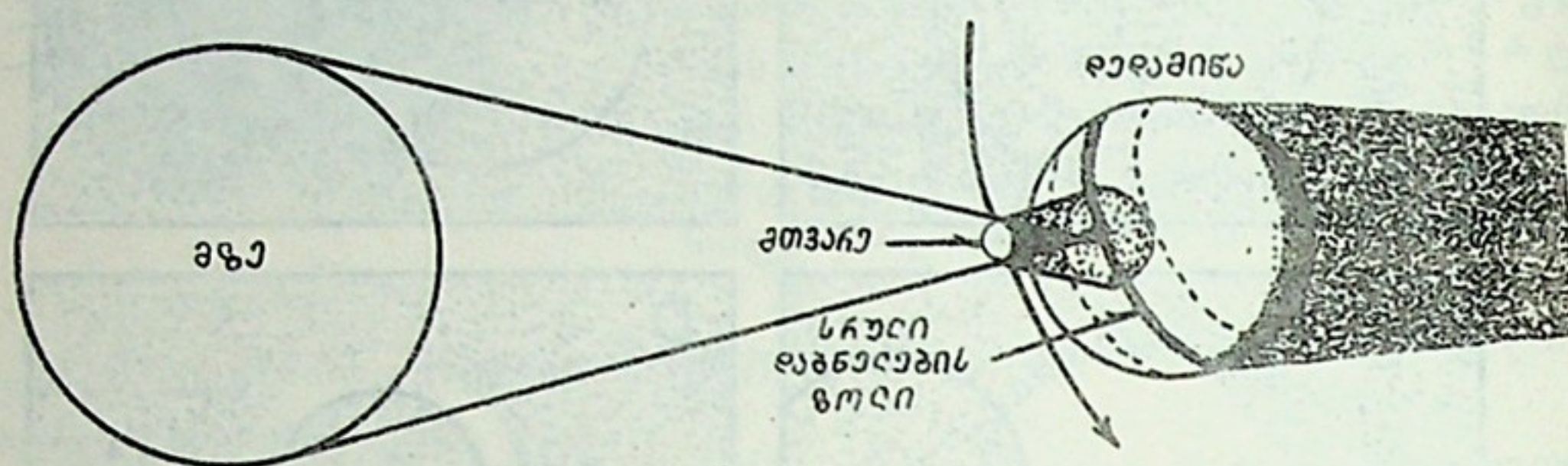
242-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის „ჩრდილის გზა“ დედამიწის ზედაპირზე ანუ სრული დაბნელების ზოლი.



243-ე ნახ. წინა ნახაზის მსგავსია, ოღონდ რგოლისებრ დაბნელებას შეესა-  
ბამება; ამასთანავე მასზე მოცემულია ნახევარწრიული საზღვრებიც.

მზის სრული დაბნელების ხანგრძლივობის მაქსიმალური მნიშვნელობა,  
საამისოდ ყველა ხელსაყრელ პირობაში, შეიძლება იყოს სულ მხოლოდ 7 წუთი  
და 40 წამი, ისიც — ეკვატორის მახლობლად.  $45^\circ$ -ის ტოლ განედზე სრული დაბ-  
ნელების მაქსიმალური ხანგრძლივობა ექვს-ნახევარ წუთს არ აღემატება.

რგოლისებრი დაბნელების წრის განივკვეთი ნაკლებია, ვიდრე სრულისა და  
არ აღემატება 160 კმ-ს. ეს თითქოს უნდა ამცირებდეს დაბნელების ხანგრძლი-



ნახ. 243.

ვობას. მაგრამ რგოლისებრი დაბნელების მაქსიმალური ხანგრძლივობა მაინც  
მეტია, ვიდრე სრულისა, და თითქმის თორმეტ-ნახევარ წუთს აღწევს. რით უნდა  
აიხსნას ეს? ჯერ ერთი მით, რომ მზის ბადროს განათებულ რგოლს გარკვეული  
სიგანე აქვს; მთვარის დისკოს განივი რგოლისებრი დაბნელებისას მზის დისკოს  
დიამეტრზე ნაკლებია; თუმცა მთვარის დისკოს ცენტრი გადაინაცვლებს მზის  
დისკოს ცენტრის მიმართ, მაგრამ პირველის დისკო ხანგრძლივად რჩება მეორის  
ფარგლების შიგნით. ჩვეულებრივი სრული დაბნელების დროს კი ამ ორი სხეუ-  
ლის დისკოები თითქმის თანატოლია და ცენტრებს შორის მცირე დაშორებაც  
საკმარისია იმისათვის, რომ მთვარემ სრულად ვეღარ დაფაროს მზე. ამასთანავე  
გასათვალისწინებელია, რომ რგოლისებრი დაბნელება ხდება მაშინ, როცა მთვა-  
რე მაქსიმალურად დაშორებულია დედამიწას, ე. ი. იგი იმყოფება თავისი თვით-  
რი ელიფსური ორბიტის უშორეს წერტილში — აპოგეუმში. ასეთ წერტილში კი  
ელიფსური გზით მსრბოლავ სხეულს უმცირესი სიჩქარე აქვს (იხ. ქვევით). მაშა-  
სადამე, მთვარე ამ დროს შედარებით უფრო ნელა გადაინაცვლებს სივრცეში და  
მისი ჩრდილიც დედამიწის ზედაპირზე უფრო ნელა გადაადგილდება. ეს ახანგრ-  
ძლივებს დაბნელებას.

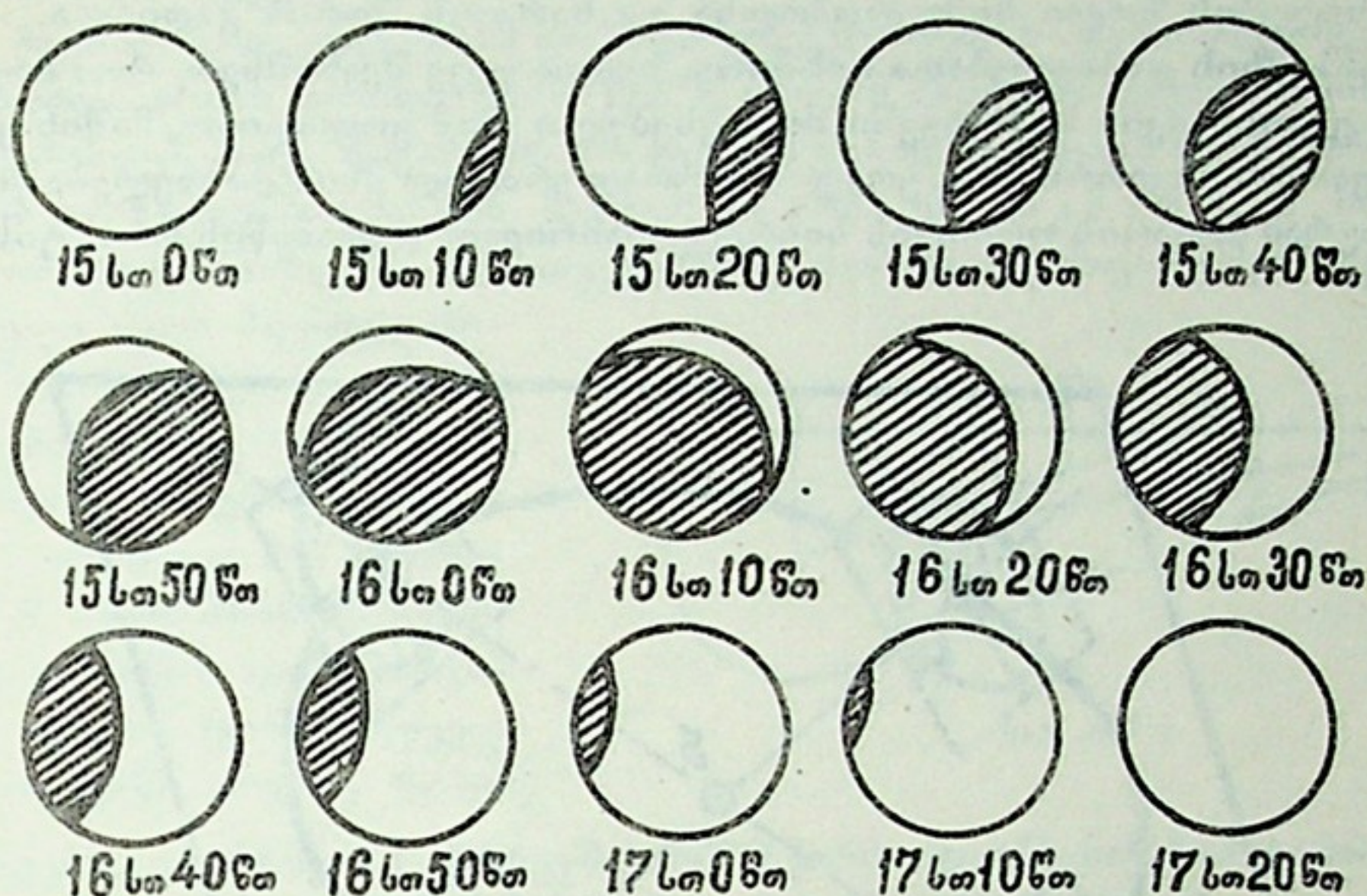
დაბნელების მთელი ხანგრძლივობა შეუდარებლად უფრო მეტია, ვიდრე  
ხანგრძლივობა მისი მხოლოდ სრული ფაზისა.

მზის დაბნელების მსვლელობაში განასხვავებენ ოთხ მომენტს: პირველს,  
როცა მთვარის ბადრო პირველად შეეხება მზის ბადროს. ამ მომენტს და მდგო-  
მარეობას პირველ კონტაქტს უწოდებენ. მეორე კონტაქტი მაშინაა,  
როცა მთვარის აღმოსავლეთი (მარცხენა) კიდე შიგნიდან შეეხება მზის აღმოსავ-  
ლეთ კიდე. თუ დაბნელება რგოლისებრი არაა, ამ დროს სრული დაბნელება  
დგება, მესამე კონტაქტის მომენტში მთავრდება სრული ფაზა. მეოთხე  
კონტაქტით, როცა მთვარის ბადრო სრულიად ცილდება მზისას, დაბნელების მოვ-  
ლენა მთლიანად მთავრდება. დაბნელების სრული ფაზაა მეორე და მესამე კონ-



ტაქტებს შორის. პირველი კონტაქტიდან მეოთხემდე შეიძლება გავიდეს ოთხი საათი და მეტიც. ეს არის დაბნელების სრული ხანგრძლივობა.

როგორც ვნახეთ, ნაწილობრივი დაბნელება შეიძლება სხვადასხვა ზომისა იყოს ანუ, როგორც ამბობენ, სხვადასხვა ფაზისა. რაოდენობრივად ფაზას გან-



ნახ. 244

საზღვრავს მზის დისკოს დ ი ა მ ე ტ რ ი ს ის ნაწილი, რომელიც დაფარულია მთვარის მიერ. ასე მაგალითად, თუ მთვარე ისე გადაუვლის მზის ბადროს, რომ უკანასკნელის დიამეტრის ნახევარს ანუ რადიუსს დაჰფარავს, ნაწილობრივი დაბნელების ფაზა გამოიხატება 0.5-ით ან 50%-ით, თუმცა, როგორც აღვილი წარმოსადგენია, ამ დროს როდია დაბნელებული მზის დისკოს ნახევარი!

თუ მზის დაბნელებისას მთვარის ბადროს ცენტრი მზის ბადროს ცენტრზე გაივლის, ასეთ დაბნელებას ც ე ნ ტ რ ა - ლ უ რ ი დაბნელება ეწოდება. ეს დაბნელება ან სრული უნდა იყოს, ან რგოლისებრი.

244-ე ნახ. გვიჩვენებს, როგორ იცვლება ნაწილობრივ დაბნელებული მზის დისკოს სახე და, მაშასადამე, დაბნელების ფაზის სიდიდეც ერთი და იმავე პუნქტიდან დაკვირვებისას. დაკვირვების პუნქტია ქ. მოსკოვი; დაბნელება მოხდა 1954 წ. 30 ივნისს.



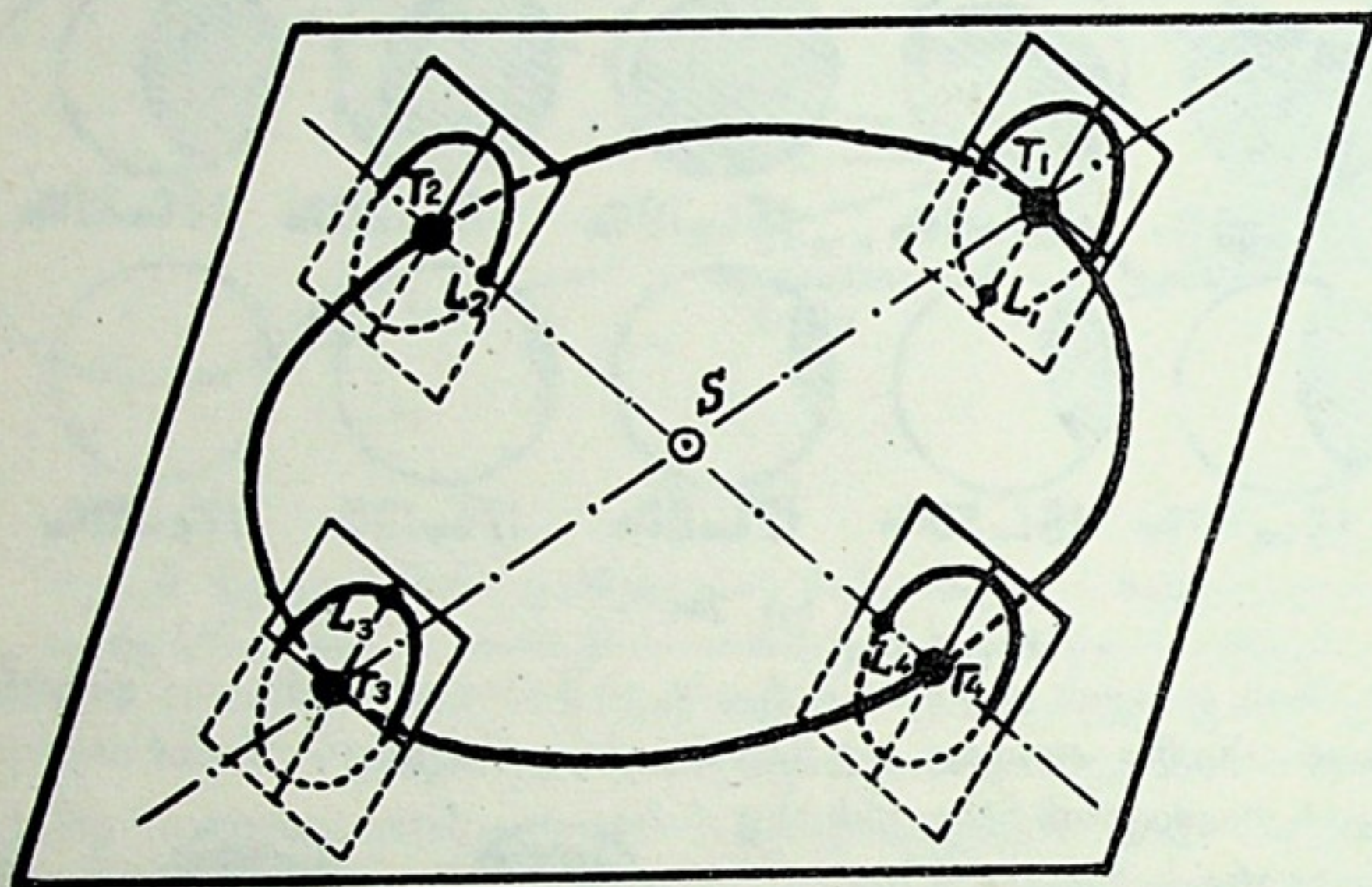
ნახ. 245.

245-ე ნახაზზე მოცემულია იმავე დაბნელებისას მზის დისკოს სურათი, ხილული სხვადასხვა პუნქტიდან, თითოეული პუნქტისათვის უდიდესი ფაზის შე-



საბამის მომენტში. ადვილად დავასკვნით, რომ სვერდლოვსკი და, მეტადრე, ნო-  
ვოსიბირსკი შესამჩნევად დაშორებულია სრული დაბნელების ზოლს; სიმფერო-  
პოლი და ხარკოვი ძალიან ახლოა ამ ზოლთან. იმასაც შეიძლება მივხვდეთ (და-  
უბნელებელი ვიწრო „ნამგლების“ სხვადასხვა მხარეზე განლაგებით), რომ სრუ-  
ლი დაბნელების ზოლი სიმფეროპოლსა და ხარკოვს შორის გადიოდა.

§ 133. **მზის დაბნელებათა სიხშირე.** ზემოთ უკვე შევნიშნეთ, რომ მთვარის  
ორბიტა ეკლიპტიკის სიბრტყეში მოთავსებული რომ ყოფილიყო, მაშინ ყოველ  
ახალმთვარეობის დროს, ე. ი. ყოველთვიურად ერთხელ მზის დაბნელება მოხდე-  
ბოდა. მაგრამ მთვარის ორბიტის სიბრტყე დახრილია დედამიწის ორბიტის სიბ-



ნახ. 246.

ტყისადმი და ამიტომ მზის დაბნელება მხოლოდ მაშინ შეიძლება მოხდეს, როცა  
მთვარე ახალმთვარეობის დროს აღმოჩნდება მთვარისა და დედამიწის ორბიტე-  
ბის სიბრტყეთა გადაკვეთაზე ანუ მთვარის ორბიტის კვანძების ხაზზე.

ახლა ვნახოთ, რამდენად ხშირად იქმნება ასეთი მდგომარეობა. განვიხი-  
ლოთ 246-ე ნახ., რომელზეც  $T_1, T_2, T_3$  და  $T_4$  წარმოადგენენ დედამიწის 4 მდებარე-  
ობას მის წლიურ ორბიტაზე, ე. ი. წელიწადის განმავლობაში.  $L_1, L_2, L_3, L_4$   
მთვარის მდებარეობებია მისსავე ორბიტაზე და შეესაბამებიან ახალმთვარეო-  
ბას. კვანძების ხაზი დედამიწის ერთი მოქცევის განმავლობა-  
ში შეგვიძლია თავისი თავის პარალელურად ჩავთვალოთ. როცა დედამიწა  $T_1$   
წერტილში იმყოფება, კვანძების ხაზი მართობულია დედამიწის ორბიტის რა-  
დიუს-ვექტორისადმი, როგორც ეს ნახაზე ჩანს, და ამიტომ ახალმთვარეობა-  
ში მთვარე არ იმყოფება კვანძების ხაზზე. ამ დროს მთვარე ეკლიპტიკის  
„ქვემოთაა“ ანუ მისი სამხრეთით და დედამიწიდან იგი მოჩანს ეკლიპტიკას  
დაშორებული  $5^{\circ}8'$ -ით (შეადარეთ 232-ე ნახ.).

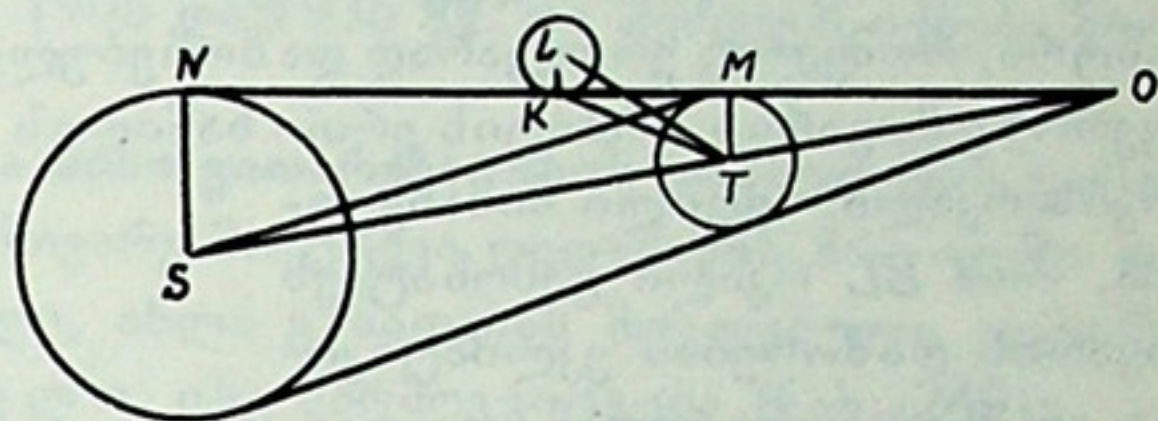
ასევე არ იქნება მთვარე კვანძების ხაზზე დედამიწის  $T_3$  მდებარეობაში  
ყოფნისას. ამ დროს იგი ეკლიპტიკას ჩრდილოეთიდან მოექცევა და მისგან კვლავ  
 $5^{\circ}8'$ -ით იქნება დაშორებული.

სხვა მდგომარეობაა  $T_2$  და  $T_4$  მდებარეობებში, როცა მთვარე კვანძების



ხაზზე ძევს, ე. ი. ეკლიპტიკაშია და მისი ბადროს ცენტრი მზის ბადროს ცენტრზე გაივლის. ამ მომენტებში კვანძების ხაზის მიმართულება დედამიწის ორბიტის რადიუს-ვექტორს თანხვდება. მაშასადამე, დედამიწის  $T_2$  და  $T_4$  მდებარეობებში მზის დაბნელება უნდა მოხდეს.

მაგრამ, რადგანაც მზისა და მთვარის ბადროები საკმარისად დიდი კუთხური ზომისა არიან (დაახლოებით  $1/2^\circ$ ), ამიტომ მზის დაბნელება მაშინაც შეიძლება მოხდეს, როცა მთვარე არ იმყოფება ზუსტად კვანძების ხაზზე, არამედ საკმარის სიახლოვეშია მასთან. მაგრამ, რა არის ეს საკმარისი სიახლოვე? როგორია ის სასაზღვრო სიდიდე კუთხისა, რომლითაც მთვარე შეიძლება დაშორებული იყოს მზე-დედამიწის მიმართულებას, და დაბნელება მაინც მოხდეს? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად გავარჩიოთ 247-ე ნახაზი.  $S$  იყოს მზის ცენტრი,  $T$ —დედამიწის და  $L$ —მთვარის ცენტრი (განსახილველ შემთხვევაში მთვარე როდი



ნახ. 247.

იმყოფება ეკლიპტიკის სიბრტყეში).  $STO$  წარმოადგენს ნახაზის სიბრტყის კვეთას ეკლიპტიკის სიბრტყესთან. მაშასადამე, ეკლიპტიკის სიბრტყე აქ ნახაზის სიბრტყის მართობულად უნდა წარმოვიდგინოთ. სამი სხეულის (მზე, მთვარე, დედამიწა) მდებარეობა შეესაბამება მომენტს, როცა  $M$  წერტილში მყოფი დამკვირვებლისათვის მთვარის ბადროს კიდე შეეხება მზის ბადროს კიდე. მაშასადამე, დედამიწის ზედაპირზე ერთი წერტილი მაინც არის ისეთი, საიდანაც მზის დაბნელების დასაწყისი (ან დასასრული, თუ განვიხილავთ შეუღლებულ შემთხვევას) მოჩანს. ამ დროს დედამიწის ცენტრიდან მთვარე მოჩანს ეკლიპტიკის სიბრტყიდან (მზის ცენტრის მიმართ) ამ აღლებული (დაშორებული)  $STL$  კუთხით. მაგრამ  $STL = STK + KTL$ , ხოლო  $STK$  არის  $KTO$  სამკუთხედის გარე კუთხე და იგი ეტოლება  $(TKO + KOT)$ -ს ანუ  $(TKO + KOS)$ -ს.  $SMO$  სამკუთხედში გვაქვს:

$$MOS = KOS = NMS - MSO.$$

ამიტომ დავწერთ:

$$STL = KTL + TKO + NMS - MSO.$$

მაგრამ  $KTL$  დაახლოებით მთვარის ბადროს ხილული რადიუსია  $R_c$ ;  $TKO$  ანუ  $TKM$  დედამიწის კუთხური რადიუსია, ხილული მთვარიდან, და ამიტომ იგი მთვარის პორიზონტულ პარალაქსად ( $p_c$ ) შეგვიძლია მივიღოთ.  $NMS$  მზის ხილული რადიუსია  $-R_\odot$ .  $MSO$  არის მზის ცენტრიდან ხილული რადიუსი დედამიწისა ანუ მზის პარალაქსი  $-p_\odot$ .

მაშასადამე:

$$STL = R_c + R_\odot + p_c - p_\odot.$$

თუ ჩავსვამთ აქ რიცხვით მნიშვნელობებს, გვექნება:

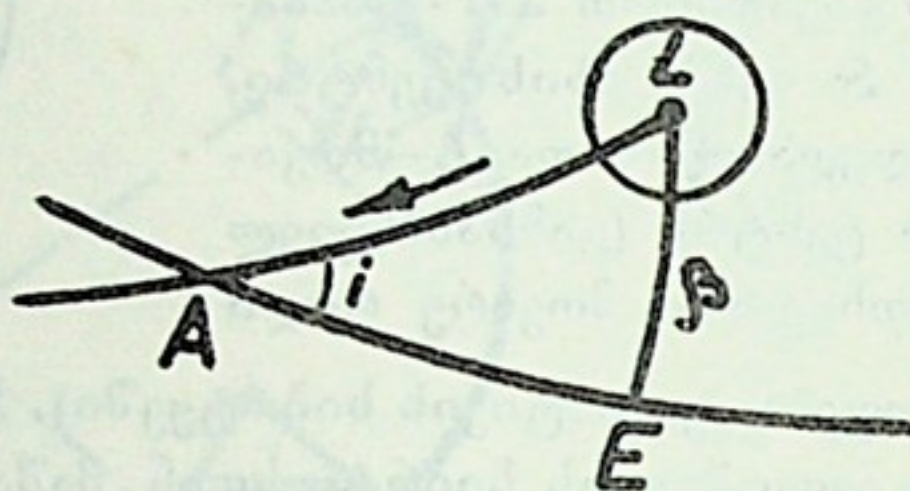
$$STL = 1^\circ 28' 42''.$$



$STL$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ შესაკრებისათვის რა მნიშვნელობებს ავიღებთ — საშუალოს, მაქსიმალურს თუ მინიმალურს. რაკი ჩვენ ექსტრემალურ შემთხვევას განვიხილავთ, შესაკრების მნიშვნელობებიც ექსტრემალური უნდა ავიღოთ:  $R_e$ ,  $R_{\odot}$ ,  $p_e$ -თვის მაქსიმალური, ხოლო  $p_{\odot}$ -თვის — მინიმალური.

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მზის დაბნელება მაშინაც შეიძლება მოხდეს, როცა მთვარის ცენტრი ახალმთვარეობის მომენტში მზის ცენტრს დაშორებულია თითქმის გრადუს-ნახევრითაც კი.

ახლა დავვრჩა გასარკვევი, — რა კუთხურ დაშორებაზე შეიძლება იყოს ასეთ შემთხვევაში მთვარის ცენტრი მისი ორბიტის კვანძიდან? ვთქვათ, რომ 248-ე ნახაზზე  $A$  წარმოადგენს მთვარის ორბიტის ერთ-ერთ კვანძს,  $L$  მთვარის ცენტრს, რომელიც ერთგვარად დაშორებულია კვანძის წერტილს.  $AL$  იყოს ცის სფეროზე მთვარის ორბიტის ერთი ნაწილის (რკალის) პროექცია,  $AE$  — ეკლიპტიკის რკალი. აღვილი მისახვედრია, რომ  $EL$  რკალი გამოხატავს მთვარის დაშორებას ეკლიპტიკიდან ან მზის ცენტრიდან, თუ უკანასკნელი, ვთქვათ,  $E$  წერტილშია.  $EL$ -ს რიცხობრივ ჰქონდეს ის სასაზღვრო მნიშვნელობა, რომელიც ჯერ კიდევ უზრუნველყოფს დაბნელებას და რომლის სიდიდე ზემოთ გამოვიყვანეთ:  $1^{\circ}28'42''$ . აღვნიშ-



ნახ. 248.

ნოთ ეს სიდიდე ანუ  $EL$  რკალი  $\beta$ -თი. მართკუთხა სფერულ სამკუთხედში ასეთი დამოკიდებულება გვაქვს:

$$\operatorname{tg} \beta = \sin A \operatorname{Etg} i,$$

სადაც  $i$  წარმოადგენს მთვარის ორბიტის დახრას ეკლიპტიკისადმი.

აქედან ვიპოვიოთ, რომ  $AE = 16^{\circ}30'$ .

ეს იმას ნიშნავს, რომ მზის დაბნელება მაშინაც შეიძლება მოხდეს, როცა მთვარის ცენტრი, მზისა და მთვარის შეერთებისას, დაშორებულია მისი ორბიტის კვანძიდან  $16\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით, თუ ეს ასეა, მაშინ ის არე ცის სფეროზე, რომელშიც მზის დაბნელება შესაძლებელია,  $33^{\circ}$ -ზე ვრცელდება, რადგანაც დაბნელების შესაძლებლობა ძალაში რჩება როგორც კვანძის ერთი მხრიდან, ვთქვათ, ეკლიპტიკის ჩრდილოეთიდან, ისე მეორე მხრიდანაც — ეკლიპტიკის სამხრეთიდან.  $33^{\circ}$ -ს ეკლიპტიკაზე მზე გაივლის დაახლოებით 33 დღე-ღამეში, რამდენადაც იგი ყოველდღიურად დაახლოებით  $1^{\circ}$ -ით გადაადგილდება. ხოლო 33 დღე-ღამეში შეიძლება მოხდეს არათუ ერთი, არამედ ორი ახალმთვარეობაც. მაშასადამე, დედამიწის მდებარეობაში  $T_2$  (ნახ. 246) დაბნელება უთუოდ მოხდება ერთხელ და შეიძლება მოხდეს ორჯერაც.

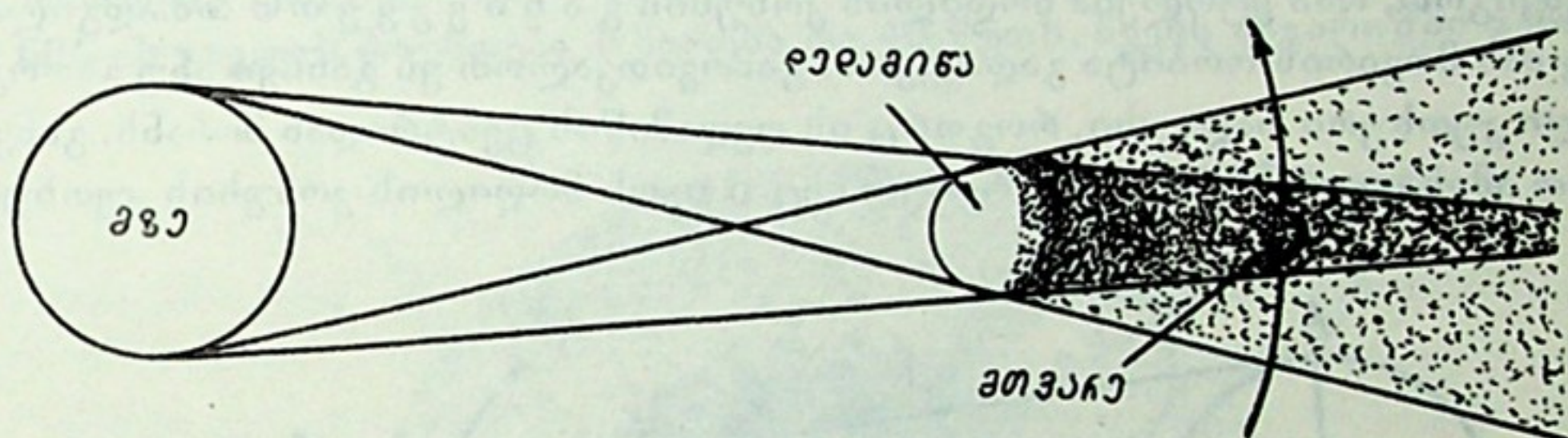
მაგრამ სრულიად მსგავსი სიტუაციაა დედამიწის  $T_1$  მდებარეობაში, რამდენადაც ამ მდგომარეობაშიც კვანძების ხაზი მზეზეა მიმართული. ეს ორი მდებარეობა ერთიმეორეს დაშორებულია დროში ნახევარი წლით. მაშასადამე, დაბნელებათა პერიოდი უნდა განმეორდეს ნახევარი წლის შემდეგ. ამგვარად, წელიწადში შეიძლება მოხდეს 4 მზის დაბნელება.



ყურადღებამისაქცევია, რომ რადგანაც მთვარის ორბიტის კვანძების ხაზი არ რჩება უცვლელი სივრცეში და, როგორც ზემოთაც შევნიშნეთ, განუწყვეტლივ შემოტრიალდება, დაბნელების პერიოდი ყოველწლიურად 20 დღე-ღამით უფრო ადრე დგება, ვიდრე წინა წელს. ამიტომ, თუ პირველი პერიოდი კალენდარული წლის დასაწყისზე მოვიდა, იმავე წელს შეიძლება მესამე პერიოდშიც მოესწროს და მზის დაბნელება ასეთ წელიწადს 5-ჯერაც შეიძლება მოხდეს (მესამე პერიოდში მხოლოდ ერთი დაბნელება მოესწრება, უმთავრესად — ნაწილობრივი).

მაშასადამე, მზის დაბნელებათა რიცხვი წელიწადში მინიმუმ ორია და მაქსიმუმ — ხუთი. ოღონდ, ხუთი დაბნელების შემთხვევა ერთობ იშვიათია. უკანასკნელად ასეთი შემთხვევები იყო 1905 და 1935 წწ. და შემდეგი იქნება მხოლოდ 2206 წ.

§ 134. მთვარის დაბნელება და მისი ვითარება. მზის დაბნელების გარდახდება მთვარის დაბნელებაც. მთვარე მოექცევა დედამიწის ჩრდილში და, მანამდე მზის სხივებით განათებული, ახლა განათებას მოკლებული აღმოჩნდება და როგორც დაბნელებული, ისე წარმოგვიდგება (ნახ. 249).



ნახ. 249.

ამ მოვლენას შეესაბამება მზის, დედამიწისა და მთვარის ისეთი მდებარეობა სივრცეში, როცა დედამიწა მზესა და მთვარეს შორისაა. აქედან ცხადია, რომ მთვარის დაბნელება შეიძლება ხდებოდეს სავსემთვარეობის მომენტში ან მის მახლობლობაში. ყოველი სავსემთვარეობის დროს მთვარის დაბნელება არ მოხდება იმავე მიზეზით, რაც მზის დაბნელების შესახებ აღვწერეთ.

250-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის დაბნელების სქემატური სურათი.  $S$ ,  $T$  და  $L$  მზის, დედამიწისა და მთვარის ცენტრებია, ხოლო  $C$  — დედამიწის ჩრდილის კონუსის წვერო. თუ  $T$ -დან გავავლებთ  $CA$  მსახველის პარალელურ  $TD$  წრფეს, ვნახავთ, რომ  $SD$  მონაკვეთი იქნება მზისა და დედამიწის რადიუსების სხვაობა:  $R-r$ . ამასთანავე მივაქცევთ ყურადღებას  $TaC$  და  $SDT$  სამკუთხედების მსგავსებას და დავწერთ ტოლობას:

$$SD:ST = Ta:TC.$$

გვექნება

$$TC = \frac{r}{R-r} d,$$

სადაც  $d$  მზე-დედამიწის მანძილია.

მაგრამ,  $R=109 r$  და, თუ  $d$ -თვის მის საშუალო მნიშვნელობას ავიღებთ ( $149.6 \cdot 10^6$  კმ) და  $r$ -თვის —  $6.4 \cdot 10^3$  კმ-ს, ვნახავთ, რომ  $TC$  ანუ დედამიწის ჩრდილის კონუსის სიგრძე  $1.4 \cdot 10^6$  კმ-ს ეტოლება. ეს ჩრდილის კონუსის სიგრ-







$$R_{\odot} = \varepsilon + \rho_{\odot}.$$

ამგვარად,

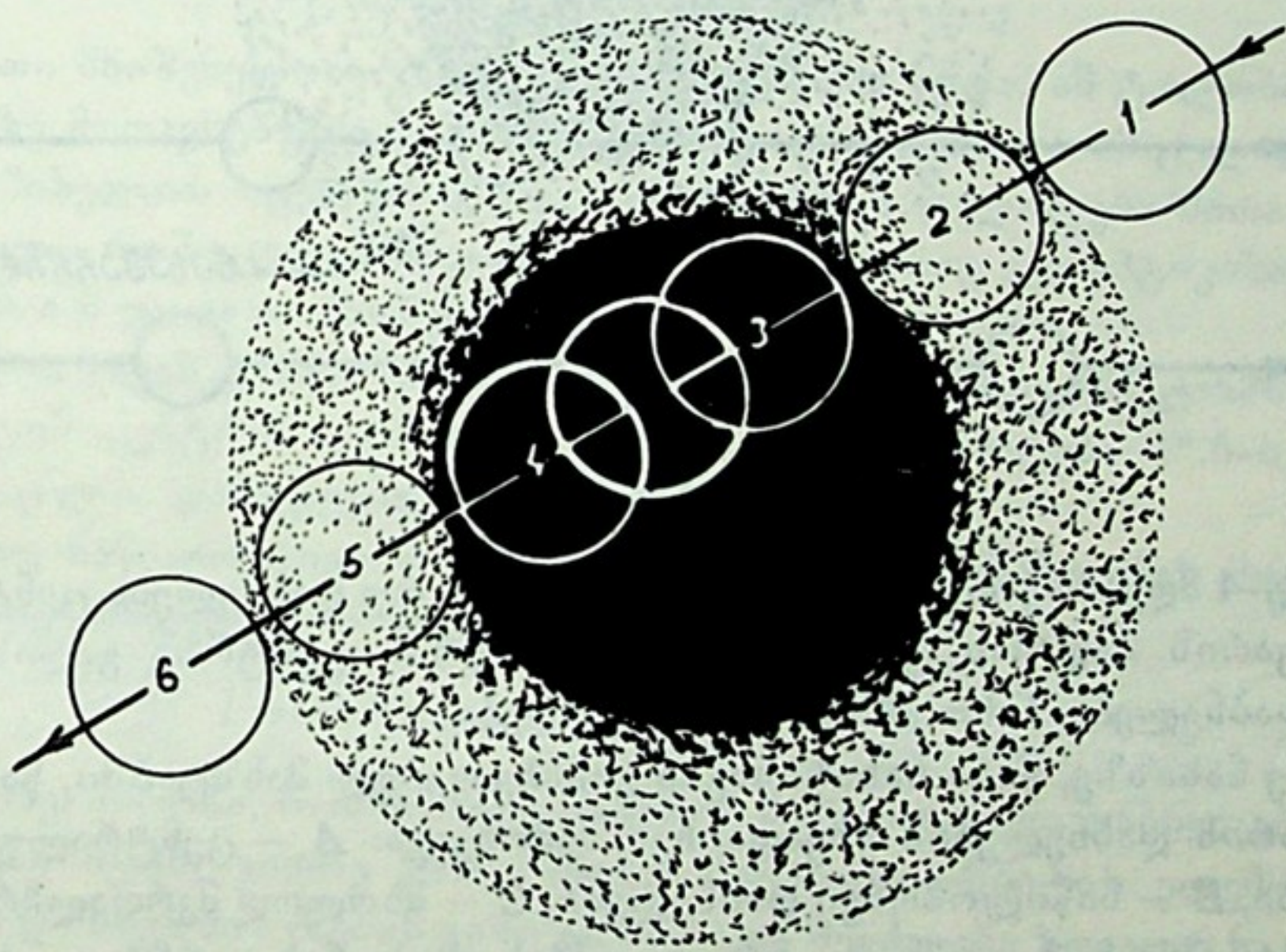
$$\sigma = \rho_c - \varepsilon = \rho_c + \rho_{\odot} - R_{\odot}.$$

თუ მივმართავთ ამ ტოლობის მარჯვენა მხარეში შემავალი სიდიდეების რიცხვით მნიშვნელობებს, გვექნება, დაახლოებით:

$$\sigma = 57' + 9'' - 16' \approx 41'.$$

მაშასადამე, დედამიწის ჩრდილის სიგანე მთვარის მანძილზე არის  $L'L'' = 82' = 1^{\circ}22'$ , ე. ი. თითქმის სამჯერ მეტი, ვიდრე თვით მთვარის ბადროს განივკვეთი, რაც იმას ნიშნავს, რომ მთვარის დაბნელების სრული ფაზა შეიძლება გაცილებით უფრო ხანგრძლივი იყოს, ვიდრე მზის სრული დაბნელების ხანგრძლივობა.

მართლაც, მთვარის სინოდური პერიოდი არის 29.53 დღე-ღამე, მისი შესაბამისი საშუალო კუთხური გადანაცვლება დღე-ღამეში— $360^{\circ}:29.53$  ანუ  $30'.3$  ერთ საათში. თუ ჩრდილის განივი  $1^{\circ}22'$ -ია და ბადროს ხილული განივი— $32'$ , მთვარე დაბნელების სრულ ფაზაში იქნება, სანამ იგი გაირბენს ჩრდილში რკალს, რომელიც ტოლია  $1^{\circ}22' - 32' = 50'$ . მაგრამ თუ ერთ საათში იგი  $30'.3$ -ს გადის,  $50'$ -ის გავლას მოუწდება 1 საათსა და 40 წუთს. ჩვენს ანგარიშში გათ-



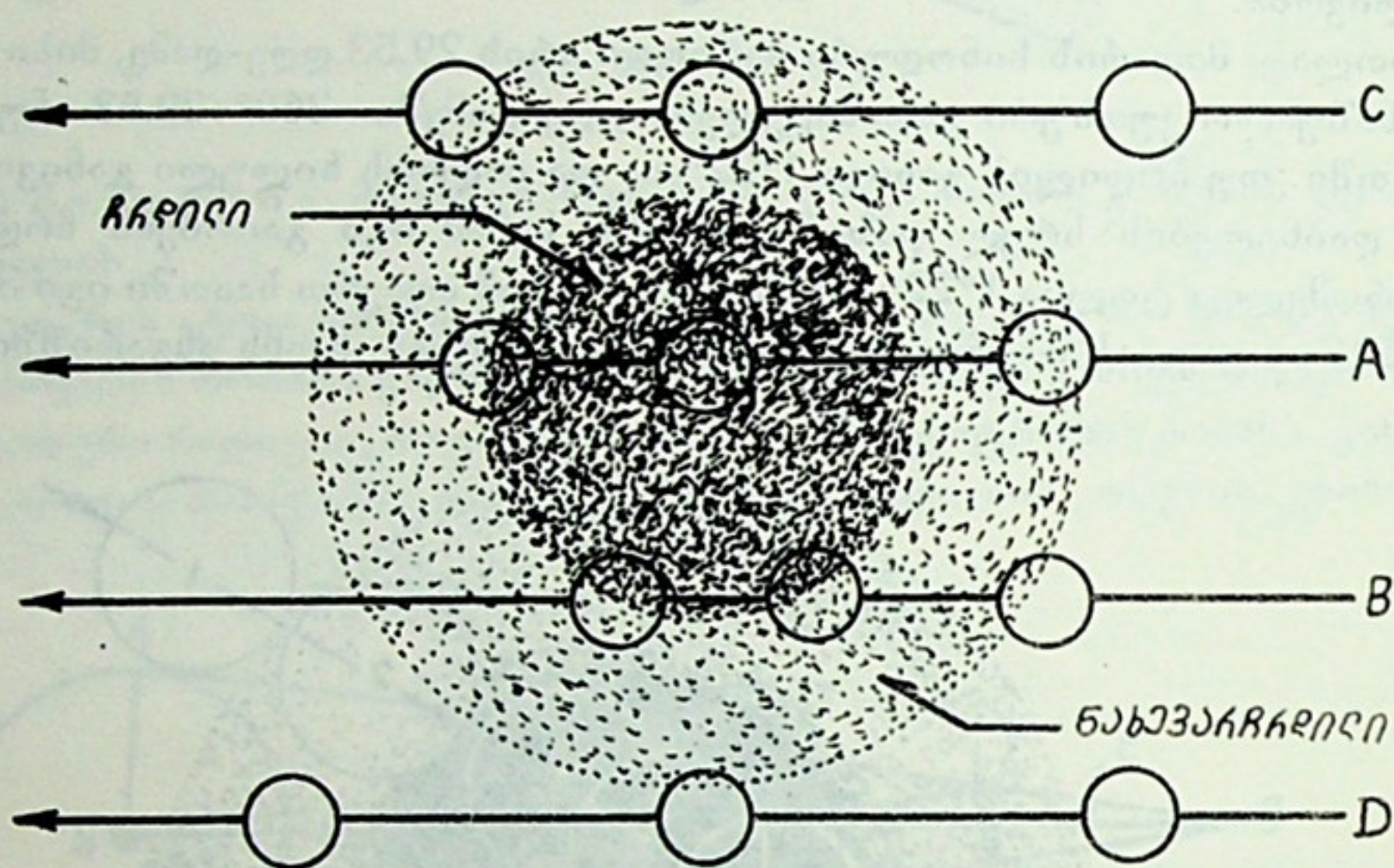
ნახ. 252.

ვალისწინებულია დედამიწის ჩრდილის მოძრაობაც სივრცეში (დედამიწის ორბიტული მოძრაობით გამოწვეული), რამდენადაც მთვარის სინოდური გადანაცვლებიდან ამოვდიოდით.

დედამიწის ჩრდილის კონუსსაც ახლავს თავისი ნახევარჩრდილი, როგორც ეს 249-ე და 250-ე ნახაზებზეც ჩანს. ამიტომ მთვარის დაბნელება, გარდა იმისა, რომ შეიძლება იყოს სრული და ნაწილობრივი იმის მიხედვით, თუ რა მანძილზე გაივლის მთვარე ჩრდილის კონუსის ღერძს, შეიძლება აგრეთვე იყოს მკრთალ ჩრდილოვანი, ე. ი. იმდენად შორს გაუაროს მთვარემ კონუ-



სის ღერძს, რომ სრულებითაც არ შეეხოს თვით ჩრდილს. 252-ე ნახაზზე გამო-  
ხატულია დედამიწის ჩრდილისა და ნახევარჩრდილის წარმოსახვითი პროექცია  
ცის სფეროზე. ნაჩვენებია, როგორ მიმდინარეობს მთვარის სრული დაბნელება.  
1-ელ მდებარეობაში მთვარის დისკო შეეხო ნახევარჩრდილს; მე-2 მდებარეობა  
შეესაბამება კონტაქტს ჩრდილთან; მე-3—მეორე კონტაქტს, ჩრდილის კონუსის  
შიდა ზედაპირთან; ამ მომენტში იწყება დაბნელების სრული ფაზა; მე-4 — მესამე  
კონტაქტს; ამ მომენტში სრული დაბნელების ფაზა მთავრდება; მე-5 — მეოთხე  
კონტაქტს (სრული დაბნელება დამთავრდა, ოღონდ გრძელდება ნახევარჩრდი-  
ლოვანი დაბნელება მე-6 მდებარეობამდე). მთვარეს რომ ჩრდილის კონუსის  
ღერძზე გაევიღო, დაბნელება უფრო ხანგრძლივი იქნებოდა. მე-2 და მე-5 მდებარე-  
ობებს შორის ამ კონკრეტულ შემთხვევაში თითქმის  $3\frac{1}{2}$  საათმა განვლო;



ნახ. 253.

მე-3 და მე-4 მდებარეობებს შორის — 80 წუთმა. თუ დაბნელება ცენტრალურია, ე. ი. მთვარის ბადროს ცენტრი ჩრდილის წრის ცენტრზე გადის, მთვარის სრული დაბნელება 1 სთ 40 წთ-ს გრძელდება.

253-ე ნახაზზე, წინა ნახაზისაგან განსხვავებულ მასშტაბში, წარმოდგენი-  
ლია მთვარის დაბნელების სხვადასხვა შემთხვევა: *A* — ცენტრალური სრული  
დაბნელება, *B* — ნაწილობრივი დაბნელება, *C* — მხოლოდ მკრთალჩრდილოვანი  
დაბნელება. *D* შემთხვევაში მთვარე თითქმის ეხება ნახევარჩრდილს. მკრთალ-  
ჩრდილოვანი დაბნელება (მეტადრე—ნაწილობრივი) მოსახლეობისათვის შეუმ-  
ჩნეველი რჩება.

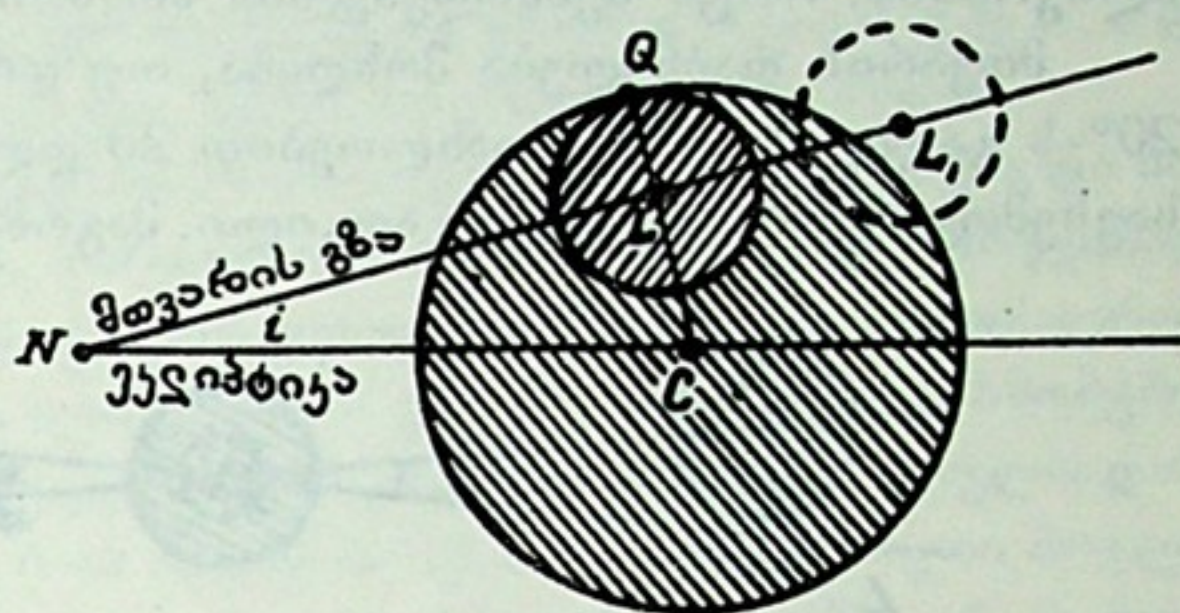
§ 135. რა პირობებში ხდება მთვარის დაბნელება. განვიხილოთ 254-ე ნახ.  
აქ, იმავე პროექციაში, როგორც 252-ე ნახაზზე, წარმოდგენილია დედამიწის  
ჩრდილი, *N* კვანძის წერტილის ახლო. დაგეგმილებულია აგრეთვე ეკლიპტიკისა  
და მთვარის ორბიტის მონაკვეთები. ადვილი მისახვედრია, რომ *C* წერტილში  
ნახაზის სიბრტყისადმი აღმართული მართობი შეესაბამება 250-ე ნახაზზე *TC*  
ღერძს. *C* წერტილის კოორდინატებს ცაზე წერმოადგენენ მზის მოპირდაპირე  
წერტილის კოორდინატები. ამგვარად, ადვილად დადგინდება ყოველი მომენტი-  
სათვის *C* წერტილის კოორდინატები. მაგრამ ეს წერტილი ყოველთვის ეკლიპ-



ტიკის ხაზზე; მთვარე კი—თავის გზაზე. იმისათვის, რომ სრული დაბნელება მოხდეს, მხოლოდ განსაზღვრულ ფარგლებში უნდა იყვნენ  $N$ -ს დაშორებულნი მთვარისა და ჩრდილის ცენტრები,  $CQ$  წარმოადგენს ჩრდილის კვეთის კუთხურ რადიუსს, რომელიც ზემოთ  $\sigma$ -თი აღვნიშნეთ. ამიტომ კუთხური მანძილი  $CL = \sigma - r_c$  ( $r_c$  მთვარის კუთხური რადიუსია). ზემოთ მიღებულის მიხედვით გვექნება:

$$CL = p_{\odot} + p_c - R_{\odot} - r_c.$$

ვთქვათ,  $C$  წარმოადგენს ჩრდილის ცენტრის მდებარეობას იმ დროს, როცა მთვარე  $N$  კვანძშია.  $NC$  აღვნიშნოთ  $l$  ასოთი. ჩრდილისა და მთვარის ზომებისა და მათი სივრცეში გადაადგილე-



ნახ. 254.

ბის სიჩქარეთა გათვალისწინებით შესაძლოა იმის გამოთვლა და დადგენა, რომ იმ ექსტრემალურ სიტუაციაში, როცა ჯერ კიდევ მაინც შეიძლება მოხდეს მთვარის სრული დაბნელება,  $l = 10.3CL$  ანუ

$$l = 10.3(p_{\odot} + p_c - R_{\odot} - r_c).$$

$l$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობა გამოდის  $4^{\circ}.6$ . რა თქმა უნდა, ამ ტოლობის მარჯვენა მხარეზე მოთავსებული სიდიდეები ყველა იცვლება და ამ ცვლილებათა ფარგლების მიხედვით იცვლება  $l$ -იც.  $l$ -ის სიდიდის ცვლილება მითაც არის განპირობებული, რომ იცვლება მთვარის ორბიტის დახრაც ეკლიპტიკისადმი ( $i$ ). მაგრამ  $4^{\circ}.6$  ს ა შ უ ა ლ ო მნიშვნელობაა.

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ, თუ იმ მომენტში, როცა მთვარე კვანძს გადაკვეთს, ჩრდილის ცენტრის დაშორება კვანძიდან არ აღემატება  $4^{\circ}.6$ -ს, მაშინ მთვარის სრული დაბნელება მოხდება.

ახლა, თუ ნაწილობრივი დაბნელების პირობის განსაზღვრას მოვიხდომებით, იმგვარივე მსჯელობით მივიღებთ:

$$l = 10.3(p_{\odot} + p_c - R_{\odot} + r_c) = 9^{\circ}.9.$$

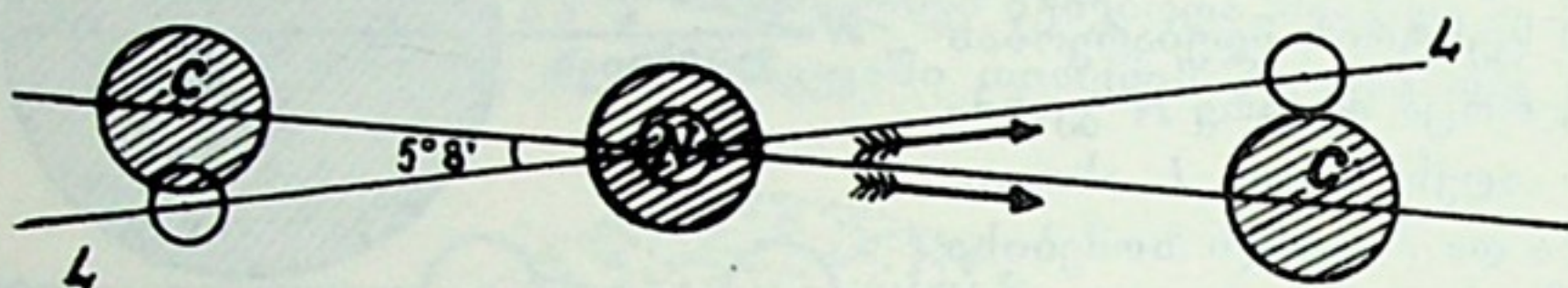
მაშასადამე, პირობა, რომ მოხდეს მთვარის ნაწილობრივი დაბნელება, ისაა რომ  $l$  ნაკლები იყოს, ვიდრე  $9^{\circ}.9$ . ოღონდ მთვარის ორბიტის ელემენტების ცვლილებათა და სხვა მიზეზების გამო ეს სიდიდე შეიძლება ზოგჯერ ნაკლებიც იყოს და ზოგჯერ  $12^{\circ}$ -საც აღწევდეს. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ეს საზღვარი კვანძის წერტილის ორივე მხარეზე—აღმოსავლეთით და დასავლეთით—სიმეტრიულად უნდა ვიგულოთ. ეს ორჯერ აფართოებს დაბნელების მოხდენის საზღვრებს.

განვიხილოთ ახლა 255-ე ნახ., როცა დედამიწის ჩრდილი თავისი ცენტრით  $N$  კვანძშია და მთვარეც აქაა ამ დროს, მაშინ მთვარის ცენტრალური, სრული დაბნელება გვაქვს. როცა მთვარე ჩრდილს  $C$  წერტილში „ეწევა“, მაშინ დაბნელება აღარ ხდება. თუკი მთვარე ჩრდილს სადმე  $N$  და  $C$  წერტილებს შორის დაეწევა, მაშინ დაბნელება უთუოდ მოხდება. ამიტომ  $NC$ -ს მთვარის დაბნელების ეკლიპტიკურ საზღვარს უწოდებენ. ეს იგივე  $l$ -ია, რაც ზევით გვექონდა.



ჩრდილის ცენტრი გადაადგილდება ისეთი სიჩქარით, რომ ეკლიპტიკური საზღვრის ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობის გავლას თითქმის 10 დღეს უნდება, ხოლო, თუ ვიგულისხმებთ მის გზას კვანძამდე და კვანძის შემდეგ, — 20 დღეს. ამიტომ წელიწადში ორი პერიოდია, თითოეული დაახლოებით 20 დღის ხანგრძლივობისა, როცა შესაძლებელია მთვარის დაბნელება.

მთვარის დაბნელება მოხდება, თუ დროის იმ შუალედში, რომელშიც მზე  $20^{\circ}$ -ს გაივლის, ე. ი. დაახლოებით 20 დღე-ღამეში, სხვა პირობებთან ერთად, სავსემთვარეობასაც ექნება ადგილი. მაგრამ, რამდენადაც სავსემთვარეობის მო-



ნახ. 255.

მენტებს შორის  $29\frac{1}{2}$  დღე-ღამეა, იმ 20 დღე-ღამეზე შეიძლება არც მოვიდეს სავსემთვარეობა. ამიტომ წელიწადმა შეიძლება ისე ჩაიაროს, რომ მთვარის დაბნელებას ერთხელაც არ ჰქონდეს ადგილი.

საერთოდ, დაბნელებათა მინიმალური რიცხვი ერთ წელიწადში ორია და ეს ორივე მზის დაბნელებათა, მაქსიმალური რიცხვი კი — შვიდი და ისინი ასე ნაწილდებიან: ხუთი მზისა და ორი მთვარის დაბნელება, ან: ოთხი მზისა და სამი მთვარის დაბნელება ერთ წელიწადში. უფრო ხშირად კი ხდება ორი მზისა და ორი მთვარის დაბნელება.

**§ 136. მზისა და მთვარის დაბნელებათა ზოგადი დახასიათება. მათი წინასწარგამოთვლა.** მზისა და მთვარის დაბნელება განპირობებულია სამი სხეულის ურთიერთგანლაგებით, რომელთა შორის მხოლოდ ერთია მნათი სხეული, დანარჩენები კი სინათლეს პირველისაგან ღებულობენ. მზის დაბნელება მაშინ ხდება, როცა დედამიწის ზედაპირზე მთვარის ჩრდილი ეცემა, მთვარის დაბნელება კი მაშინ, როცა მთვარე დედამიწის ჩრდილში მოექცევა. თითქოს ორივე მოვლენა ერთნაირია, მაგრამ მაინც არის მათ შორის არსებითი განსხვავება.

სახელდობრ, მზის დაბნელება პერსპექტიული მოვლენაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ მზე სინამდვილეში კი არ „ბნელდება“, არამედ მხოლოდ მოჩანს დაბნელებულად და ისიც — ყველა წერტილიდან კი არა, დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ ზოგი ადგილიდან, სახელდობრ იმ ადგილებიდან, რომელთაც მთვარის ჩრდილი ეცემა. მთვარის ჩრდილი კი გაცილებით უფრო მცირეა თავისი ფართობით, ვიდრე დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირი. როცა რომელიმე მომენტში მზის დაბნელება ხდება, ეს მოვლენა ხილულია ვიწროდ შემოსაზღვრული არიდან. დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირის უმეტესი ნაწილიდან იგი უხილავია, მზე ამ უმეტესი ნაწილისათვის დაუბნელებელია; და თუ მაინც შედარებით მრავალია ის პუნქტი, საიდანაც მზის დაბნელება მომდევნო მომენტებში ჩანს, ეს იმიტომ, რომ მთვარის ჩრდილი გადაინაცვლებს დედამიწის ზედაპირზე — სივრცეში მთვარის მოძრაობისა და დედამიწის ღერძის ბრუნვის გამო.

მთვარის დაბნელება ფიზიკური მოვლენაა. ეს იმას ნიშნავს, რომ მთვარე ნამდვილად ბნელდება; თუ მოექცა დედამიწის ჩრდილში, იგი, როგორც არათვითმნათი სხეული, კარგავს სინათლეს, რომელსაც მზისგან ღებულობდა,

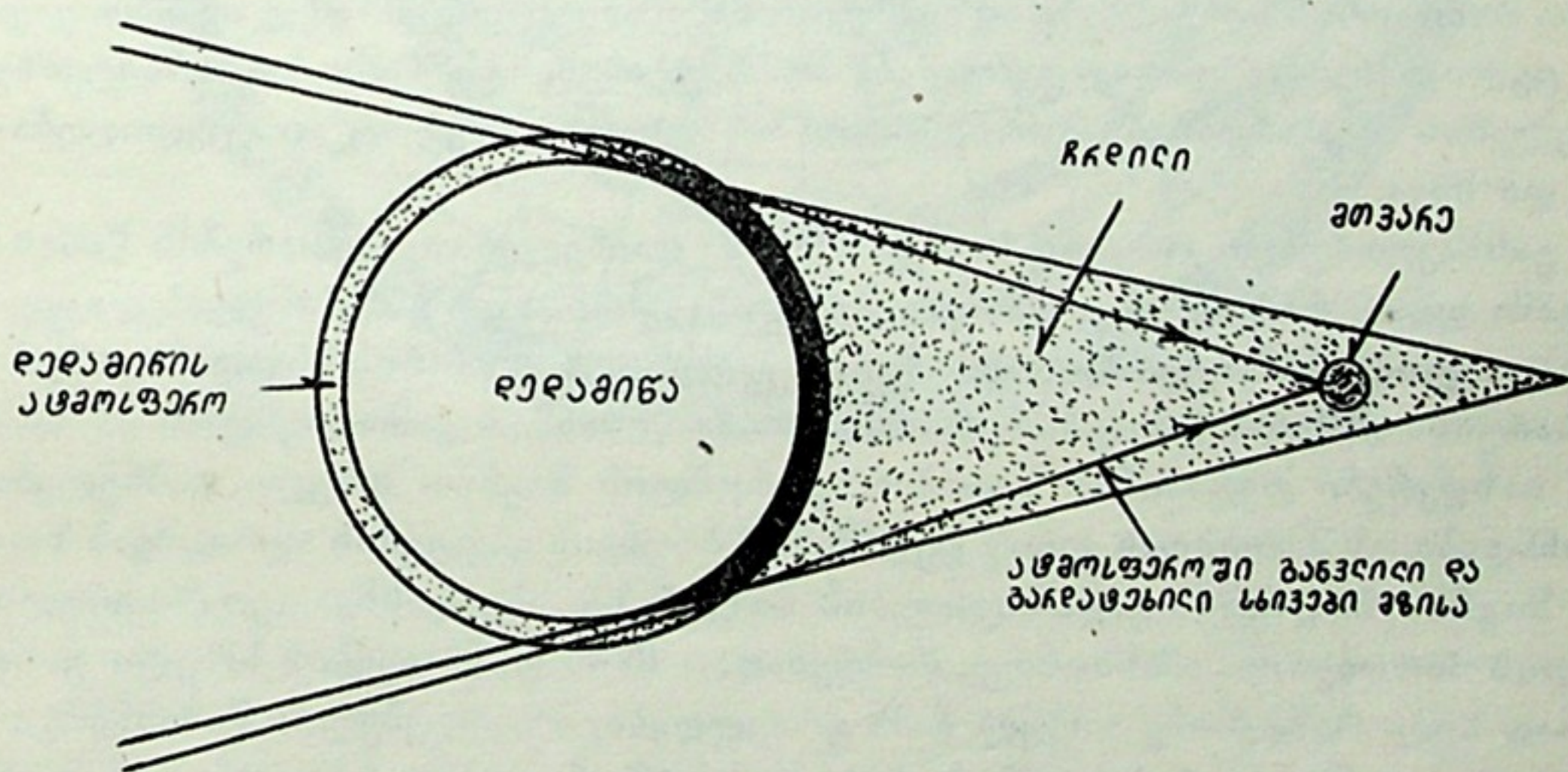


და რეალურად ბნელდება. ამიტომ მთვარის დაბნელება დედამიწის ნახევარსფეროს მთელი ზედაპირიდან, რომლისთვისაც მთვარე ჰორიზონტის ზევითაა, ერთდროულად და ერთნაირად მოჩანს, მიუხედავად იმისა, თუ საიდან ვუყურებთ მას\*.

ამის გამო, თუმცა მზის დაბნელებათა საერთო რიცხვი, როგორც ზემოთ ვნახეთ, აღემატება მთვარის დაბნელებათა რიცხვს, ერთი მოცემული ადგილისათვის მთვარის დაბნელება უფრო ხშირია, ვიდრე მზისა.

მზის სრული დაბნელების მომენტში მზის მთელი დისკო ბნელდება და მის ნაცვლად ვხედავთ „შავ“ ბადროს, მარგალიტისებრ, მკრთალად მბრწყინავი შარავანდედით გარშემოვლებულს. ეს შარავანდედი მზის გარე ატმოსფეროა, რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში, დაბნელების გარეშე, მზის თვალისმომჭრელი სიკაშკაშის გამო არ მოჩანს. მეცნიერული ინტერესიც მზის სრული დაბნელებისადმი მით განისაზღვრება, რომ ამ დროს შესაძლებელია ისეთი მოვლენების დაკვირვება-შესწავლა, რომლებიც ჩვეულებრივ პირობებში არ მოჩანს. ამიტომ მზის სრულ დაბნელებათა დასაკვირვებლად და შესასწავლად ყოველთვის ეწყობა სამეცნიერო ექსპედიციები იქ, სადაც უნდა გაიაროს მთვარის ჩრდილმა.

უნდა ვიფიქროთ, რომ მთვარე — დაბნელების მომენტებში — თითქოს სულაც არ უნდა ჩანდეს ცაზე, როგორც არამნათი სხეული, მთლიანად შესული დედამიწის ჩრდილში. მაგრამ სინამდვილეში სრული დაბნელების დროსაც კი მთვარე არასოდეს არაა სრულიად ბნელი. საქმე ისაა, რომ დედამიწა, მართალია, თავისი სხეულით მზის სხივების სრულ ეკრანირებას ახდენს, მაგრამ მისი გარემომცველი ატმოსფერო, მეტადრე ზედაფენებში, ნაწილობრივ ატარებს მზის სხივებს და ამასთანავე გარდატეხს მათ ატმოსფერული რეფრაქციის კანონზომიერებით; ასე გარდატეხილი და შესუსტებული სხივები შეიჭრე-



ნახ. 256.

ბა ჩრდილის კონუსის სიღრმეში, მთვარის ზედაპირსაც ეფინება და, თუმცა სუსტად, მაინც ანათებს მას (ნახ. 256). რამდენადაც ატმოსფეროში გავლილი სხი-

\* დედამიწის ბრუნვის გამო ერთი და იგივე დაბნელება სინამდვილეში უფრო დიდი ფართობის ზედაპირიდან მოჩანს, ვიდრე დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირია.



ვების გარდატეხა და შესუსტება დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეებზე, შესუსტებული სხივები ერთგვარად შეფერადებულია, უმთავრესად მოწითალო ფერებით. ამიტომ დაბნელებული მთვარე მაინც მოჩანს, როგორც მკრთალად მნათი, ხან მოწითალო, ხან რუხი ბადრო. დაბნელებული მთვარის სიკაშკაშე და ფერი დამოკიდებული უნდა იყოს, როგორც ადვილი მისახვედრია, დედამიწის ატმოსფეროს საერთო მდგომარეობაზე—დრუბლიანობაზე, გამჭვირვალობაზე, ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. რაკი ყველა ეს ფაქტორი ცვალებადია დროში, სხვადასხვა დაბნელების დროს სხვადასხვაა მთვარის სიკაშკაშე და შეფერადებაც. მათი ხასიათი მიუთითებს დედამიწის ატმოსფეროს მდგომარეობას დაბნელების დროს\*. ამაშია, სხვა გარემოებებთან ერთად, მთვარის დაბნელებათა დაკვირვება-შესწავლის მეცნიერული ინტერესი.

257-ე ნახ.-ზე მოცემულია 1970 წლიდან 1984 წლამდე მზის ყველა დაბნელების ზოლი, სადაც პირობითი ნიშნები აღნიშნავს: „—“ მზის სრულ დაბნელებას, „—“ რგოლისებურ დაბნელებას, „Δ“ — დასაწყისს, „○“ — შუა მომენტს, ხოლო „▲“ — დასასრულს.

რამდენადაც დაბნელებათა დაკვირვებას მეცნიერული ინტერესი აქვს და აუცილებელი ხდება, კერძოდ, მზის დაბნელებათა დასაკვირვებლად ექსპედიციების გამართვა, ხშირად—შორეულ ქვეყნებში, საჭიროა წინასწარ ვითვლიდეთ დაბნელების დღეს, მისი დადგომის და დამთავრების მომენტებს და ყველა სხვა პირობას. ჩვენი ცოდნა აღნიშნული სამი სხეულის მოძრაობათა და სხვა მახასიათებელთა შესახებ და დამუშავებული მეთოდები საშუალებას იძლევა ასეთი წინასწარგამოთვლები საოცრად მაღალი სიზუსტით სრულდებოდეს. მაგრამ ადვილი წარმოსადგენია, თუ რამდენად რთული და შრომატევადი უნდა იყოს ეს გამოთვლები, ვინაიდან საჭიროა მრავალი ფაქტორის გათვალისწინება. აუცილებელია ზუსტად იქნეს გათვალისწინებული არა მარტო საშუალო მანძილები და მოძრაობის სიჩქარეები აღნიშნული სამი სხეულისა, არამედ ამ მანძილების ცვლილებებიც, დამოკიდებულება მოძრაობის სიჩქარეებსა და ორბიტებზე სხეულების მდებარეობებს შორის, თვით ორბიტების ელემენტების ცვლილებანიც და სხვა.

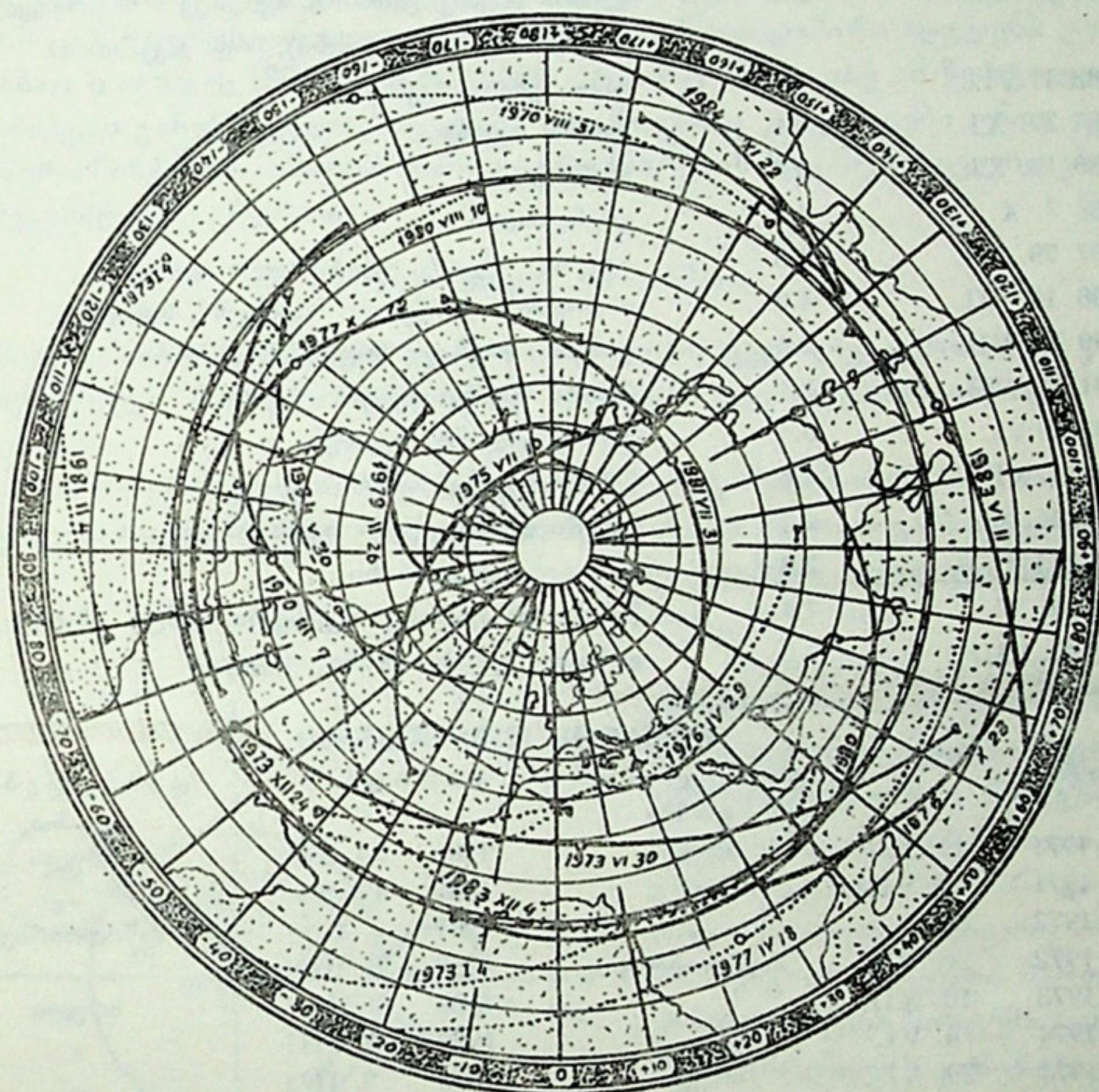
განსაკუთრებით რთული საქმეა მზის დაბნელებათა ვითარების წინასწარგამოთვლა, რამდენადაც დაბნელების დასაწყისისა და დასასრულის და ყველა სხვა ფაზის მომენტები სხვადასხვაა დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა პუნქტისათვის. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა წინასწარ გამოითვალოს იმ ზოლის საზღვრები დედამიწის ზედაპირზე, რომლის შიგნით სრული დაბნელება გამოჩნდება. ეს მოითხოვს კიდევ დედამიწის ბრუნვის გავლენის აღრიცხვას ზოლის შიგნით ჩრდილის გადანაცვლების სიჩქარეზე, სხვადასხვა გეოგრაფიული განედის პირობებში. ამასთანავე, რამდენადაც მზის დაბნელების სრული ფაზა ხშირად სულ რამდენიმე ათეულ წამს გრძელდება, აუცილებელია წინასწარგამოთვლების განსაკუთრებული სიზუსტე, რის უზრუნველსაყოფად საჭიროა მრავალი

\* ლიტერატურაში აღწერილია 1963 წ. 30 დეკემბრის მთვარის სრული დაბნელება, რომელიც არაჩვეულებრივად ბნელი იყო—თითქმის უხილავი. ამის მიზეზად იმას ასახელებდნენ, რომ იმავე წლის მარტში ინდონეზიაში, ვულკან „აგუნგი“-ს ამოქმედების შედეგად უხვად ამოიფრქვა და ატმოსფეროს ზედაფენებში გაიფანტა მტვრისებრი ნივთიერება. ძალიან ბნელი დაბნელებები იყო შემჩნეული გასული საუკუნის დამლევსაც, ვულკან კრაკატაოს ამოფრქვევის (1883) შემდეგ.



ვალი სხვა გარემოების მხედველობაში მიღებაც, მაგალითად, ადგილის სიმაღლისა ზღვის დონიდან და სხვ.

მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლა შედარებით უფრო მარტივია, რაკი მთვარის დაბნელების ყველა ფაზა ერთდროულად დგება დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირის ყველა პუნქტისათვის. ასე რომ, ამ შემთხვევაში საკმარისია გ. მოთვლილ იქნეს თითო მომენტი ყოველი ფაზისათვის (დასაწყისი, დასას-



68b. 257.

რული, მაქსიმალური დაფარვა ჩრდილით), ვთქვათ, გრინვიჩის ღროით და ეს მომენტები საერთო იქნება ყველა პუნქტისათვის.

ასტრონომიულ ყოველწლიურებში წინასწარ იბეჭდება სავსებით ზუსტი და დაწვრილებითი ცნობები ყოველი წლის დაბნელებათა შესახებ და ამ ცნობებს სათანადო რუკებიც ახლავს.

მოვიყვანოთ იმ დაბნელებათა ცხრილი, რომლებიც ჩვენი საუკუნის უკანახ-  
კნელ მეოთხედში ხდება.



## მზის სრული დაბნელება

თარიღი	სრული ფაზის ხანგრძლივობა წუთებში	საიდან გამოჩნდება
1976 23. X.	4.9	აფრიკა, ავსტრალია, ინდ. და წყნარი ოკეანეები
1977 12. X.	2.8	ვენესუელა, წყნარი ოკეანე
1979 26. II.	2.7	აშშ, კანადა, წყნარი და ჩრდ. ყინულ. ოკეანეები
1980 16. II.	4.3	აფრიკა, ატლანტ. და ინდ. ოკეანეები, ინდოეთი
1981 31. VII.	2.2	წყნარი ოკეანე, ციმბირი, აგრეთვე — საქართველოს სსრ (ოჩამჩირის რაიონი), ჩრდ. კავკასია
1983 11. VI.	5.4	იავა, წყნარი ოკეანე
1984 22. XI.	2.1	წყნარი ოკეანე
1985 12. XI.	0.8	ანტარქტიკა
1986 3. X.	1.7	გრენლანდია
1987 29. III.	0.3	ატლანტ. ოკეანე, ეკვატორული აფრიკა
1988 18. III.	4.0	ინდოეთისა და წყნარი ოკეანეები, სუმატრა
1990 22. VII.	2.6	ფინეთი, არქტიკა, ჩრდ.-აღმ. ციმბირი
1991 11. VII.	7.1	წყნარი ოკეანე, ცენტრ. ამერიკა
1992 30. VI.	5.4	სამხრ. ატლანტ. ოკეანე
1994 3. XI.	4.6	წყნარი ოკეანე, სამხრ. ამერიკა
1995 24. X.	2.4	წყნარი და ინდოეთის ოკეანეები
1997 9. III.	2.8	აღმოსავლეთ ციმბირი
1998 26. II.	4.4	წყნარი და ატლანტ. ოკეანეები, ცენტრ. ამერიკა
1999 11. VIII.	2.6	დასავლ. ევროპა, ირანი, ინდოეთი

## მთვარის დაბნელება

თარიღი	დაბნელების ფაზა	თარიღი	დაბნელების ფაზა
1971 10. II.	სრული	1986 24. IV.	სრული
1971 6. VIII.	"	1986 17. X.	"
1972 30. I.	"	1987 7. X.	ნაწილობრივი
1972 26. VII.	ნაწილობრივი	1988 27. VIII.	"
1973 10. XII.	"	1989 20. II.	სრული
1974 4. VI.	"	1989 17. VIII.	"
1974 29. XI.	სრული	1990 9. II.	"
1975 25. V.	"	1990 6. VIII.	ნაწილობრივი
1975 18. XI.	"	1991 21. XII.	"
1976 13. V.	ნაწილობრივი	1992 15. VI.	"
1977 4. IV.	"	1992 9. XII.	სრული
1978 24. III.	სრული	1993 4. VI.	"
1978 16. IX.	სრული	1993 29. XI.	"
1979 13. III.	ნაწილობრივი	1994 15. V.	ნაწილობრივი
1979 6. IX.	სრული	1995 15. IV.	"
1981 17. VII.	ნაწილობრივი	1996 4. IV.	სრული
1982 9. I.	სრული	1996 27. IX.	"
1982 6. VII.	"	1997 24. III.	ნაწილობრივი
1982 30. XII.	"	1997 16. IX.	სრული
1983 25. VI.	ნაწილობრივი	1999 28. VII.	ნაწილობრივი
1985 4. V.	სრული	2000 21. I.	სრული
1985 28. X.	"	2000 16. VII.	"



§ 137. მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლა. მოკლედ აღვწეროთ მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლის ერთ-ერთი ხერხი. ცხადია, იმისათვის, რომ გამოვიტვალოთ მთვარის მომავალი დაბნელება, უპირველეს ყოვლისა, უნდა ვიცოდეთ, თუ როგორ განლაგდება ცაზე დედამიწის ჩრდილის კონუსის ღერძის ცის სფეროსთან გადაკვეთის წერტილი და მთვარე. სათანადო მონაცემები მზისა და მთვარისათვის ასტრონომებს ხელთ აქვთ ასტრონომიულ წელიწდეულებში მოცემულ წინასწარგამოთვლილ ცხრილებში. წელიწდეულები რამდენიმე წლით ადრე იბეჭდება.

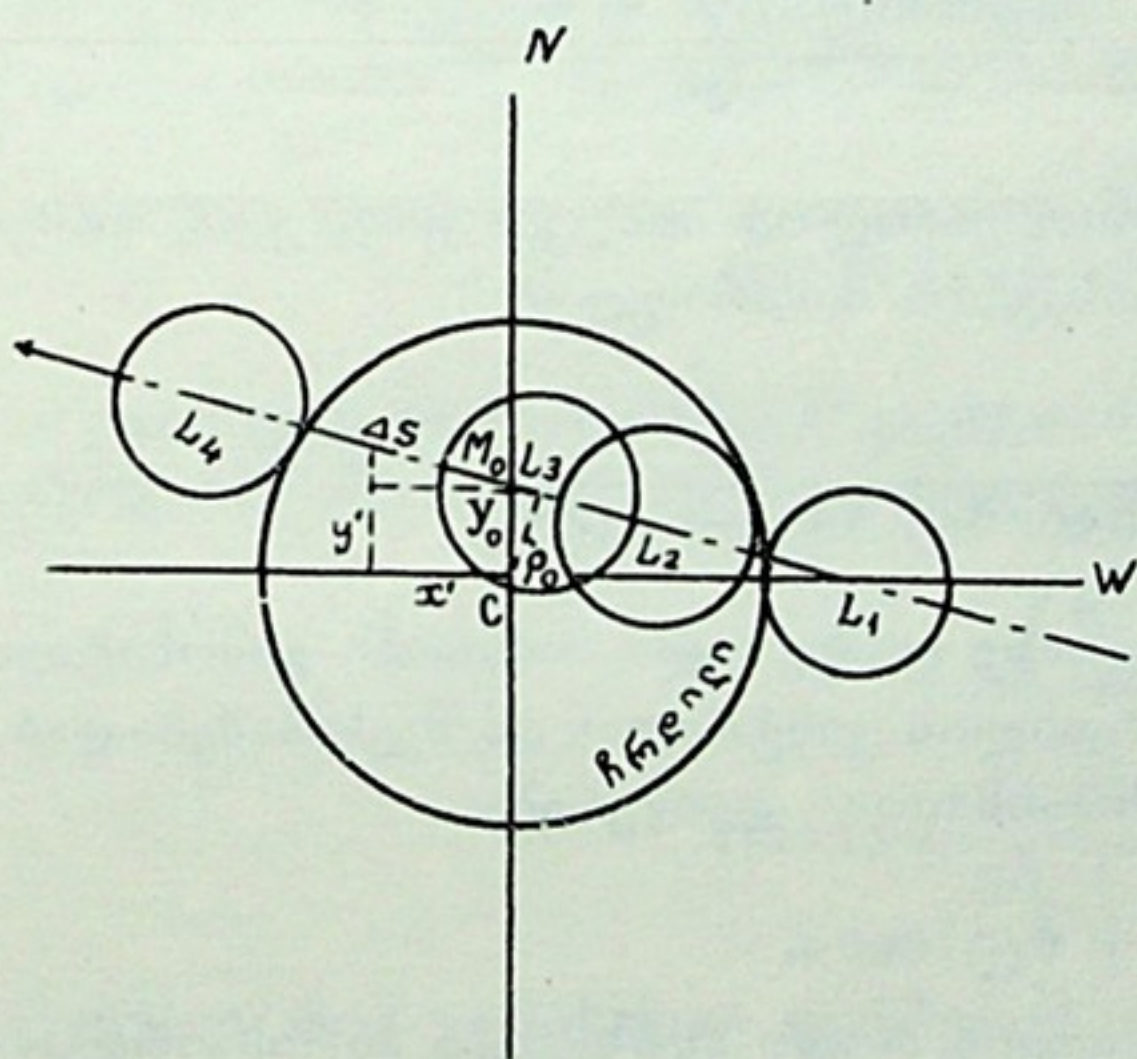
თუ მზის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა რომელიმე მომენტში არის  $\alpha_{\odot}$  და  $\delta_{\odot}$ , მაშინ ჩვენთვის ცნობილი იქნება დედამიწის ჩრდილის კონუსის ღერძის ცის სფეროსთან გადაკვეთის წერტილის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობაც  $\alpha = \alpha_{\odot} \pm 180^{\circ}$  და  $\delta = -\delta_{\odot}$ . როგორც მზის, ისე ამ წერტილის კოორდინატები განუწყვეტლივ იცვლება და, როგორც ეს გასაგები უნდა იყოს, — ერთნაირი სიჩქარით. ამიტომ მათი კოორდინატების საათიერი ცვლილებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_{\odot}, \quad \Delta\delta = \Delta\delta_{\odot}.$$

მთვარის კოორდინატები და მათი საათიერი ცვლილება (როგორც ვიცით, განსხვავებული მზის კოორდინატების საათიერი ცვლილებისაგან) აღვნიშნოთ  $\Delta\alpha_c$  და  $\Delta\delta_c$ .

მთვარის დაბნელების ანუ მისი პირისპირდგომის მომენტში\*, რომელსაც  $T$ -თი აღვნიშნავთ, მთვარის პირდაპირი აღვლენა 12 საათით განსხვავდება მზის პირდაპირი აღვლენისაგან:  $\alpha_c = \alpha_{\odot} \pm 12$  სთ.

რაკი ვიცით ჩრდილის ცენტრისა და მთვარის კოორდინატები და მათი ცვლილება, შევძლებთ განვსაზღვროთ მთვარის გზა ცაზე ჩრდილის ცენტრის მიმართ, ანუ — განვსაზღვროთ, თუ როდის და როგორ გაივლის მთვარე ჩრდილში. ავავოთ ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა ცენტრით  $C$ -ში (ჩრდილის კონუსის ღერძის ცის სფეროსთან გადაკვეთის წერტილში) და ისე, რომ აბსცისთა ღერძი მიმართულ იქნეს დასავლეთით, ხოლო ორდინატთა ღერძი — ჩრდილოეთით (ნახ. 258).



ნახ. 258.

\* რამდენადაც ყოველთვის ცენტრალურ დაბნელებას ვერ ვიგულისხმებთ, ამიტომ პირისპირდგომად ჩავთვლით მომენტს, როცა მზისა და მთვარის პირდაპირი აღვლენის მნიშვნელობები 12 საათით განსხვავდება („პირისპირდგომა პირდაპირი აღვლენის მიხედვით“).



პირისპირდგომის მომენტში მთვარის კოორდინატები ამ მართკუთხა სისტემაში იქნება:

$$x_0 = 0,$$

$$y_0 = \delta_c + \delta \odot.$$

ერთი საათის შემდეგ ეს კოორდინატები შეიცვლება მათი და ჩრდილის ცენტრის კოორდინატების საათიერი ცვლილების შესაბამისად და იქნება:

$$x' = -15 \cos \delta \odot (\Delta \alpha_c - \Delta \alpha \odot),$$

$$y' = \delta_c + \delta \odot + \Delta \delta_c + \Delta \delta \odot.$$

( $x'$  — კოორდინატის მნიშვნელობასთან ნიშანი მინუსი გაჩნდა იმის გამო, რომ აბსცისთა ღერძის მიმართულება დასავლეთისაკენ ავიდეთ, ხოლო მთვარის მოძრაობა პირდაპირია; კოეფიციენტი 15 და  $\cos$ -ფუნქცია — დროის ერთეულებიდან რკალის ერთეულებზე გადასვლასთან და „ეკვატორზე მიყვანასთან“ დაკავშირებით).

ამგვარად, მთვარის საათიერი გზა (აღვნიშნოთ იგი  $\Delta s$ -ით) იქნება:

$$\Delta s = \sqrt{x'^2 + (y' - y_0)^2}.$$

თუ მთვარის გზის დახრას აბსცისთა ღერძთან აღვნიშნავთ  $i$ -თი, მაშინ, როგორც 258-ე ნახაზიდან ჩანს,

$$\Delta s = - \frac{\Delta \delta_c + \Delta \delta \odot}{\sin i} = \frac{15 \cos \delta \odot (\Delta \alpha_c - \Delta \alpha \odot)}{\cos i}.$$

უკანასკნელი ტოლობების მიხედვით უბრალოდ მიიღება ფორმულა, რომელიც განსაზღვრავს ჩრდილში მთვარის გზის მიმართულებას:

$$\operatorname{tg} i = - \frac{\Delta \delta_c + \Delta \delta \odot}{15 \cos \delta \odot (\Delta \alpha_c - \Delta \alpha \odot)}. \quad (1)$$

ჩრდილის ცენტრიდან მთვარის გზაზე დაშვებული მართობი გამოხატავს მოძრავი მთვარის უმცირეს მანძილს ჩრდილის ცენტრიდან და შეესაბამება დაბნელების ცენტრალურ ფაზას. ამ მანძილისათვის დაიწერება:

$$\rho_0 = (\delta_c + \delta \odot) \cos i.$$

მაგრამ ცენტრალური ფაზა ყოველთვის როდი თანხვდება პირისპირდგომას\*. პირისპირდგომამდე ანუ  $T$  მომენტამდე მთვარეს გასავლელი აქვს კიდევ მონაკვეთი:

$$L_3 M_0 = (\delta_c + \delta \odot) \sin i.$$

თუ შუა მომენტის დროს აღვნიშნავთ  $t_0$ -ით, განსხვავება პირისპირდგომის მომენტსა და  $t_0$ -ს შორის იქნება:

\* თანხვდება მაშინაა, როცა მთვარის გზა აბსცისთა ღერძის პარალელურია.



$$T - t_0 = \frac{\delta_c + \delta_{\odot}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}}.$$

აქედან მიიღება დაბნელების შუა მომენტის განმსაზღვრელი გამოსახულება:

$$t_0 = T - \frac{\delta_c + \delta_{\odot}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}}. \quad (2)$$

დაბნელების ვითარების წინასწარგამოთვლის მეტი სისრულისათვის გვჭირდება კიდევ ვიცოდეთ ნაწილობრივი დაბნელების დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები, აგრეთვე — სრული ფაზის დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები, დაბოლოს — ფაზის სიდიდე.

ნახაზზე პირდაპირ ჩანს, რომ ნაწილობრივი დაბნელების საწყის მომენტს შეესაბამება ის მდგომარეობა, როცა მანძილი ჩრდილის ცენტრიდან მთვარის ცენტრამდე ტოლია ჩრდილის წრისა და მთვარის ბადროს რადიუსების ჯამისა:

$$\rho_1 = \sigma + R_c.$$

მაშასადამე, მანძილი

$$L_3 L_1 = +\sqrt{\rho_1^2 - \rho_0^2},$$

ხოლო შესაბამისი მომენტი

$$t_1 = t_0 - \frac{\sqrt{\rho_1^2 - \rho_0^2}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}} \sin i. \quad (3)$$

ასე განისაზღვრა ნაწილობრივი დაბნელების დასაწყისი მომენტი, ე. ი. პირველი კონტაქტის (იხ. ზემოთ) მომენტი. სიმეტრიული სურათია დასასრულისათვის (მეოთხე კონტაქტი). პირდაპირ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$t_4 = t_0 + \frac{\sqrt{\rho_1^2 - \rho_0^2}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}} \sin i. \quad (4)$$

აღვილად გამოიყვანება სრული დაბნელების დასაწყისი და დასასრული მომენტების (მეორე და მესამე კონტაქტები) მნიშვნელობებიც:

$$t_2 = t_0 - \frac{\sqrt{\rho_2^2 - \rho_0^2}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}} \sin i. \quad (5)$$

$$t_3 = t_0 + \frac{\sqrt{\rho_2^2 - \rho_0^2}}{\Delta\delta_c + \Delta\delta_{\odot}} \sin i. \quad (6)$$

გასაგებია, რომ უკანასკნელ ფორმულებში  $\rho_2$ -ის მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც

$$\rho_2 = \sigma - R_c.$$

ცხადი უნდა იყოს ისიც, რომ  $R_c$  და ყველა სხვა სიდიდე, რომლებიც  $\sigma$ -ს გამოსათვლელ ფორმულაში შედის, მათი ისეთი მნიშვნელობებით უნდა ავიღოთ, რომლებიც პირისპირდგომის მომენტს ( $T$ ) შეესაბამება. ამისათვის დაგვჭირდება წელიწადულიდან ამოღებული მნიშვნელობების ინტერპოლაცია (იხ. ზევით).



ახლა უნდა განვსაზღვროთ დაბნელების მაქსიმალური ფაზის მნიშვნელობა. ამისათვის გამოიყენება ფორმულა, რომელიც მარტივად მიიღება:

$$p = \frac{\sigma - (q_0 - R_c)}{2R_c}, \quad (7)$$

თუ  $p > 1$ , დაბნელება სრულია; თუ  $p < 0$ , დაბნელება არ მოხდება (განხილვიდან გამორიცხულია ნახევარწრილოვანი დაბნელება). ნაწილობრივ დაბნელებას შეესაბამება  $0 < p < 1$ .

ამგვარად, მთვარის დაბნელების ვითარების ძირითადი დამახასიათებელი პარამეტრების წინასწარგამოთვლა ემყარება ფორმულების (1)–(7) გამოყენებას.

**§ 138. ცოტა რამ მზისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან.** დაბნელებები, მეტადრე—მზის დაბნელება, უძველესი დროის ადამიანის ყურადღებას იპყრობდა როგორც მეტად შთაბეჭდავი, მოულოდნელი და ამასთანავე დუძალი მოვლენა. დაბნელებები დიდხანს ცრურწმენის საბაბს წარმოადგენდა. ამ მხრივ დამახასიათებელია, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მთვარის „დრაკონული“ თვის სახელწოდება, რომელიც ძველი დროიდან მოვიდა ჩვენამდე. ჩინურ წყაროებში მოიპოვება ცნობები ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 2137 წელს მომხდარი მზის სრული დაბნელების შესახებ. ძველ ბაბილონურ წყაროებში აღწერილია 1063 წელს (ძვ. წ.) მომხდარი მზის სრული დაბნელება.

დაბნელებებში გარკვეული პერიოდულობის (გაიხსენეთ ს. როსის შესახებ) არსებობის წყალობით უკვე დიდ ხნის წინათ ახერხებდნენ მათ წინასწარმეტყველებას, თუმცა უხეში მიახლოებით. ბერძენმა თალეს მილეტელმა იწინასწარმეტყველა ძვ. წ. 585 წ. მზის დაბნელება, რომლითაც დამთავრდა ხანგრძლივი ომი მიდიელთა და ლიდიელთა შორის; მოწინააღმდეგე მეომრებზე ისე იმოქმედა მოულოდნელმა მზის დაბნელებამ, რომ მათ მყის დაჰყარეს იარაღი.

საინტერესოა ბერძენ ისტორიკოსთა გადმოცემა 431 წლის (ძვ. წ.) მზის დაბნელების შესახებ, რომლის დროსაც ცაზე გამოჩნდნენ ვენერა, იუპიტერი და ვეგა (α ქნარი).

ჩვენს დროში ისტორიკოსები მოხერხებულად იყენებენ დაბნელებებს ისტორიული მოვლენების დათარიღების მიზნით. რამდენედაც დაბნელებები დიდ შთაბეჭდილებას იწვევდნენ, მემატიაწეები მათ აღწერას სხვა ისტორიულ მოვლენებთან (ომები, ქვეყნების დაპყრობა, მბრძანებლების შეცვლა და გარდაცვალება, ჭირი და სხვა უბედურება) ქრონოლოგიურ კავშირში გადმოსცემდნენ. მაგრამ ასეთი ქრონოლოგია არ იყო ზუსტი, დროის აღრიცხვის სხვადასხვა სისტემის გამოყენებისა და საერთოდ მისი მოუგვარებლობის გამო. ამჟამად შესაძლოა წარსულის დაბნელებათა ზუსტი თარიღების გამოთვლა და, ამგვარად, ისტორიული ქრონიკის დაზუსტებაც. ამ მხრივ საინტერესოა ერთი მაგალითის გახსენება. არაპირდაპირი წყაროების ჩვენებათა გათვალისწინებით ქართლში ქრისტიანობის გავრცელების თარიღად მიჩნეულია 337 წელი. ისტორიკოსებმა სცადეს ეს თარიღი ასტრონომიული მეთოდით შეემოწმებინათ. საქმე ისაა, რომ წმ. ნინოს ცხოვრების ერთ-ერთ აღწერაში დაცული ცნობის მიხედვით ქართლში ქრისტიანობის გავრცელება დაკავშირებულია მზის დაბნელებასთან, რომელიც თითქოს 20 ივლისს, შაბათს, შუადღის შემდეგ მომხდარა. აკადემიკოს ივანე ჯავახიშვილის თხოვნით პროფ. ე. ბიუსმა შეადგინა მზის დაბნელებათა ცხრილი, რომელთაც ადგილი ჰქონდათ III ს. ბოლოსა და IV ს. პირველ ნახევარში და ხილულნი იყვნენ ქართლის ტერიტორიიდან. გაირკვა, რომ ისეთი მზის დაბნელება, რომელიც წყაროში ჩამოთვლილ ყველა მოთხოვნას დააკმაყოფილებდა, ამ პე-



რიოდში არ მომხდარა. ამ გარემოებამ მკვლევრები აიძულა კრიტიკულად მოჰყრობოდნენ ზემოთ ნახსენებ თარიღს და მისი დაზუსტება სხვა საშუალებებით განეგრძოთ.

ასტრონომებს კარგად ახსოვთ 1560 წლის მზის დაბნელება, რომელიც ახალგაზრდა ტიხომ—შემდგომში ცნობილმა ასტრონომმა ტიხო ბრაჰემ ნახა. ამ შთაბეჭდავი მოვლენის ხილვამ გადაჭრა ტიხოს ბედი; მან მაშინვე გადაწყვიტა შეეწირა სიცოცხლე ცის შესწავლისათვის. იგი ასეც მოიქცა და, როგორც ვიცით, დიდი ღვაწლი დასდო ასტრონომიას: ცაზე გულმოდგინე დაკვირვებათა მეშვეობით, რომელთაც იგი მის მიერვე მოწყობილ ობსერვატორიებში აწარმოებდა, დააგროვა ძვირფასი მასალა, კერძოდ, პლანეტა მარსის მდებარეობებზე. ესენი გამოიყენა და მათ საფუძველზე ჩამოაყალიბა ცთომილთა მოძრაობის კანონები კეპლერმა. შემდგომში ნიუტონის მიერ განზოგადებული ეს კანონები საფუძვლად დაედო თანამედროვე ბუნებისმეტყველების, კერძოდ, მექანიკის განვითარებას.

1780 წელს მზის დაბნელების მეცნიერული შესწავლის მიზნით მოეწყო პირველი სამეცნიერო ექსპედიცია. 1859 წ. პირველად გამოიყენეს სპექტროსკოპი მზის დაბნელების თანმხლები მოვლენების შესასწავლად. 1860 წ. ამავე მიზნით პირველად იქნა გამოყენებული აგრეთვე ფოტოგრაფიული მეთოდი. 1878 წ. პირველად განხორციელდა მზის დაბნელების შესწავლა როგორც საერთაშორისო სამეცნიერო წამოწყება: 20 სადგურიდან ასამდე ასტრონომი აკვირდებოდა და შეისწავლიდა ამ მზის დაბნელებას.

თუმცა დაბნელებათა მიზეზები უკვე დიდი ხნის წინ გახდა ცნობილი, მაგრამ მათი ზუსტი წინასწარგამოთვლის მეთოდები მხოლოდ ნიუტონის შემდგომი დროიდან დამუშავდა, როცა განვითარდა ცის სხეულთა მოძრაობის შესწავლის მეთოდები და საკმარისი სიზუსტით განისაზღვრა ის პირითადი სიდიდეები, რომლებსაც ეყრდნობა წინასწარგამოთვლა (ორბიტების ელემენტები, პარალაქსები და სხვ.).

არსებობს კატალოგები, რომლებშიც თავმოყრილია წარსულისა და მომავლის გამოთვლილ დაბნელებათა ვითარების დამახასიათებელი მონაცემები და დაბნელებათა ხოლების რუკები. მათ შორის ყველაზე პოპულარულია და ხმარებაშია თ. ო პ ო ლ ც ე რ ი ს კატალოგი „*Kanon der Finsternisse*“. უკანასკნელ დროს გამოქვეყნდა ავსტრიელი მეცნიერების ჰ. მუკესა (H. Mucke) და ჯ. მეეუსის (J. Meeus) კატალოგები „*Canon of Solar Eclipses*“ და „*Kanon of Lunar Eclipses*“, რომლებიც მოიცავენ ძვ.წ. 2003 წლიდან ახ.წ. 2526 წლამდე მზისა და მთვარის დაბნელებებს.

ჩვენს დროში დაბნელებებს გეგმიანად და საერთაშორისო ძალებით აკვირდებიან მათი ფიზიკური, დინამიკური და სხვა პრობლემების შესწავლის მიზნით, რისთვისაც გამოიყენებენ თითქმის ყველა არსებულ მეთოდს, მათ შორის—რადიოტელესკოპურს და გარეატმოსფერულ დაკვირვებებს, რაკეტებისა და ხელოვნური თანამგზავრების მეშვეობით.

მთვარის დაბნელებებიც უძველესი დროიდან დარჩა კაცობრიობის მესხიერებაში. განსაკუთრებით მრავლადაა აღწერილი დაბნელება ახ. წ.-მდე III ს.-დან მოყოლებული, თუმცა ცალკეულ შემთხვევაში გაცილებით უფრო ძველიც გვხვდება.

ჯერ კიდევ არისტოტელემ (IV ს. ძვ. წ.) მთვარის ზედაპირზე დაცემული დედამიწის ჩრდილის სიმრგვალე დედამიწის სფერული ფორმით ახსნა. არისტარ-



ქემ (III ს. ძვ. წ.) და ჰიპარქმა (II ს. ძვ. წ.) გამოიყენეს მთვარის დაბნელებათა დაკვირვებანი მზის სისტემის მასშტაბის შეფასების მიზნით\*. ჰიპარქის დროიდან მოდის დედამიწის ორი პუნქტის გეოგრაფიულ გრძედთა სხვაობის განსაზღვრისა და მთვარის მოძრაობის შესწავლის თანმიმდევრულად დამუშავებული მეთოდები.

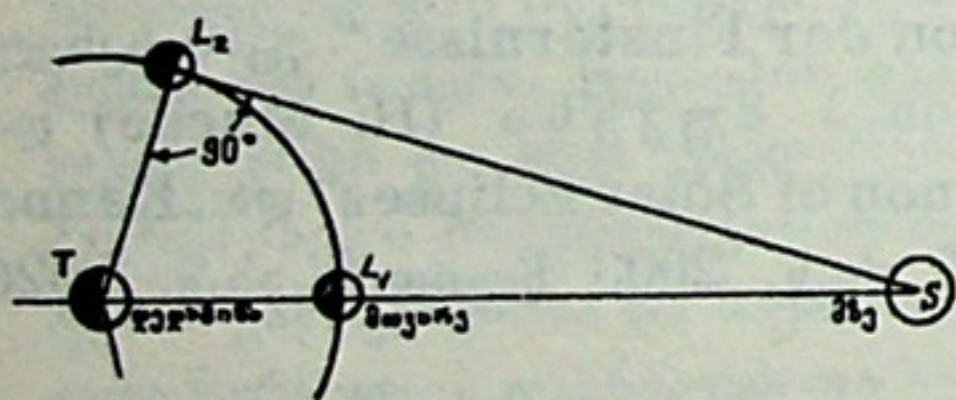
უკვე XVII საუკუნეში ჩაეყარა საფუძველი მთვარის დაბნელებათა შესწავლის პირველ ფოტომეტრიულ მეთოდებს, რომლებიც ჩვენი დროისათვის დიდად განვითარდა; ეს მეთოდები ითვალისწინებს დედამიწის ატმოსფეროს ოპტიკურ თვისებებს და საშუალებას იძლევა შეისწავლებოდეს დედამიწის ატმოსფეროს ზედაფენებისა და დედამიწისაზღო კოსმოსური სივრცის ფიზიკური პარამეტრები, აგრეთვე მათი კავშირი მზის აქტივობასა და მის პერიოდულობასთან\*\*. თავისთავად ცხადია, რომ ამ ამოცანების შესასწავლად გამოსაყენებელი ხელსაწყოებიცა და ტექნიკაც დიდად განვითარდა.

§ 139. **მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა.** მთვარე ჩვენთან უახლოესი კოსმოსური სხეულია, ვარსკვლავები კი შეუდარებლად უფრო შორს არიან. მთვარე, ამავე დროს, ბადროიანი სხეულია, ვარსკვლავები — წერტილოვანი. დაბოლოს, მთვარეს დიდი „საკუთარი“ მოძრაობა აქვს და იგი შესამჩნევად გადაადგილდება ცაზე ვარსკვლავთა მიმართ, ხან ერთ თანავარსკვლავედს გადასერავს, ხან მეორეს; როგორც გვახსოვს, იგი დაახლოებით ერთ თვეში მთელ წრეს შემოწერს ცაზე.

გასაგებია, რომ ამგვარ მოძრაობაში მთვარე ხშირად ფარავს მის უკან მდებარე ვარსკვლავებს. მკრთალი ვარსკვლავებისათვის, რომლებიც უფრო მრავალია, ამგვარი ჩამოფარება ანუ დაფარვა შეუმჩნეველია, მთვარის დისკოს შედარებით დიდი სიკაშკაშის გამო. კაშკაშა ვარსკვლავების მთვარის მიერ დაფარვა, თუმცა უფრო იშვიათი შემთხვევაა მათი რაოდენობრივი სიმცირის გამო, მაგრამ უფრო ადვილად შეიმჩნევა და დაიკვირვება.

მთვარის მიერ ვარსკვლავთა დაფარვის დაკვირვებას, მისი მომენტის ზუსტი ფიქსირებით, მეცნიერული ინტერესი აქვს. დაფარვის წინასწარგამოთვლაც

\* ინტერესს არ არის მოკლებული გავცნოთ არისტარქეს მეთოდს. ამჟამად ცის მნათობთა მანძილების გასაზომად მიმართავენ იარაღებს, ფოტოგრაფიებს და სხვა საშუალებებს. არისტარქე თავის გამოკვლევაში ძირითადად დაეყრდნო იმ მომენტის განსაზღვრას, როცა მოჩანს მთვარის ზუსტად ნახევარი ფაზა. განვიხილოთ 259-ე ნახაზი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მზე არ იმყოფება ჩვენგან უსასრულოდ შორს, მაშინ მთვარის ზუსტად ნახევარს დავინახავთ არა მაშინ, როცა მთვარე თავის ორბიტაზე  $L_1$ -დან



ნახ. 259.

90°-იან რკალს შემოწერს, არამედ უფრო ადრე, როცა კუთხე  $TL_1S$  ეტოლება 90°-ს. ამ მომენტში  $TL_1S$  სამკუთხედი მართკუთხოვანია. თუ ამავე მომენტში გავზომავთ კუთხეს  $\angle T$  და მთვარეზე მიმართულებათა შორის ანუ  $STL_1$  კუთხეს, განვსაზღვრავთ  $\frac{TL_1^2}{TS}$  ფარდობას ანუ დედამიწიდან მთვარემდე და მზემდე მანძილების ფარდობას. არისტარქეს მიხედვით გამოდიოდა, რომ ეს ფარდობა  $1/20$ -ია. ვიცით, რომ სინამდვილეში მანძილი მზემდე 400-ჯერ აღემატება მანძილს მთვარემდე. პრინციპულად სწორმა მეთოდმა არისტარქე მცდარ შედეგამდე იმიტომ მიიყვანა, რომ იმდროინდელი საშუალებებით ძალიან ძნელი იყო როგორც ზუსტი ნახევარფაზის მომენტის დადგენა, ისე  $STL_1$  კუთხის გაზომვა საკმარისი სიზუსტით.

\*\* ეს კავშირი მზის დაბნელების თანხლებულ მოვლენებსაც შეეხება.



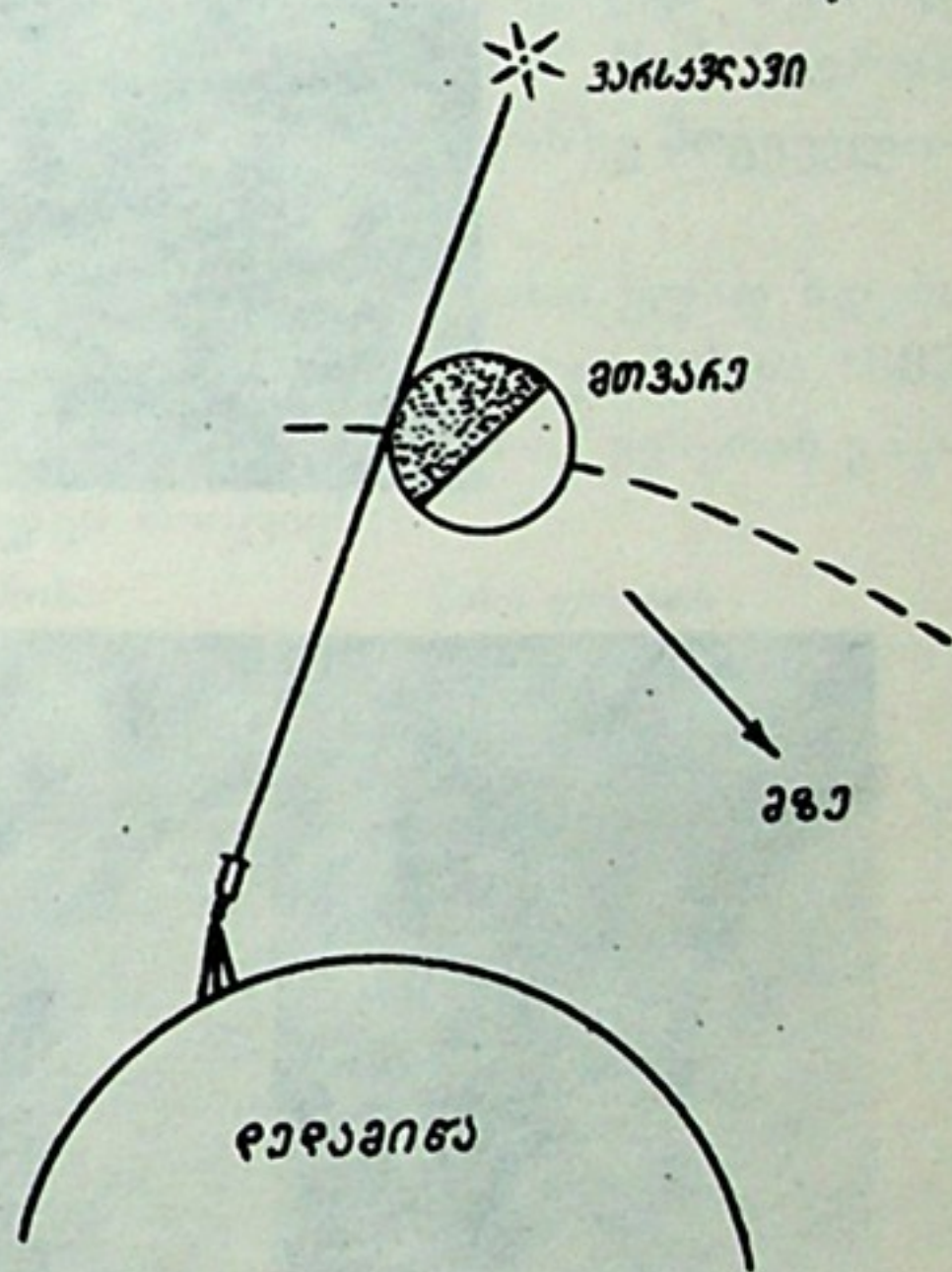
ხერხდება. მისი თეორია და გამოთვლის მეთოდთა მსგავსია იმისა, რაც მზის დაბნელების შემთხვევაში გვაქვს. მართლაც, დაფარვა, მოვლენის პერსპექტიული მხარის თვალსაზრისით, სრულიად ისეთივე მოვლენაა როგორც მზის დაბნელება; განსხვავება ისაა, რომ ვარსკვლავების სიშორის გამო მთვარის „ჩრდილი“ კონუსური კი არაა, არამედ, შეიძლება ითქვას, ცილინდრის წარმოდგენს და ნახევარჩრდილის ცნებაც ამ შემთხვევაში გამოირიცხება.

რაკი მთვარე ვარსკვლავიერ ცაზე დასავლეთიდან აღმოსვლეთით გადაინაცვლებს, ვარსკვლავის დაფარვა ყოველთვის მთვარის ბადროს აღმოსავლეთ კიდეზე ხდება. რაკინდ დიდადაც უნდა იყოს ვარსკვლავი მიახლოებული მთვარეს, მას არაფერი ეტყობა გარკვეულ მომენტამდე. მთვარე რომ ატმოსფეროს გარსით ყოფილიყო გარემოცული, მაშინ მასთან მიახლოებისას შევნიშნავდით ვარსკვლავის სიკაშკაშის თანდათანობით შესუსტებას.

მაგრამ დაფარვა მყისიერად ხდება; როცა ტელესკოპით ვაკვირდებით, ოკულარის მხედველობის ველში ერთდროულად ვხედავთ მთვარის ბადროს ნაწილს, მის კიდეც, რომელიც ვარსკვლავთან ახლოა, და თვით ვარსკვლავს (ნახ. 260). მანძილი ვარსკვლავსა და მთვარის კიდეც შორის თანდათან კლებულობს და ბოლოს ვარსკვლავი მყისიერად „ქრება“: იგი დაიფარა მთვარით. ასეთი მომენტური გაქრობა ვარსკვლავისა მოწმობს ორ გარემოებას: ჯერ ერთი, იმას, რომ მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს, მეორეც—რომ ნებისმიერი ვარსკვლავის, როგორი კაშკაშაც უნდა იყოს იგი, კუთხური დიამეტრი სრულიად უმნიშვნელოა.

დაფარვაზე ძალიან დიდი სიზუსტით წარმოებული დაკვირვება, დაფარვის მომენტის ფიქსირებით, განსაზღვრავს მთვარის მდებარეობას ცაზე და დაკვირვების შედეგები გამოიყენება როგორც მთვარის მოძრაობის თეორიის საკითხების დასაზუსტებლად, ისე მთვარის პარალაქსის განსაზღვრისათვის, დამკვირვებელ სადგურთა შორის გრძედების სხვაობის გამოსათვლელად და, ბოლოს — მთვარის ზედაპირის რელიეფის შესასწავლად ბადროს კიდეებზე.

თავისთავად ცხადია, თუ ხდება მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა,



ნახ. 260.

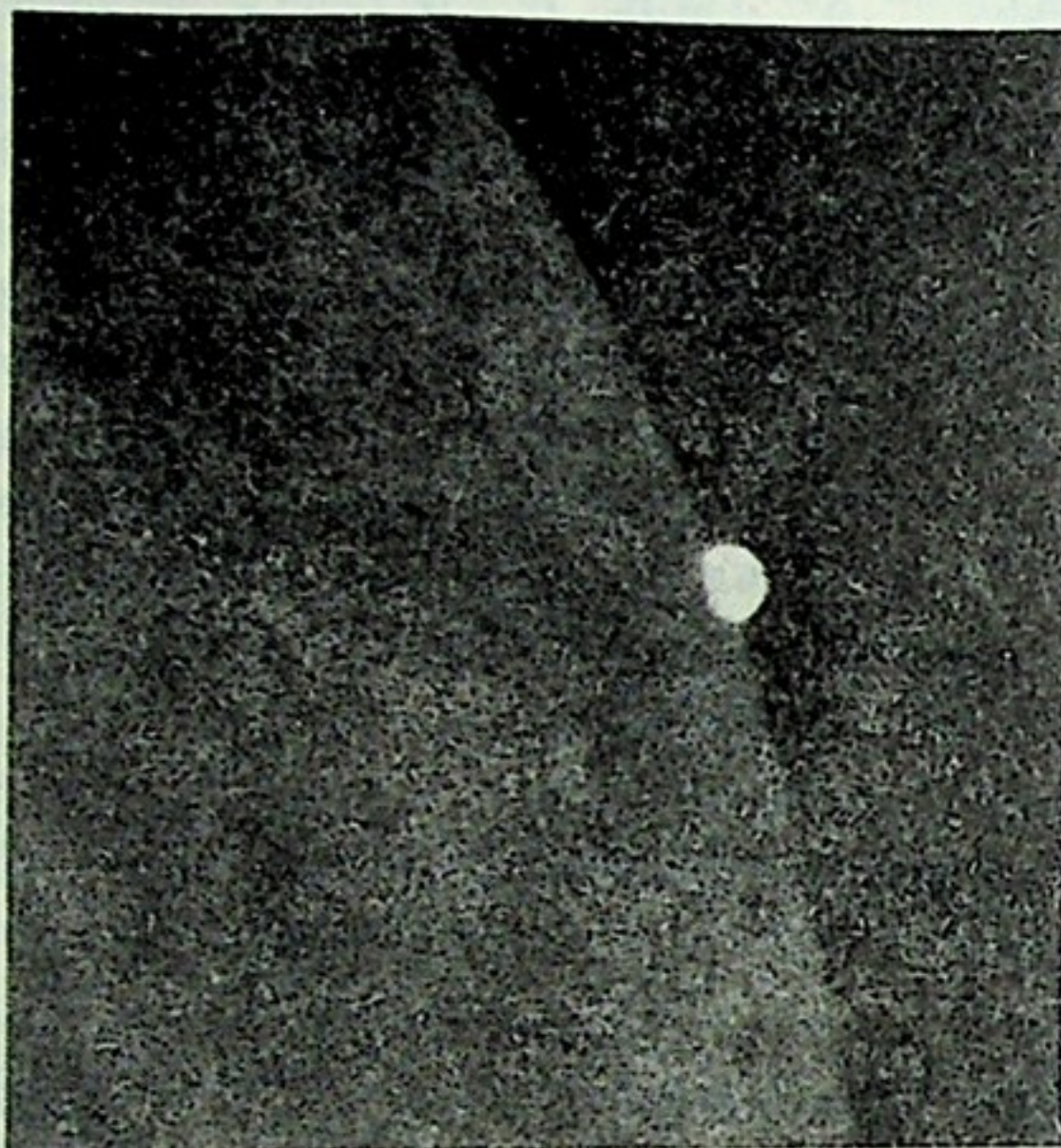
უნდა ხდებოდეს აგრეთვე ვარსკვლავის გამოჩენაც მთვარის ბადროს უკანა მხრიდან. რაკი დაფარვა ხდება მთვარის აღმოსავლეთ კიდეზე, ვარსკვლავი უნდა გამოჩნდეს დასავლეთის კიდეზე. ერთი და იმავე ვარსკვლავის ჯერ დაფარვისა და მერე გამოჩენის მომენტებს შორის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია უმთავრესად იმაზე, თუ რომელ ქორდაზე—დიამეტრთან თუ კიდეებთან ახლო—გაივლის ვარსკვლავი ბადროს უკან. მაქსიმალური ხანგრძლივობა მაშინაა, როცა მთვარე თავისი დიამეტრის გასწვრივ დაფარავს ვარსკვლავს; რადგანაც მთვარის დიამეტრი დაახლოებით ნახევარი გრადუსია, ხოლო ერთ საათში მთვარე დაახ-



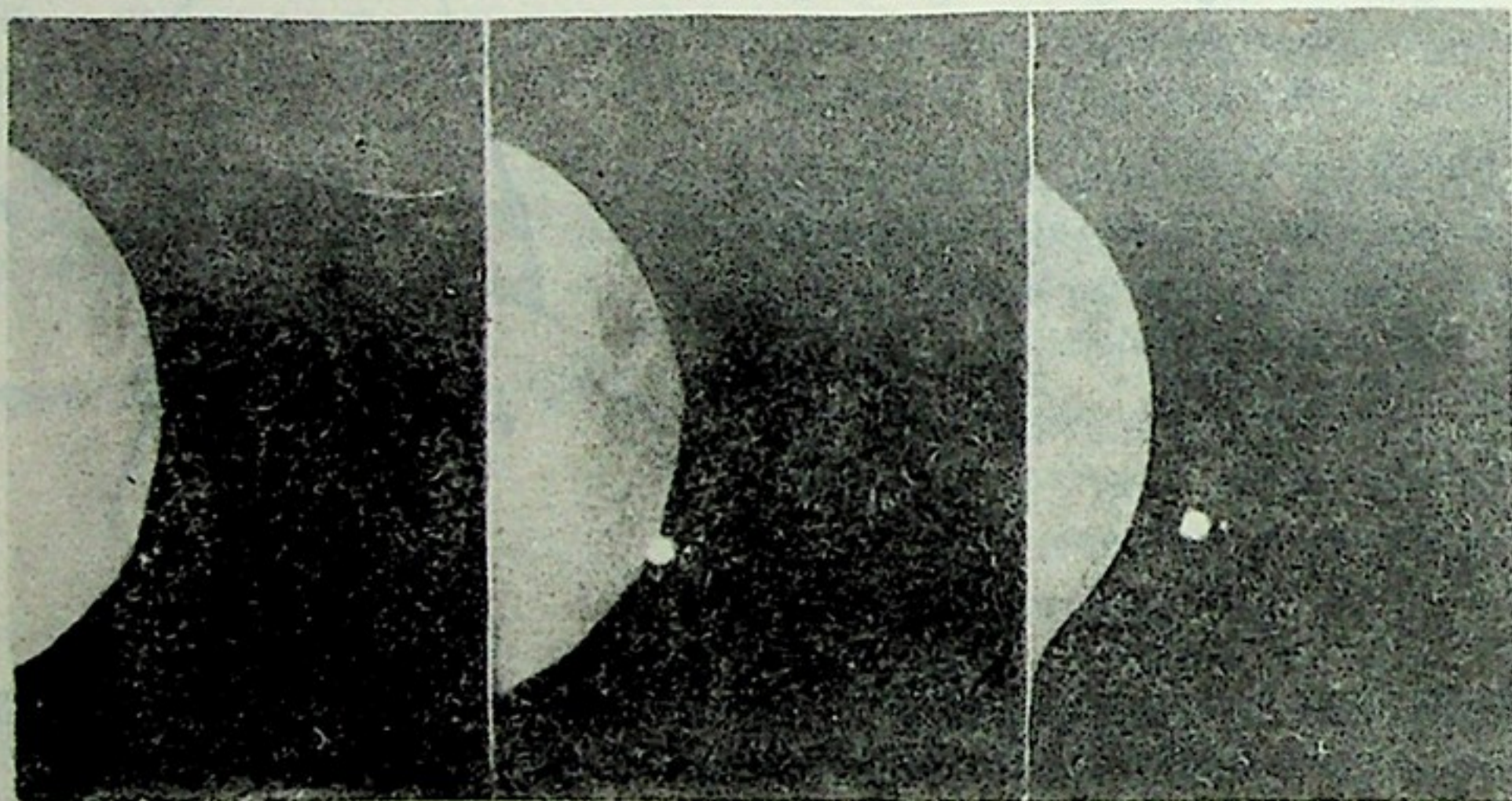


ლოებით იმავე ნახევარი გრადუსით გადაინაცვლებს, ამიტომ ეს ხანგრძლივობა იქნება ერთ საათამდე.

ადვილი მისახვედრია, რომ ახალმთვარეობიდან სავსემთვარეობამდე ვარსკვლავი მთვარის ბნელი კიდეით იფარება (ნახ. 260). ამიტომ დაფარვის დაკვირვება შედარებით ადვილია. სავსემთვარეობისას და ძველი მთვარის ფაზებში ვარსკვლავს ფარავს მთვარის ნათელი კიდე და ვარსკვლავის, მეტადრე მკრთალი ვარსკვლავის, დაფარვის მომენტის ფიქსირება ასეთ შემთხვევაში უფრო ძნელია. ასევე ძნელია ვარსკვლავის გამოჩენის მომენტის ფიქსირება მთვარის ადრინდელ ფაზებში, როცა ვარსკვლავი უნდა გამოჩნდეს განათებული კიდის უშუალო მახლობლობაში.



ნახ. 261.



ნახ. 262.

ისევე, როგორც მზის დაბნელების დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები, ვარსკვლავის დაფარვისა და გამოჩენის მომენტებიც განსხვავებულია დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა პუნქტისათვის. ამ განსხვავებას ძირითადად



განსაზღვრავს მთვარის მანძილი ანუ მთვარის პარალაქსი. მთვარე იმდენად ახლოა ჩვენთან, ე. ი. მისი პარალაქსი იმდენად დიდია, რომ დამკვირვებლის მცირე გადაადგილებაც დედამიწის ზედაპირზე მნიშვნელოვნად ცვლის ცაზე მთვარის პროექციის ადგილს. მაგალითისათვის დავასახელებთ, რომ 1970 წ. 21 თებერვალს მთვარის მიერ ვარსკვლავის ლომის  $\alpha$ -ს დაფარვა გამოჩნდა აბასთუმნიდან გრინვიჩის დროით 2 სთ 57.8 წთ-ზე, მოსკოვიდან 2 სთ 35.2 წთ, კიევიდან 2 სთ 39.8 წთ, ხარკოვიდან 2 სთ 43.8 წთ და თბილისიდან 2 სთ 58.1 წთ.

ცალკე ინტერესს წარმოადგენს მთვარის მიერ ცთომილების დაფარვა. ცთომილი, რომელსაც გარკვეული განფენილობა აქვს, ე. ი. ბადროს სახით მოჩანს, ერთბაშად როდი დაიფარება მთვარით, არამედ — თანდათანობით. 261-ე ნახ. წარმოადგენს მთვარის მიერ პლანეტა ვენერას დაფარვის ფოტოსურათს.

კიდევ უფრო საინტერესოა მომდევნო 262-ე ნახაზი. სამი თანმიმდევარი ფოტოგრაფია უჩვენებს მთვარის მიერ იუპიტერისა და მისი თანამგზავრების დაფარვას.

**§ 140. მერკურისა და ვენერას გავლა მზის დისკოზე.** იმ პერსპექტიულ მოვლენებს, როგორსაც წარმოადგენენ მზის დაბნელებები და მთვარის მიერ ვარსკვლავთა დაფარვები, ეკუთვნის აგრეთვე მერკურისა და ვენერას გავლა მზის დისკოზე. მერკური და ვენერა ისეთი ცთომილებია, რომელთა მზის ირგვლივ მოქცევის გზები ანუ ორბიტები დედამიწის ორბიტის შიგნით მდებარეობენ (იხ. ქვევით). ამიტომ ხდება ხოლმე, რომ მერკური ან ვენერა მოექცევა ზუსტად მზესა და დედამიწას შორის. მაშინ ვხედავთ, როგორ „გადაკვეთს“ მზის ბადროს მერკურის (ვენერას) ბადრო, რომელიც მზის დისკოს კაშკაშა ფონზე მოგვევლინება როგორც მცირე „შავი“ წრე.

ვენერას გავლა მზის დისკოზე იშვიათი მოვლენაა და პერიოდულად ხდება 8 წლისა და 105 ან 121 წლის შემდეგ. უკანასკნელად ასეთი გავლა მოხდა 1882 წელს; უახლოესი შემდგომი კი იქნება 2004 წელს. მოვიყვანოთ აქ ვენერას გავლათა ცხრილი, რომელიც რამდენიმე საუკუნეს მოიცავს:

წელი	თვე	გავლის მოვლენის ხანგრძლივობა	წინა გავლის . მომდევნო შუალედი
1761	ივნისი		121 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> წელიწადი
1769	ივნისი		8 „
1874	დეკემბერი		105 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
1882	დეკემბერი		8 „
2004	ივნისი	5 სთ 30 წთ	121 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
2012	ივნისი	7 სთ	8 „
2117	დეკემბერი		105 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
2125	დეკემბერი		8 „

1761 წლის გავლის დროს შენიშნულმა მოვლენებმა მ. ლომონოსოვი მიიყვანა დასკვნამდე, რომ ვენერა ატმოსფერული გარსით უნდა ყოფილიყო შემოვლებული. შემდგომში ეს ფაქტი დადასტურდა და ვენერას ატმოსფეროს აღმოჩენის თარიღად მიჩნეულ ქნა 1761 წ.

მზის დისკოზე ვენერას გავლის საგანგებო დაკვირვებებს თავისი როლი შეუსრულებიათ დედამიწიდან მხედვე მანძილის განსაზღვრის საქმეში (იხ. ქვემოთ).

მერკურის გავლა მზის დისკოზე შედარებით უფრო ხშირი მოვლენაა. უკა-



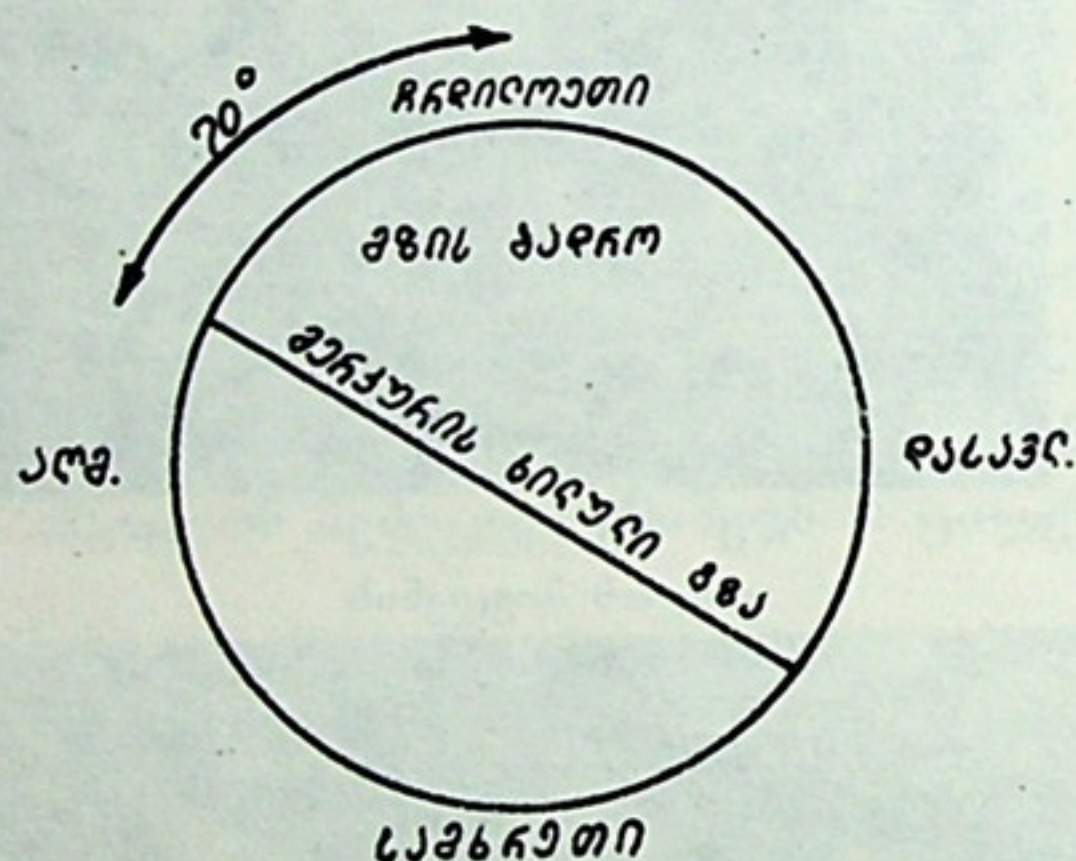
ნასკნელად იგი მოხდა 1986 წლის 13 ნოემბერს და უახლოესი შემდგომი იქნება 1993 წ. 6 ნოემბერს.

მოვიყვანოთ მერკურის გავლათა ცხრილიც:

წელი	დღე	თვე	წელი	დღე	თვე
1927	10	ნოემბერი	1970	9	მაისი
1937	11	მაისი	1973	9	ნოემბერი
1940	11	ნოემბერი	1986	13	"
1953	14	"	1993	6	"
1957	6	მაისი	1999	15	"
1960	7	ნოემბერი	2003	7	მაისი

არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ყველა გავლა ჩაითვლება ხილულად, მაგალითად, საქართველოს ტერიტორიიდან. ზოგი მათგანი იმ დროს ხდება, როცა ჩვენთვის მზე ჰორიზონტის ქვეშაა.

263-ე ნახაზზე წარმოდგენილია 1970 წ. 9 მაისის გავლის სქემატური სურათი. 8 სთ 20 წთ (თბილისის დროით) მერკური შემოვიდა მზის დისკოს აღმოსავლეთ კიდეზე და 7 საათისა და 53 წუთის შემდეგ გავიდა იგი დისკოდან



ნახ. 263.

მის დასავლეთ მხარეზე (ტელესკოპში და ტელესკოპზე მორგებულ ეკრანზე ეს სურათი სათანადოდ შებრუნებული მოჩანდა).

გავლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მანძილზეა მზის ცენტრიდან ის ქორდა, რომლის გასწვრივ ცთომილის პროექცია გაივლის მზის დისკოზე.



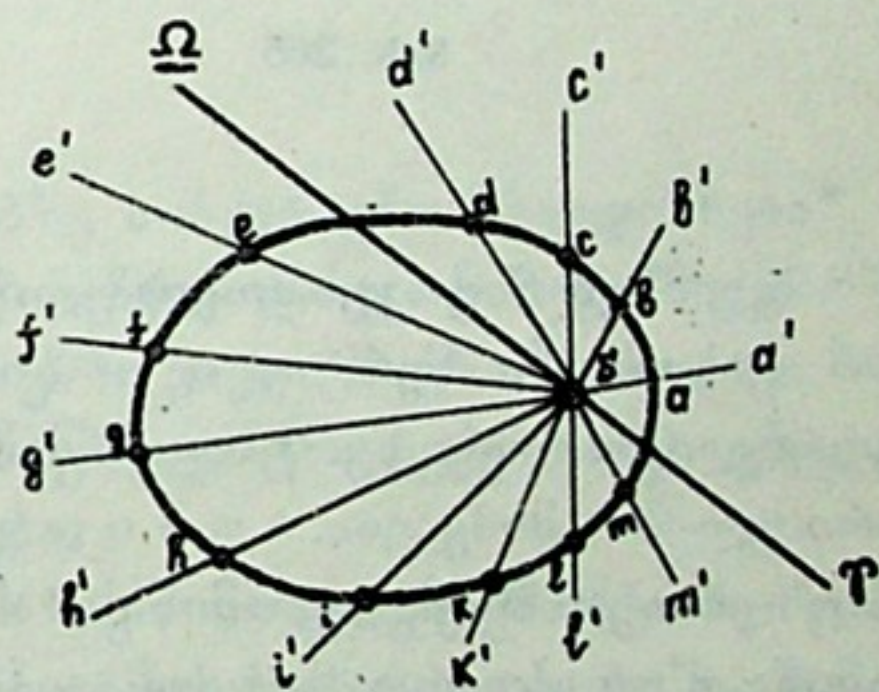
თ ა ვ ი XII

**დედამიწისა და სხვა ცთომილების მოძრაობა  
მზის გარშემო**

§ 141. **დედამიწის ორბიტა.** ზემოთ, როცა ცაზე მზის ხილულ წლიურ მოძრაობას განვიხილავდით, ვნახეთ, რომ ეს მოძრაობა მოჩვენებითია და სინამდვილეში მოძრაობს დედამიწა, მოიქცევა რა იგი მზის ირგვლივ დაახლოებით წრიული გზით. უფრო ზუსტად, დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო ელიფსია, მაგრამ იგი მცირედ არის გაწელილი და ამიტომ შესაძინევად როდი განსხვავდება წრეწირისაგან. ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში მოთავსებულია მზე.

მზის ხილული გადაადგილების სისტემატური დაკვირვების შედეგად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ დედამიწის ორბიტა, მზესთან ერთად, ერთ სიბრტყეში ძევს; მზის ხილული წლიური გზა ცაზე დიდი წრეწირია. მაგრამ ეს არაფერს გვეუბნება დედამიწის წლიური გზის რეალურ ფორმაზე ან სიდიდეზე. ხოლო თუ ერთდროულად და სისტემატურად დავაკვირდებით მზის ბადროს ხილულ, კუთხურ დიამეტრს, გავზომავთ მას და ამ გაზომვის შედეგების სათანადო ანალიზს მოვახდენთ, შევძლებთ ელიფსის ფორმაც დავადგინოთ და მის გასწვრივ დედამიწის მოძრაობის განზომიერებაც. მზის გარს დედამიწის მოძრაობის წლიურ გზას დედამიწის ორბიტა ეწოდება.

ავიღოთ მზის მდებარეობის გამომხატველი  $S$  წერტილი (ნახ. 264), გავავლოთ მასზე წრფე, მიმართული გაზაფხულის დედამეტოლობის წერტილისაკენ, და აგრეთვე ხაზები, მიმართულნი დედამიწისაკენ წელიწადის სხვადასხვა დღეს:  $a', b', c', d', e'$  და ა. შ. ეს მიმართულებები განისაზღვრება ამ დღეების შესაბამისი დედამიწის ეკლიპტიკური გრძედებით\*, როგორც ისინი აითვლებიან სფეროზე, რომლის ცენტრში მზის ცენტრია. პრაქტიკულად გრძედების გამოთვლა შემდეგნაირად წამოიღებს. ამ არჩეულ დღეებში განვსაზღვრავთ მზის ეკვატორულ კოორდინატებს და, ვისარგებლებთ რა გარდაქმნის ფორმულებით, გადავიყვანთ მათ ეკლიპტიკურ კოორდინატებში. მზის გეოცენტრული (დედამიწის ცენტრიდან ხილული) ეკლიპტიკური



ნახ. 264

გრძედებით\*, როგორც ისინი აითვლებიან სფეროზე, რომლის ცენტრში მზის ცენტრია. პრაქტიკულად გრძედების გამოთვლა შემდეგნაირად წამოიღებს. ამ არჩეულ დღეებში განვსაზღვრავთ მზის ეკვატორულ კოორდინატებს და, ვისარგებლებთ რა გარდაქმნის ფორმულებით, გადავიყვანთ მათ ეკლიპტიკურ კოორდინატებში. მზის გეოცენტრული (დედამიწის ცენტრიდან ხილული) ეკლიპტიკური

\* დედამიწის ეკლიპტიკური განედის უცვლელია ( $0^\circ$ -ის ტოლი). იხ. გვ. 351, 352.



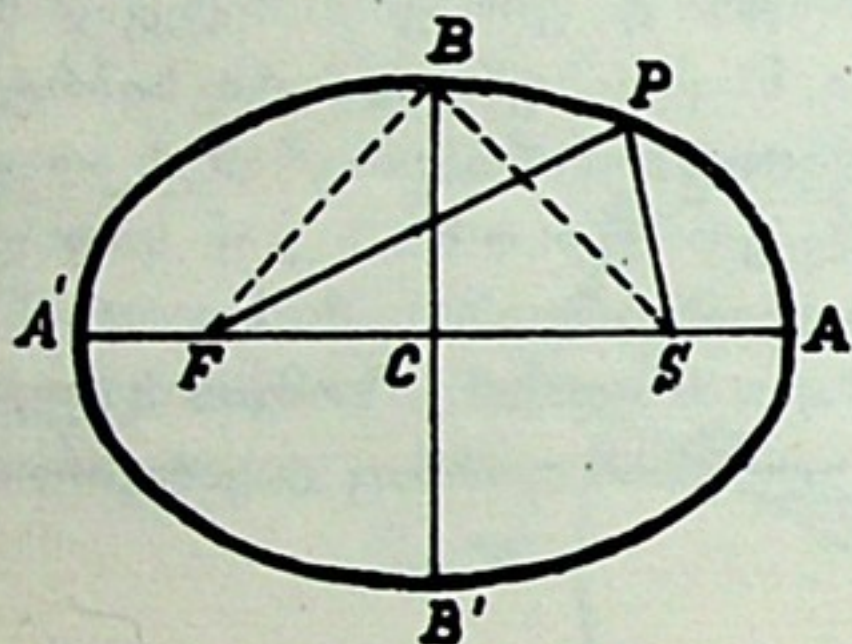
გრძელი, გადიდებული  $180^\circ$ —ით, ეტოლება დედამიწის პელიოცენტრულ (მნი-  
დან ხილულს) ეკლიპტიკურ გრძელს.

ახლა მივმართოთ მზის ხილული დიამეტრის ( $2\rho$ ) მნიშვნელობებს ამ დღე-  
ებში. მათი ყოველდღიური ცვლილება წელიწადის განმავლობაში\* მიუთითებს  
მზე-დედამიწის მანძილის ცვლილებას. როგორც ვიცით, ეს მანძილი მზის ხი-  
ლული დიამეტრის ( $2\rho$ ) უკუპროპორციულია. მანძილს დედამიწა-მზე ( $D$ ), გამო-  
სახულს მზის რადიუსის ერთეულებით, მივიღებთ ფორმულიდან:

$$D = \frac{R}{\rho \sin 1''} = \frac{1}{\rho \sin 1''}.$$

მისი მნიშვნელობები სხვადასხვა დღეებში, გამოხატული რაღაც შერჩეული მას-  
შტაბით, გადავზომოთ ჩვენს ნახაზზე დედამიწის მიმართულებათა გამომხატველ  
წრფეებზე და ასე მიღებულ წერტილებზე (გადაზომილი მონაკვეთების ბოლოებ-  
ზე  $a, b, c, d, e, \dots$ ) გავავლოთ მრუდი. ეს იქნება დედამიწის ორბიტის გამომხატ-  
ველი მრუდი—ელიფსი. მზე ამ ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში იმყოფება. ამგვარად  
განისაზღვრება დედამიწის ორბიტის ფორმა.

265-ე ნახაზზე ელიფსის ფოკუსების წერტილები აღნიშნულია  $F$  და  $S$  ასო-  
ებით.  $AA'$  არის დიდი ღერძი, ხოლო  $BB'$ —მცირე ღერძი.  $SP + FP =$   
 $= SB + FB = AA'$ . თუ დიდი ღერძის  
ნახევარს აღვნიშნავთ  $a$  ასოთი, ხოლო  
მცირე ღერძისას— $b$  ასოთი, მაშინ  
ელიფსის ექცენტრისიტეტი



ნახ. 265.

$$e = SC:AC = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}.$$

დედამიწის ორბიტული ელიფს-  
ის ექცენტრისიტეტი სულ მხოლოდ  
 $1/60$ -ს ეტოლება. მაშასადამე, ეს  
ელიფსი მართლაც უმნიშვნელოდია გა-  
წელილი და წრეს უახლოვდება.

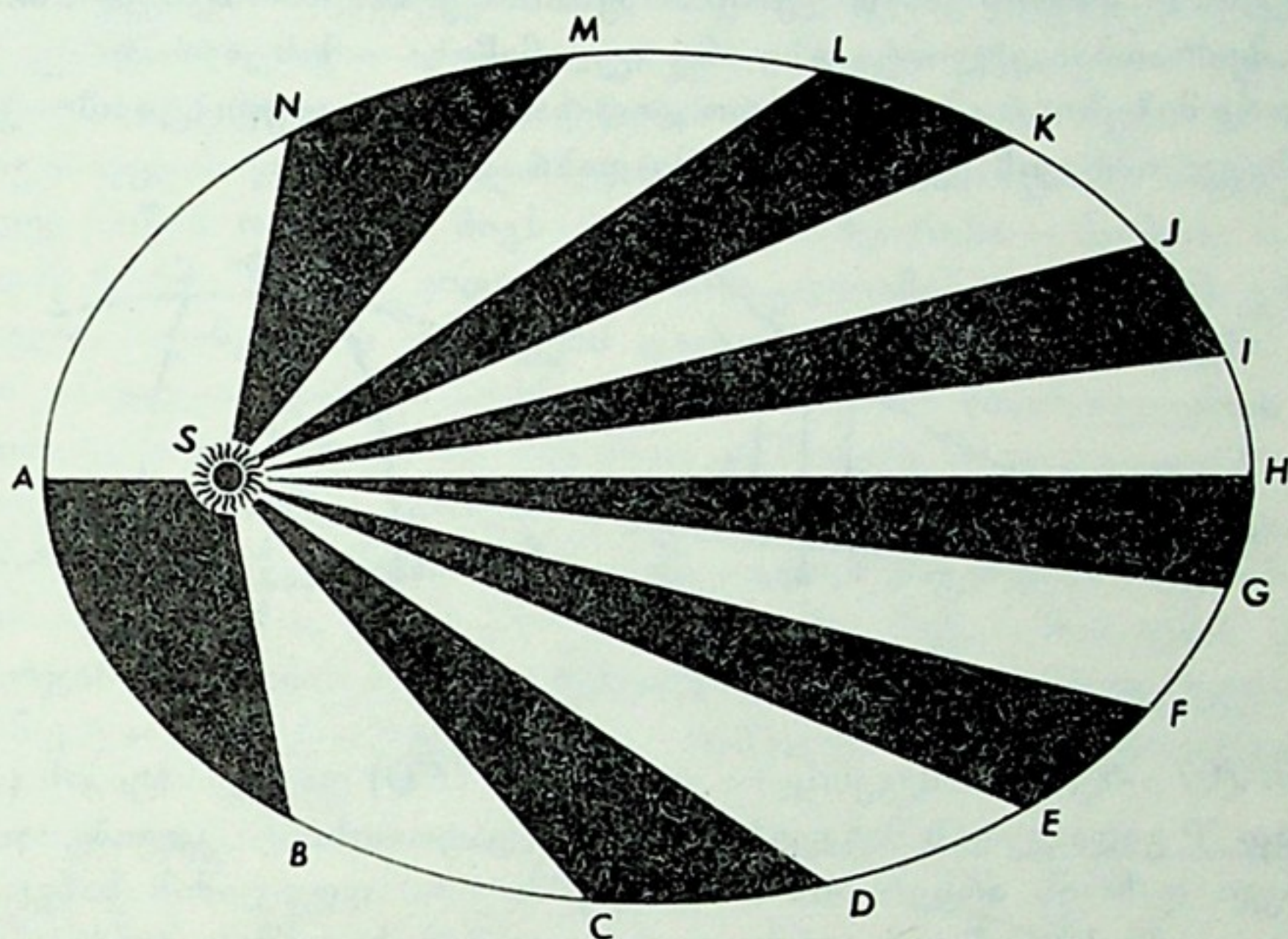
თუ მზეს  $S$  ფოკუსში ვიგულისხმებთ, მაშინ  $A$  პერიჰელიუმი (მზეს-  
თან უახლოესი წერტილი ორბიტისა), ხოლო  $A'$ —აფელიუმი (უშორესი  
წერტილი). ამ ორი წერტილის შემაერთებელი ხაზი, რომელიც დიდი ღერძის მი-  
მართულებას მიჰყვება, აფსიდების ხაზად არის წოდებული. ხაზი, რომე-  
ლიც აერთებს მზეს დედამიწასთან, სადაც არ უნდა იყოს აღებულ მომენტში დე-  
დამიწა, წოდებულია რადიუს-ვექტორად. კუთხეს, რომელსაც ადგენს რადიუს-  
ვექტორი  $SA$  მონაკვეთთან ანუ  $ASP$  კუთხეს, ეწოდება ჭეშმარიტი  
ანომალია. პერიჰელიუმისა და აფელიუმის წერტილების მზიდან დაშორე-  
ბათა ნახევარჯამი დედამიწის საშუალო მანძილია მზიდან. მას  
ასტრონომიულ ერთეულს უწოდებენ.

თუ დედამიწის მდებარეობებს მის ორბიტაზე დავუპირისპირებთ იმ მომენ-  
ტებს, რომლებსაც შეესაბამება ეს მდებარეობები, დავრწმუნდებით, რომ დედამი-

\* ასტრონომიულ წელიწადულში, მზის ყოველდღიური კოორდინატების ცხრილში, კენტ გვერ-  
დებზე ნახეთ მზის ხილული რადიუსის მნიშვნელობები და ყურადღება მიაქციეთ მის ლიურ  
ცვლილებებს.



წის მოძრაობა როდია თანაბარი სიჩქარისა; პერიპელიუმის ახლოს დედამიწის ხაზოვანი სიჩქარე უფრო დიდია, ვიდრე აფელიუმთან. მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების კანონზომიერება ისეთია, რომ ფართობი, რომელსაც შემოწერს დედამიწის რადიუს-ვექტორი (ნახ. 266), პროპორციულია დროის იმ შუალედისა, რომელიც საჭიროა მის შემოსაწერად. სხვა სიტყვებით, დროის თანატოლ შუალედებში რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილი ფართობები თანატოლია. თუ ჩვენს ნახაზზე  $AB, CD, \dots, MN$  ისეთი რკალებია ელიფსისა, რომელნიც თანატოლ (დაშტრიხულ) ფართობებს ( $SAB, SCD, \dots, SMN$ ) შეესაბამებიან, მაშინ დედამიწა დროის თანატოლ შუალედებში უნდა გადიოდეს  $AB, CD$  და  $MN$  რკალებს. მაგრამ ეს რკალები სხვადასხვა სიგრძისაა.



ნახ. 266.

მაშასადამე,  $AB, CD$  და  $MN$  მონაკვეთებზე სიჩქარეები სხვადასხვაა\*. ამ გარემოებას ის შედეგი ახლავს, რომ დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში, სადაც ზამთრის სეზონი დედამიწის პერიპელიუმში გავლის დროზე მოდის, ზამთარი უფრო მოკლეა (89 დღე-ღამე), ვიდრე ზაფხული (93 დღე-ღამე). ცხადია, რომ სამხრეთ ნახევარსფეროში პირუკუ იქნება.

ახლა დავუბრუნდეთ დროის განტოლების საკითხს და განვმარტოთ, რა მიზეზებით იცვლება ჭეშმარიტი მზისმიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობა და რა განპირობებს დროის განტოლების აღწერილ ხასიათს.

ჯერ ერთი, იმის გამო, რომ დედამიწა მზეს ელიფსური ორბიტის გასწვრივ გარემოქცევა, მისი მოძრაობის სიჩქარე ცვალებადია წლის განმავლობაში. მაშასადამე, ცვალებადია აგრეთვე ჭეშმარიტი მზის ყოველდღიური ხილული გადაადგილება ცაზე ვარსკვლავებს შორის. ზამთრის თვეებში ჭეშმარიტი მზე საშუალო სიდიდეზე მეტად გადაადგილდება აღმოსავლეთით; ცის დღედამურ ბრუნვაში იგი ჩამორჩება საშუალო მზესა და ამიტომ წელიწადის ამ დროს ჭეშმარიტი მზისმიერი დღე-ღამე საშუალოზე ხანგრძლივია. ეს სხვაობა მაქ-

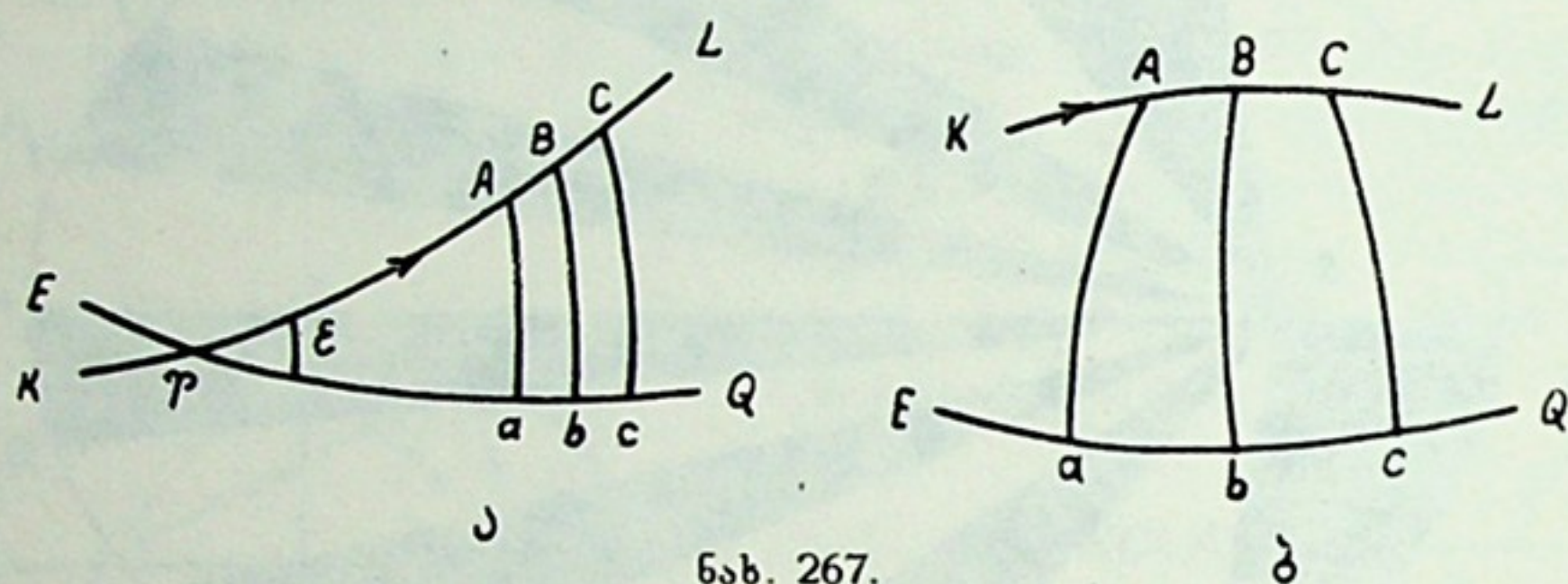
\* ეს მსჯელობა დედამიწასთან ერთად ყველა სხვა პლანეტას შეეხება.



სიმაღურია იანვრის დასაწყისში, როცა დედამიწა პერიჰელიუმშია, თუმცა მაშინაც კი სულ რამდენიმე სეკუნდს შეადგენს. ამის შემდეგ, იგი დღითი დღე კლებულობს და აპრილისათვის დედამიწის გარემოქცევის სიჩქარე ისე შეიცვლება (იმდენად შენელება), რომ ჭეშმარიტი დღე-ღამე საშუალოს გაუტოლდება. შემდეგ, განაგრძობს რა შემცირებას დედამიწის გარემოქცევის სიჩქარე, საშუალო მზე ასწრებს ჭეშმარიტს აღმოსავლეთით გადაადგილებაში ვარსკვლავიერ ცაზე. მაშასადამე, ცის ყოველდღიურ ბრუნვაში საშუალო მზე ჩამორჩება ჭეშმარიტს და ახლა საშუალო დღე-ღამე უფრო ხანგრძლივი ხდება. განსხვავება მატულობს ივლისამდე, როცა დედამიწის გარემოქცევის სიჩქარე მინიმალურია და ამის შემდეგ დედამიწის მოძრაობა კვლავ აჩქარდება.

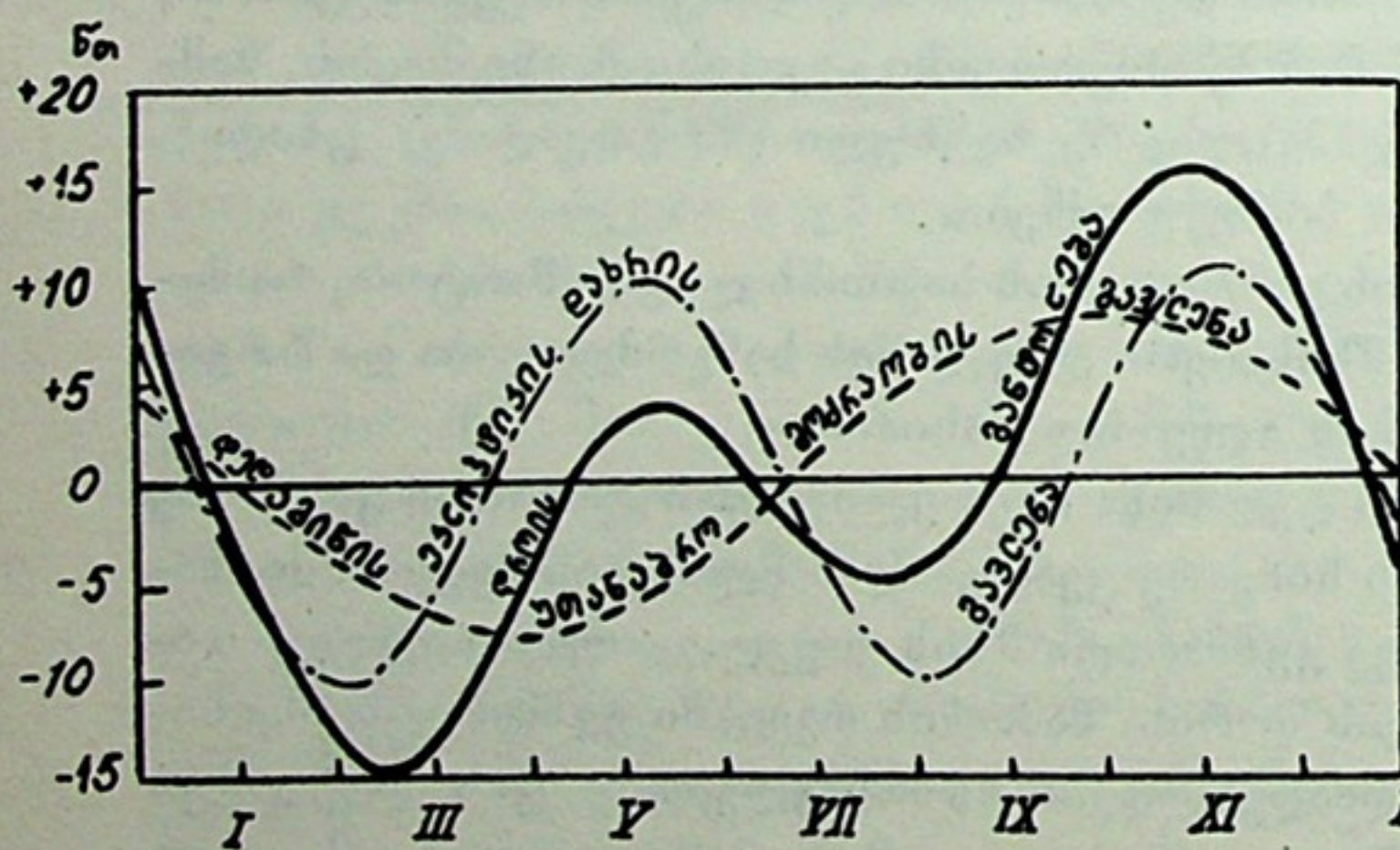
ამგვარად, დროის განტოლების არსებობის ერთ-ერთი მიზეზი მზის არათანაბარი მოძრაობაა ეკლიპტიკაზე ანუ დედამიწისა — მის ორბიტაზე.

მეორე მიზეზი, რომელიც უფრო დიდ რაოდენობრივ ეფექტს იძლევა, მდგომარეობს ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრაში.



ნახ. 267.

ნახ. 267 ა-ზე წარმოდგენილია ეკვატორის (EQ) და ეკლიპტიკის (KL) რკალები მათ  $P$  გადაკვეთის მახლობლობაში. ეკვატორისა და ეკლიპტიკას შორის შესამჩნევი დახრის არსებობის გამო, ჭეშმარიტი დღე-ღამის ხანგრძლივობა ცვალებადი იქნებოდა წლის განმავლობაში იმ შემთხვევაშიც, თუ მზე თანაბრად გადაადგილდებოდა ეკლიპტიკაზე. ამას ვხედავთ ნახ. 267 ა-ზე: მზის გრძედის ნაზრდი იყოს უცვლელი,  $AB=BC$ ; ამ ნაზრდების (რკალების) პროექციები ეკვატორზე არის პირდაპირი აღვლენის დედამიური ნაზრდები და ისინი უფრო მოკ-



ნახ. 268.

ლენი არიან, ვიდრე გრძედის ნაზრდები. მზებუდობის მახლობლობაში კი (ნახ. 267-ბ), პირიქით, ეკვატორის მონაკვეთები უფრო გრძელია, ვიდრე ეკლიპტიკის სათანადო მონაკვეთები, რადგანაც ამ მონაკვეთებს შემოსაზღვრავს საათ-კუთხის წრეები, რომლებიც პოლუსიდან ეკვატორისაკენ სულ უფრო და უფრო მეტად და-

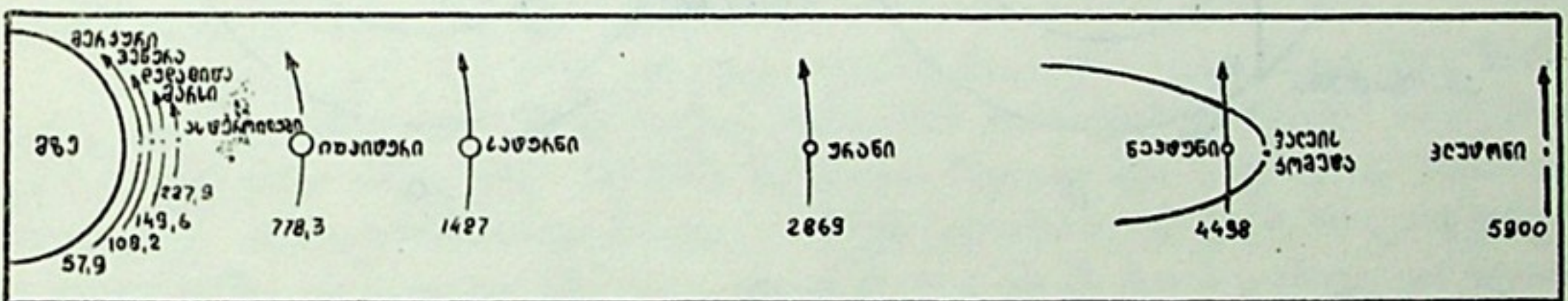
ცილებულია ერთმანეთისაგან ( $ac$  უფრო შორსაა პოლუსიდან, ვიდრე  $AC$ ).



ნახ. 268-ზე წარმოდგენილია ჩვენთვის უკვე ცნობილი დროის განტოლების გრაფიკი, ოღონდ ორი სახით: 1) ისე, როგორც ნახ. 77-ზე (სქელი ხაზი) და 2) როგორც შედგენილი ორი მდგენელისაგან: პირველი მზის უთანაბრო მოძრაობით გამოწვეული (წყვეტილი ხაზი) და მეორე—ეკლიპტიკის დახრით განპირობებული. დროის განტოლების სიდიდე წუთებით გამოიხატება, იგი შედგება ყოველდღიური, რამდენიმე წამიანი გადახრის შეჯამებით. დროის განტოლების პირველ მდგენელს ცენტრის განტოლებას უწოდებენ.

§ 142. **პლანეტები და მათი ხილული მოძრაობა.** დედამიწის გარდა მზეს — როგორც ცენტრალურ სხეულს—გარშემო შემოუვლის რამდენიმე სხვა, საერთოდ, დედამიწის მსგავსი კოსმოსური სხეულები — პლანეტები. ესენია: მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი და პლუტონი. აქ პლანეტები ჩამოთვლილია იმ მიმდევრობით, როგორც არიან განლაგებულნი მზის მიმართ. მზესთან უახლოესი პლანეტა მერკურია, ხოლო უშორესი — პლუტონი. დედამიწის ორბიტა მოთავსებულია ვენერას და მარსის ორბიტებს შორის. ეს ორი პლანეტა დედამიწის მეზობელი პლანეტებია. ერთი მათგანის — ვენერას — ორბიტა დედამიწის ორბიტის შიგნითაა, ხოლო მეორისა — მარსის, — რომელიც მზიდან უფრო შორსაა, ვიდრე დედამიწა, დედამიწის ორბიტის გარეთაა მოთავსებული. პლანეტების ორბიტები დაახლოებით ერთ სიბრტყეში არიან მოქცეული და ყველა პლანეტა მოძრაობს ერთ საერთო მიმართულებით — დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. მზიდან მათი დაშორება, მათი სიდიდეები, მოძრაობის სიჩქარეები და მზის გარშემო მოქცევის პერიოდები სხვადასხვაა; ფიზიკური პირობებიც მათ ზედაპირზე, მათი ბუნება განსხვავებულია, მაგრამ ყველა ესენი ერთ ოჯახს, ე. ი. მზის სისტემას ანუ პლანეტურ სისტემას ქმნიან.

მზის ოჯახს ეკუთვნის აგრეთვე რამდენიმე ათასი ეგრეთ წოდებული მცირე პლანეტა ანუ პლანეტოიდი, რომელთა ორბიტები მოთავსებულია



ნახ. 269.

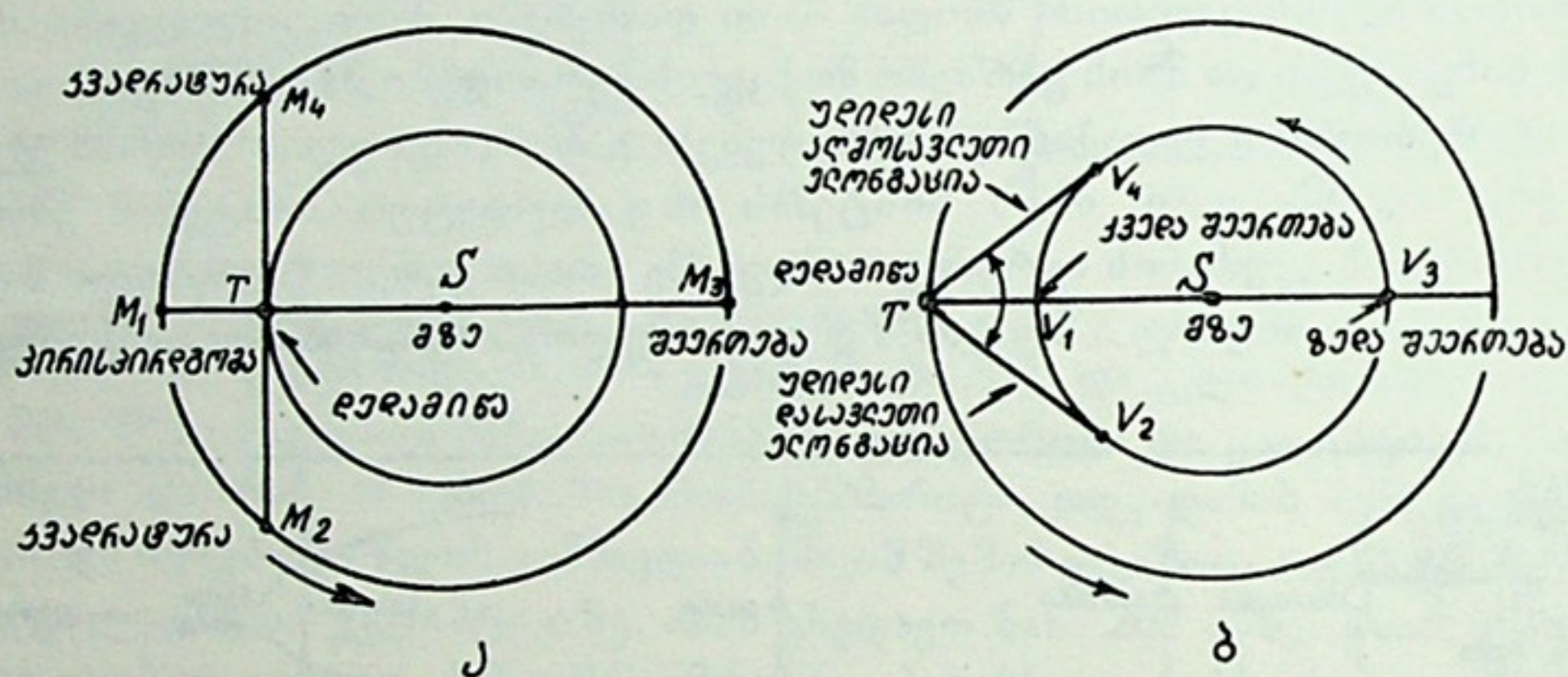
უმეტესად მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის. მზის ოჯახს მიეკუთვნება ე. წ. კომეტები და მეტეორებიც, დაბოლოს—თვით პლანეტების თანამგზავრებიც. ყველას თავთავის დროზე განვიხილავთ. დაწვრილებით აღვწერთ აგრეთვე მთელი პლანეტური სისტემის აგებულებას და პლანეტების ფიზიკურ თვისებებს. ჯერ კი გვაინტერესებს მხოლოდ მათი მოძრაობა—ხილული ანუ მოჩვენებითი, როგორც ეს ცაზე წარმოგვესახება, და ნამდვილი, ჭეშმარიტი.

269-ე ნახაზზე ნაჩვენებია პლანეტების (ანუ ცთომილების, როგორც მათ აგრეთვე უწოდებენ) სქემატური განლაგება მზის ირგვლივ. რა თქმა უნდა, მასშტაბი აქ დაცული არაა; მაინც პლანეტების მზესთან შედარებითი სიდიდეებისა და მათი მანძილების სხვადასხვაობა შეძლებისამებრ წარმოდგენილია. თითოეული პლანეტის ორბიტის მონაკვეთს მიწერილი აქვს მზემდე მანძილის შესაბამისი მნიშვნელობა (მილიონ კმ-ში).



პლანეტები ცაზე გამოირჩევიან ორი გარეგნული ნიშნით, რომლებიც ჯერ კიდევ ძველად შენიშნა ადამიანმა. ეს ნიშნებია, ჯერ ერთი, ვარსკვლავებთან შედარებით უფრო „მშვიდი“, ნაკლებად მოციმციმე ნათება, რასაც თავისი ახსნა აქვს, და მეორეც ის, რომ პლანეტები გადაადგილდებიან ვარსკვლავების მიმართ, ე. ი. მონაწილეობენ რა ცის საერთო დღედამურ ბრუნვაში, ამავე დროს ს ა კ უ თ რ ი ვ მოძრაობენ და ადგილს იცვლიან ცაზე ვარსკვლავების მიმართ. ასეთი საკუთარი მოძრაობა მზესა და მთვარესაც აქვთ, როგორც ვნახეთ, მაგრამ პლანეტების საკუთარი ხილული მოძრაობა უფრო თავისებურია და ერთი შეხედვით ძალიან უწესო: ხან აღმოსავლეთითაა მიმართული, ხან დასავლეთით. ამ სხეულებს სწორედ პლანეტები იმიტომ უწოდეს, რომ გამოეხატათ მათი უწესრიგო „ხეტიალი“ ცაზე (ბერძნული სიტყვებია  $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\iota\varsigma$   $\alpha\sigma\tau\epsilon\rho\epsilon\varsigma$ , რაც მ ო ხ ე ტ ი ა ლ ე ვარსკვლავს ნიშნავს). ქართული სახელწოდებაც—ც თ ო მ ი ლ ი ამასვე გამოხატავს—ვარსკვლავების საერთო გ ზ ა ს ა მ ც დ ა რ ს, ც თ ო მ ი ლ მ ნ ა თ ო ბ ს.

ხილული მოძრაობის ხასიათის მიხედვით პლანეტები ორ ჯგუფად დაიყოფა: ქ ვ ე დ ა ა ნ უ შ ი დ ა პ ლ ა ნ ე ტ ე ბ ა დ (მერკური და ვენერა) და ზ ე დ ა ა ნ უ გ ა რ ე პ ლ ა ნ ე ტ ე ბ ა დ (მარსი, იუპიტერი, სატურნი და დანარჩენნი). პლანეტების ამ ორი ჯგუფის ორბიტებს გამოიწვევს დედამიწის ორბიტა. ხილულ მოძრაობას კი ის ახასიათებს, რომ ქვედა პლანეტები ცაზე დიდად არასოდეს არ



ნახ. 270.

შორდებიან მზეს, მალე ჩაჰყვებიან მას ჰორიზონტის ქვეშ ან მასზე ცოტათი ადრე ამოდიან. ამიტომ ამ პლანეტების ხილვა შესაძლოა სადამოთი დასავლეთის ცაზე ან გათენების წინ აღმოსავლეთისაზე.

ნათქვამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ 270-ე ა, ბ ნახ., რომელზეც S მზის გარშემო შემოწერილია ერთი ზედა პლანეტის (მაგალითად, მარსის) და ერთი ქვედა პლანეტის (მაგ., ვენერას) ორბიტები. აღნიშნულია დედამიწის ორბიტაც. აღებულ მომენტში დედამიწის მდებარეობა იყოს T. განვიხილოთ ვენერას 4 მდებარეობა:  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  და  $V_4$ .  $V_1$  და  $V_3$  მდებარეობებში ვენერა პირდაპირ მზის მიმართულებით მოჩანს. რომ არ ყოფილიყო ვენერას ორბიტის სიბრტყე დახრილი ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი,  $V_1$  მდებარეობაში უთუოდ მოხდებოდა ვენერას გავლა მზის ბადროზე, რაზეც ზემოთ ვილაპარაკეთ. ამ ორ მდებარეობაში ვენერას ვერ ვხედავთ, რადგანაც მისი მიმართულება ახლოა მზის მიმართულებასთან, მზესთან ერთად ამოდის ჰორიზონტიდან, მზესთან ერთად ჩადის,



დღისით მზის სხივებში „იკარგება“ და, ამგვარად, უხილავია. მდებარეობას  $V_1$ -ში უწოდებენ ქვედა შეერთებას, მდებარეობას  $V_3$ -ში—ზედა შეერთებას.

როცა ვენერა  $V_2$  ან  $V_4$  წერტილებში მდებარეობს, იგი მაქსიმალურადაა დაშორებული ცაზე მზიდან. მართლაც,  $T$  წერტილიდან ვენერას ორბიტის მიმართ გავლებული მხეხები ორბიტას  $V_2$  და  $V_4$  წერტილებში შეესებიან და, სადაც უნდა აიღოთ ახლა ვენერას მდებარეობა, მისი კუთხური დაშორება მზიდან არ აღემატება  $STV_2 = STV_4$  კუთხეს.

კუთხეს, რომელიც იქმნება მიმართულებებით დამკვირვებლიდან მზეზე და დამკვირვებლიდან ქვედა ცთომილზე, უწოდებენ ელონგაციას.  $STV_2 = STV_4$ , როგორც ვხედავთ, მაქსიმალური ელონგაციაა. დედამიწა-ვენერა-მზის ურთიერთგანლაგება ისეთია, რომ ვენერას მაქსიმალური ელონგაცია ეტოლება  $48^\circ$ -ს. თუ ჩვენ ნახავს ისე წარმოვიდგენთ, რომ მის სიბრტყეს (ეკლიპტიკის სიბრტყეს) ჩრდილოეთიდან ვუყურებთ (რომ ეს ასეა, იქიდან ჩანს, რომ დედამიწის ორბიტაზე აღნიშნული ისარი დედამიწის მოქცევის მიმართულებას მიგვანიშნებს—დასავლეთიდან აღმოსავლეთით ანუ საათის ისრის საწინააღმდეგოდ), მაშინ  $V_2$  და  $V_4$  აგლებთ ის ელონგაციაა, ხოლო  $V_4$ —აღმოსავლეთისა. ეს იმას ნიშნავს, რომ  $V_2$ -ში ვენერა მზის დასავლეთითაა, მაშასადამე, მზეს ამოსვლას ასწრებს, ე. ი. მოჩანს აღმოსავლეთის ცაზე გათენების წინ და, რაკი მაქსიმალური ელონგაციაშია, შედარებით დიდად უსწრებს წინ მზეს და ხილვადობის კარგ პირობებშია. მეორე მხრივ,  $V_4$ -ში ვენერა მზის აღმოსავლეთითაა, მზეზე გვიან ჩადის პორიზონტის ქვეშ და ელონგაციის მაქსიმალური პირობების გამო შედარებით დიდხანს მოჩანს საღამოობით, დასავლეთის ცაზე. ეს საუკეთესო პერიოდია ვენერას ხილვადობის თვალსაზრისით. ბევრს შენიშნული აქვს ეს კაშკაშა მნათობი, რომელიც ცაზე სხვადასხვა პერიოდში მოჩანს შენაცვლებით—საღამოთი ან დილით. ამ პერიოდებს ჰყოფს მისი უხილვადობის პერიოდები, როცა ვენერა ზედა ან ქვედა შეერთებაში ან ამ მდებარეობათა სიახლოვეშია.

მერკურისათვის მაქსიმალური ელონგაცია რიცხობრივად ნაკლებია,  $28^\circ$ -ს ეტოლება. ეს გასაგებია, რამდენადაც მერკურის ორბიტის რადიუსი ნაკლებია, ვიდრე ვენერას ორბიტისა. ამიტომ მერკური ძნელად და იშვიათად სანახავი პლანეტაა. ის ძალიან სწრაფად ჩაჰყვება მზეს პორიზონტის ქვეშ, როცა ჯერ კიდევ არც არის კარგად დაღამებული. ასევე ახლოა ის მზესთან დასავლეთ ელონგაციაში და მისი ამოსვლა ძლივს უსწრებს წინ მზის ამოსვლას და ამ მდგომარეობაშიც ძნელია მისი ხილვა. სანახავად კი მერკურიც საინტერესოა, კაშკაშაა, მზესთან სიახლოვის გამო; იგიც, სხვა პლანეტების მსგავსად, საკუთარ სინათლეს მოკლებულია და ანათებს მზის სხივების არეკვლით. უსაფუძვლოდ არ უთქვამთ ძველ რომაელებს: *Felix astronomus, qui vid Mercurium!* (ბედნიერია ასტრონომი, რომელსაც უნახავს მერკური!).

დავხედოთ ახლა იმავე ნახაზზე (270-ა) გარე პლანეტის (ვთქვათ, მარსის) ოთხ მდებარეობას:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  და  $M_4$ .  $M_1$  მდებარეობაში პლანეტა მზის მოპირდაპირე მხარეზეა, ე. წ. ოპოზიციაში ანუ პირისპირდგომაში და მისი ხილვადობის საუკეთესო პირობებია. მართლაც, როცა მზე ქვედა კულმინაციაშია, ე. ი. შუადამისას, ცთომილი ზედა კულმინაციაში, მაღლა პორიზონტის ზევით იმყოფება (რა თქმა უნდა, ქვედა პლანეტა ვერ აღმოჩნდება ასეთ მდებარე-



ობაში).  $M_3$  შეესაბამება შეერთებას; ამ დროს პლანეტა დიდად არის დაშორებული ჩვენგან და ამასთანავე მზის სხივებში „იკარგება“.  $M_2$  და  $M_4$  მდებარეობებს ეწოდება, შესაბამისად, დასავლეთისა და აღმოსავლეთის კვადრატურა. ამ მომენტებში კუთხე  $STM_2 = STM_4 = 90^\circ$ . ამ მდებარეობებში გარე პლანეტის კულმინაცია წინ უსწრებს ან ჩამორჩება მზისას ნ საათით (აშკარაა, რომ არც კვადრატურაში შეიძლება აღმოჩნდეს ქვედა ცთომილი).

პირისპირდგომა ყველაზე საინტერესო მდებარეობაა ზედა ცთომილისათვის, რამდენადაც ამ მდებარეობაში მისი მანძილი დედამიწიდან უმცირესია და ხილვადობის პირობებიც დაკვირვება-გამოკვლევის წარმოებისათვის — საუკეთესო; ცთომილი მთელი დამის განმავლობაში მოჩანს ცაზე და მისი ბადროს კუთხური დიამეტრიც, სიახლოვის გამო, შედარებით დიდია.

ცნობილია, რა დიდ ინტერესს წარმოადგენს პლანეტა მარსი თავისი ფიზიკური აგებულებით და, კერძოდ, მასზე ცოცხალი სამყაროს არსებობის შესაძლებლობის თვალსაზრისით. მაგრამ დაკვირვებისათვის მარსი საკმარისად მნე-ლი ობიექტია მისი სიშორის გამო იმ ცალკე შემთხვევის გამოკლებით, როცა იგი პირისპირდგომაშია და ამის გამო ახლოა. მართლაც, მისი საშუალო დაშორება მზიდან წარმოადგენს 228 მლნ კმ-ს. როცა მარსი მზესთან შეერთების ახლოა, მისი დაშორება დედამიწიდან 377 მლნ კმ-ს აღწევს და ბადროს კუთხური დიამეტრი რკალის სულ მხოლოდ  $3\frac{1}{2}$  სეკუნდია. მისი ხილული სიკაშკაშე ამ დროს არაა უფრო მეტი, ვიდრე პოლარული ვარსკვლავის სიკაშკაშე. სამაგიეროდ, პირისპირდგომაში მანძილი დედამიწა-მარსი მცირდება 80—70—60 მილიონ კილომეტრამდე და თუ მოცემულ პირისპირდგომას ისიც დაემატება, რომ მარსი მისი ორბიტის პერიჰელიუმშია (მარსის ორბიტას უფრო დიდი ექსცენტრისიტეტი აქვს, ვიდრე დედამიწისას, მაშასადამე, იგი უფრო მეტად გაწეულია), მაშინ მისი მოახლოება დედამიწასთან კიდევ უფრო მნიშვნელოვანია; მანძილი კლებულობს 56 მლნ კმ-მდე, ხოლო ბადროს ხილული დიამეტრი იზრდება რკალის 25 სეკუნდამდე. მისი სიკაშკაშე აჭარბებს სირიუსის სიკაშკაშეს. ეს ეგრეთ წოდებული დიდი პირისპირდგომაა.

მარსის პირისპირდგომა დაახლოებით ყოველი ორი წლის შემდგომ მეორდება (რამდენადაც თითქმის ორი წელიწადია მზის გარშემო მარსის მოქცევის პერიოდი), მაგრამ 15—17 წელიწადში ერთხელ მისი დიდი პირისპირდგომაა (ნახ. 271).

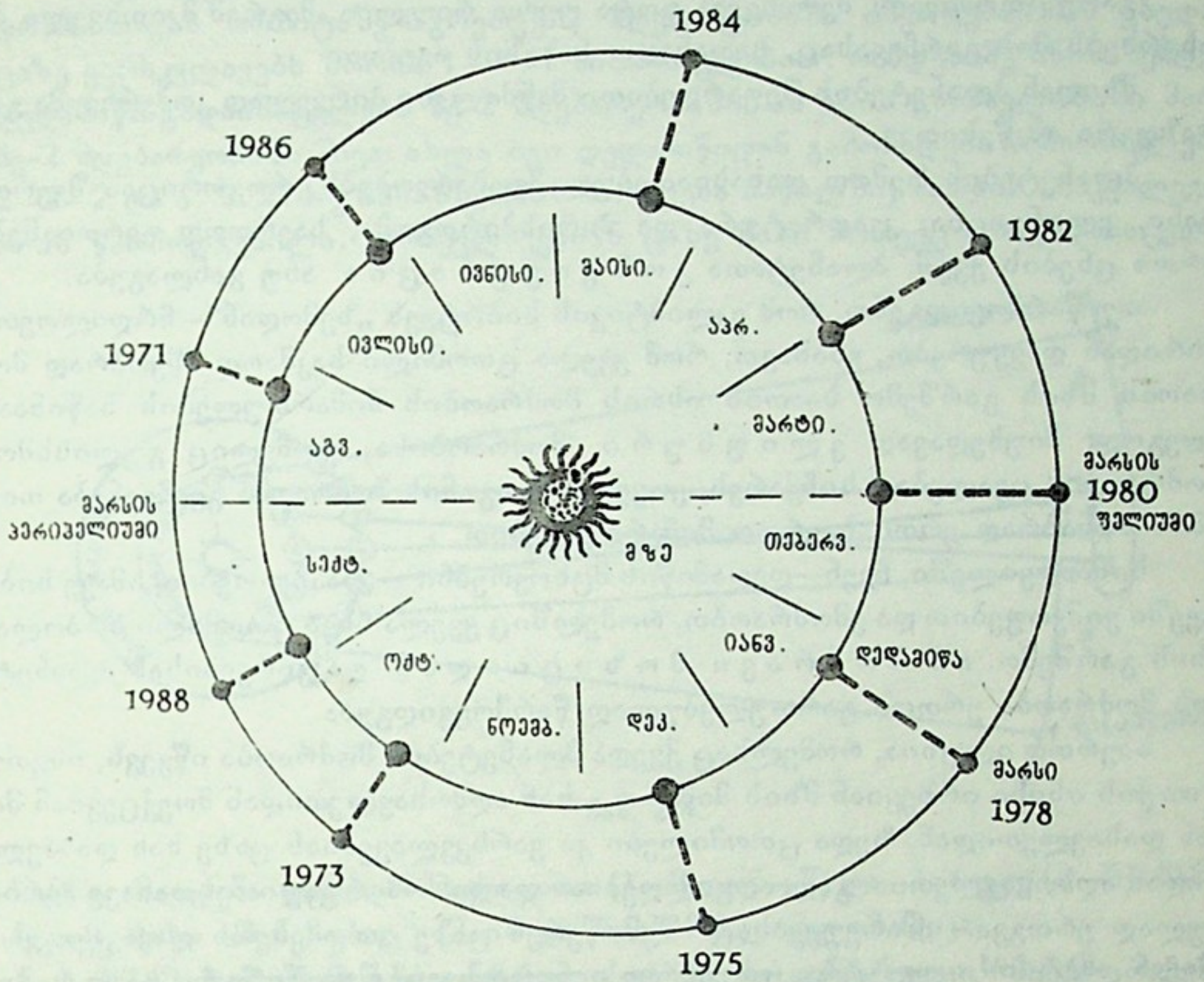
უკანასკნელ პერიოდში მარსის პირისპირდგომის მომენტები შემდეგ თარიღებზე მოდიოდა:

1971	წლის 10 აგვისტო	1982	წლის 25 თებერვალი
1973	„ 25 ოქტომბერი	1984	„ 11 მაისი
1975	„ 15 დეკემბერი	1986	„ 10 ივლისი
1978	„ 22 იანვარი	1988	„ 28 სექტემბერი
1980	„ 31 მარტი	1990	„ 27 ნოემბერი

1988 წლის პირისპირდგომა დიდი პირისპირდგომა იყო. ასეთივე მოვლენას ადგილი ჰქონდა 1971 წლის 10 აგვისტოს. მარსის დიდ პირისპირდგომას ყოველთვის მოუთმენლად ელიან. იგი მატებს მეცნიერებას ახალ ცნობებს მარსის ფიზიკური აგებულების შესახებ. ძალიან ინტენსიურად მიმდინარეობდა მთელს მსოფლიოში მარსის დაკვირვება-შესწავლა 1988 წლის პირისპირდგომის დროს.

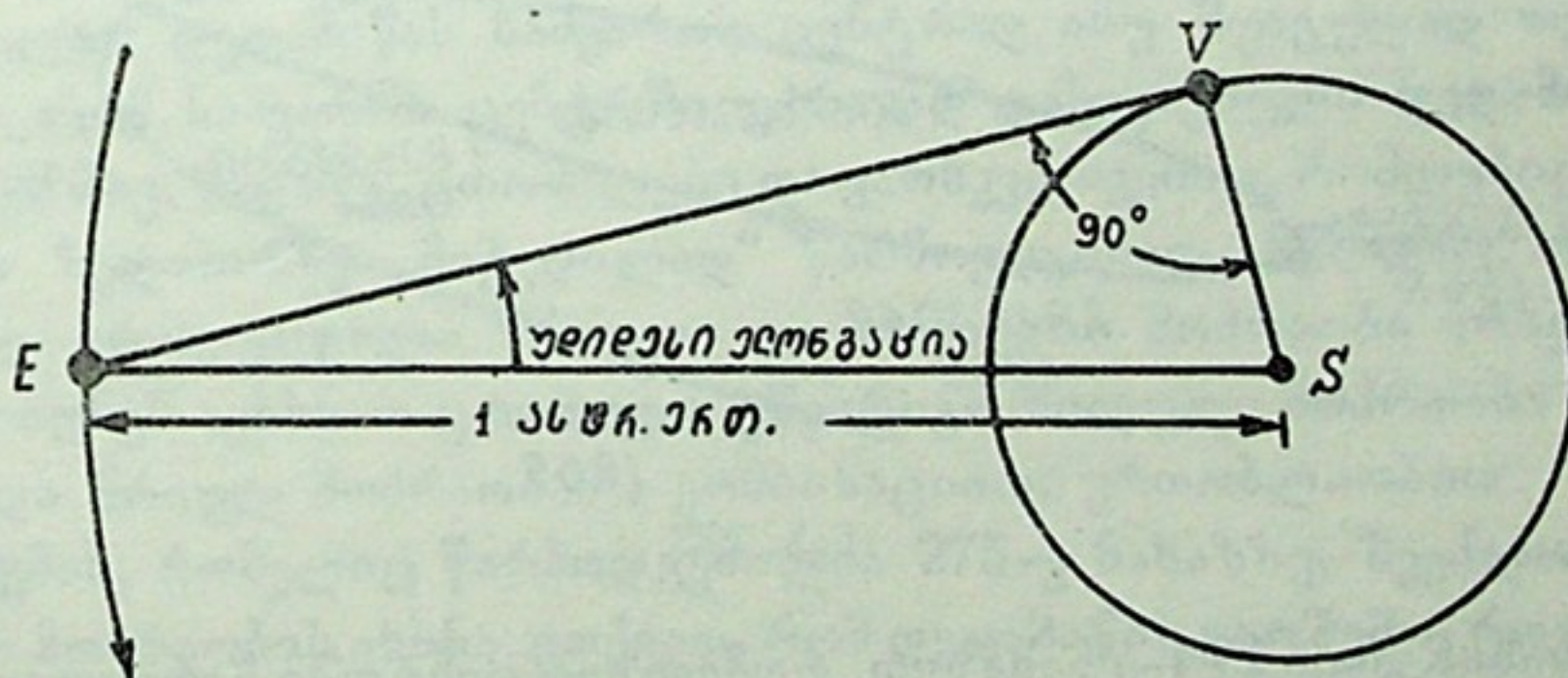


ჩვენი მეცნიერებისა და ტექნიკის არნახულმა მიღწევებმა კოსმოსის ათვისების საქმეში სრულიად ახალი საშუალებები მისცა ადამიანს მარსის საიდუმლოებათა ამოსახსნელად. მარსისაკენ არაერთხელ გაუშვიათ საგანგებოდ აღჭურვილი კოსმოსური ზონდი, რომელიც შეუდარებლად უფრო ახლო მანძილიდან



ნახ. 271.

დაჰკვირვებია მარსის ზედაპირს, მასზე ავტომატური აპარატებიც დაშვებულან, გადაუღიათ მისი ფოტოსურათები, განუსაზღვრავთ სხვადასხვა ფიზიკური პარა-



ნახ. 272.

მეტრები და სათანადო ინფორმაცია გადმოუციათ დედამიწაზე. ეს გვაახლოებს მარსზე სიცოცხლის არსებობისა და სხვა პრობლემების ამოხსნასთან.

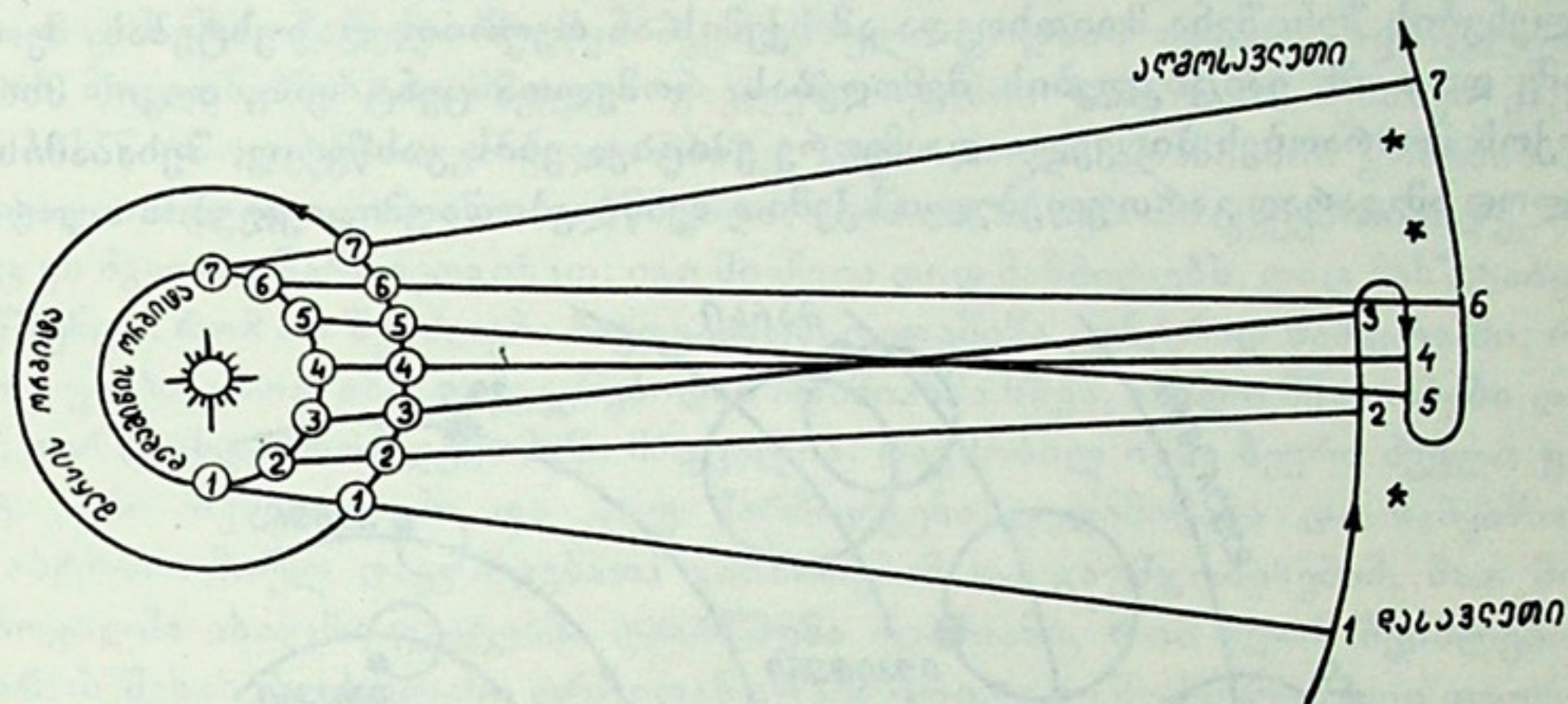






დედამიწის 7 მდებარეობას შეესაბამება მარსის 7 მდებარეობა. დროის იმ შუალედში, რომელშიც დედამიწა გაირბენს თავისი ორბიტის ნახევარს (1—7), მარსი მოასწრებს შემოწეროს თავის ორბიტაზე მხოლოდ რკალი (1—7), რომელიც მისი ორბიტის ნახევარზე ნაკლებია.

როცა დედამიწის 1 მდებარეობიდან ვაკვირდებით მარსს, რომელიც ამ დროს თავის ორბიტაზე აგრეთვე 1 მდებარეობაში იმყოფება, მას ვხედავთ ცაზე ვარსკვლავებს შორის 1—1—1 მიმართულებით. რამდენიმე ხნის შემდგომ დედამიწა გადაინაცვლებს მე-2 მდებარეობაში. ამ ხნის განმავლობაში მარსი მე-2 მდებარეობაში მივა. ახლა იგი დედამიწიდან გამოჩნდება მიმართულებით 2—2—2 და ა. შ. 274-ე ნახაზზე (მის მარჯვენა ნაწილში) მარსის „ნაკვალევიც“ არის წარმოდგენილი. ვარსკვლავებიან ცაზე მისი პროექციის გადანაცვლება



ნახ. 274.

ჩანს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით (1—3 და 5—7) და—პირუკუ (3—5). ჩანს აგრეთვე მისი „შეჩერებაც“ (3-ის და 5-ის მახლობლობაში).

§ 143. **სამყაროს გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა.** პლანეტების ესოდენ რთული ხილული გზა ცის თაღზე სავსებით გასაგებია და აიხსნება მათი და დედამიწის ნამდვილი მოქცევით შხის ირგვლივ. მაგრამ საუკუნეების განმავლობაში კაცობრიობამ არ იცოდა დედამიწისა და პლანეტების შხის ირგვლივ მოქცევის ფაქტი და პლანეტების ხილულ გადანაცვლებას ცაზე სხვადასხვაგვარ ახსნას აძლევდა.

ძველად დედამიწას სამყაროს ცენტრად ანუ შუაგულად თვლიდნენ. მი-აჩნდათ, რომ სამყაროს ცენტრში უძრავად დასვენებული დედამიწის გარშემო მოიქცევა მზე, მთვარე, ცთომილები და ვარსკვლავებიც, რომლებიც რაღაც მყარი სფეროს ზედაპირზე „მიჭედნილად“ წარმოედგინათ. სწამდათ, რომ ბუნებაში მხოლოდ სრულყოფილი წრიული და თანაბარი მოძრაობა არსებობს. ამიტომ ცდილობდნენ აეხსნათ ცთომილთ უწესრიგო ხილული მოძრაობა მთელ რიგ თა-ნაბარ და წრიულ მოძრაობათა კომბინაციით, ერთობლიობით.

სქემას, რომელიც წარმოდგენილია 275-ე ნახაზზე, შეეძლო ცთომილების რთული მოძრაობის ახსნა. ვთქვათ, რომ დედამიწის გარშემო, როგორც ცენტრის გარშემო, შემოწერილია წრეწირი, ე. წ. დ ე ფ ე რ ე ნ ტ ი. ამის გასწვრივ თანა-ბარი სიჩქარით მოძრაობს მეორე, უფრო მცირე რადიუსის წრეწირის—ე. წ. ე პ ი ც ი კ ლ ი ს ცენტრი. ეპიციკლის გასწვრივ კი თანაბარი სიჩქარით მოძრა-ობს ცთომილი.

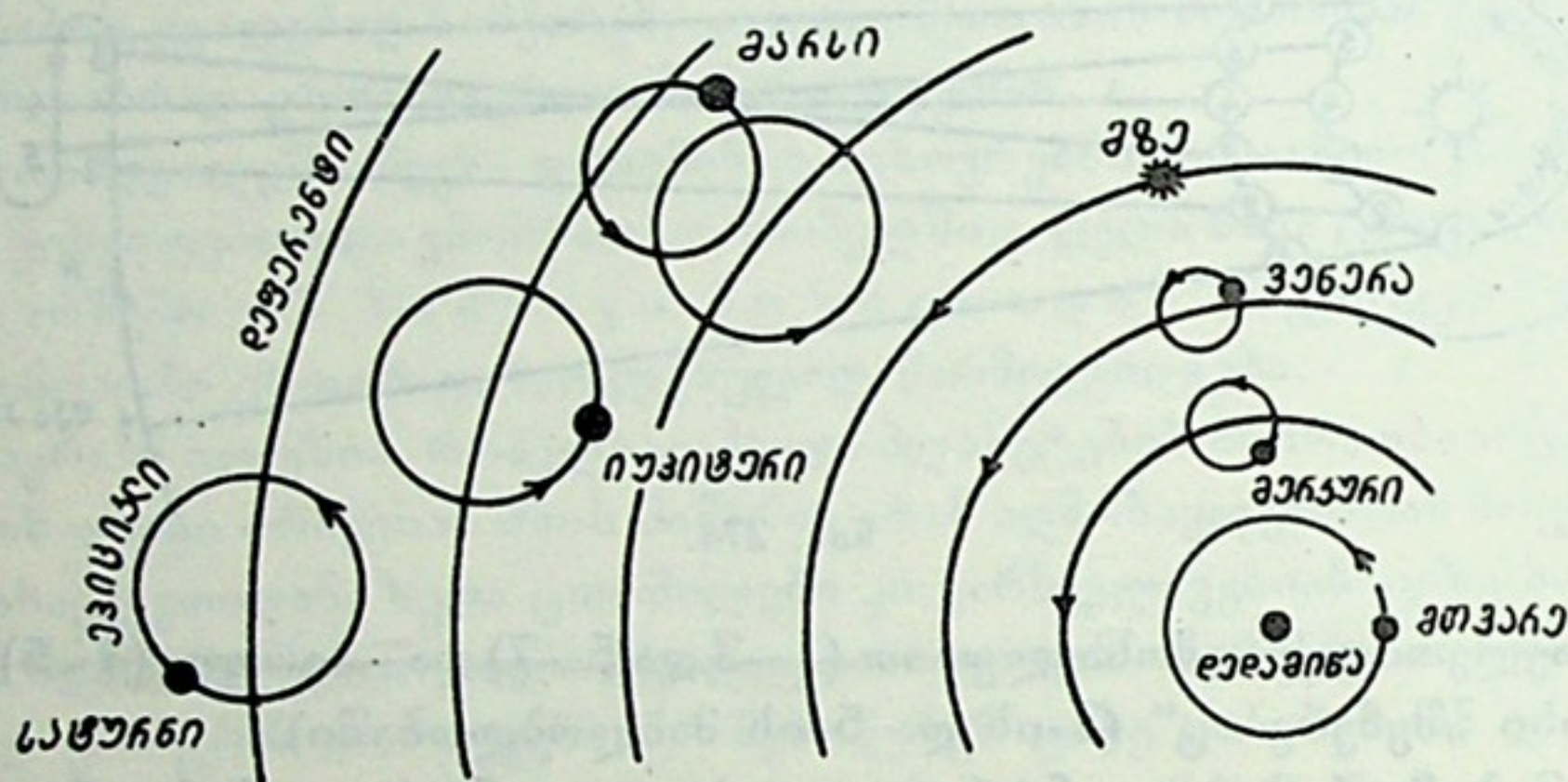




ამგვარად, ორივე მოძრაობა თანაბარია, ორივე გზა წრიულია, მაგრამ ცთომილის დედამიწიდან ხ ი ლ უ ლ ი გადანაცვლება ცაზე, რაც ამ ორი ერთდროული მოძრაობის შედეგია, წრიულისაგან განსხვავებულია და არათანაბარი სიჩქარითაც წარმოებს. სქემა ახსნას აძლევდა ცალკეულ ცთომილთა პირდაპირ და პირუკუ მოძრაობას და მათ შეჩერებას. თითოეული ცთომილისათვის სათანადო რადიუსის ეპიცikli იყო მოგონილი და სათანადო სიჩქარე—შერჩეული.

აღწერილ სქემას ეწოდება პ ტ ო ლ ე მ ე ო ს ი ს ე უ ლ ი სისტემა. თეორიის სახით დამუშავებული, იგი II საუკუნის ალექსანდრიელმა სწავლულმა პტოლემეოსმა ჩამოაყალიბა. მას სამყაროს გ ე ო ც ე ნ ტ რ უ ლ ი სისტემაც ეწოდება, რადგანაც ძირითადი იდეა აქ ისაა, რომ დ ე დ ა მ ი წ ა იგულებს სამყაროს შუაგულში, ც ე ნ ტ რ შ ი (ყეი — ბერძნულად დედამიწას ნიშნავს).

მაგრამ დაკვირვებათა სიზუსტის ზრდა და ცთომილთა მოძრაობაში ახალი მოვლენების შენიშვნა მოითხოვდა ამ სქემის ან თეორიის დაზუსტებას, მეორე, მესამე და ა. შ. ეპიციკლების შემოღებას, რომელთა ცენტრები, თავის მხრივ, თითქოს მოძრაობენ პირველი და მეორე ეპიციკლების გასწვრივ, შესაბამისად. მხოლოდ ამგვარად გართულებული სქემით შეიძლებოდა ეპიციკლების თეორიის



ნახ. 275.

შეთანხმება იმ ფაქტებთან, რომელთაც იძლეოდა ახალი და უფრო ზუსტად წარმოებული დაკვირვებები.

პტოლემეოსისეული მოძღვრება სამყაროს აგებულების შესახებ თუმცა მცდარი იყო, მაინც მრავალი საუკუნის განმავლობაში ფლობდა ადამიანის გონებას და მხოლოდ XVI საუკუნეში განიცადა მან საბედისწერო შეტევა, მას შემდეგ, რაც საზოგადოებისა და საწარმოო ძალთა ისტორიულმა განვითარებამ საამისო პირობები მოამწიფა.

პერიოდისათვის, რომელიც წინ უსწრებდა რევოლუციურ სიახლეს მეცნიერებაში, გამოხატულს გეოცენტრული ყალბი თეორიის უარყოფაში და ახალი, ე. წ. ჰელიოცენტრული მოძღვრების განმტკიცებაში,—მოძღვრების, რომელიც დასაბამი გახდა ჩვენი დროის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა და, კერძოდ, ასტრონომიის განვითარებისათვის, დამახასიათებელი იყო საზოგადოებრივი ცხოვრების შემდეგი მოვლენები: განვითარდა ხალხთა შორის ეკონომიური ურთიერთობა და გაიშალა ვაჭრობა; გაფართოვდა და გაიზარდა ქალაქები, განვითარდა ხელოსნობა. ჩაისახა და განმტკიცება იწყო ბურჟუაზიულმა კლასმა, რომელიც მეტი გამდიდრებისაკენ მისწრაფებაში დაინტერესდა ახალი ქვეყნე-



ბით, ძიება დაუწყო ნედლეულის ახალ კერებს, ნაწარმის გასაღების ახალ ბაზრებს და ამასთან დაკავშირებით შორი მოგზაურობანი წამოიწყო. ამას მოჰყვა ამერიკის აღმოჩენა, ინდოეთისაკენ ზღვით სამოგზაურო გზის დადგენა, დედამიწის გარშემო პირველი მოგზაურობა და სხვა გეოგრაფიული აღმოჩენები.

ზღვაოსნობის განვითარებამ ოკეანეების დიდ სივრცეებზე მოითხოვა ადგილმდებარეობის განსაზღვრის ხერხების დაზუსტება. ამისათვის კი აუცილებელი იყო ცის მნათობთა მდებარეობებისა და მოძრაობათა უფრო ზუსტი განსაზღვრები. ამან გამოიწვია ძველი ხერხებისა და ხელსაწყოების გაუმჯობესება და ახლების გამოგონება. ასტრონომია უფრო პრაქტიკული, გამოყენებითი მეცნიერება გახდა, რომელსაც მწვავედ საჭიროებდა ეკონომიური განვითარების გზაზე მყოფი საზოგადოება. წიგნის ბეჭდვის საშუალების გამოგონებამაც XV საუკუნეში, თავის მხრივ, ხელი შეუწყო მეცნიერული ცოდნის ფართო ავრცელებას.

ამ მოვლენებმა გადამწყვეტი გავლენა იქონია სამყაროს შესახებ კაცობრიობის წარმოდგენათა განვითარებაზე. გაფართოვდა ადამიანის გონების არე და თვალთახედვა. ადამიანი დარწმუნდა, რომ არ არსებობს ქვეყნის კიდე, როგორც ეს ძველად წარმოედგინათ; იგი მიეჩნია დიდ მანძილებს, დიდ მასშტაბებს; დარწმუნდა, რომ არ შეიძლება ჩავთვალოთ დედამიწა ცენტრად სამყაროში, რომელიც უსაზღვროა. ახალი ქვეყნებიდან ადამიანმა სხვა, ახალი მნათობები დაინახა; დარწმუნდა, რომ დედამიწა მრგვალია. დაგმოხილ იქნა ბევრი ძველი ფანტასტიკური შეხედულება და ცრუ წარმოდგენა დედამიწასა და სამყაროზე.

ასტრონომიულ დაკვირვებათა გახშირებამ და გაუმჯობესებამ, მათ მიერ დაგროვილმა ახალმა ფაქტებმა დაარწმუნა ადამიანი, რომ აღარ შეიძლებოდა სამყაროს შესახებ უძველესი დროიდან არსებული, უკვე მოძველებული თეორიებით დაკმაყოფილება; არ შეიძლებოდა დაკმაყოფილება გეოცენტრული სისტემით და მისი ეპიცენტრების მეტად რთული, მოგონილი სქემით, რადგანაც ეს აღარ ეგუებოდა ახალს, უფრო ზუსტი დაკვირვებებით გამოვლინებულ ფაქტებს.

ერთი სიტყვით, გამოცდილებამ და პრაქტიკამ თეორიის შეცვლა მოითხოვა.

პოლონელ მეცნიერს კოპერნიკს ხვდა წილად სამყაროს აგებულების ისეთი ახალი თეორიის ჩამოყალიბება, რომელიც ითვალისწინებდა დაკვირვებების შედეგად იმ დროისათვის დაგროვილ ახალ მონაცემებსა და ფაქტებს. კოპერნიკმა ძირითადად შეცვალა თვალსაზრისი სამყაროს აგებულებაზე და გაამარტივა ცთომილთა მოძრაობის თეორია, მიხვდა რა, რომ მზე, მთვარე და ცთომილები კი არ მოიქცევიან თითქოს უძრავი დედამიწის გარშემო, რომელიც ცენტრში წარმოედგინათ. მანამდე, არამედ თვით დედამიწა პლანეტაა და სხვებთან ერთად პლანეტური სისტემის ცენტრის—მზის გარშემო მოიქცევა.

კოპერნიკისეული ჰელიოცენტრული სისტემა (ἥλιος—ბერძნულად მზეს ნიშნავს) აღიარებდა დედამიწის ორგვარ მოძრაობას: თავისი ღერძის ირგვლივ (დღედამური ბრუნვა) და მზის გარშემო (წლიური მოქცევა). ჩვენს დროში ეს ორი ფაქტი ეჭვს არ იწვევს. ზემოთ ისიც ვნახეთ, რომ ამ ფაქტებით კარგად და მარტივად აიხსნება ბევრი ციური მოვლენა და მათთან ერთად ცაზე ცთომილების რთული ხილული მოძრაობა, თუ მათაც მზის გარშემო მოძრავ სხეულებად მივიჩნევთ. ამას გარდა, მთელი რიგი ისეთი მოვლენები აღვწერეთ, რომლებიც უშუალოდ ამტკიცებს დედამიწის ორივე მოძრაობას. მაგრამ იმ დროისათვის (XVI საუკუნე) კოპერნიკისეული მოძღვრება რევოლუციურ გადატრიალებას მოასწავებდა ასტრონომიულ წარმოდგენებში.



ახალი მოძღვრების რევოლუციური ხასიათი იმაში მდგომარეობდა, რომ მანამდე უძრავად წარმოდგენილი დედამიწა მან მოძრავად გამოაცხადა; მანამდე სამყაროს შუაგულად მიჩნეული დედამიწა „ადგილიდან დაძრა“, ცენტრს მოაშორა. ცენტრში კი მზე აღიარა და უჩვენა, რომ მნათობთა ხილული მოძრაობა, რომელსაც ცაზე ვხედავთ დღე-ღამის ან წელიწადის განმავლობაში, მოჩვენებითია, ილუზიაა, რომლის მიზეზი დედამიწის ნამდვილი მოძრაობა— დერძის ირგვლივ ბრუნვა და მზის გარშემო მოქცევაა.

იმ დროისათვის დიდი გამბედაობა იყო მანამდე სამყაროს მთავარ სხეულად მიჩნეული დედამიწის ჩვეულებრივ, რიგით სხეულად გამოცხადება. ახალი მოძღვრება აშკარად საწინააღმდეგო იყო იმისა, რასაც საღმრთო წერილი გადმოსცემდა. ამან გამოიწვია კონფლიქტი კოპერნიკისეულ ახალ მოძღვრებასა და ეკლესიის შეხედულებათა შორის. ბუნებრივია, მას ბევრი მოწინააღმდეგე გამოუჩნდა. ძველ წარმოდგენათა მესვეურნი ქადაგებდნენ, რომ დედამიწასა და ცას შორის, მიწიერსა და ციურს შორის იდუმალი განსხვავებაა. ციურისა და მიწიერის დაპირისპირება და მათ შორის საიდუმლოებით მოცული განსხვავება ყოველგვარი ცრურწმენისა და რელიგიური წარმოდგენის საფუძველს შეადგენდა. ცაზე, რომელიც თითქოს ღმერთის სადგომია, ადამიანს უკეთესი მომავალი მოელის, ვიდრე მისი ხანმოკლე მიწიერი ცხოვრებაა, თუკი იგი მორჩილად აიტანს ყველა იმ სიმძიმესა და ტანჯვას, რაც ამქვეყნად მისი ხვედრია. ასეთი რწმენის დანერგვა ხალხში ეკლესიისა და გაბატონებული კლასებისათვის სასარგებლო, ხელსაყრელი იყო და ეს შესაძლებელი იყო, სანამ სამყაროს აგებულება ისე წარმოდგენათ, როგორც ეს რელიგიურ მსოფლმხედველობას ეგუებოდა და პტოლემეოსისეული სისტემით გამოიხატებოდა. მაგრამ, თუ დედამიწა ერთ-ერთი რიგითი ციური სხეულია, როგორც ახალი მოძღვრება ასწავლიდა, მაშინ საეჭვოა იმის მტკიცება, რომ „ციურსა“ და „მიწიერს“ შორის რაღაც არსებითი განსხვავებაა.

ეკლესიისათვის არა იყო რა უფრო საშიში, ვიდრე რელიგიურ წარმოდგენათა შერყევა და ახალი, რევოლუციური იდეებით ადამიანის გონების აფორიაქება. ამ ნიადაგზე დაიწყო და დიდხანს გრძელდებოდა მძაფრი ბრძოლა ძველი და ახალი მსოფლმხედველობის მომხრეთა შორის. თუმცა კოპერნიკს ბევრი მიმდევარი გამოუჩნდა, რომლებმაც კიდევ უფრო მეტად განავითარეს ჰელიოცენტრული მოძღვრება.

ახალ მოძღვრებას ბევრი მსხვერპლიც შეეწირა, ვიდრე საბოლოოდ დამკვიდრდებოდა: იტალიელი ჯორდანო ბრუნო რომის ეკლესიის მსახურებმა ცოცხლად დასწვეს კოცონზე იმიტომ, რომ იგი ახალ მეცნიერებას მხარს უჭერდა და, უფრო მეტადაც, ავითარებდა მის რევოლუციურ შინაარსს, ავრცელებდა რა აზრს სამყაროს სხეულების უსასრულობისა და სხვა მნათობებზე სიცოცხლის არსებობის შესაძლებლობის შესახებ. ინკვიზიციამ მრავალჯერ აწამა გალილეო გალილეი, რომელმაც პირველმა გამოიყენა ასტრონომიული დამზერებისათვის ჭოგრი და თვალნათლივ დაინახა და სხვებსაც დაანახვა კოპერნიკისეული თეორიის სამართლიანობის დამადასტურებელი ფაქტები (მთვარის ზედაპირის რთული რელიეფი, მსგავსად დედამიწისა; იუპიტერის გარშემო თანამგზავრების არსებობა, მსგავსად დედამიწა-მთვარისა; ვენერას ფაზები, რაც მის მოქცევას მოწმობდა მზის ირგვლივ და სხვ.). ახალი მეცნიერული მსოფლმხედველობის ქომაგი იყო რუსეთში მ. ლომონოსოვი, რომელიც ებრძოდა რუსეთის ეკლესიის ცდას, დაეცვა ძველი მსოფლმხედველობა.



მიუხედავად დიდი წინააღმდეგობისა, საბოლოოდ ახალი მოძღვრების ჭეშ-  
მარიტება აშკარა გახდა მთელი განათლებული კაცობრიობისათვის.

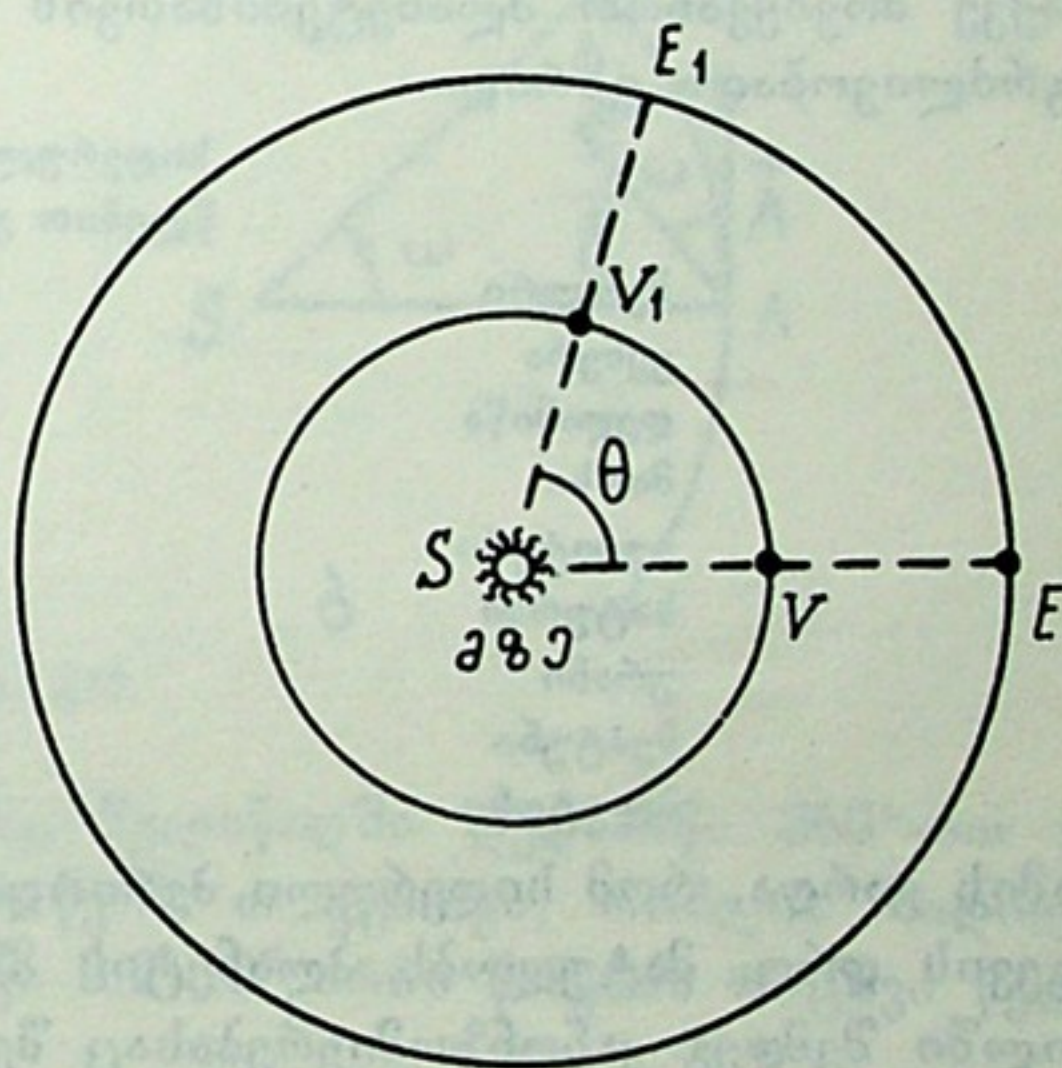
§ 144. **პლანეტა ორბიტების დახრა ეკლიპტიკისადმი.** ზევით, როცა ცთო-  
მილების ურთიერთგანლაგების ზოგ შემთხვევას (შეერთებას, კვადრატურას,  
ელონგაციას, პირისპირდგომას) ანუ კონფიგურაციებს განვიხილავდით, თავის-  
თავად ვთვლიდით, რომ ცთომილთა ორბიტები გარდა იმისა, რომ წრიულნი  
არიან, ამავე დროს კო მ პ ლ ა ნ ა რ უ ლ ი ც ა რიან, ე. ი. ისეთები, რომლებიც  
ერთს საერთო სიბრტყეში მდებარეობენ. სხვა სიტყვებით, ვთვლიდით, რომ პლა-  
ნეტები მოძრაობენ ეკლიპტიკის სიბრტყეში. სინამდვილეში კი თითოეული პლა-  
ნეტის ორბიტის სიბრტყე დახრილია ეკლიპტიკისადმი და ეს დახრა თითოეუ-  
ლისათვის სხვადასხვაა, სახელდობრ:

მერკურისათვის	7°00',	სატურნისათვის	2°29',
ვენერასათვის	3 24,	ურანისათვის	0 46,
მარსისათვის	1 51,	ნეპტუნისათვის	1 46,
იუპიტერისათვის	1 18,	პლუტონისათვის	17 09.

როგორც ვხედავთ, დახრის მნიშვნელობანი დიდი არაა, მეტადრე—თუ გა-  
მოვრიცხავთ პლუტონსა და მერკურს. პლანეტების აღწერილი მოძრაობის საერ-  
თო ვითარება ამ დახრის გამო არსებითად არ იცვლება, მაგრამ ზუსტ გამოთ-  
ვლებში, ცხადია, დახრა გასათვალისწინებელია და მისი გავლენა ამა თუ იმ მოვ-  
ლენაზე მხედველობაში მისადება.

§ 145. **დამოკიდებულება პლანეტების გარემოქცევის სინოდურ და სიდერულ პერიოდებს შორის.** გავარჩიოთ ჯერ ქვედა პლანეტის შემთხვევა და გამო-  
ვიყვანოთ დამოკიდებულება მზის გარშემო მისი მოქცევის სინოდურ და სიდერ-

რულ პერიოდებს შორის. განვიხი-  
ლოთ 276-ე ნახ., რომელზეც  $E$  და  
 $V$  დედამიწისა და პლანეტის საწ-  
ყისი განლაგება იყოს. მზე— $S$ —  
მათი ორბიტების ცენტრში წარ-  
მოვიდგინოთ. ეს ქვედა შეერთე-  
ბის მომენტია. ქვედა პლანეტის  
კუთხური სიჩქარე მეტია, ვიდრე  
დედამიწისა, ამიტომ, ვიდრე დე-  
დამიწა შემოწერს თავის ორბიტა-  
ზე  $EE_1$  რკალს, რაც შფხსაბამება  
 $ESE_1 = \theta$  კუთხეს, პლანეტა მოას-  
წრებს ერთი სრული წრისა და კი-  
დევ  $VV_1$  რკალის ( $VS V_1$  კუთხე)  
გარბენას და კვლავ ქვედა შეერ-  
თებაში მოქცევას.  $n_1$  იყოს დედა-



ნახ. 276

მიწის მიერ დღე-ღამეში აღწერილი ორბიტის რკალი, გამოხატული კუთხური  
ერთეულებით; ხოლო  $n_2$  იგივე — ქვედა პლანეტისათვის.  $T_1$  და  $T_2$  იყოს მათი  
მოქცევის პერიოდები, დღე-ღამეებით გამოხატული. თუ  $S$ -ით აღვნიშნეთ სინო-  
დური პერიოდი (დრო შეერთებიდან მომდევნო შეერთებამდე), დღე-ღამეებით  
გამოხატული, მაშინ  $\theta = n_1 S$ ;  $360^\circ + \theta = n_2 S$ , საიდანაც:



$$360^\circ = (n_2 - n_1)S$$

და რადგანაც  $n_1 = 360^\circ : T_1$  და  $n_2 = 360^\circ : T_2$ , ვღებულობთ:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}.$$

თუ 276-ე ნახაზს საკუთრივ ვენერასათვის შევადგენთ და გვეცოდინება, რომ მისი გარემოქცევის პერიოდი 225 დღე-ღამეა, მაშინ შეერთების მომდევნო მომენტი დადგება, როცა დედამიწა და ვენერა მესამე კვადრანტში იქნებიან (584 დღე-ღამის შემდეგ).

ზედა ცთომილის შემთხვევის გასარჩევად მკითხველმა შეადგინოს მსგავსი ნახაზი, რომელზეც  $E_1$  და  $M_1$  საწყის გამოსავალ ვითარებას წარმოადგენდეს — პლანეტის პირველ პირისპირდგომას. მეორე, მომდევნო პირისპირდგომას შეესაბამება  $E_2$  და  $M_2$  მდებარეობები. მაგრამ ამ ორ პირისპირდგომის მომენტებს შორის ცთომილმა გაიარა. თავისი ორბიტის  $M_1M_2$  რკალი (რაც შეესაბამება  $M_1SM_2$  კუთხეს), ხოლო დედამიწამ —  $360^\circ + \theta$ .

ახლა ადვილად დავრწმუნდებით, რომ  $n_1 = \frac{360^\circ}{T_1}$ ,  $n_2 = \frac{360^\circ}{T_2}$ ;  $360^\circ + \theta = n_1 S$ ;  $\theta = n_2 S$ .

აქედან,

$$360^\circ = (n_1 - n_2)S = 360^\circ \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) S$$

და

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}.$$

აქვე მოვიყვანოთ პლანეტებისათვის სინოდური და სიდერული თვეების ხანგრძლივობათა ცხრილი:

	სიდერული პერიოდი, წლებით გამოხატული	სინოდური პერიოდი, დღე-ღამეებით გამოხატული
მერკური	0.24	116
ვენერა	0.62	584
დედამიწა	1.00	—
მარსი	1.88	780
იუპიტერი	11.87	399
სატურნი	29.63	378
ურანი	84.66	370
ნეპტუნი	165.49	368
პლუტონი	251.86	367

იმის გარდა, რომ სიდერული პერიოდი, ე.ი. მზის გარშემო სრული გარემოქცევის დრო, მატულობს პლანეტის მზისაგან დაშორებასთან ერთად, ამ ცხრილში შემდეგ კანონზომიერებასაც შევნიშნავთ: გარე ცთომილებისათვის სინოდური პერიოდი კლებულობს და რაც უფრო შორსაა პლანეტა, მით უფრო მეტად უახლოვდება მისი სინოდური პერიოდის ხანგრძლივობა დედამიწის მზის გარშემო მოქცევის პერიოდს — წელიწადს. თუ ჩავუფიქრდებით, ადვილად მივხვდებით, რატომ ხდება ასე.

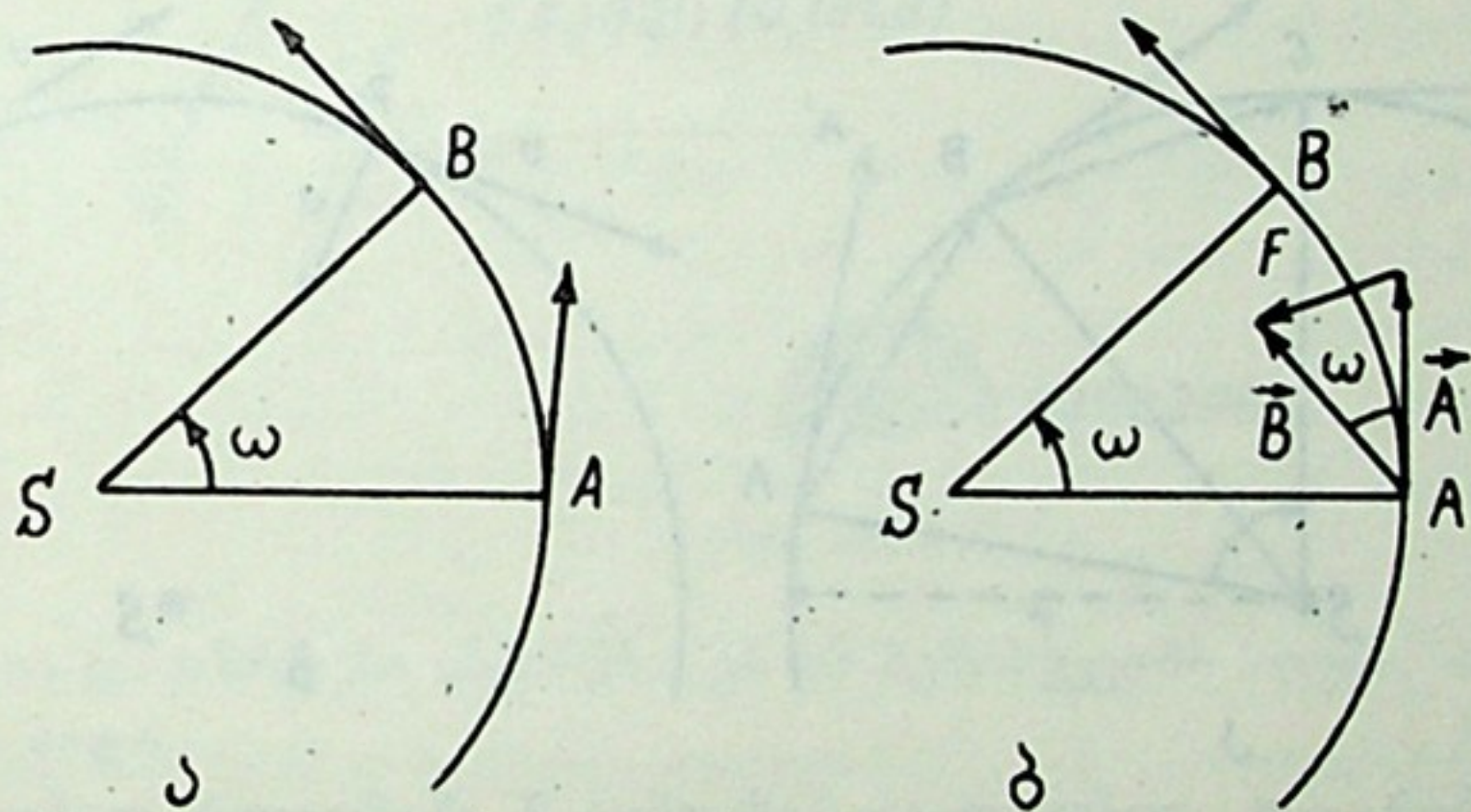


**§ 146. მიზიდულობის კანონი.** წინასწარ ზოგი ცნება და მონაცემი გავიხსენოთ. გავიხსენოთ, რომ სხეულის სიჩქარეს მარტო რიცხვითი მნიშვნელობა როდი ახასიათებს; დამახასიათებელია აგრეთვე ამ სიჩქარის ანუ მოძრაობის მიმართულებაც. როცა სიჩქარისათვის რიცხობრივ მნიშვნელობასთან ერთად მიმართულებასაც იძლევიან, მაშინ საქმე გვაქვს სიჩქარის ვექტორთან ანუ გეზრთან. სიჩქარის ვექტორს გამოხატავენ ისრით, რომლის სიგრძე აღნიშნავს სიჩქარის სიდიდეს, ხოლო ორიენტაცია ანუ მიმართულება—მოძრაობის მიმართულებას.

მოძრავი დედამიწისათვის სიჩქარის ვექტორი ყოველ მომენტში იცვლება, რამდენადაც დედამიწა მოძრაობს ელიფსის გასწვრივ და ყოველ მეყში მისი სიჩქარის გეზრი ელიფსის მხებს წარმოადგენს იმ წერტილში, რომელშიც აღებულ მომენტში დედამიწა იმყოფება. სიჩქარის სიდიდეც ცვალებადია დედამიწისათვის, მაგრამ ეს იმდენად სწრაფად და მკვეთრად არ იცვლება, როგორც სიჩქარის მიმართულება. დედამიწის ორბიტული სიჩქარის სიდიდე საშუალოდ 30 კმ/წმ-ია.

დედამიწა თავის მოძრაობაში აჩქარებას განიცდის იმდენად, რამდენადაც იცვლება მისი მოძრაობის სიჩქარის ვექტორი. აჩქარება სიჩქარის ცვლილებაა, შეეხება ეს ცვლილება სიდიდეს თუ მიმართულებას.

277-ე ნახაზზე რკალი წარმოადგენდეს დედამიწის წლიური ორბიტის ნაწილს;  $A$  და  $B$  დედამიწის ორი მდებარეობა იყოს ორბიტაზე, სადაც მას აქვს სიჩქარეები  $\vec{A}$  და  $\vec{B}$ ; ა იყოს ის კუთხე, რომელსაც დედამიწის რადიუს-ვექტორი 1 წამში შემოწერს.



ნახ. 277.

ეს კუთხე ძალიან მცირეა. მართლაც, წელიწადში დედამიწა  $360^\circ$ -ით გარემოიქცევა, მაშასადამე, წამში შემოწერს  $\omega$  კუთხეს, რომლის სიდიდეა:  $360^\circ : (3.2 \cdot 10^7) = (4 \cdot 10^{-2})''$  (აქ გამყოფი  $3.2 \cdot 10^7$  არის წამების რიცხვი წელიწადში).

შეგვიძლია  $\vec{A}$  და  $\vec{B}$  გეზრების საწყისი წერტილები ერთიმეორეს შევუთავსოთ (ნახ. 277 ბ). მაშინ სიჩქარის ცვლილება ერთ წამში გამოიხატება  $\vec{A}$  და  $\vec{B}$ -ს გეზრული სხვაობით ანუ  $\vec{F}$ -ით. ეს სხვაობა — გეზრი მიმართულია ორბიტის ცენტრისაკენ ანუ მზისაკენ. აშკარაა, კუთხე  $\vec{A}$  და  $\vec{B}$  ვექტორებს შორის იგივეა, რაც  $\omega$ . გამოვითვალოთ  $\vec{F}$ -ის სიდიდე.  $\omega$ -ს სიმცირის გამო  $\vec{F}$  შეგვიძლია მივიჩნიოთ  $A$  ან  $B$  რადიუსით შემოწერილი წრის მცირე რკალად. რკალის



ფარდობა მთელ გარშემოწერილობასთან იგივეა, რაც შესაბამისი კუთხის ფარდობა  $360^\circ$ -თან, ანუ

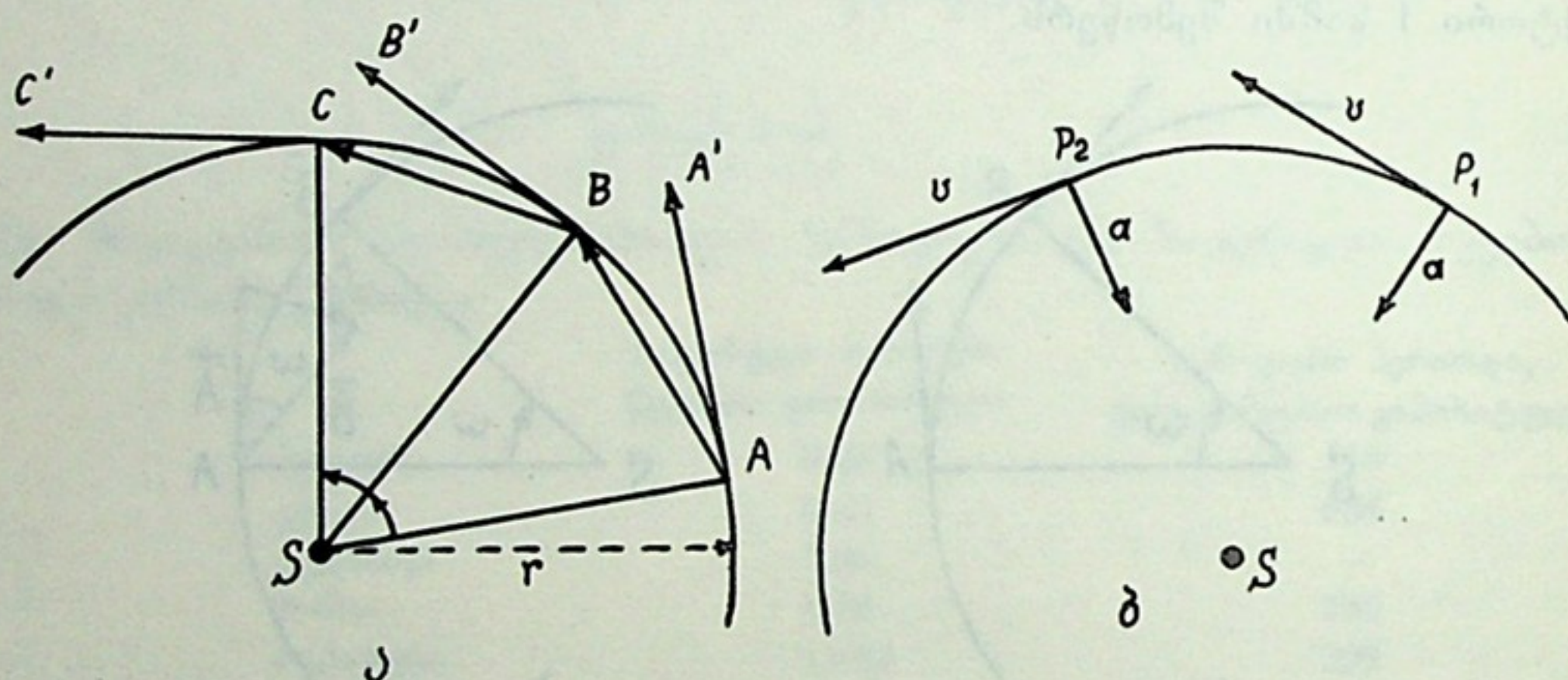
$$\frac{F}{2\pi A} = \frac{F}{2\pi B} = \frac{\omega}{360} = \frac{360:(3.2 \cdot 10^7)}{360}$$

და, რადგან  $A$  ან  $B$  არის  $30 \frac{კმ}{წმ}$  ანუ  $30 \cdot 10^5 \frac{კმ}{წმ}$ , ამიტომ

$$F = \frac{360 \cdot 2\pi \cdot 30 \cdot 10^5}{360 \cdot 3.2 \cdot 10^7} = 0.59 \frac{სმ}{წმ}.$$

მაშასადამე, ამ სიდიდით იცვლება ყოველ წამში დედამიწის სიჩქარე. სხვა სიტყვებით, დედამიწის აჩქარება ეტოლება  $0.59 \frac{სმ}{წმ^2}$ -ს. ახლა გავიხსენოთ მოძრაობის ნიუტონისეული კანონები. პირველი მათგანი ასე ჩამოყალიბდება: სხეული, რომელიც უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად, რჩება ასე უძრავი ან თანაბრად და წრფივად მოძრაობს, სანამ რაიმე გარეშე ძალა არ გამოიყვანს მას ამ მდგომარეობიდან.

დედამიწაზე რომ არ მოქმედებდეს ძალა, რომელიც მას მზისაკენ მიიზიდავს, მაშინ იგი  $A$  წერტილიდან  $AA'$  მხების მიმართულებით იმოძრაებდა და პირველსავე წამში  $30 \frac{კმ}{წმ}$ -ით დაშორდებოდა თავისი ორბიტის ამ წერტილს. სინამდვილეში, დედამიწას მზე მიიზიდავს და მიზიდულობის ამ ძალის მოქმედებისა და



ნახ. 278.

დედამიწის აღნიშნული მოძრაობის შედეგად დედამიწის გზა დაახლოებით წრიულად (ელიფსურად) შემოიწერება მზის ირგვლივ, რაც დასურათებულია 278-ე-ა ნახაზით. ვთქვათ, ცოტომილი, რომელიც მოცემულ მომენტში  $A$  წერტილში იმყოფება, დროის  $\Delta t_1$  შუალედში გაივლიდა  $AA'$  გზას იმ შემთხვევაში, თუ იგი მხოლოდ ინერციით იმოძრაებდა, მზის მიზიდულობაზე დამოუკიდებლად. მაგრამ მიზიდულობის ძალა მას იზიდავს და  $\Delta t_1$  შუალედის დამლევს ცოტომილი  $B$  წერტილში აღმოჩნდება. იმ მომენტში, როცა ცოტომილი  $B$  წერტილში მივა, მისი მოძრაობის მიმართულება იქნება  $AB$  და ინერციის თვისების გამო ცოტომილმა თითქოს იმავე  $AB$  მიმართულებით (ანუ  $BB'$ , თუ  $\Delta t_1$ -ს ერთობ მცირედ ჩავთვლით) უნდა განაგრძოს გზა. მაგრამ, რადგანაც მზის მიზიდულობის ძალა განაგრძობს მოქმედებას,  $\Delta t_2$  შუალედის დამლევს ცოტომილი  $C$  წერტილში მივა.



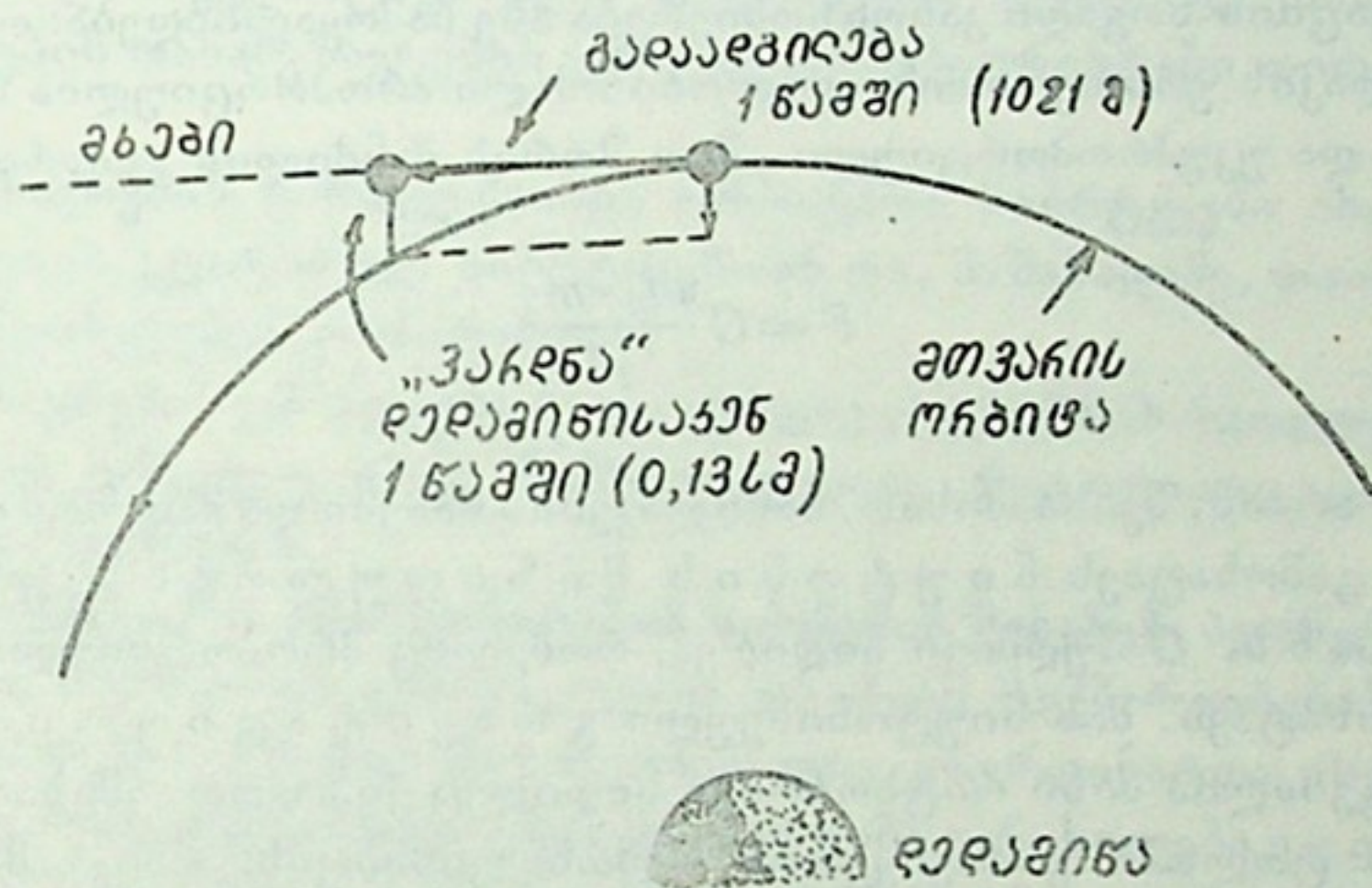
ამგვარად, ცთომილი გადაადგილება თითქოს  $ABC$  ტეხილი ხაზით. თუ დროის შუალედებს —  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$  მეტისმეტად მცირეს განვიხილავთ, მაშინ მიიღება  $ABC$  მრუდე ხაზი: წრე (ელიფსი). ნახ. 278-ბ უჩვენებს პლანეტის ორ მდებარეობას ორბიტაზე; სიჩქარის ვექტორი მუდმივია სიდიდით, ოღონდ, გარემოქცევის ცენტრისაკენ აჩქარების არსებობის გამო უწყვეტლივ იცვლის მიმართულებას. აქ გადმოცემულის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ დამატებით 279-ე ნახ., რომელიც კონკრეტულად მთვარის გარემოქცევას შეეხება.

ძალა, რომელიც მიიზიდავს ცთომილს, ცთომილის მასა და მისი მოძრაობის აჩქარება ( $a$ ) გარკვეულ დამოკიდებულებაში არიან ერთმანეთთან. ეს დამოკიდებულება გამოისახება ტოლობით:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a},$$

რომელიც ცნობილია როგორც ნიუტონის მეორე კანონი.

თუ მისაზიდი სხეულის მასა იზრდება, ძალაც, რომელმაც იგივე აჩქარება უნდა მიანიჭოს სხეულს, სათანადოდ უნდა გაიზარდოს. მეორე მხრივ, თუ მასა



ნახ. 279.

უცვლელია და იზრდება აჩქარება, ეს იმ შემთხვევაში ხდება, თუ შესაბამისად იზრდება ძალა.

მოყვანილ ტოლობაში  $F$  გამოიხატება დინებით,  $m$  — გრამებით, ხოლო  $a$  აჩქარება —  $\frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2}$  — ით.

დედამიწა, მოიქცევა რა მზის გარშემო, აჩქარებას განიცდის მზისაკენ. მაშასადამე, არსებობს ძალა, რომელიც დედამიწას ეწევა მზისაკენ. ეს ძალა მიზიდულობის ძალაა. ამ ძალით გამოწვეული აჩქარება, როგორც ვნახეთ, არის  $0.59 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2}$ . ახლა, თუ გავიხსენებთ, რომ დედამიწის მასა ტოლია  $6 \cdot 10^{27}$  გრამისა, მიზიდულობის ძალის სიდიდე იქნება:

$$F = m \cdot a = 6 \cdot 10^{27} \cdot 0.59 = 3.5 \cdot 10^{27} \text{ დინი.}$$

მაგრამ დედამიწაც მიიზიდავს თავისკენ იმავე სიდიდის ძალით მზეს, რაც გამომდინარეობს ნიუტონის მესამე კანონის სახელწოდებით ცნობილი კანონ-



ზომიერებიდან, რომელიც შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: ყოველი ძალის მოქმედებისას თავს იჩენს და მოქმედებს მისი ტოლი, მაგრამ საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალა.

თუ ახლა  $F$ -ის გამოსახულებაში  $m$  მზის მასაა, რომელიც ტოლია, როგორც ეს ცნობილია,  $2 \cdot 10^{33}$  გრამისა, ხოლო  $a$  — მზის აჩქარება, გვეძნება:

$$a = F : m = (3.5 \cdot 10^{27}) : (2 \cdot 10^{33}) = 1.8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2}$$

მაშასადამე, მზე განიცდის გაცილებით ნაკლებ აჩქარებას, რამდენადაც მისი მასა გაცილებით მეტია, ვიდრე დედამიწისა.

სხეულების ურთიერთმიზიდულობა ანუ, როგორც ამბობენ, გრავიტაციული ძალა უნივერსალური ძალაა, რომელიც მოქმედებს ყოველ სხეულში და ყოველ სხეულზე. მიზიდულობა ორ საგანს შორის, რომლებზეც ცდებს ვაწარმოებთ ლაბორატორიის პირობებში, გაიზომება მეტად ფაქიზი ხელსაწყოების მეშვეობით; ისინი აღწერილია ფიზიკის კურსებში.

გრავიტაციის ზოგადი კანონზომიერება ასე ჩამოყალიბდება: ორი მატერიალური ნაწილაკის ურთიერთმიზიდულობის ძალა პროპორციულია მათი მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციული — მათ შორის მანძილის კვადრატისა. ეს ასე ჩაიწერება:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

( $m_1$ ,  $m_2$  და  $r$  არიან, შესაბამისად, ნაწილაკების მასები და მათ შორის მანძილი). ეს ტოლობა გამოხატავს ნიუტონის მიზიდულობის უნივერსალურ კანონს.  $G$  მუდმივი სიდიდეა, რომელიც პროპორციულობის კოეფიციენტს გამოხატავს. მას ნიუტონისეული გრავიტაციული მუდმივა ეწოდება. შეგვიძლია მისი რიცხობრივი სიდიდეც ვიპოვოთ. ამისათვის ისევ ეს უკანასკნელი ტოლობა გამოვიყენოთ შემთხვევისათვის, როცა მასები თითო გრამია და მანძილი ერთი სანტიმეტრი. მაშინ:

$$G = 6.7 \cdot 10^{-8} = \frac{1}{15000000}.$$

ეს ნიშნავს, რომ ორი ნაწილაკი, თითოეული ერთი გრამი მასისა, ერთიმეორეს 1 სმ-ით დაშორებული, მიიზიდება ერთიმეორესთან დინის ერთი მეტხუთმეტმილიონედი ძალით. ეს ერთობ მცირე სიდიდეა.

ასტრონომიულ პრაქტიკაში მიზიდულობის მუდმივას ხშირად სხვა ერთეულებში გამოხატავენ; სხეულებს შორის მანძილებს ანგარიშობენ ასტრონომიულ ერთეულებში, მასებს — მზის მასებში, დროს — საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეებში. ასე გამოთვლილ მუდმივას გაუსის მუდმივა ეწოდებენ.

მიზიდულობის კანონი მოქმედებს მთელ სამყაროში: დედამიწაზე, მის წიაღში, ატმოსფეროში, პლანეტათშორის სივრცეში — პლანეტებსა და თანამგზავრებს შორის; გალაქტიკაში — ორჯერად და ჯერად სისტემებში. იგი მოქმედებს ყველა საგანზე და მათ შორის ხელოვნურად შექმნილ კოსმოსურ სხეულებზე — დედამიწის თანამგზავრებზე, რაკეტებზე, საპლანეტათშორისო ავტომატურ სადგურებზე, კოსმოსურ ხომალდებსა და სხვ. ეს კანონი განაგებს დედამიწისა და საერთოდ ყველა ცთომილის მოძრაობას მზის გარშემო.



§ 147. **მზის სისტემის ცთომილების მოძრაობის საერთო მახასიათებელი.** მზის სისტემაში ცნობილია 9 ცთომილი (მათ შორის—დედამიწა) და 61 თანამგზავრი (მათ შორის—დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრი—მთვარე). ამ სხეულების მოძრაობათა შესწავლამ დაადგინა, რომ

- ა. პლანეტების ორბიტები თითქმის წრიულნი არიან,
- ბ. ეს ორბიტები კომპლანარულნი არიან; თითქმის ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ,
- გ. ყველა ცთომილი მზის გარშემო ერთი საერთო მიმართულებით მოიქცევა დასავლეთიდან აღმოსავლეთით,
- დ. ყველა ცთომილი (ვენერასა და ურანის გამოკლებით) საკუთარი ღერძის ირგვლივ ერთი საერთო მიმართულებით ბრუნავს და ეს მიმართულება იგივეა, რაც მზის გარს მოქცევისა. ამავე დროს მზის ბრუნვაც საკუთარი ღერძის ირგვლივ იმავე მიმართულებით ხდება,
- ე. ყველა პლანეტას (ურანის გამოკლებით) და მათთან ერთად მზესაც ეკვატორი მცირედ აქვთ დახრილი ეკლიპტიკისადმი, ე. ი. მათი ბრუნვის ღერძების მიმართულება ახლოა ეკლიპტიკისადმი მართობული მიმართულებისა,
- ვ. პლანეტების თანამგზავრების უმრავლესობის ორბიტები თითქმის წრიულია,
- ზ. თანამგზავრების უმრავლესობის ორბიტათა სიბრტყეები ახლოა მათი დედა-ცთომილების ეკვატორულ სიბრტყეებთან და, მაშასადამე, თითქმის კომპლანარულია პლანეტების ორბიტებთან,
- თ. თანამგზავრების უმრავლესობა და აგრეთვე სატურნის რგოლიც ბრუნავს დედა-ცთომილის ირგვლივ იმავე მიმართულებით, როგორითაც ცთომილები მოიქცევიან მზის გარშემო.

§ 148. **ეკლიპტიკური კოორდინატების სისტემის შესახებ.** პლანეტური სისტემის სხეულთა მოძრაობის გამოკვლევისა და მათი მდებარეობების გამოთვლასთან დაკავშირებით ხშირად მოსახერხებელია კოორდინატთა ისეთ სისტემას მივმართოთ, რომელშიც სხეულების მდებარეობა განიხილება ეკლიპტიკის მიმართ. ასეთ სისტემაში კოორდინატებს წარმოადგენს ეკლიპტიკური გრძედო და ეკლიპტიკური განედო. პირველი აითვლება ვერძის წერტილიდან აღმოსავლეთით, ეკლიპტიკის გასწვრივ (მსგავსად პირდაპირი აღვლენისა, რომელიც ეკვატორის გასწვრივ აითვლება); მეორე—ეკლიპტიკიდან ჩრდილოეთით, 0-დან  $+90^{\circ}$ -მდე და სამხრეთით,  $-90^{\circ}$ -მდე (მსგავსად დახრილობისა). ადვილი წარმოსადგენია, რომ, მაგალითად, მზის ეკლიპტიკური გრძედი 21 მარტს 0°-ია (ამ დროს პირდაპირი აღვლენაც ნულია). წლის მანძილზე იგი იცვლება 0-დან  $360^{\circ}$ -მდე (პირდაპირი აღვლენის 0 სთ-დან 24 სთ-მდე ცვლილებასთან ერთად). როცა მზის გრძედი  $90^{\circ}$ -ია (ან  $180^{\circ}$ ), მისი პირდაპირი აღვლენა უდრის 6 (შესაბამისად, 12 სთ-ს). მაგრამ ეს იმას არ ნიშნავს, რომ შუალედ მდებარეობებშიც ეს კოორდინატები ტოლია. ეკვატორის სიბრტყესთან ეკლიპტიკის დახრის გამო მზის მოძრაობა ეკლიპტიკაში თანაბარიც რომ ყოფილიყო და, მაშასადამე, თანაბარი ყოფილიყო მისი გრძედის ცვლილება, პირდაპირი აღვლენის ცვლილება მაინც არ იქნებოდა თანაბარი\*. ადვილი მისახვედრია ისიც, რომ მზის ცენტრის ეკლიპტიკური განედი ყოველთვის ნული უნდა იყოს.

\* ამ გარემოებას კავშირი აქვს დროის განტოლების მრუდის რთულ სახესთან (იხ. ზემოთ).

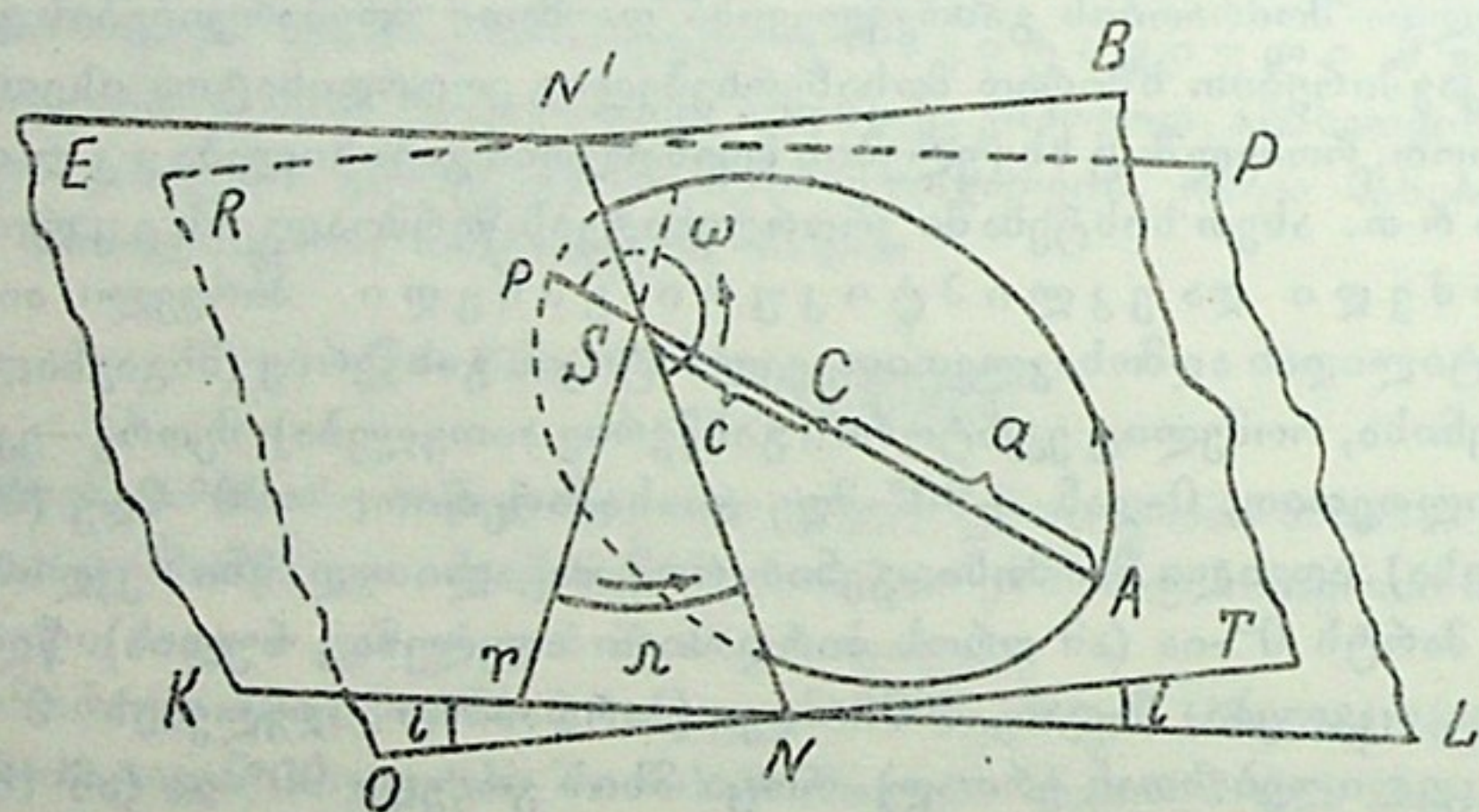


ეკლიპტიკური კოორდინატები ამოცანის მიხედვით ორ ვარიანტში აიგება და გამოიყენება: პირველ ვარიანტში, როცა დამკვირვებელი დედამიწაზე გვყავს წარმოდგენილი (გ ე ო ც ე ნ ტ რ უ ლ ი ეკლიპტიკური კოორდინატები), კოორდინატთა სათავე და კოორდინატების გამომხატველი კუთხეების წვეროები დედამიწის ცენტრში ან დამკვირვებლის თვალშია. მეორე ვარიანტში სურათი ისე უნდა გვქონდეს წარმოდგენილი, თითქოს დამკვირვებელი შიის ცენტრიდან აკვირდება (ჰ ე ლ ი ო ც ე ნ ტ რ უ ლ ი კ ო ო რ დ ი ნ ა ტ ე ბ ი) და იქვეა, მაშასადამე, მოთავსებული კოორდინატების სათავე და კუთხეების წვეროები. ცხადია, რომ დედამიწის ჰელიოცენტრული ეკლიპტიკური განედი მუდამ  $0^{\circ}$ -ია\*.

§ 149. პლანეტთა ორბიტის ელემენტები. პლანეტის ორბიტის ელემენტები ეწოდება ექვს სიდიდეს, რომლებიც ახასიათებს და ზუსტად განსაზღვრავს ორბიტას. ეს სიდიდეები ანუ ელემენტებია:

1. ორბიტის დიდი ნახევარღერძი— $a$ ,
  2. ექსცენტრისიტეტი— $e$ ,
  3. დახრა ეკლიპტიკისადმი— $i$ ,
  4. აღმავალი კვანძის ეკლიპტიკური გრძედი— $\Omega$ ,
  5. კუთხე მზიდან აღმავალ კვანძსა და პერიჰელიუმის წერტილზე გაშვებულ მიმართულებებს შორის— $\omega$ ,
  6. პერიჰელიუმზე პლანეტის გავლის მომენტი— $T$  (ან ეპოქა  $E$ ).
- თვით პლანეტის მდებარეობას მის ორბიტაზე ახასიათებს ორი სიდიდე: მოქცევის პერიოდი— $P$ , (შეიძლება მისი შენაცვლება დღელამური მოძრაობის სიდიდით) და ორბიტის მე-ნ ელემენტი— $T$ .

განვიხილოთ 280-ე ნახაზი. იგი წარმოადგენს ეკლიპტიკის სიბრტყის *KEPL* ნაკვთს; მას კვეთს სიბრტყე (მისი ნაკვთი *ORBT*), რომელშიც ძვეს აღე-



536. 280.

ბული პლანეტის ორბიტა.  $NN'$  ორი სიბრტყის გადაკვეთის წრფე, კვანძთა ხაზია.  $S$  პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) ის ფოკუსია, რომელშიც მზე მდებარეობს.  $p$  წარმოადგენს პერიჰელიუმის წერტილს.  $C$  ელიფსის ცენტრია.

\* საკითხის მკაცრი განხილვა დაგვარწმუნებს, რომ როგორც მზის, ისე დედამიწის ეკლიპტიკური განედები მცირედ, მაგრამ, მაინც განსხვავდებიან ზოგჯერ ნულისაგან, რაც გამოწვეულია დედამიწის გრავიტაციული შეშფოთებით, რომლებსაც მთვარე და პლანეტები ახდენენ მასზე.



დიდნახევარდერი  $a$  და  $e$  განსაზღვრავენ ელიფსის (ორბიტის) ზომას. ჩვეულებრივ  $a$ -ს ასტრონომიული ერთეულებით გამოხატავენ. დედამიწისათვის იგი ერთია, შიდა ცთომილებისათვის ერთზე ნაკლები, ხოლო გარე ცთომილებისათვის — ერთზე მეტი.  $a$  გარემოქცევის დროსაც განსაზღვრავს.

ექსცენტრისი ტეტი  $e$  განსაზღვრავს ორბიტის ფორმას. რაც უფრო მეტად გაწელილია ელიფსი, მით მეტად აღემატება ეს სიდიდე 0-ს. მაგრამ ელიფსისათვის იგი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია.

დახრა  $i$  ეკლიპტიკისადმი არის კუთხე ცთომილისა და დედამიწის ორბიტების სიბრტყეებს შორის.  $i = TNL = KNO$ . ეს ელემენტი მითითებას გვაძლევს სივრცეში ორბიტის მდებარეობის შესახებ.

მეოთხე ელემენტია აღმავალი კვანძის  $\Omega$  გრძედი. იგი წარმოადგენს კუთხეს, რომელიც იქმნება მზიდან ვერძის წერტილზე გავლებულ მიმართულებასა და კვანძების ხაზის მიმართულებას შორის:  $\varphi SN$ . ჩვენს ნახაზზე  $N$  ჩაითვლება აღმავალ კვანძად, რადგანაც, გადაკვეთს რა ცთომილი ამ წერტილს, იგი გადადის ცის სამხრეთ ნაწილიდან ჩრდილოეთში ( $N'$  — დაღმავალად), ეს ელემენტიც ერთგვარად ახასიათებს ორბიტის ორიენტაციას სივრცეში.

კუთხე მზიდან აღმავალ კვანძზე და პერიჰელიუმის წერტილზე ადებულ მიმართულებათა შორის ( $\omega$ ) უჩვენებს იმას, თუ როგორ არის ორიენტირებული ელიფსი (ორბიტა) ანუ მისი დიდი დერძი  $pA$  ორბიტის სიბრტყეში. ეს კუთხე აითვლება პლანეტის ორბიტის სიბრტყეში პლანეტის მოძრაობის მიმართულებით.

$\Omega$  და  $\omega$ -ს ჯამს უწოდებენ პერიჰელიუმის გრძედს:  $\pi = \Omega + \omega$ .

ჩამოთვლილი ხუთი ელემენტი სავსებით ახასიათებს თვით ორბიტას: მის სიდიდეს, ფორმას, მდებარეობას სივრცესა ( $i, \Omega$ ) და სიბრტყეში ( $\omega$ ).

პერიჰელიუმზე გავლის მომენტი ( $T$ ) მეექვსე ელემენტია. აქედან იწყება პლანეტის მოძრაობის აღრიცხვა და ანგარიში. ზოგჯერ საწყისად იღებენ სხვა ეპოქას ( $E$ ), რომელიც შეესაბამება პლანეტის ასტრონომიულ გრძედს რომელიმე არჩეულ, მოხერხებულ მომენტში, ვთქვათ, 1900 წლის ან 1950 წლის 1 იანვრის დასაწყის მომენტში — შუალაძეზე.

როცა ცნობილია პლანეტის ორბიტის ელემენტები, ე. ი. მოცემულია მათი რიცხობრივი მნიშვნელობანი, შეგვიძლია გამოვითვალოთ პლანეტის მიმართულებაც ცაზე და მისი მანძილიც მზიდან ნებისმიერ მომენტში; მაშასადამე, შეგვიძლია დავადგინოთ პლანეტის მდებარეობები სივრცეში. ისინი წინასწარ გამოითვლება მომავლისათვის, საჭიროებისამებრ. მდებარეობები იანგარიშება აგრეთვე წარსულის მომენტებისათვისაც.

პლანეტის სხვადასხვა მომენტის შესაბამის მდებარეობათა წყებას უწოდებენ პლანეტის ეფემერიდებს. მზის, მთვარისა და პლანეტების ეფემერიდებს სისტემატურად წინასწარ ითვლიან და წინასწარვე აქვეყნებენ ასტრონომიულ ყოველწლიურებსა (წელიწდეულებში) და კალენდრებში.

დამუშავებულია მეთოდები, რომელთა მიხედვით შესაძლებელია პლანეტის ორბიტის ელემენტების გამოთვლა, თუკი განსაზღვრული გვაქვს პლანეტის კოორდინატები (პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა) რამდენიმე სხვადასხვა მდებარეობაში.





კოორდინატები შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ზუსტი იარაღით, როგორცაა პერიდიანული წრე და საპასაჟო ინსტრუმენტი, ან ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე ვარსკვლავთა გამონასახების მდებარეობათა მიხედვით.

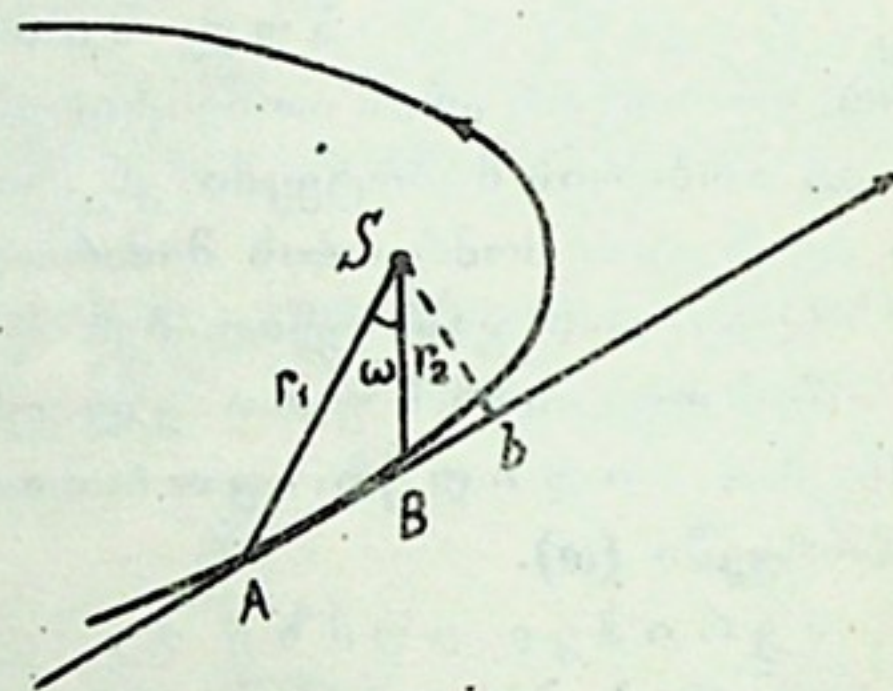
ორბიტის ელემენტების გამოთვლას საფუძვლად უძევს საკმარისად რთული თეორია, რასაც აქამდე სჭირდებოდა გამოცდილი გამოთვლელის რამდენიმე დღის დაძაბული მუშაობა. ამჟამად კი გამოთვლების შესრულება შესაძლოა ელექტრონულ გამოსათვლელ მანქანებზე სულ რამდენიმე წუთში. გამოთვლის ძირითადი მეთოდი თავის დროზე დაამუშავა ცნობილმა მათემატიკოსმა და ასტრონომმა გაუსმა, როცა 23 წელი შეუსრულდა. საამისო საბაბი კი მას მისცა ახლად აღმოჩენილმა მცირე ცთომილმა ანუ ასტეროიდმა (იხ. ქვემოთ), რომლისთვისაც საჭირო გახდა ორბიტის განსაზღვრა და თვით მისი ძიება, რადგანაც აღმოჩენის შემდეგ, მზესთან შეერთების პერიოდში იგი „დაიკარგა“.

ამ და მის მსგავს ყველა სხვა მეთოდს შეისწავლის ცის მექანიკა, რომელსაც საფუძვლად უძევს ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი.

თუ რაიმე ნივთიერი წერტილი ისეთი ძალის ზემოქმედებით მოძრაობს, რომელიც მუდამ მიმართულია რაღაც ფიქსირებული ცენტრისაკენ, მაშინ, როგორც ეს ნიუტონის კანონებიდან გამომდინარეობს, მისი ტრაექტორია იქნება მრუდი, ჩაზნექილობით ყოველთვის ცენტრის მხარეს მიმართული და ცენტრთან ერთ საერთო სიბრტყეში მდებარე.

ცთომილის ორბიტის გასწვრივ მოძრაობის განხილვისას უნდა გავარჩიოთ რამდენიმე ცნება: წრფივი, კუთხური და ფართითი სიჩქარისა. მოვიყვანოთ ისინი გამარტივებული სახით.

წრფივი სიჩქარე არის მოძრაობის სხეულის მიერ დროის ერთეულში (მაგალითად, წამში) გავლილ წრფივ ერთეულთა (მაგალითად, კილომეტრებისა ან სანტიმეტრების) რიცხვი. 281-ე ნახაზზე  $AB$  იყოს ცთომილის მიერ ორ-



ნახ. 281.

ბიტაზე დროის ერთეულში შემოწერილი რკალის სიგრძე. მაშინ ეს  $AB$  არის წრფივი  $V$  სიჩქარე.

კუთხური სიჩქარე არის დროის ერთეულში რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილ კუთხურ ერთეულთა (მაგალითად, რადიანების ან გრადუსების) რიცხვი. ჩვენს ნახაზზე იგი არის  $ASB$  კუთხე, აღნიშნული  $\omega$  ასოთი.

დაბოლოს, ფართითი სიჩქარე წარმოადგენს დროის ერთეულში რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილ ფართს. თუ ამ სიჩქარეს აღვნიშნავთ  $P$  ასოთი და  $ASB$  სექტორს განვიხილავთ როგორც სამკუთხედს (ეს დასაშვებია, როცა  $ASB$  კუთხე საკმარისად მცირეა), მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:  $P = \frac{1}{2} Vx$ , სადაც  $x$  არის  $S$  ცენტრიდან მოძრაობის მიმართულებაზე მართობულად დაშვებული  $Sb$  მონაკვეთის სიგრძე.

შეგვიძლია აგრეთვე დავწეროთ:

$$V = \frac{2P}{x}.$$



ამასთანავე  $P = \frac{1}{2} r_1 r_2 \sin ASB$ , მაგრამ, თუ დროის ერთეულ შუალედად ავიღებთ 1 წამს,  $ASB$  კუთხე ანუ  $\omega$  ერთობ მცირე იქნება, მისი სინუსის ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ თვით  $\omega$ , ხოლო ნამრავლი  $r_1 r_2$  საკმარისი მიახლოებით შეგვიძლია ჩავთვალოთ  $r^2$ -ის ტოლად. ამიტომ გვექნება:

$$\omega = \frac{2P}{r^2}.$$

ამგვარად, შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი სამი მტკიცება: ა) წრფივი სიჩქარე იცვლება მოძრაობის ცენტრიდან მოძრაობის მრუდზე დაშვებული ნორმალის სიგრძის უკუპროპორციულად; ბ) კუთხური სიჩქარე იცვლება რადიუს-ვექტორის კვადრატის უკუპროპორციულად და გ) ფართობი სიჩქარე აღებული ორბიტის ყველა ნაწილში მუდმივი სიდიდეა (იხ. კეპლერის კანონები).

ეს სამივე მტკიცება როდია ერთიმეორისაგან დამოუკიდებელი, არამედ განპირობებულია ერთი საერთო კანონით და სამართლიანია იმ შემთხვევაში, როცა ძალა ცენტრალურია, ე. ი. მოქმედებს რადიუს-ვექტორის გასწვრივ.

იმ შემთხვევაში, როცა ძალა ცენტრალურია და ამავე დროს სხეულის მოძრაობა წრიულია, წრფივი და კუთხური სიჩქარეები ორივე მუდმივია, ძალის სიდიდე კი, რომელიც აგრეთვე მუდმივია, გამოიხატება შემდეგნაირად:

$$F = \frac{mV^2}{r},$$

სადაც  $m$  სხეულის მასაა.  $V$ -ს ნაცვლად შეგვიძლია დავწეროთ გარშემოწერილობის ფარდობა გარემოქცევის დროსთან ( $t$ ). ამიტომ,

$$F = \frac{m(2\pi r)^2}{r \cdot t^2} = 4\pi^2 m \frac{r}{t^2}.$$

ეს ფორმულა ხშირად გამოიყენება პლანეტების მოძრაობასთან დაკავშირებული ამოცანების მიახლოებითი გადაწყვეტის დროს, რამდენადაც პლანეტების ორბიტები მიახლოებით შეიძლება წრიულად ჩაითვალოს.

**§ 150. მოძრაობის კეპლერისული კანონები.** პლანეტების მოძრაობას ახასიათებს სამი ზოგადი კანონზომიერება, რომლებიც პირველად კეპლერმა აღმოაჩინა. მან მიაკვლია მათ არა მოძრაობის თეორიული და დინამიკური ანალიზით, არამედ — ემპირიული გზით, განიხილავდა რა იგი ძირითადად მარსის მოძრაობაზე დაგროვილ დაკვირვებათა ერთობლივ მონაცემებს.

კეპლერის ეს კანონები, როგორც მათ უწოდებენ, შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბებთ:

1) ყოველი პლანეტის ორბიტა ელიფსია, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მოთავსებულია მზე;

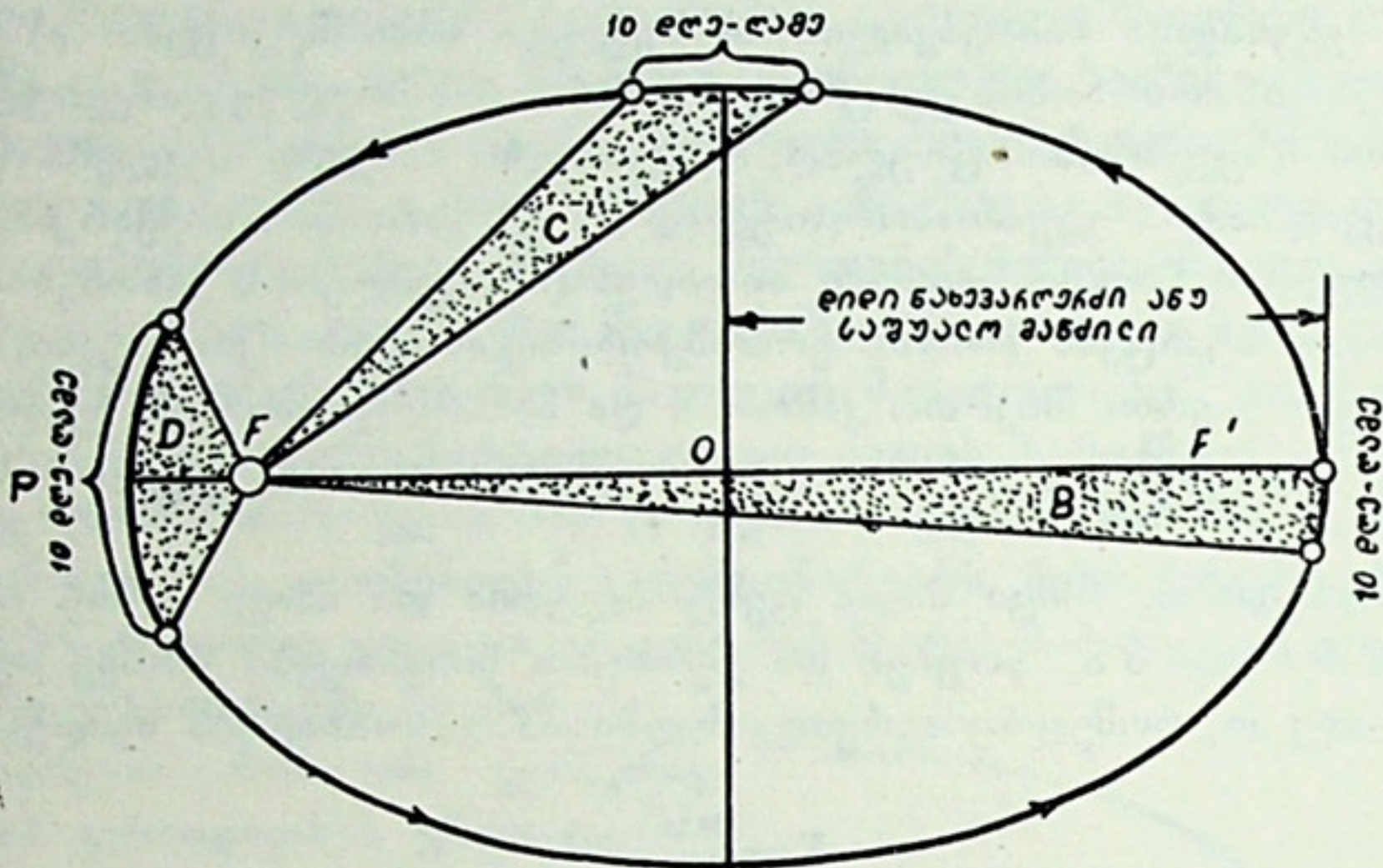
2) ყოველი პლანეტის რადიუს-ვექტორი დროის თანატოლ შუალედებში თანატოლ ფართობებს შემოწერს (აქვე, 282-ე ნახაზზე მოყვანილია ამ კანონის ილუსტრაცია);

3) პლანეტების მზის ირგვლივ სიდერული მოქცევის პერიოდთა ( $t$ ) კვადრატები პროპორციულია მზემდე მათი საშუალო მანძილების ( $a$ ) კუბებისა. ეს უკანასკნელი კანონი ასეც ჩაიწერება:  $t_1^2 : t_2^2 = a_1^3 : a_2^3$ .



ამ უკანასკნელ მესამე კანონს ფართო გამოყენება აქვს იმისათვის, რომ განისაზღვროს რომელიმე ცთომილის (თუნდაც, ახლად აღმოჩენილი მცირე ცთომილის) მზის ირგვლივ მოქცევის პერიოდი, როცა ცნობილია მისი მზიდან დაშორება, ან კიდევ განისაზღვროს მისი მანძილი მზემდე, როცა ცნობილია გარემოქცევის პერიოდი.

კეპლერის მესამე კანონის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ ცხრილი, რომელშიც მოცემულია რამდენიმე პლანეტის ორბიტების დიდი ნახევარღერძების



ნახ. 282.

კუბებისა ( $a^3$ ) და სიდერული პერიოდების კვადრატების ( $t^2$ ) რიცხვითი მნიშვნელობანი. ამ მნიშვნელობათა ფაქტიური ურთიერთობა, რაც დაკვირვებიდან გამომდინარეობს, მოწმობს აღნიშნული კანონის მართებულობას.

პლანეტა	ორბიტის დიდი ნახევარღერძი (ასტრ. ერთ.)	სიდერული პერიოდი (წელიწადი)	$a^3$	$t^2$
მერკური	0.39	0.24	0.058	0.058
ვენერა	0.72	0.62	0.378	0.378
დედამიწა	1.00	1.00	1.000	1.000
მარსი	1.52	1.88	3.54	3.54
იუპიტერი	5.20	11.86	140.7	140.8
სატურნი	9.54	29.46	867.7	867.9

გამოცდილებიდან ვიცით, რომ დედამიწის ახლო ხელოვნური თანამგზავრები და კოსმოსური თანამგზავრი-ხომალდები დედამიწას დაახლოებით საათნახევარში ან საათსა და 20-25 წუთში შემოუვლიან ირგვლივ. შეგვიძლია თუ არა ავხსნათ ეს კეპლერის მესამე კანონის გამოყენების საფუძველზე? შეგვიძლია. მართლაც, განვიხილოთ მთვარისა და ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობა დედამიწის გარშემო. მთვარისათვის, როგორც ვიცით, დედამიწის გარშემო სიდერული მოქცევის პერიოდი 27.3 დღე-ღამეა, ე.ი.  $t_1 = 27.3$ , მისი მანძილი დედამიწის ცენტრიდან დაახლოებით 384000 კმ-ია, ანუ 60 დედამიწის რადიუსია, ე.ი.  $a_1 = 60$ . პროპორცია ასე იწერება:  $(27.3)^2 : t_2^2 = 60^3 : 1^3$ . აქ  $t_2$ -ით აღნიშნულია ხელოვნური თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი — სიდი-



დე, რომლის მნიშვნელობა ახლა საძიებელი და შესამოწმებელი გვაქვს. თანამგზავრის მანძილი დედამიწის ცენტრიდან 1-ის ტოლად მივიჩნიეთ ( $a_2=1$ ), რადგანაც ვგულისხმობთ, რომ იგი მოძრაობს დედამიწის ზედაპირის მახლობლობაში და, მაშასადამე, დედამიწის რადიუსის ახლო მნიშვნელობისაა. პროპორციის ამოხსნა მოგვცემს:

$$t_2^2 = \frac{(27.3)^2}{60^3};$$

$$t_2 = \frac{27.3}{\sqrt{60^3}} \approx \frac{27.3}{465} = 0.059 \text{ დღე-ღამე.}$$

ეს უკანასკნელი სიდიდე კი, გამოხატული საათებსა და წუთებში, არის 1სთ 24 წთ.

ახლა არ გაგვიჭირდება ისიც გამოვითვალოთ, თუ დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე უნდა ავუშვათ ხელოვნური თანამგზავრი იმისათვის, რომ ის მუდამ ჩანდეს ადგილის ზენიტში. მართლაც, ამისათვის აუცილებელია, რომ მისი გარემოქცევის პერიოდი ეტოლებოდეს დედამიწის დერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდს ანუ 1 დღე-ღამეს. კეპლერისეული მესამე კანონის გამოხატველი პროპორცია ასე შედგება:  $(27.3)^2 : 1^2 = 60^3 : a_2^3$ . პასუხი მიიღება დედამიწის რადიუსებში გამოხატული, რამდენადაც მთვარის მანძილიც დედამიწიდან დედამიწის რადიუსებში გამოვხატეთ.

**§ 151. კეპლერის მესამე კანონის ზოგადი სახე.** კეპლერის სამივე კანონი გამომდინარეობს ნიუტონის მიზიდულობის კანონიდან. აქ ამ გამოყვანას არ შევუდგებით, მაგრამ მასთან დაკავშირებულ ზოგიერთ შედეგს განვიხილავთ.

თუ  $M$ ,  $m_1$  და  $m_2$  მზისა და ორი პლანეტის მასებია, ხოლო  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $t_1$  და  $t_2$  — პლანეტების დიდი ნახევარღერძები და გარემოქცევის პერიოდები, შესაბამისად, მაშინ ამ ორი პლანეტისათვის დაიწერება ცალ-ცალკე შემდეგი ტოლობანი:

$$\frac{4\pi^2}{t_1^2} a_1^3 = G(M + m_1) \quad (ა)$$

და

$$\frac{4\pi^2}{t_2^2} a_2^3 = G(M + m_2).$$

აქედან მივიღებთ:

$$\frac{a_1^3}{t_1^2} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{m_1}{M})} = \frac{a_2^3}{t_2^2} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{m_2}{M})}.$$

ეს უკანასკნელი კეპლერის მესამე კანონის მეორე, უფრო ზოგად სახეს წარმოადგენს. აქედან მიიღება მარტივად ამ კანონის ჩვენთვის უკვე ცნობილი პირ-

ველი სახე, თუ ჩავთვლით, რომ  $\frac{m_1}{M}$  და  $\frac{m_2}{M}$  ძალიან მცირე სიდიდეებია. ასეთი დაშვება მრავალ შემთხვევაში მისაღებია, რადგანაც, თუ, მაგალითად, პირველ პლანეტად დედამიწა განიხილება, მაშინ  $\frac{m_1}{M} = \frac{1}{333000}$ , რადგანაც დედამიწის



მასა 333000-ჯერ ნაკლებია მზისაზე. უდიდესი მასის მქონე პლანეტის — იუპიტერის —

რის — შემთხვევაშიც კი ეს ფარდობა ძალიან მცირეა:  $\frac{1}{1050}$ . ამრიგად, შეგვიძ-

ლია ვა იაროთ, რომ კეპლერის მესამე კანონის პირველი სახე აქ მოყვანილი მეორე სახის საკმარისად კარგ მიახლოებას წარმოადგენს ამ შემთხვევებში.

§ 152. **პლანეტების მასის გამოთვლა.** ზემოთ მოყვანილ (ა) ფორმულაში საქმე გვქონდა მზისა და პლანეტის შემთხვევასთან. ახლა, ვთქვათ, საქმე გვაქვს პლანეტასა და მის გარშემო მოძრავ თანამგზავრთან. პლანეტის მასის აღნიშვნა დავტოვოთ იგივე, ხოლო თანამგზავრის მასა, მისი ორბიტის დიდი ნახევარღერძი და გარემოქცევის პერიოდი აღვნიშნოთ, შესაბამისად,  $m_s$ ,  $a_s$  და  $t_s$  ასოებით, მაშინ დაიწერება (ა)-ს ანალოგიურად:

$$\frac{4\pi^2 a_s^3}{t_s^2} = G(m_1 + m_s) = Gm_1 \left(1 + \frac{m_s}{m_1}\right). \quad (ბ)$$

უმეტეს შემთხვევაში თანამგზავრის მასა პლანეტის მასასთან შედარებით უმნიშვნელოდ შეგვიძლია ჩავთვალოთ და ამიტომ (ბ)-ში სრულიად უგულებელვყოთ  $\frac{m_s}{m_1}$  ფარდობა. მაშინ (ა) და (ბ)-დან, მათი გაყოფით, მივიღებთ შემდეგს:

$$\frac{m_1}{M + m_1} = \left(\frac{a_s}{a_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_s}\right)^2.$$

საკმარისი სიზუსტით ეს უკანასკნელი ტოლობა ასე გამარტივებულადაც გამოიხატება,  $m_1$ -ის სიმცირის გამო  $M$ -თან შედარებით:

$$\frac{m_1}{M} = \left(\frac{a_s}{a_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_s}\right)^2. \quad (გ)$$

იგულისხმება, რომ ცთომილისა და თანამგზავრის ორბიტების დიდი ნახევარღერძები და გარემოქცევის პერიოდები ( $a_1$ ,  $a_s$ ,  $t_1$ ,  $t_s$ ) განსაზღვრული და ცნობილია და (გ)-დან ვიპოვით პლანეტისა და მზის მასების ფარდობას. მაშასადამე, პლანეტის მასა გამოითვლება მზის მასის ერთეულებში.

მაგალითისათვის გამოვითვალოთ პლანეტა ურანის მასა. ურანისათვის  $a_1 = 19.19$  ასტრონ. ერთეულს,  $t_1 = 84.02$  წელიწადს. ურანის ერთ-ერთი თანამგზავრის — ტიტანისათვის  $a_s = 0.00293$  ასტრონ. ერთეულს და  $t_s = 8.706$  დღე-

ღამეს, რაც წარმოადგენს  $\frac{8.706}{365.25}$  წელიწადს.

მაშინ (გ)-ს მიხედვით:

$$\frac{m_1}{M} = \left(\frac{0.00293}{19.19}\right)^3 \cdot \left(\frac{84.02 \cdot 365.25}{8.706}\right)^2 = \frac{1}{22610}.$$

მაშასადამე, ურანის მასა 22610-ჯერ ნაკლებია მზისაზე და დედამიწისას კი — ადმატება.

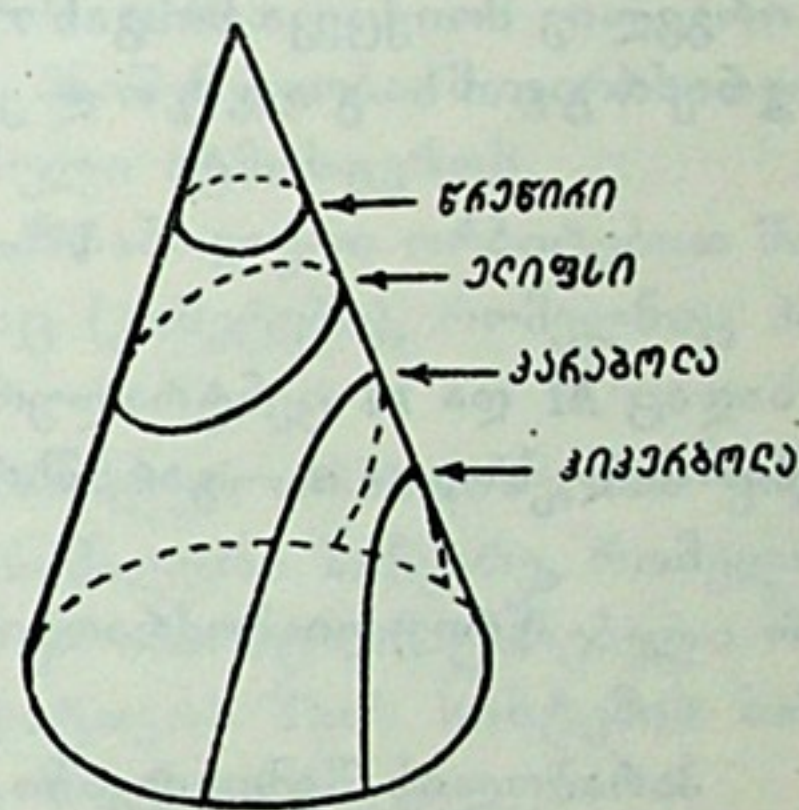
როგორც ვხედავთ, აღწერილი მეთოდით შეგვიძლია გამოვითვალოთ ისეთ პლანეტათა მასები, რომელთაც ახლავთ თანამგზავრი. მერკურისა და ვენერასათვის, რომლებიც მოკლებულია თანამგზავრებს, ამ მეთოდით ვერ მოვახერხებთ



მასის შეფასებას და უნდა მივმართოთ სხვა, არაპირდაპირ ხერხებს. მაგ., ასეთ შემთხვევაში დეტალურად უნდა განვიხილავდეთ დედამიწის მოძრაობას მზის გარს. დედამიწა თუ მხოლოდ მზის მიზიდულობის გავლენით იმოძრაებდა მზის გარშემო, მისი ორბიტა იქნებოდა სრულიად გარკვეული, მუდმივი პარამეტრების მქონე ელიფსი. მაგრამ სინამდვილეში პლანეტები ახდენენ დედამიწაზე გარკვეულ მიზიდულობით ზემოქმედებას, რის გამოც დედამიწის გზა ერთგვარად გადაიხრება აღნიშნული ელიფსიდან. ეს გადახრა როდია დიდი, მაგრამ მაინც შეინიშნება და კიდევ გამოითვლება. გადახრის ანუ შეშფოთების სიდიდე ძირითადად განპირობებულია ზემოქმედი პლანეტების მასებით. შეშფოთებათა საფუძველზე შემაშფოთებელი სხეულების მასების განსაზღვრის ამოცანა ცის მექანიკის კარგად დამუშავებულ ამოცანებს ეკუთვნის და განიხილება ე. წ. შეშფოთებათა ანუ პერტურბაციების თეორიაში.

§ 153. **მიზიდულობის თეორიასთან დაკავშირებული სხვა საკითხები.** ნიუტონმა არა მარტო ახსნა პლანეტებისა და მთვარის მოძრაობა მიზიდულობის კანონით, არამედ ისიც უჩვენა, რომ, თუ ნივთიერი სხეული მოიქცევა რაიმე ცენტრალური მასის გარშემო მიზიდულობის კანონის მიხედვით, მისი გარემოქცევის გზა საზოგადოდ წარმოადგენს წრიული კონუსის რაიმე კვეთას, ე. ი. არა უთუოდ წრეს და არა თუნდაც უთუოდ ელიფსს, არამედ შეიძლება — პარაბოლასა და ჰიპერბოლასაც.

ყველა ეს მრუდი მიიღება წრიული კონუსის რაიმე სიბრტყითი კვეთით (ნახ. 283). თუ სიბრტყე კონუსის ფუძის პარალელურია, კონუსთან კვეთა გვაძლევს წრეს, არაპარალელობის შემთხვევაში — ელიფსს, ხოლო პარაბოლას, როცა სიბრტყე კონუსის მსახველის პარალელურია; თუ მკვეთი სიბრტყე კონუსის ფუძის მართობულია, მიიღება ჰიპერბოლა.



ნახ. 283.

წრე და ელიფსი ჩაკეტილი მრუდებია და

მათ გასწვრივ მოძრავი სხეული პერიოდულად გარემოიქცევა მოძრაობის ცენტრის ირგვლივ; როგორც ამბობენ, ამ შემთხვევაში მოძრაობა პერიოდულია ანუ სხეულია პერიოდული.

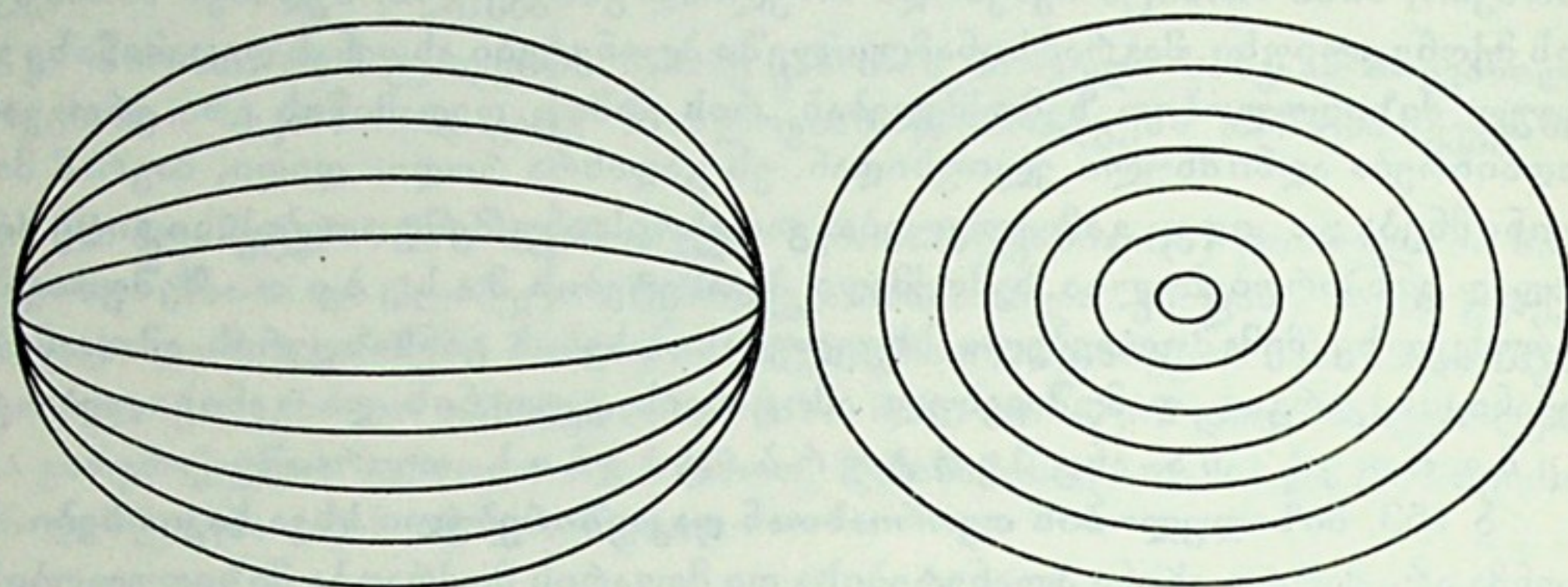
წრის ექსცენტრისიტეტი, როგორც ვიცით, ნულია. ელიფსისათვის იგი ნულზე მეტი და ერთზე ნაკლებია. პარაბოლის ექსცენტრისიტეტი ეტოლება ერთს, ხოლო ჰიპერბოლისა ერთზე მეტია.

ექსცენტრისიტეტი მრუდის ფორმას განსაზღვრავს. იგი ნულია ყოველი წრისათვის. ყველა წრის მოყვანილობაც უცვლელია; განსხვავება მხოლოდ სიდიდეში შეიძლება იყოს. მაგრამ ელიფსი უსასრულო ვარიანტებში გვხვდება: მეტად თუ ნაკლებად გაწელილი. აქ საქმე მარტო სიდიდის ვარიაციებში კი არ არის, როგორც წრის შემთხვევაში, არამედ ფორმის ვარიაციებში. ელიფსის ექსცენტრისიტეტისათვის ზოგადი პირობა ისაა, რომ იგი ერთზე ნაკლები უნდა იყოს და რამდენიც შეგვიძლია დავასახელოთ ნულზე მეტი, ოღონდ ერთზე ნაკლები რიცხვი, იმდენი სხვადასხვა მოყვანილობის ელიფსი შეგვიძლია შემოვწეროთ, თუნდაც ამ ელიფსებს ყველას ჰქონდეს ერთი და იმავე სიდიდის დიდი ღერძი. 284-ე ნახაზზე, მარცხნივ ვხედავთ ერთი და იმავე





სიდიდის დიდი ღერძისა და სხვადასხვ. ექსცენტრისიტეტის მქონე ელიფსებს; მარჯვნივ — ერთი და იმავე ექსცენტრისიტეტისა, მაგრამ სხვადასხვა სიდიდის დიდი ღერძის მქონე ელიფსებს.



ნახ. 284

როცა ერთი სხეული მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით მეორე სხეულის ირგვლივ მოიქცევა მისგან  $r$  მანძილზე, მაშინ მისი სიჩქარე გამოიხატება ე. წ. ენერგიის განტოლებით:

$$V^2 = G(M+m) \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

სადაც  $M$  და  $m$  ცენტრალური და გარსმსრბოლავი სხეულების მასებია, შესაბამისად, ხოლო  $a$  — გარსმსრბოლავი სხეულის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი.

$$\text{წრიული მოძრაობისათვის } a=r \text{ და } V^2 = G(M+m) \frac{1}{r}.$$

პარაბოლის შემთხვევაში, როგორც ცნობილია,  $a$  უსასრულოა და ენერგიის განტოლება ასეთ სახეს ღებულობს:

$$V_p^2 = 2G \frac{M+m}{r}.$$

სხეული, რომელსაც ცენტრალური სხეულიდან  $r$  მანძილზე მიენიჭება  $V_p$  სიჩქარე, იმოძრაებს პარაბოლური გზით. ამიტომ ამ სიჩქარეს პარაბოლური სიჩქარე ეწოდება.

თუ  $V$  სიჩქარე აღემატება პარაბოლურს ( $V > V_p$ ), მაშინ  $a$  ღებულობს უარყოფით მნიშვნელობას და, მაშასადამე, როგორც ცნობილია, ორბიტა ჰიპერბოლას წარმოადგენს. ხოლო, თუ  $V < V_p$ , მაშინ  $a$  დადებითი სასრულო სიდიდეა და, მაშასადამე, ელიფსთან გვაქვს საქმე.

წრისა და ელიფსის გასწვრივ მოძრავი სხეული პერიოდულად უბრუნდება თავის პირვანდელ მდებარეობას. ეს არ ითქმის პარაბოლისა და ჰიპერბოლის გასწვრივ მოძრავ სხეულებზე. კომეტა, რომლის ორბიტა ელიფსია, პერიოდულად დაუბრუნდება მზეს ანუ დედამიწის მახლობელ სივრცეს. პარაბოლური ტრაექტორიით მოძრავი კომეტა კი მხოლოდ ერთხელ იქნება ხილული. ასევე, თუ ხელოვნური კოსმოსური სხეული (თანამგზავრი, რაკეტა, სადგური, ხომალდი) ელიფსური გზით არის გაშვებული, იგი პერიოდულად შემოუვლის დედამიწას





ირგვლივ. თუკი პარაბოლური სიჩქარით ან უფრო დიდი სიჩქარითაა გატყორ-  
ცნილი სხეული, დედამიწას აღარ დაუბრუნდება.

პარაბოლურ სიჩქარეს უწოდებენ  $g$  აჭ რ ი ს ს ი ჩ ქ ა რ ე ს. მართლაც, თუ  
სხეულმა ამ კრიტიკულ სიჩქარეს მიაღწია ან გადააჭარბა, იგი სამუდამოდ გაი-  
ჭრება მიმზიდველი სხეულის მიზიდულობის სფეროდან. გაჭრის სიჩქარე შეგ-  
ვიძლია უკანასკნელი ტოლობიდან გამოვითვალოთ, თუ მასში უმნიშვნელოდ  
ჩავთვლით  $m$  მასას. თუ ლაპარაკი დედამიწაზეა, როგორც ცენტრალურ სხეულ-  
ზე, მაშინ  $M=6 \cdot 10^{27}$  გრამს,  $r=6.37 \cdot 10^8$  სმ-ს,  $G=6.7 \cdot 10^{-8}$ . აქედან

$$V_p = 1.12 \cdot 10^6 \text{ სმ/წმ} = 11.2 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}}.$$

ეს ე. წ. მეორე კოსმოსური სიჩქარეა.

მზისათვის, რომელიც მასით დედამიწას 333000-ჯერ აღემატება და რადიუ-  
სითაც მეტია დედამიწაზე (109-ჯერ), მის ზედაპირთან გაჭრის სიჩქარე იქნება  
დედამიწასთან შედარებით  $\sqrt{333000:109} = 55.2$ -ჯერ მეტი ანუ  $\approx 620 \text{ კმ/წმ}$ .

სამაგიეროდ, მთვარისათვის იგი მხოლოდ 2.4 კმ/წმ-ს ეტოლება, როგორც  
ეს ადვილად გამოითვლება. ამგვარად, ენერგეტიკული თვალსაზრისით მთვარის  
ზედაპირიდან გაცილებით უფრო ადვილი იქნებოდა ხელოვნური კოსმოსური  
სხეულების აშვება, ვიდრე ეს დედამიწის ზედაპირიდანაა.

გაჭრის კრიტიკული სიჩქარის ასე მცირე მნიშვნელობა მთვარისათვის  
იმასაც ხსნის, თუ რატომ არის მთვარე მოკლებული ატმოსფეროს.

ცის სხეულები უმთავრესად ელიფსური და პარაბოლური ორბიტებით მო-  
ძრაობენ. თუმცა მოიპოვებიან ისეთი ობიექტებიც (კომეტები), რომელნიც ჰი-  
პერბოლურ ორბიტებზე სრბოლავენ.

კოსმოსურმა აპარატმა რომ იმოძრაოს ჰიპერბოლურ ორბიტაზე, მას უნდა  
ჰქონდეს არა ნაკლებ 16.7 კმ/წმ სიჩქარე. ეს მინიმალური სიჩქარე, რომელიც  
უნდა მიენიჭოს დედამიწიდან გაშვებულ კოსმოსურ აპარატს, მატარებელი რა-  
კეტის მუშაობის შეწყვეტის მომენტში, რათა დატოვოს მზის სისტემის საზ-  
ღვრები, წოდებულია მე ს ა მ ე კოსმოსური სიჩქარე.

ზემოთ მოყვანილი ენერგიის განტოლებიდან და პარაბოლური სიჩქარის გა-  
მოსახულებიდან ადვილად გამოვიყვანთ შემდეგს:

$$a = \frac{r}{2} \left( \frac{V_p^2}{V_p^2 - V^2} \right).$$

$$\text{წრიული ორბიტისათვის } (a=r) \quad V^2 = \frac{1}{2} V_p^2.$$

მაშასადამე, წრიული ორბიტით მსრბოლავი სხეულის სიჩქარე ეტოლება  
პარაბოლურს, გამრავლებულს  $\sqrt{\frac{1}{2}}$ -ზე. როგორც ვიცით, თვით დედამიწის

სიჩქარე მის წლიურ ორბიტაზე, რომელიც წრიულად შეგვიძლია ჩავთვალოთ,  
ტოლია 29.8 კმ/წმ-ისა. მზიდან დედამიწის მანძილზე პარაბოლური სიჩქარე  
იქნება  $\sqrt{2} \cdot 29.8 \text{ კმ/წმ} = 42.1 \text{ კმ/წმ}$ .

განვიხილოთ 285-ე ნახ. მზე წარმოვიდგინოთ  $F$  ფოკუსში.  $FB=PC=a$   
წარმოადგენს დიდ ნახევარღერძს.  $FB'=CB=b$  მცირე ნახევარღერძია. ექსცენ-  
ტრისიტეტი იქნება  $FC:PC$ .

როცა მსრბოლავი სხეული  $B$  წერტილშია, მაშინ  $r=a$  და ენერგიის განტო-  
ლება დაიწერება ასე:

$$V^2 = G(M+m) \frac{1}{a}$$



ანუ

$$V = \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}}.$$

როგორც უნდა გვახსოვდეს, ფართოვანი სიჩქარე  $P = \frac{1}{2} Vx$ , სადაც  $x$  არის  $B$  წერტილში გავლებულ მხეზე  $F$  წერტილიდან აღმართული მართობი  $FB'$  ანუ მცირე ნახევარღერძი  $b$ . მაშასადამე,

$$P = \frac{1}{2} b \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}}.$$

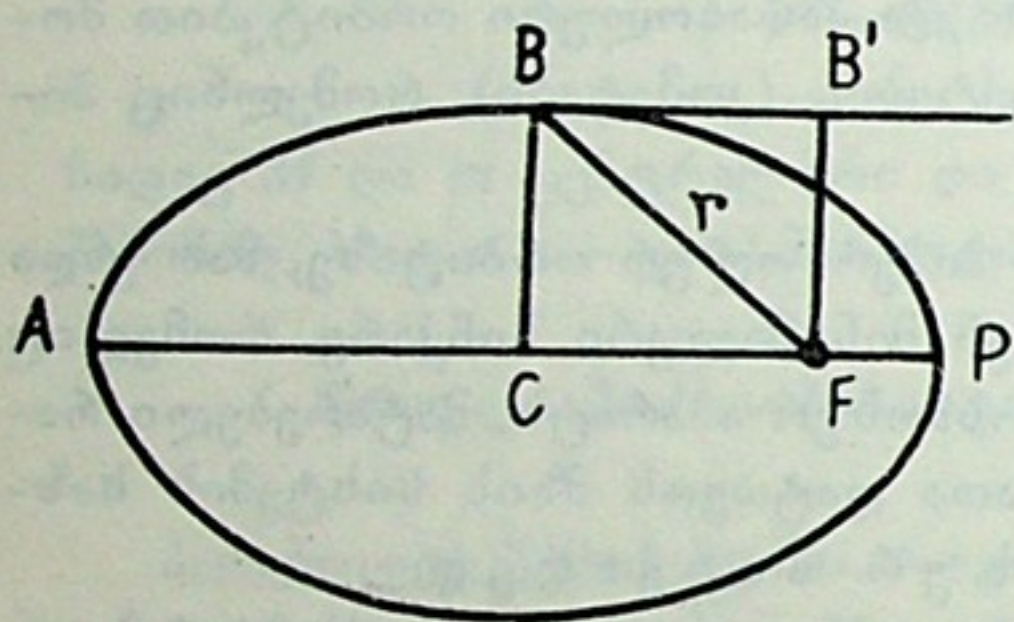
რაკი ელიფსის მთელი ფართობი გამოიხატება  $\pi ab$ -თი და ეს ფართობი შე-  
მოიწერება რადიუს-ვექტორის მიერ  $P$  სიჩქარით, გარემოქცევის დრო ანუ პე-  
რიოდი იქნება:

$$T = \frac{\pi ab}{P} = \frac{2\pi a^{3/2}}{\sqrt{G(M+m)}}.$$

ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გარემოქცევის პერიოდი დამოკიდებულია მხოლოდ  
დიდ ნახევარღერძზე და დამოუკიდებელია, მაგალითად, ექსცენტრისიტეტისა-  
გან. მაშასადამე, როგორი ექსცენტრისიტეტებიც უნდა ჰქონდეთ ელიფსებს,

რომლებზეც მოძრაობენ პლანეტები ან  
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრე-  
ბი, ისინი მაინც ერთი პერიოდით გარე-  
მოქცევიან, თუკი მათ თანატოლი დიდი  
ღერძები აქვთ! დავუბრუნდეთ ეფემერი-  
დების საკითხს.

აქამდე გვულისხმობდით ისეთ მნა-  
თობთა ეფემერიდების გამოთვლებს,  
რომელთა ორბიტები ცნობილია, ე.ი.  
ცნობილია მათი ელემენტები. მაგრამ,  
პრაქტიკაში ვხვდებით აგრეთვე ახლად



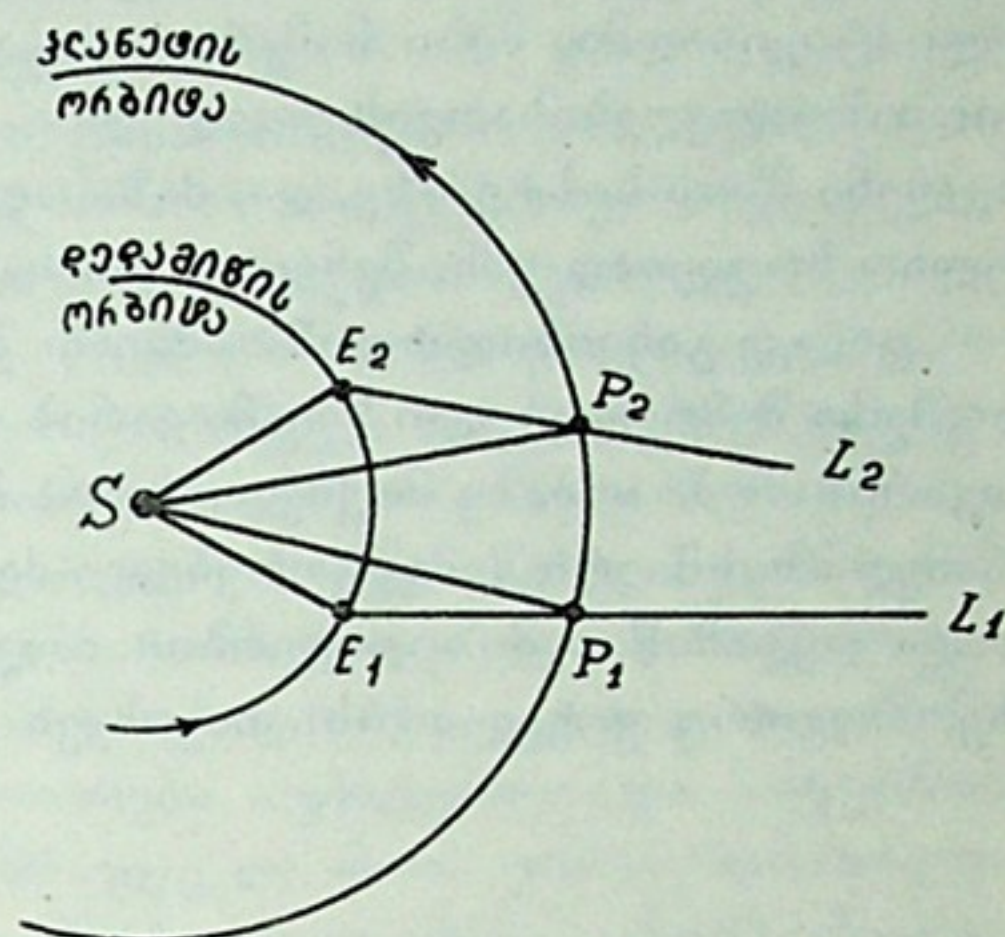
ნახ. 285.

გამოჩენილი კომეტის ან ახლად აღმოჩენილი მცირე ცთომილის ორბიტის  
ელემენტთა განსაზღვრის აუცილებლობას. როგორ ხდება ორბიტის განსაზღვ-  
რა? იგი რომ წრიული ყოფილიყო, ეს ამოცანა შედარებით მარტივი იქნებო-  
და. მართლაც, ვთქვათ, რომ ახლად აღმოჩენილ ცთომილზე დაკვირვება ვა-  
წარმოეთ ორ, ერთიმეორეს რამდენიმე დღით დაშორებულ  $t_1$  და  $t_2$  მომენტ-  
ში და აქვე განვსაზღვრეთ მისი ეკვატორული კოორდინატები, რაც იმას ნიშ-  
ნავს, რომ დავადგინეთ მიმართულებანი ჩვენი  $E_1$  და  $E_2$  მდებარეობებიდან  
პლანეტის  $P_1$  და  $P_2$  მდებარეობებისაკენ, ე.ი. დავაფიქსირეთ ორი ხაზი  $E_1P_1$   
და  $E_2P_2$  (ნახ. 286). მაგრამ ჯერ უცნობია მანძილი მზიდან ცთომილამდე.  
სხვადასხვა მოსაზრების საფუძველზე შეგვიძლია ს ა ვ ა რ ა უ დ ო დ ავიდოთ  
დედამიწა-ცთომილის მანძილის რაღაც მნიშვნელობა —  $E_1P_1$  — პირველი და-  
კვირვების მომენტისათვის. მეორე მომენტში ცთომილი  $E_2P_2$  ხაზზე და მზი-  
დან იმავე მანძილზე (ცთომილის წრიული ორბიტის რადიუსი) უნდა იმყო-  
ფებოდეს; ეს პირობა დააფიქსირებს  $P_2$  წერტილს და დაადგენს  $P_1SP_2$  კუთ-  
ხეს. ახლა გავიხსენოთ, რომ გარკვეულ —  $SP_1 = SP_2$  — მანძილზე მსრბოლავი



ცთომილის გარემოქცევის პერიოდი განისაზღვრება კეპლერის მესამე კანონიდან და კუთხე  $P_1SP_2$  ისე უნდა შეეფარდებოდეს  $360^\circ$ -ს, როგორც დროის შუალედი ჩვენი დაკვირვების მომენტებს შორის  $(t_2 - t_1)$  — ცთომილის ასე სავარაუდოდ განსაზღვრულ გარემოქცევის პერიოდს. თუ ეს პროპორცია კმაყოფილდება, დავასკვნით, რომ სწორედ შეგვირჩევია  $E_1P_1$  მანძილი. თუ არა და გამოთვლას ვიმეორებთ მანძილის ახალი სავარაუდო მნიშვნელობით და რამდენიმე ცდის შემდგომ უთუოდ მივიღებთ საბოლოო პასუხს.

რა თქმა უნდა, ეს მეთოდი უხეში და სავარაუდოა, მით უფრო, რომ სინამდვილეში წრიულ ორბიტებთან როდი გვაქვს საქმე. ელიფსური ორბიტის განსაზღვრა კი უფრო რთული ამოცანაა და მოითხოვს ცთომილის სულ ცოტა 3



ნახ. 286.

დაკვირვებას (3 განსხვავებული მდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრას) და სხვ.

დამუშავებული მეთოდების წყალობით ორი სხეულის ამოცანა, როცა განიხილება ერთი მიმზიდველი სხეულის, მაგ., მზის გარს მეორე სხეულის (პლანეტის) მოქცევა, სრულად ამოიხსნება. უფრო რთული ამოცანაა მსრბოლავ სხეულზე სხვა მიმზიდველი სხეულების მიერ გრავიტაციული შეშფოთების გათვალისწინება. შეშფოთებათა გასათვალისწინებლად მიმართავენ ანალიზურ გამოსახულებებს, რომლებიც წარმოიშობება უსასრულო მწკრივების სახით; გამოთვლებში შეჰყავთ მწკრივების წევრთა სასრულო რაოდენობა, ზოგჯერ — საკმაოდ დიდი.

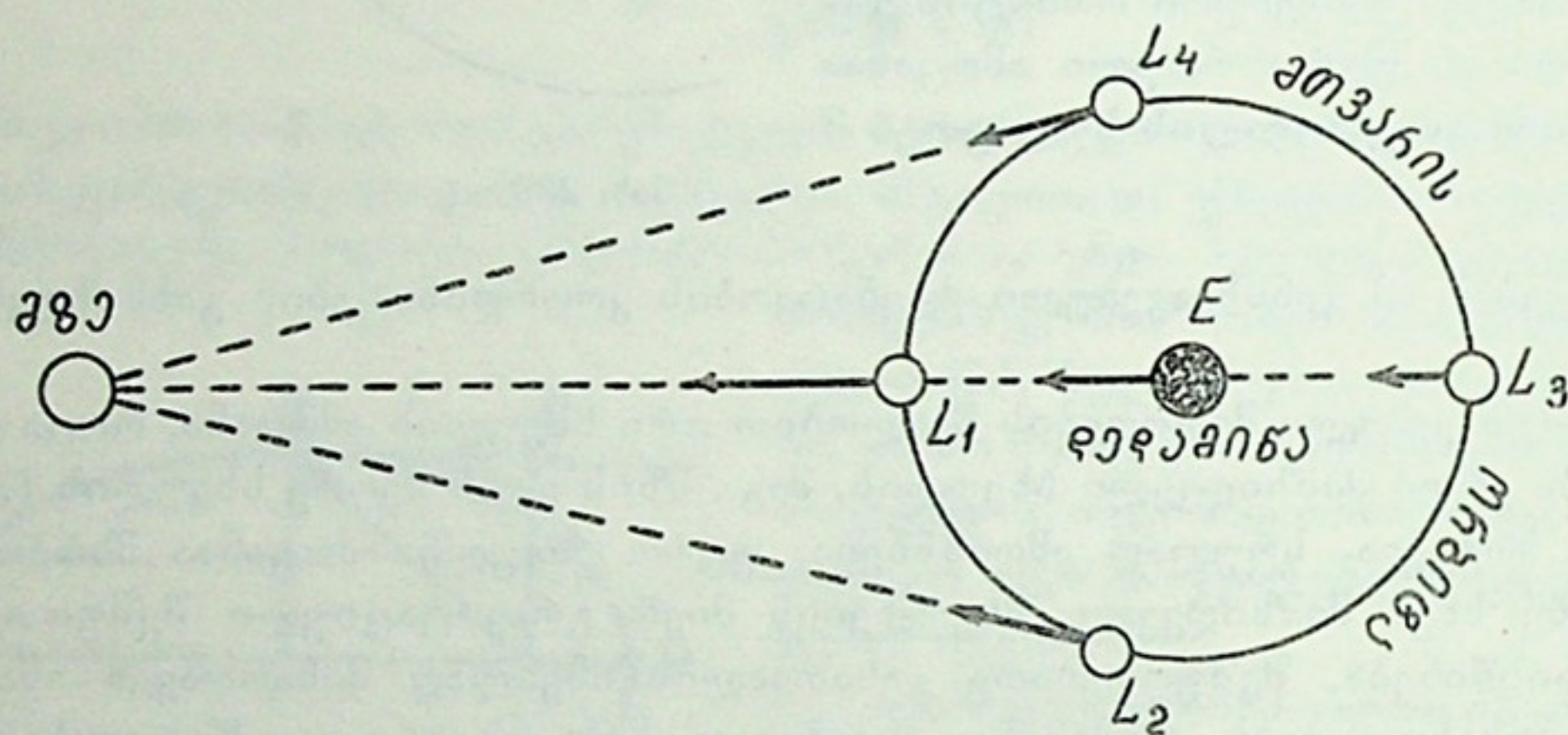
შეშფოთების ანუ პერტურბაციების სიდიდე დამოკიდებულია შემშფოთებელი სხეულის მასაზე და მის მდებარეობაზე (მანძილზე). მზის სისტემაში შემშფოთებელი სხეული ერთი როდია; ყველა პლანეტა იწვევს მეტ-ნაკლებ შეშფოთებას ყოველ სხვა პლანეტაზე. დაახლოებით მაინც რომ ვიცოდეთ, თუ როგორია რაოდენობრივად ეს შეშფოთებები, მაგალითად დავასახელოთ, რომ მერკურის მოძრაობაში პლანეტებისმიერი შეშფოთება იწვევს მერკურის ასტრონომიული გრძედის რყევას დაახლოებით  $15''$ -ის ფარგლებში. დედამიწაც განიცდის შეშფოთებას და იგი  $1'$ -მდე აღწევს გრძედით: მარსი —  $2'$ -მდე, ხოლო იუპიტერი —  $70'$ -მდე. შეშფოთებითი რყევების დაკვირვებას, გაზომვასა და ანალიზს ასტრონომებისათვის მიუცია საშუალება გამოეთვალათ მერკურისა და ვენერას მასები, აღმოეჩინათ ახალი პლანეტა ნეპტუნი და სხვა ამოცანებიც გადაეწყვიტათ.

განსაკუთრებით საგრძნობ შეშფოთებებს განიცდის მცირე ცთომილები და კომეტები, მეტადრე, დიდი მასის მქონე პლანეტის — იუპიტერის მახლობლობაში გავლისას. ხშირად შეშფოთება იმ ზომამდე მიდის, რომ არსებითად ცვლის მცირე პლანეტის ან კომეტის ორბიტის პარამეტრებს. რაც შეეხება დიდ პლანეტებს, მათი ორბიტების არსებითი ცვლილება, რომელიც მიიყვანდა ცთომილს მზეზე ვარდნამდე ან პარაბოლური და ჰიპერბოლური ტრაექტორიით მზის სისტემის სივრცის გარეთ გაჭრამდე, პრაქტიკულად გამორიცხულია. ამდენად მზის სისტემა შეიძლება ჩაითვალოს სტაბილურ ანუ მდგრად სისტემად. კერძოდ, მდგრად



დია ის სიბრტყე, რომელიც გაივლება მთელი სისტემის სიმძიმის ცენტრზე და რომელსაც თითქოს ყველა ცთომილის ორბიტის სიბრტყეების მიმართ საშუალო მდებარეობა უჭირავს. ეს სიბრტყე დაახლოებით გრადუს-ნახევრითაა დახრილი ეკლიპტიკისადმი. მისი მიმართულება ვარსკვლავების მიმართ დროის ძალიან დიდი შუალედებისათვის უცვლელია. თვით ვარსკვლავთმცემი შეშფოთებული გავლენა მზის სისტემაზე, და, მაშასადამე, ამ სიბრტყის მდებარეობაზე პრაქტიკულად სრულიად უმნიშვნელოა ვარსკვლავების ერთობ დიდი დაშორების გამო.

ცალკე განვიხილოთ მზისმიერი შეშფოთება მთვარისა. 287-ე ნახაზზე  $E$ -ს გარშემო შემოვლებული წრე მთვარის ორბიტას გამოხატავს. დედამიწის მიმართ მთვარის მოძრაობაზე მოქმედებს არა მზის მიერ მთვარის მიზიდულობის ძალა, არამედ მზისმიერი შემაშფოთებელი ძალა. იგი წარმოადგენს მზის მიერ მთვარისა და დედამიწის მიზიდულობის ძალების სხვაობას. ახალმთვარეობისას ( $L_1$ ) მზე, როგორც ყოველთვის, თავისკენ მიიზიდავს დედამიწასაც და მთვარესაც.



ნახ. 287.

მაგრამ მთვარე მასთან უფრო ახლოა, ამიტომ მიზიდულობაც უფრო ძლიერია. ამის გამო მზისმიერი შემაშფოთებელი ძალა ერთგვარად აშორებს მთვარეს დედამიწიდან. კვადრატურაში ( $L_2$  და  $L_4$ ) მზისმიერი მიზიდულობის ძალები ორივე სხეულზე სიდიდით ერთნაირია, მაგრამ მათი მიმართულებები ძალიან მცირე მახვილ კუთხეს ადგენენ ერთმანეთთან. ამიტომ შეშფოთების ზეგავლენით მთვარე უახლოვდება დედამიწას. სავსემთვარეობისას ( $L_3$ ) მზისმიერი შეშფოთება რამდენადმე აშორებს დედამიწას მთვარიდან. საერთოდ, მზისმიერი მიზიდულობა მთვარისა უფრო მეტიც არის, ვიდრე დედამიწისმიერი მიზიდულობა. რომ წარმოვიდგინოთ, დედამიწა და მთვარე უცბად შეჩერდნენ თავიანთ გზაზე, მაშინ დედამიწაზე კი არა, მზეზე დაეცემა მთვარე, რადგანაც მზის მიერ იგი ორჯერ უფრო ძლიერად მიიზიდება, ვიდრე დედამიწის მიერ.

მზისმიერი შეშფოთებითი გავლენა მთვარეზე იმაშიც გამოიხატება, რომ მთვარის ორბიტის აფსიდების ხაზი გადაადგილდება აღმოსავლეთით და 8.85 წელიწადში ერთხელ მთლიანად შემობრუნდება ორბიტის სიბრტყეში. ამის გარდა, პერიოდულ რყევას განიცდის მთვარის ორბიტის დახრა ეკლიპტიკისადმი და ამასთანავე უკუგადაინაცვლებს დასავლეთით კვანძები ისე, რომ 18.6 წელიწადში ერთხელ მთელ წრეს შემოწერს.

პლანეტებიც თავისთავად შეშფოთებით გავლენას ახდენენ მთვარეზე. ამ



უშუალო გავლენის გარდა, ისინი დედამიწის ორბიტის პარამეტრებსაც ცვლიან და ეს, თავის მხრივ, იწვევს შეშფოთებებს მთვარის გარემოქცევაში.

შეშფოთებათა ამ არასრული დახასიათებიდანაც ვხედავთ, თუ რარივ რთული უნდა იყოს მნათობების, კერძოდ, მთვარის მოძრაობის ზუსტი აღრიცხვა. შეიძლება ითქვას, რომ ეს ეგრეთ წოდებული მთვარის მოძრაობის თეორია წარმოადგენს ერთ-ერთ ურთულეს პრობლემას ცის მექანიკაში.

ცის მექანიკის კანონზომიერებანი სრულ ახსნას აძლევენ ისეთ მოვლენებს, როგორიცაა, მაგალითად, დედამიწისა და სხვა ცთომილების შებრტყელება პოლუსებთან. ცენტრიდანული ძალა, რომელიც წარმოიშობა მბრუნავი ცთომილის სხეულში, არის პოლუსებთან შებრტყელების გამომწვევი მიზეზი. შებრტყელების ზომა კი დამოკიდებულია როგორც პლანეტის ცენტრიდანულ ძალაზე ანუ დერძის გარს ბრუნვის პერიოდზე, ისე პლანეტის სიმკვრივეზე. სფეროსაგან განსხვავებული არაწესიერი ფორმა პლანეტისა, განპირობებული მისი შებრტყელებით, თავისებურ შეშფოთებებს იწვევს თანამგზავრებზე, კერძოდ, დედამიწა — მთვარეზე. განსაკუთრებით რთულია ვითარება იუპიტერისა და სატურნის შემთხვევებში, სადაც თანამგზავრების სიმრავლე და მათი ურთიერთმიზიდულობა ძალიან თავისებურს ხდის ამოცანას. მიუხედავად ამისა, კანონზომიერებანი იმდენად შესწავლილია, რომ ზოგ შემთხვევაში, შეშფოთებათა განსაზღვრის საფუძველზე თანამგზავრების მასასაც ითვლიან.

ზემოთ, თავის ადგილას განხილული მოვლენების — პრეცესიისა და მთვარის ფიზიკური ლიბრაციის — გამომწვევი მიზეზებიც სხეულთა შორის მიზიდულობითაა განპირობებული და ცის მექანიკის გამოკვლევის საგანს შეადგენს.

ამ პარაგრაფის დასასრულს მიზანშეწონილია რამდენიმე დამატებითი შენიშვნის გაკეთება.

ორი ერთგვაროვანი ან კონცენტრულად ერთგვაროვანი ფენებისაგან შემდგარი სფერული სხეული ისე მიიზიდავს ერთმანეთს, თითქოს მათი მასები თავმოყრილი იყოს მათ ცენტრებში. ამასთან დაკავშირებით პლანეტების მოძრაობა მზის სისტემის სივრცეში განიხილება როგორც მატერიალური წერტილების მოძრაობა.

დედამიწა მიიზიდავს მის ზედაპირზე მდებარე საგანს ძალით, რომელიც ეტოლება მიზიდულობის მუდმივას და დედამიწისა და საგნის მასების ნამრავლს, გაყოფილს დედამიწის რადიუსის კვადრატზე. ეს ძალა გამოხატავს საგნის წონას.

აქედან გამომდინარეობს, რომ საგანი მით ნაკლებს აიწონის, რაც უფრო მაღლა იქნება იგი დედამიწის ზედაპირიდან. მაგალითად, დედამიწის ზედაპირიდან 6500 კმ სიმაღლეზე საგანი 4-ჯერ ნაკლებს უნდა იწონიდეს, რამდენადაც დედამიწის ცენტრიდან იგი ორჯერ უფრო მეტად იქნება დაშორებული, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე მდებარეობისას. სიმაღლის ზრდასთან ერთად საგნის წონა ნულამდე უნდა ეცემოდეს. თუ ამასობაში იგი სხვა კოსმოსურ სხეულს მიუახლოვდება, მაშინ თავს იჩენს მისი წონა იმ სხეულის მიმართ.

თუ საგანი რაღაც სიმაღლიდან ვარდება, მისი თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ეტოლება მასზე მოქმედ მიზიდულობის ძალას ანუ წონას, გაყოფილს მის მასაზე:

$$a = G \frac{mM}{R^2} : m = G \frac{M}{R^2}.$$



აქედან ისიც გამომდინარეობს, რომ სხვადასხვა მასის მქონე საგნები ერთნაირ აჩქარებას განიცდიან, თუმცა დედამიწისმიერი მათი მიზიდულობა სხვადასხვა ძალისაა. ერთი შეხედვით ეს პარადოქსული მოვლენა ჯერ კიდევ გალილეის მიერ იყო აღმოჩენილი, ნიუტონის მიზიდულობის თეორიის შექმნამდე რამდენიმე წლით ადრე.

ისტორია მოგვითხრობს, რომ ნიუტონმა მიზიდულობის კანონი ხიდან ვაშლის ვარდნის ფაქტზე დაკვირვებისა და ანალიზის შედეგად აღმოაჩინა. შეიძლება ეს ლეგენდაც იყოს, მაგრამ არსებითად, მართლაც, ერთიანი კანონები განაგებენ როგორც ვაშლის (ან რაიმე საგნის) ვარდნას დედამიწაზე (მისი წონით განპირობებულ აჩქარებას), ისე მთვარის სრბოლას დედამიწის ირგვლივ.

თუ ვარდნის აჩქარების დამოუკიდებლობა ვარდნილი საგნის მასაზე და მისი დამოკიდებულება მხოლოდ მიმზიდველ სხეულამდე მანძილზე სამართლიანია, მაშინ მთვარის აჩქარება, დედამიწისაკენ მიმართული,  $60^2 = 3600$ -ჯერ ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე რაიმე საგნის ვარდნის აჩქარება (ეს საგანი იმყოფება დედამიწის ცენტრიდან 1 რადიუსის მანძილზე, მთვარე — 60 რადიუსისა). საგნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირის მახლობლობაში არის  $9.8 \text{ მ/წმ}^2$  (იხ. ზემოთ); მთვარის აჩქარება, დედამიწის ცენტრისაკენ მიმართული, იქნება  $0.00273 \text{ მ/წმ}^2$ . ახლა მთვარის აჩქარება სხვა გზით გამოვთვალოთ. ამისათვის დავუშვათ, რომ მთვარის ორბიტა წრიულია. წრიული მოძრაობისათვის აჩქარება  $a$  გამოიხატება ფორმულით:

$$a = \frac{v^2}{D},$$

სადაც  $v$  წრიულად მსრბოლავი სხეულის სიჩქარეა,  $D$  — მისი მანძილი სრბოლის ცენტრამდე. მთვარისათვის  $v \approx 1 \text{ კმ/წმ}$ ,  $D \approx 384000 \text{ კმ}$ . აქედან:

$$a = \frac{1}{384000} = 0.0026 \text{ მ/წმ}^2.$$

აღებული სიზუსტის ფარგლებში იგივე შედეგი მივიღეთ.

ახლა შეგვიძლია ვთქვათ, რომ, მთვარე მოძრაობს რა დედამიწის გარშემო 1 კმ/წმ ანუ, უფრო ზუსტად, 1021 მ/წმ საშუალო სიჩქარით, იგი ამავე დროს „ვარდება“ დედამიწისაკენ  $0.13 \text{ სმ-ით წამში}^*$  (ნახ. 279). მაგრამ დედამიწამდე მანძილი არ მცირდება! ეს იმიტომ, რომ დედამიწის სიმრუდის გამო დედამიწის ზედაპირიც შორდება „ვარდნილ“ მთვარეს იმავე მანძილით, დროის იმავე შუალედში. დაახლოებით ერთი თვის შემდეგ მთვარე მისი ორბიტის იმავე წერტილს დაუბრუნდება.

**§ 154. ზღვა-ოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევის მოვლენა.** შემაშფოთებელი (გრავეიტაციული) ძალების ერთ-ერთი ყველაზე თვალსაჩინო და ამავე დროს პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი გამოვლინებაა ზღვა-ოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევა. ოკეანისა და ღია ზღვის დონე მუდმივ რყევას განიცდის; დაახლოებით ყოველი  $12\frac{1}{2}$  საათის შემდეგ წყალი ოკეანეში ან ღია ზღვაში ნაპირისაკენ მოიქცევა, გადმოდის ნაპირზე. ასე გრძელდება თითქმის  $6\frac{1}{4}$  საათის განმავლობაში. ამ მოვლენას წყლის მოქცევა ს უწოდებენ. ამის შემდგომ წყალი იწყებს ნაპირიდან მოიქცევა. ეს მოქცევა  $6\frac{1}{4}$  საათს გრძელდე-

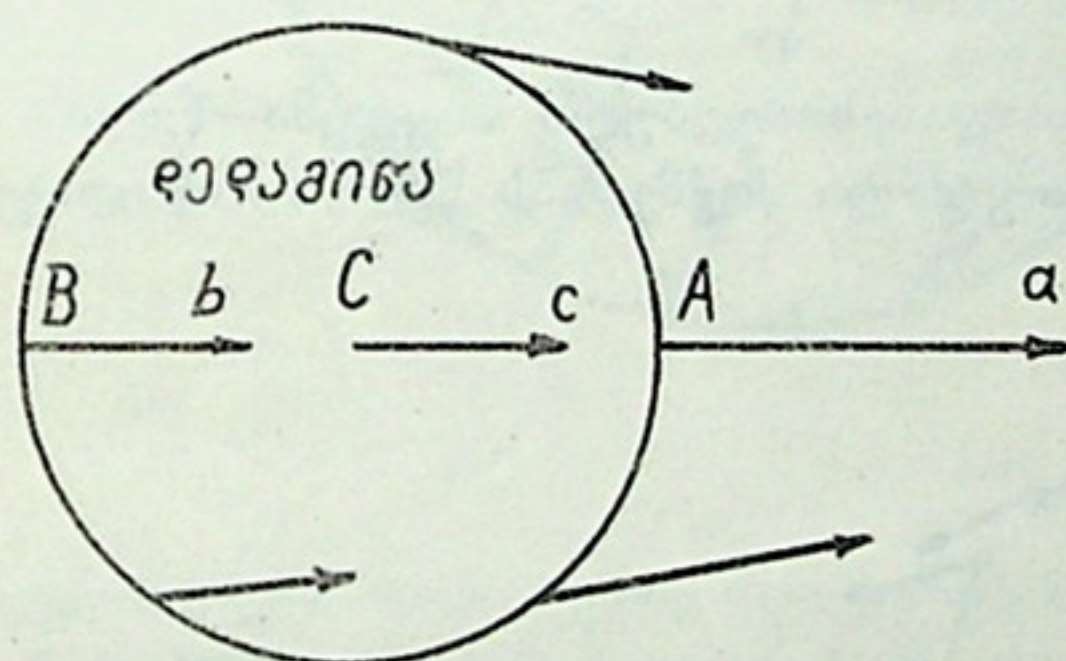
\* ვარდნის აჩქარება ისეთია, რომ 1 წმ-ის დამლევს მანამდე უძრავი სხეული აჩქარებულია  $0.26 \text{ სმ/წმ}$  სიჩქარემდე, მაშასადამე, მისი საშუალო სიჩქარე ამ წამის განმავლობაში  $0.13 \text{ სმ/წმ}$ -ია.



ბა და ამ დროის შუალედის დამლევს კვლავ ნაპირისაკენ მოქცევა იწყება. დღე-ღამის განმავლობაში თითქმის ორჯერ ხდება მოქცევა და ორჯერ—მიქცევა. ვამბობთ თ ი თ ქ მ ი ს, რადგანაც, როგორც ვხედავთ, ორჯერ განმეორებული მოქცევა-მიქცევის მოვლენა არ თავსდება 24 საათში, არამედ მოითხოვს თითქმის 25 საათს. მაშასადამე, ყოველ შემდგომ დღეს მოქცევა და მიქცევა იმავე საათებში კი აღარ მეორდება, როგორც წინა დღეს, არამედ საშუალოდ 50 წუთის დაგვიანებით.

ამდენადვე აგვიანებს საშუალოდ, როგორც ვიცით, მთვარე თავის ყოველ-დღიურ ზედა კულმინაციაში მოსვლას. მართო ამ თანხვედენას შეუძლია მიგვახვედროს, რომ მიქცევა-მოქცევის მოვლენა როგორღაც დაკავშირებულია მთვარესთან, მაგრამ, თუ მოვლენას უფრო მრავალმხრივ დავაკვირდებით, ბევრ სხვა თვისებასაც შევნიშნავთ, რომლებიც კიდევ უფრო მეტად დამაჯერებელს გახდის მოსაზრებას მთვარესთან მისი კავშირის შესახებ. მართლაც, მიქცევა-მოქცევის ინტენსივობა ანუ, სხვა სიტყვებით, მოქცევის დროს აზვირთებული წყლის სიმაღლე ყოველთვის ერთნაირი როდია. ჩვეულებრივ, ახალმთვარეობისას მოქცევა უფრო ძლიერია, ვიდრე სხვა დროს. მთვარის კვადრატურების დროს კი მოქცეული წყლის სიმაღლე მინიმალურია. შენიშნულია ისიც, რომ როცა მთვარე პერიგეუმშია, ე. ი. როცა იგი უახლოეს მანძილზეა დედამიწასთან, მოქცეული წყალი 20%-ით უფრო მაღალია, ვიდრე მაშინ, როცა მთვარე აპოგეუმშია.

მიქცევა-მოქცევის მკაცრი პერიოდულობა შორეულ წარსულში იქნა შენიშნული. მთვარის მდებარეობასთან და ფაზებთან მისი კავშირიც ძველთაგანვე იქნა ეჭვმიტანილი. მაგრამ სრული ახსნა ამ მოვლენამ მხოლოდ XVII საუკუნეში მოიპოვა, მას შემდგომ რაც ნიუტონმა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ჩამოაყალიბა.



ნახ. 288.

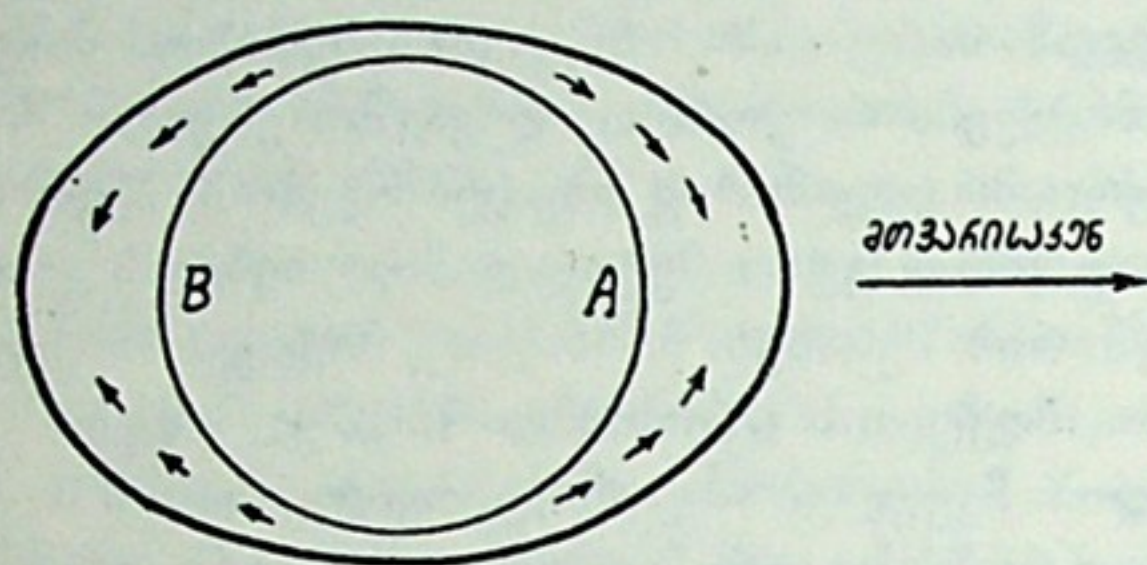
დავუშვათ, რომ მთელი დედამიწა დაფარულია ოკეანით, რომელსაც ყველგან ერთნაირი სიღრმე აქვს, ე. ი. დედამიწის მყარი სხეული თითქოს გარემოცულია თანაბარი სიმკვრივის წყლის გარსით. მთვარისმიერი მიზიდულობის ძალა, რომელიც ოკეანის წყლის რომელიმე ნაწილაკზე მოქმედებს, მიმართულია მთვარის ცენტრისაკენ, ხოლო მისი სიდიდე დამოკიდებულია ამ ნაწილაკის მანძილზე მთვარემდე. 288-ე ნახაზის მიხედვით, A წერტილში მდებარე ნაწილაკზე (უახლოესია, მთვარესთან) უდიდესი ძალა მოქმედებს, ხოლო B წერტილში მდებარეზე (უშორესია მთვარიდან)—უმცირესი.

დედამიწას მთლიანად, როგორც მყარ სხეულს, მთვარე მიანიჭებს Cc აჩქარებას. ოკეანის წყლის მასები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზე მთვარის მიზიდულობა A წერტილის მახლობლობაში, მიიზიდება მეტი ძალით. ამასთან-





ნავე მასები, რომლებიც მთვარის მოპირდაპირე მხარეზეა, მიი-  
ზიდება ნაკლები ძალით (აჩქარების სიდიდე  $Bb$  ნაკლებია, ვიდრე  $Cc$ ). ამგვარად,  
მთვარის მხარეზე წყლის მასები თითქოს წინ უსწრებს დედამიწას მთვარის მი-  
მართულებით, ხოლო მოპირდაპირე მხარეზე—ჩამორჩება. ამ დიფერენცირებული  
მიზიდულობის გამო,  $A$  და  $B$  წერტილებში წყლის მასები უფრო მსუბუქია. ეს  
იწვევს ოკეანის ზედაპირის ერთგვარ „ამობურთვას“  $A$  და  $B$  წერტილების მახ-  
ლობლობაში: ჩნდება ერთგვარი „კუხები“ (ნახ. 289). ისიც ანგარიშგასაწევია,



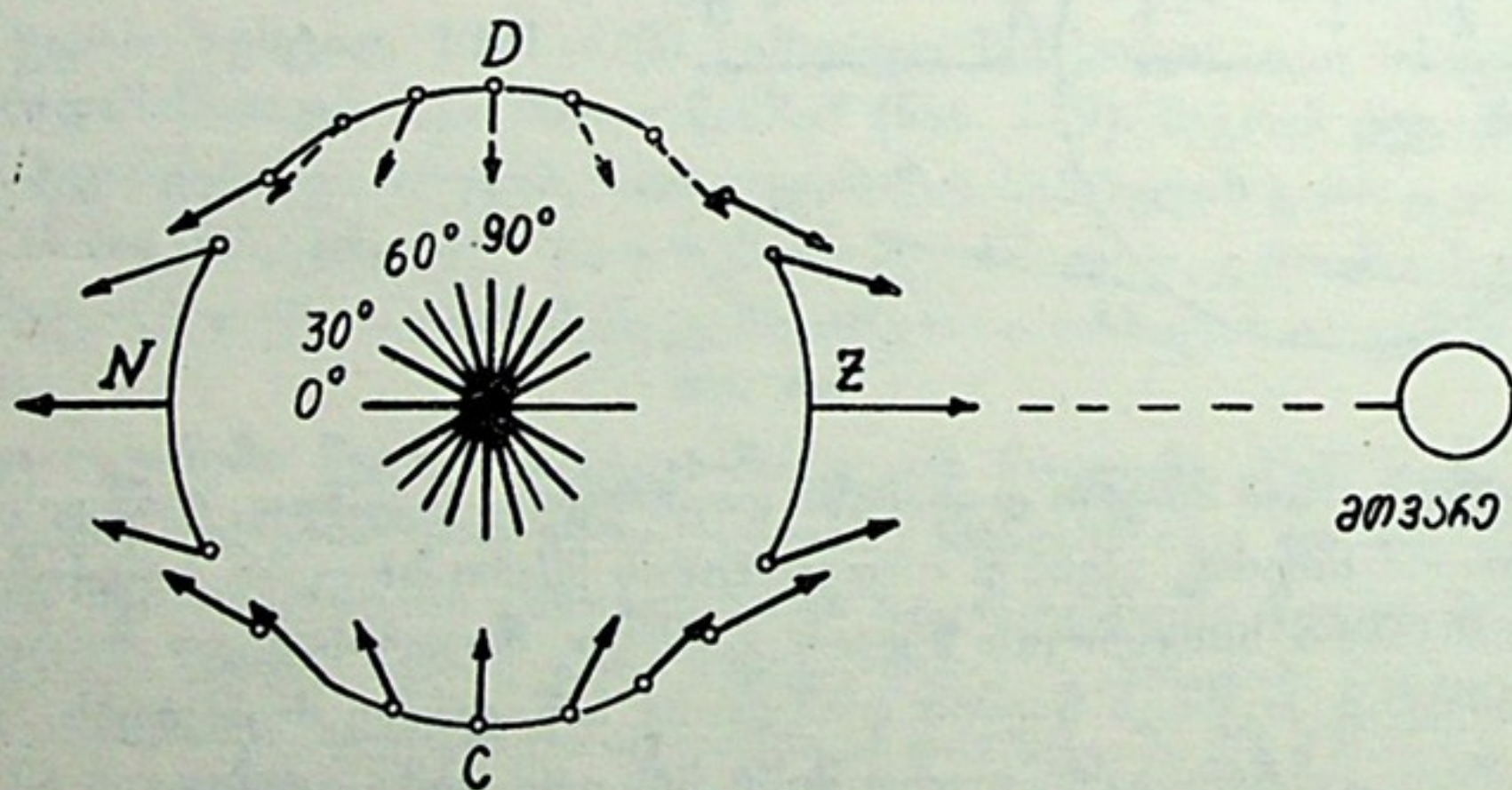
ნახ. 289.

რომ წყლის ნაწილაკები ერ-  
თობ მოძრაობა და აღვილად  
ექვემდებარება მათზე მოქმედ  
ძალებს.

290-ე ნახაზზე ნახვენე-  
ბია მიქცევა-მოქცევის ძა-  
ლების სიდიდეები და მი-  
მართულებანი დედამიწის გ-  
ვატორის სიბრტყეში. მთვა-  
რეც ამ სიბრტყეში ვიგუ-

ლოთ. მიქცევა-მოქცევა ყველაზე უფრო ინტენსიური იმ წერტილშია, რომლის-  
თვისაც მთვარე ზენიტში ( $Z$ ) იმყოფება, ან კიდევ—ამ წერტილის დიამეტრულად  
საწინააღმდეგო წერტილში ანუ ეგრეთ წოდებულ ნადირში ( $N$ ). აქაც კი  
მიქცევა-მოქცევის წარმომშობი დიფერენციალური ძალები მიზიდულობის ძა-  
ლის თითქმის მხოლოდ მეათმილიონედ ნაწილს შეადგენს.  $C$  და  $D$  წერტილებ-  
ში ისინი კიდევ ორჯერ ნაკლებია. თითქოს ასე უმნიშვნელოა, მაგრამ ეს მაინც  
ქმნის წყლის მასების მძლავრს, თვალისათვის ნათლად შესამჩნევსა და პრაქტი-  
კულად კვალისდამჩნევ მოვლენებს.

როგორ უნდა გვესმოდეს ზემოთ დახასიათებული მოვლენა—წყლის ანუ  
ოკეანის ზედაპირის „ამობურთვა“? თუ ძალა მოქმედებს წყლის ნაწილაკებზე



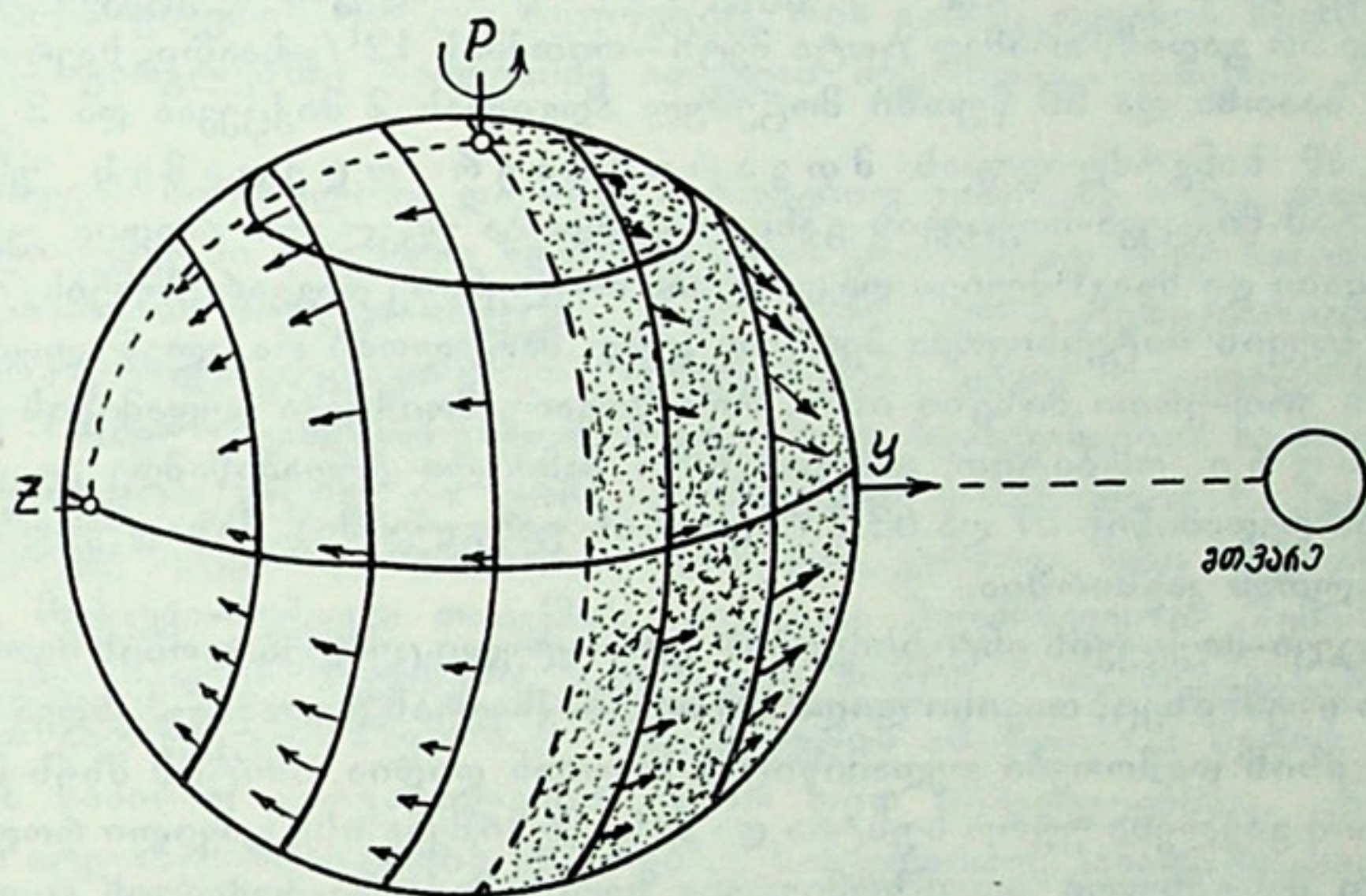
ნახ. 290.

ვერტიკალური მიმართულებით ქვევით—დედამიწის ცენტრისაკენ, წყალი უნდა  
კუმშავდეს მის ქვევით მოქცეულ ფენებს; თუ ზევით—ზენიტისაკენ, წყლის სიმ-  
კვრივე უნდა კლებულობდეს, მაგრამ ჰორიზონტულ გადანაცვლებას წყალი  
თითქოს არ უნდა განიცდიდეს. თუკი ძალა ჰორიზონტულად იქნება მოდებუ-  
ლი, ცხადია, წყალი დინებას დაიწყებს. ყოველი, ნებისმიერად მიმართული ძალა



შეიძლება ორ მდგენელად დაიშალოს: ვერტიკალურ და ჰორიზონტულ მდგენელებად. ასევე შეიძლება დავშალოთ მიქცევა-მოქცევის გამომწვევი ძალაც. თუ მოცემული ადგილისათვის მთვარე არ იმყოფება აღებულ მომენტში ზენიტში, მაშინ ამ ძალის ვერტიკალური და ჰორიზონტული მდგენელები, ორივე ნულისაგან განსხვავდება. მაგრამ ვერტიკალური მდგენელი, ე. ი. მდგენელი, მიმართული დედამიწის რადიუსის გასწვრივ, გამოვლინდება მხოლოდ სიმძიმის ძალის უმნიშვნელო ცვლილებაში და თვით მიქცევას ან მოქცევას, ე. ი. წყლის მასების გადაადგილებას არ გამოიწვევს. სამაგიეროდ, ჰორიზონტული მდგენელი მთლიანად წყლის გადანაცვლებაში გამოვლინდება.

თვალსაჩინოებისათვის კვლავ ნახაზს მივმართოთ და ახლა 291-ე ნახაზი განვიხილოთ, რომელზეც მოცემულია მიქცევა-მოქცევის გამომწვევი ძალების ჰორიზონტული მდგენელების სქემა. სურათი წარმოადგენს დედამიწას, რომლის ბრუნვის პოლუსი ნაჩვენებია  $P$  ასოთი. დიდი წრეწირი  $ZY$  მისი ეკვატორია.



ნახ. 291

იგულისხმება, რომ მთვარე ეკვატორის სიბრტყეში იმყოფება (ნახაზზე, ქაღალდის სიბრტყეში  $ZY$ -ის გასწვრივ). როგორც ჰორიზონტული მდგენელებისაგან შედგენილი ძალთა სისტემა გვიჩვენებს, წყალი ოკეანეში უნდა გროვდებოდეს  $Y$  და  $Z$  წერტილების გარშემო. რა თქმა უნდა, ეს პროცესი უწყვეტი არაა. იგი გრძელდება მანამ, სანამ მიქცევა-მოქცევის ძალებს არ გააწონასწორებს მოპირდაპირე მიმართულებით მოქმედი ძალები, რომლებიც იმის შედეგად წარმოიშობიან, რომ ოკეანის ზედაპირი დაქანებული გახდება. დედამიწის ზედაპირის იმ ადგილებში, რომლებზეც მოდის ოკეანის ამადლებული ზედაპირი, წყლის დონე, ცხადია, მატულობს, ე. ი. ადგილი აქვს მოქცევას. მოქცევით შვერილებს შორის წყლის დონე დაცემულია და იქ აკვირდებიან ამ დროს წყლის მიქცევა. ჩვენს ნახაზზე დაკლებული წყალი უნდა იყოს  $Z$  და  $Y$ -ის შუა ზონაზე. მაშასადამე, ერთსა და იმავე ფიზიკურ მომენტში ზოგან მოქცევაა, ზოგან—მიქცევა. ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ ამ მომენტში რა მდებარეობა უკავია მთვარეს ცაზე დამკვირვებლის ადგილის მიმართ.





აქამდე არ შევხებივართ დედამიწის საკუთარი ღერძის ირგვლივ და დედამიწა-მთვარის საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო ბრუნვის გავლენას მიქცევა-მოქცევის მოვლენაზე. ესენი წარმოშობენ ცენტრიდანულ ძალებს, რაც სათანადოდ შეცვლის (შეამცირებს) დედამიწისმიერი მიზიდულობის სიდიდეს. მაგრამ ეს არაა მთავარი. მთავარ გარემოებად ის უნდა ჩავთვალოთ, რომ, ვთქვათ, 6 საათის განმავლობაში დედამიწის სფერო მობრუნდება ღერძის ირგვლივ  $90^\circ$ -ით, ამიტომ იქ, სადაც აქამდე აღიდებული წყალი იყო, ახლა დაკლებული წყალი იქნება. შემდგომი 6 საათის შემდეგ, როცა დედამიწა კიდევ  $90^\circ$ -ით მოტრიალდება, წყალი იმავე ადგილას აღიდდება. ეს იმიტომ ხდება, რომ დედამიწა თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნვისას ხან ერთ, ხან მეორე ადგილს მიაქცევს მთვარეს—მიქცევა-მოქცევის გამომწვევ მთავარ სხეულს. მაგრამ მთვარეც ხომ არაა უძრავი ამ დროის განმავლობაში. იგი გარემოქცევა დედამიწას და 6 საათში დაახლოებით 3 გრადუსით გადაინაცვლებს თავის ორბიტაზე. ეს განაცვლება მიმართულია დედამიწის ბრუნვის მიმართულებით. ამიტომ ერთ და იმავე ადგილას ორ მომდევნო მიქცევას ან ორ მომდევნო მოქცევას შორის 12 საათი კი არ გადის, არამედ ცოტა მეტი—თითქმის  $12\frac{1}{2}$  საათი. საერთოდ, ყოველ 24 საათსა და 50 წუთში მოცემულ ადგილას 2 მიქცევაა და 2 მოქცევა. დროის ამ ხანგრძლივობას მთვარის მიერ დღეაქვეს უწოდებენ.

მაგრამ მიქცევა-მოქცევის განმეორებადობა უცვლელი როდია. უფრო ყურადღებიანი და ხანგრძლივი დაკვირვება მოვლენაზე დაგვარწმუნებს, რომ მიქცევა-მოქცევის ინტენსივობა პერიოდულად მატულობს და კლებულობს.

ამის ერთ-ერთი მიზეზი ისაა, რომ მთვარე მოიქცევა დედამიწის გარშემო ელიფსური ორბიტით, ამიტომ მისი მანძილი დედამიწამდე ცვალებადია (იცვლება დედამიწის 57 და 63.7 რადიუსის ფარგლებში). მიზიდულობის ძალა კი მანძილთან კავშირშია.

მიქცევა-მოქცევის ინტენსივობის პერიოდული ცვალებადობის მეორე მიზეზი თვით მზეა. მზეც, თავისი დიდი მასით, მოქმედებს დედამიწის ზღვა-ოკეანის წყალზე. მზის დაშორება დედამიწიდან ძალიან დიდია, ამიტომ მზის მიქცევა-მოქცევითი გავლენა უფრო სუსტია და მისი შენიშვნა ისე ადვილი როდია. მაგრამ ზოგი შენიშნული კანონზომიერება ზღვის მიქცევა-მოქცევის ვითარებაში თვალსაჩინოს ხდის მზისა და მთვარის ერთობლივ მოქმედებას. როცა მზე და მთვარე ერთ ხაზზე არიან დედამიწასთან ერთად, მაშინ მზისა და მთვარის ცალ-ცალკე გავლენა ჯამდება და მიქცევა-მოქცევის მოვლენა უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, რაც, როგორც ნათელია, ახალმთვარეობისა და სავსემთვარეობისას ხდება. კვადრატურებში მათი მოქმედება არაა „შეთანხმებული“ და ეფექტი შესუსტებულია.

მიქცევა-მოქცევითი თეორიიდან გამომდინარე სრული ანგარიშის მიხედვით მიქცევა-მოქცევის წარმოშობი ძალა პროპორციულია მიზიდველი სხეულის მასისა და უკუპროპორციული—სხეულებს შორის მანძილის კუბისა.

ამიტომ, მზის მიქცევა-მოქცევითი ძალის გავლენა დაახლოებით ორჯერ ნაკლებია მთვარისაზე (მზის მასა  $2.7 \cdot 10^7$ -ჯერ აღემატება მთვარისას, ხოლო მანძილი—400-ჯერ მთვარე-დედამიწის მანძილს: აქედან,  $2.7 \cdot 10^7 : (400)^3 \approx \frac{1}{2}$ ).

მეორე განსხვავება მთვარისმიერსა და მზისმიერ მიქცევა-მოქცევით მოქმე-



დებაში ისაა, რომ მთვარისმიერი მიქცევა-მოქცევითი ფაზების პერიოდი 24 საათი და 50 წუთია, მზისმიერისა კი—24 საათი, რაც გასაგები უნდა იყოს.

სინამდვილეში მიქცევა-მოქცევათა ფაზების ცვალებადობა დროში და ინტენსივობით კიდევ უფრო რთულად მიმდინარეობს, რამდენადაც მათზე სხვა ფაქტორებიც მოქმედებს, მაგალითად,—ისეთიც კი, როგორიცაა მთვარის ორბიტის ეკლიპტიკისადმი დახრა, მისი ცვლილება და სხვ. ამასთანავე შეიმჩნევა, რომ მოქცევის აზვირთებული ტალღა მოცემულ ადგილას მთვარის პერიოდთანში ყოფნის მომენტში კი არაა, არამედ აგვიანებს ზოგჯერ და ზოგ ადგილას რამდენიმე საათით ასევე, მაქსიმუმი ტალღისა ზუსტად ახალმთვარეობისა ან სავსემთვარეობის მომენტში კი არ მოდის, ზოგჯერ—რამდენიმე დღით იგვიანებს. ეს იმიტომ ხდება, რომ ჯერ ერთი, წყალი დედამიწას მთელ ზედაპირზე ერთგვაროვანი, ერთი სისქის გარსის სახით არ აკრავს; მატერიკები და მათი რთული კონტური აბრკოლებს წყლის მასების გადაადგილებას; გავლენას ახდენს ოკეანის ფსკერის რთული რელიეფიც, რის გამოც ოკეანის სიღრმე იცვლება დიდ ფარგლებში: რამდენიმე ათეული მეტრიდან—თითქმის 11 ათას მეტრამდე.

რელიეფის სირთულთა და სხვა პირობებით აიხსნება ისიც, რომ ყველგან—ყველა პუნქტში და ყველა ზღვის ნაპირას ერთნაირად თვალსაჩინოდ როდი მიმდინარეობს მიქცევა-მოქცევა. ასე, საქართველოს ტერიტორიაზე, შავი ზღვის პირას, როდი ვხედავთ ისეთ გამოვლინებებს ზღვის მიქცევა-მოქცევაში, როგორის მოწმენი შეიძლება ვიყოთ, მაგალითად, სკანდინავიის ნაპირებზე, ამ ნახევარკუნძულის ვიწრო და ღრმა ფიორდებით დასერილობის წყალობით.

დახურულ ზღვებში, ისეთებში, როგორიცაა, კერძოდ, შავი ზღვა ან კასპიის ზღვა, მიქცევა-მოქცევა თითქმის სრულიად შეუმჩნეველია შემთხვევითი დამკვირვებლისათვის. ოკეანეში, ნაპირიდან მოშორებით, მიქცევა-მოქცევის მოვლენით გამოწვეული აზვირთება ანუ ტალღის ამადლება 1 მეტრს აღწევს, ხმელეთის ნაპირზე კი—გაცილებით უფრო დიდ სიმაღლეებსაც. ცნობილია პუნქტები ატლანტური ოკეანის ნაპირებზე, სახელდობრ, კანადაში, სადაც მოქცევის დროს წყლის ზედაპირის ამადლება 16—18 მეტრს აღემატება. ასევე საგრძნობლად მაღალია მოქცევითი ტალღა საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ოხოტის ზღვისპირას (თითქმის 13 მეტრამდე).

ზოგ ადგილას მიქცევა-მოქცევის მოვლენა მდინარეების ქვედა ნაწილზეც შეიმჩნევა. რამდენიმე მეტრ სიმაღლის მოქცევითი ტალღა დიდი სიჩქარით გადმოინაცვლებს მდინარის კალაპოტში ზევით, წყლის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით. მდ. ჩრდილოეთის დვინაში ეს მოვლენა შეიმჩნევა 100 კილომეტრზე მეტი დაშორებით იმ ადგილიდან, სადაც მდინარე ე. წ. თეთრ ზღვას უერთდება (ქ. არხანგელსკთან).

აქამდე გლაპარაკობდით მიქცევა-მოქცევაზე, რომელსაც ვაკვირდებით ზღვა-ოკეანის წყლის გადანაცვლებაზე. ეს ჰიდროსფეროს მიქცევა-მოქცევაა. იმ შენიშვნებიდან, რომლებიც ამ პარაგრაფის დასაწყის ნაწილში გვქონდა, დავასკვნით, რომ ანალოგიურ მოვლენას ადგილი უნდა ჰქონდეს დედამიწის მყარ სხეულშიც. ასეთი მიქცევა-მოქცევა თვალისათვის შეუმჩნეველია, არსებითად კი გამოვლინდება სიმძიმის ძალის სიდიდისა და მიმართულების ცვლილებაში. მართლაც, მიქცევა-მოქცევითი ძალა უნდა ვლინდებოდეს დედამიწის მასების ერთგვარ გადაადგილებაში, საერთო დეფორმა-





ც ი ა შ ი (ზოგან — შეკუმშვა, ზოგან — გაჭიმვა), რაც ამ მასების სიმკვრივეს ცვლის. დეფორმაციის სიდიდე და ხასიათი დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია დედამიწის შინაგანი აღნაგობა, როგორია მისი დრეკადობა. მაშასადამე, დედამიწის მყარ სხეულში მიქცევა-მოქცევათა კანონზომიერების შესწავლა დედამიწის აგებულების საკითხს აშუქებს.

აღვილი დასასკვნელია, რომ მიქცევა-მოქცევა დედამიწის ატმოსფეროშიც უნდა ვლინდებოდეს. ამის შენიშვნა შესაძლებელია ატმოსფერული წნევის პერიოდულ რყევაზე. ერთი მხრივ, ჰიდროსფეროსთან შედარებით ატმოსფეროს მცირე მასა, მეორე მხრივ, ატმოსფეროს მგრძნობიარობა დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურული ცვლილებებისადმი და, აგრეთვე, სხვა მოვლენებით მასში გამოწვეული რეზონანსული მოვლენები აძნელებს ატმოსფერული მიქცევა-მოქცევის კანონზომიერებათა შესწავლას.

გავრცელებულია შეხედულება, რომ ამინდის ვითარება დამოკიდებულია მთვარის ფაზებზე. მართალია, თვითონ ფ ა ქ ტ ო ბ რ ი ვ ი დ ა კ ვ ი რ ვ ე ბ ი ს მ ა ს ა ლ ა ს უ ლ მ ტ კ ი ც ე დ არ ა და ს ტ უ რ ე ბ ს ამ დამოკიდებულებას, მაინც შეიმჩნევა ერთგვარი კავშირი მთვარის ფაზებსა და ამინდის ცვლილებებს შორის. თუ ეს კავშირი ანუ დამოკიდებულება ნამდვილად არსებობს, აქ არაფერ შუაშია თავისთავად ფაზები მთვარისა. მაგრამ ისინი, თავის მხრივ, განპირობებული არიან მთვარის შეფარდებითი მდებარეობით მზისა და დედამიწის მიმართ. ამ მდებარეობის პერიოდული ცვალებადობა კი იწვევს მიქცევა-მოქცევის პერიოდულობას; ხოლო პერიოდულობა ატმოსფეროს მიქცევა-მოქცევაში შეიძლება იწვევდეს კანონზომიერ პერიოდულ ცვლილებებს ამინდის ვითარებაშიც.

მიქცევა-მოქცევითი ტალღა ანუ შვერილი — შეეხება იგი ჰიდროსფეროს თუ მყარ ტანს, ან კიდევ დედამიწის ნახევრად თხიერ კონსისტენციას მისი ევოლუციის რომელიმე ეტაპზე, საერთოდ, მიმართულია ყოველთვის მთვარისაკენ. მაგრამ დედამიწა უფრო სწრაფად ბრუნავს თავისი დერძის ირგვლივ, ვიდრე მოიქცევა მის გარს მთვარე. ამიტომ მიქცევა-მოქცევითი ტალღა, რომელიც, როგორც ვნახეთ, ყოველთვის მთვარის „ქვეშ“ უნდა იმყოფებოდეს, ფაქტიურად გადაინაცვლებს დედამიწის ზედაპირზე მისი ბ რ უ ნ ვ ი ს ს ა წ ი ნ ა ა ღ მ დ ე გ ო მიმართულებით. ამის გამო წყლის ტალღა ზღვის ფსკერთან ხახუნს განიცდის, ასევე განიცდიან ხახუნს ერთიმეორესთან წყლის სხვადასხვა ფენები\*.

ამ მიზეზით ხდება მბრუნავი დედამიწის ერთგვარი დამუხრუჭება, რაც მუდავნდება დღე-ღამის ხანგრძლივობის ზრდაში. რა თქმა უნდა, ეს გახანგრძლივება დღე-ღამისა მეტისმეტად უმნიშვნელოა; სახელდობრ, იგი წამის ერთ მეათე-ათასედს წარმოადგენს ერთ საუკუნეში. მაგრამ მილიარდობით წლების განმავლობაში დამუხრუჭების მოქმედება იმდენად ეფექტურია, რომ მას კოსმოგონიური მნიშვნელობა აქვს, გავლენას ახდენს რა ცთომილის ევოლუციაზე. დედამიწის ბრუნვის ხანგრძლივობის ცვლილებაც იმდენად შესამჩნევია, რომ გასათვა-

\* მკითხველს შემჩნეული ექნება, რომ შუა მდინარეში წყალი უფრო ჩქარა მიედინება, ვიდრე მდინარის ნაპირებთან (შუა მდინარეში გადაგდებულ მოტივტივე საგანს უფრო სწრაფად გაიტაცებს წყალი, ვიდრე ნაპირთან ახლო გადაგდებულს). ეს შედეგია წყლის მდინარის ფსკერთან და ნაპირთან ხახუნისა, რომელიც უფრო საგრძნობია ფსკერთან ან ნაპირთან ახლო, ხოლო მათგან დაშორებისას მცირდება.



ლისწინებელი ხდება ძალიან შორეულ დაბნელებათა თარიღების გამოთვლი-  
სას.

ცხადია, რომ მიქცევა-მოქცევითი მოვლენები სხვა პლანეტებზეც, მზეზე და, საერთოდ, ყველა კოსმოსურ სხეულზე იჩენს თავს. დედამიწა-მთვარის შემთხვე-  
ვაში არა მარტო მთვარე მოქმედებს დედამიწაზე და მის ჰიდრო-და ატმოსფერო-  
ზე, არამედ დედამიწაც — მთვარეზე. რამდენადაც დედამიწის მასა აღემატება  
მთვარისას, დედამიწა უფრო ძლიერად ამუხრუჭებს მთვარეს, ვიდრე მთვარე —  
დედამიწას. ამით შეიძლება აიხსნას ის გარემოება, რომ დროის მსვლელობაში  
მთვარის ბრუნვა იმდენად შენეულა, რომ ჩვენს დროში მისი ხანგრძლივობა მთე-  
ლი მთვარის თვეა და ამიტომ იგი მუდამ ერთი და იმავე მხრით არის მოქცეული  
დედამიწისაკენ. შეიძლება ვიფიქროთ, რომ საკმარისად დიდი დროის შემდეგ  
ჩვენი დღე-ღამე ისე გახანგრძლივდება, რომ გაუტოლდება მთვარის თვეს. მაშინ  
დედამიწა მუდამ ერთი მხრით იქნება მიქცეული მთვარისაკენ და დედამიწა და  
მთვარე ისე იბრუნებენ მათი საერთო სიმძიმის ცენტრის ირგვლივ, როგორც  
მყარი ღეროთი შეერთებული ორი სხეული. როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს,  
ეს შეიძლება მოხდეს 50 მილიარდი წლის შემდეგ.

მექანიკა გვასწავლის, რომ განმხოლოებულ სისტემაში დაცულია ე. წ. მოძ-  
რაობის რაოდენობის მომენტის შენახვის კანონი. აქედან კი ის გამომდინარე-  
ობს, რომ ორ, ერთიმეორის გარს მბრუნავ სისტემაში თუ კლებულობს ცენტრა-  
ლური სხეულის ბრუნვის სიჩქარე, სათანადოდ უნდა მატულობდეს მანძილი  
ცენტრალურ სხეულსა და მის თანამგზავრს შორის, კერძოდ, დედამიწასა და  
მთვარეს შორის. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ წინათ მთვარე უფრო  
ახლო იყო დედამიწასთან, ვიდრე ახლაა. ამაშია, სწორედ კოსმოგონიური რო-  
ლი მიქცევა-მოქცევისა, რომელიც, როგორც ვნახეთ, ცის სხეულების (ცთომი-  
ლებისა და მათი თანამგზავრების ან ჯერადი ვარსკვლავების კომპონენტების)  
ბრუნვის სიჩქარესა და ურთიერთმანძილებს ცვლის. ზოგიერთ კრიტიკულ პი-  
რობებში მიქცევა-მოქცევით ძალებს შეუძლია დაარღვიოს კიდევ ჯერადი  
სისტემის მდგრადობა.

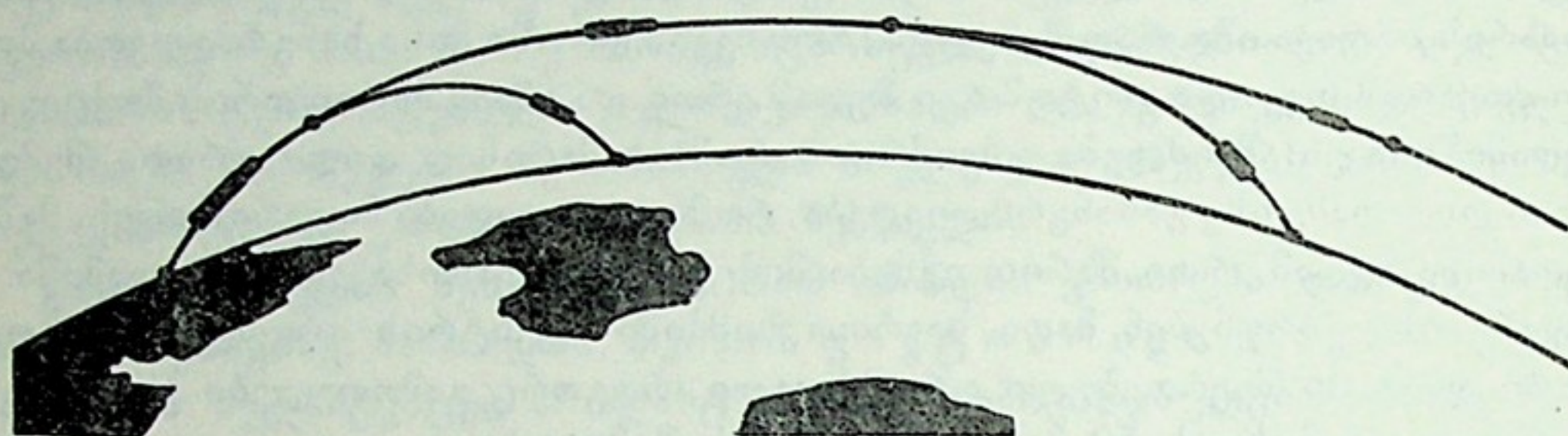
ჩვენს დროში დაისახა მიზნად მიქცევა-მოქცევითი ძალების გამოყენება კა-  
ცობრიობის პრაქტიკული საჭიროებისათვის. მართლაც, მიქცევა-მოქცევით  
ტალღას მოძრაობისას დიდი ენერგია აქვს, სწორედ ისე, როგორც სიმაღლიდან  
ვარდნილ ან მომდინარე წყალს. მას, როგორც ვარდნილ წყალს, იყენებენ ჰიდ-  
როელექტროსადგურებში ტურბინების საბრუნებლად და ელექტროენერგიის გა-  
მოსამუშავებლად. ასევე შეიძლება მიქცევა-მოქცევითი მოძრაობი ტალღის გზა-  
ზე მისი ენერგიის გამოყენება. სათანადო სადგურების მოწყობა მოხერხებულია  
შედარებით მცირე ყურეებში, რომელნიც ზღვასთან ან ოკეანესთან დაკავშირე-  
ბულნი არიან ვიწრო სრუტეებით. ამგვარ ელექტროსადგურებს დიდი სირთულე  
ახლავს, განპირობებული მით, რომ მიქცევა-მოქცევითი ტალღის მოძრაობის  
მიმართულება იცვლება, თვით ეს მოვლენაც პერიოდულია და ვერ უზრუნველ-  
ყოფს ელექტროსადგურის რეგულარულ, რითმულ მუშაობას. მიუხედავად ამისა,  
ასეთ სადგურებს აქვთ გამოყენების პერსპექტივა\*.

\*ქ. მურმანსკის მახლობლად, ბარენცის ზღვის პირას, რთულად დასერილი ნაპირის ერთ-ერთ  
ყურეში, სახელად — კისლაგუბსკაია, მოქმედებაშია ასეთი ელექტროსადგური.





**§ 155. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის შესახებ.** იმისათვის, რომ ესა თუ ის სხეული დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად გადაიქცეს, საჭიროა მისი გატყორცნა (გასროლა, გაჭრა) ჰორიზონტის პარალელურად რაღაც გარკვეული სიჩქარით, რომელიც არ იქნება იმდენად მცირე, რომ იგი, როგორც ბალისტიკური სხეული ან ჭურვი, დედამიწის ზედაპირზე დაეცეს (ნახ. 292); არ იქნება არც იმდენად დიდი, რომ სხეული სრულიად მოწყდეს დედამიწის მიზიდულობის სფეროს და უსასრულო სივრცეში გაიჭრას. საჭირო სიჩქარე შემდეგნაირად გამოითვლება.



ნახ. 292

ცხადია, რომ უნდა კმაყოფილდებოდეს პირობა დედამიწის მიზიდულობის ძალისა და გასროლილ სხეულზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალის ტოლობისა:

$$g \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}.$$

აქ  $M$  და  $m$  დედამიწისა და გატყორცნილი (თანამგზავრად ქცეული) სხეულის მასებია,  $v$  — სხეულის სიჩქარე, ხოლო  $r$  — დედამიწის რადიუსი (იგულისხმება, რომ  $r$  ამავე დროს გატყორცნილი სხეულის დაშორებაა დედამიწის ცენტრიდან, რაც იმას ნიშნავს, რომ სხეული მოძრაობს დედამიწის ზედაპირთან ძალიან ახლო).

მოყვანილი ტოლობიდან გვაქვს:

$$v = \sqrt{\frac{gM}{r}}.$$

აქედან, სათანადო სიდიდეების მნიშვნელობათა გამოყენებით მივიღებთ:  $v \approx 7.91 \approx 8$  კმ/წმ. ეს, როგორც მას უწოდებენ, პირველი კოსმოსური სიჩქარეა. შეიძლება უფრო დიდი სიჩქარითაც გავისროლოთ სხეული. მაშინ მისი მოძრაობა წრიული კი არა, ელიფსური იქნება და რაც მეტად გავზრდით  $v$ -ს, მით მეტად გაიწელება ელიფსი. მაგრამ, როგორც ცნობილია მექანიკიდან, თუ ეს სიჩქარე  $\sqrt{2}$ -ჯერ მეტად გაიზარდა, მიღწეული იქნება მისი კრიტიკული მნიშვნელობა, როცა ელიფსი პარაბოლად იქცევა და, მაშასადამე, სხეული სრულიად მოსცილდება დედამიწას. ეს მეორე კოსმოსური სიჩქარე იქნება:

$$v \approx \sqrt{2 \cdot 7.91} \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}} \approx 11.2 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}}.$$

მაშასადამე, ხელოვნური თანამგზავრის არსებობისათვის საჭიროა, სხეულის სიჩქარე აკმაყოფილებდეს უტოლობას.



$$8 \text{ კმ/წმ} \leq v < 11.2 \text{ კმ/წმ.}$$

დედამიწის ზედაპირის ახლოს, მის ირგვლივ ხელოვნური თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი მარტივად გამოითვლება:

$$P = \frac{2\pi r}{v} \approx 1 \text{ სთ } 25.5 \text{ წთ.}$$

ვგულისხმობდით რა თანამგზავრის გაშვებას დედამიწის ზედაპირის უშუალო მახლობლობაში, უგულებელვყოფდით დედამიწის ატმოსფეროს და მის ხახუნსა და წინააღმდეგობას მოძრაობის სხეულისადმი. პრაქტიკულად, თანამგზავრის გასაშვებად უპირველეს ყოვლისა საჭიროა მისი ატანა საკმარისად დიდ სიმაღლეზე. ატმოსფეროს საკმაოდ გაიშვიათებულ ფენებში (რამდენიმე ასეულ კმ სიმაღლეზე). ხელოვნურ თანამგზავრად გადასაქცევი სხეული ააქვთ სიმაღლეზე რამდენიმე საფეხურიანი მატარებელი-რაკეტით და იქ ანიჭებენ მას ჰორიზონტალურ ან მის ახლო სიჩქარეს. რაკეტის საწვავის შემცველი საფეხურები საწვავის სრულად გამოწვის შემდეგ თანმიმდევრულად შორდებიან რაკეტას, რათა შემცირდეს უსარგებლო ტვირთი და მომდევნო საფეხურებმა, რომლებიც თავის დროზე ავტომატურად ჩაირთვებიან, ადვილად განავითარონ სიჩქარე და გაუტოლონ იგი პირველ კოსმოსურს. ამასთანავე გაშვებას, ჩვეულებრივ, აწარმოებენ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, რათა დედამიწის ღერძული ბრუნვის სიჩქარეც გამოიყენონ კოსმოსური სიჩქარის უფრო ადვილად მისაღწევად. უკანასკნელ საფეხურს თანამგზავრი გაჰყავს გაანგარიშებულ ორბიტაზე, თვით მატარებელი რაკეტა კი დაეშვება, შემოიჭრება ატმოსფეროს მკვერთ ფენებში, სადაც იწყებს ატმოსფეროს მოლეკულებთან ხახუნისა და გადახურების გამო დაშლასა და დედამიწაზე ცვენას.

თანამგზავრ-ხომალდის შიგნით მოთავსებული ადამიანი-კოსმონავტი, როგორც ვიცით, უწონობის პირობებში აღმოჩნდება. ამის მიზეზი ისაა, რომ ორბიტულ მოძრაობაში მყოფი სხეულისათვის დედამიწისაკენ მიზიდულობის ძალას აწონასწორებს ცენტრიდანული ძალა.

სიბრტყე, რომელშიც დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტა ძევს, დედამიწის ცენტრზე გადის, საიდანაც ორბიტა ცაზე დიდი წრეწირის სახით წარმოგვიდგებოდა. დედამიწის ზედაპირიდან ხილვა კი სხვაგვარ სურათს გვაძლევს. დედამიწის დღედამური ბრუნვის გამო რომელიმე პუნქტი მხოლოდ ორჯერ გაივლის ორბიტის წრეწირის ქვეშ. ვთქვათ, ვაკვირდებით ისეთ თანამგზავრს, რომლის გარემოქცევის პერიოდი 2 საათია. რაკი ყოველ საათში დედამიწა  $15^\circ$ -ით შემოტრიალდება, ამიტომ ყოველი 2 საათის შემდეგ თანამგზავრის ორბიტის ქვეშ მოიქცევა დასავლეთით  $30^\circ$ -ით მდებარე პუნქტი. ეს მართებულია ყველა პუნქტისათვის, რომელთა გეოგრაფიული განედები ნაკლებია, ვიდრე თანამგზავრის ორბიტის დახრა დედამიწის ეკვატორისადმი (ნახ. 293). პუნქტი, რომლის განედი ორბიტის დახრის ტოლია, მხოლოდ ერთხელ მოექცევა ორბიტის ქვეშ, ხოლო პუნქტი, რომლის განედი აღნიშნულ დახრაზე მეტია, არასდროს არ მოექცევა მის ქვეშ. მაგრამ მაშინაც კი, როცა იგი ორბიტის ქვეშაა, შეიძლება აქ მყოფი დამკვირვებელი ვერ ხედავდეს თანამგზავრს, რომელიც ორბიტის ნებისმიერ წერტილში შეიძლება აღმოჩნდეს ამ დროს. ამგვარად, შეიძლება ვიფიქროთ, რომ დაბალი თანამგზავრის ხილვა იშვიათად თუ შეიძლება. მაგრამ



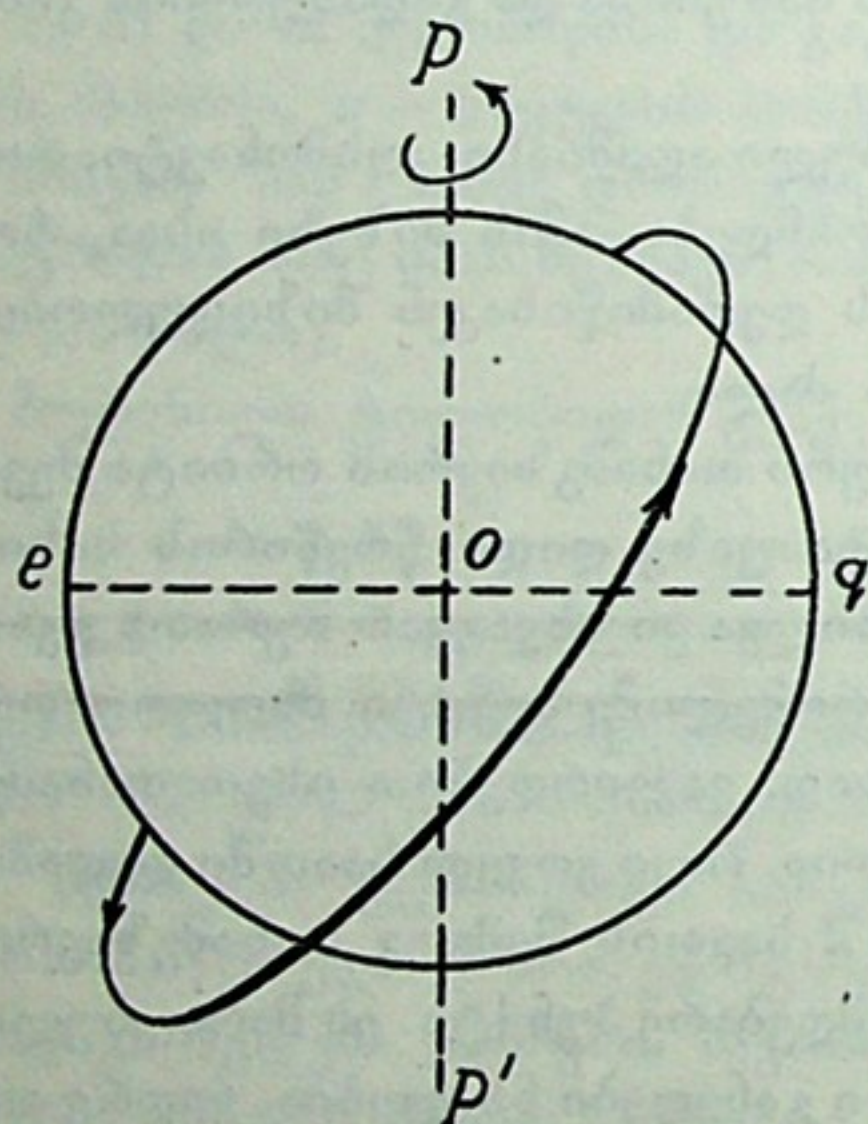
ჩვენ თვალწინ ხომ გადაშლილია ცის კამარა ჰორიზონტიდან ჰორიზონტამდე და როდია აუცილებელი თანამგზავრის ხილვისათვის მისი ორბიტა უთუოდ ჩვენს ზენიტზე გადიოდეს. რაკი თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი, მაგალითად, 2 საათია, ამ ხნის განმავლობაში თანამგზავრი უთუოდ გამოჩნდება ჩვენს ცაზე, ოდნოდ გამოჩენის დროს ცაზე მისი ხილული ორბიტა შეიძლება შესამჩნევად იქნეს გადახრილი ზენიტიდან აღმოსავლეთით ან დასავლეთით. ამიტომ ზოგჯერ ხელოვნური თანამგზავრის ნაკვალევი ცაზე მცირე ნაკვეთის სახით წარმოგვიდგება სადმე ჰორიზონტის ახლო. მისი სიგრძე და ჰორიზონტიდან დაშორება დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია აღებულ მომენტში თანამგზავრის ორბიტის სიბრტყის ორიენტაცია ჩვენი ჰორიზონტის მიმართ.

კიდევ მეტიც, ერთი და იმავე პუნქტიდან შესაძლებელია დავინახოთ ჩვენს ცაზე თანამგზავრის 2 და 3 მომდევნო გავლა.

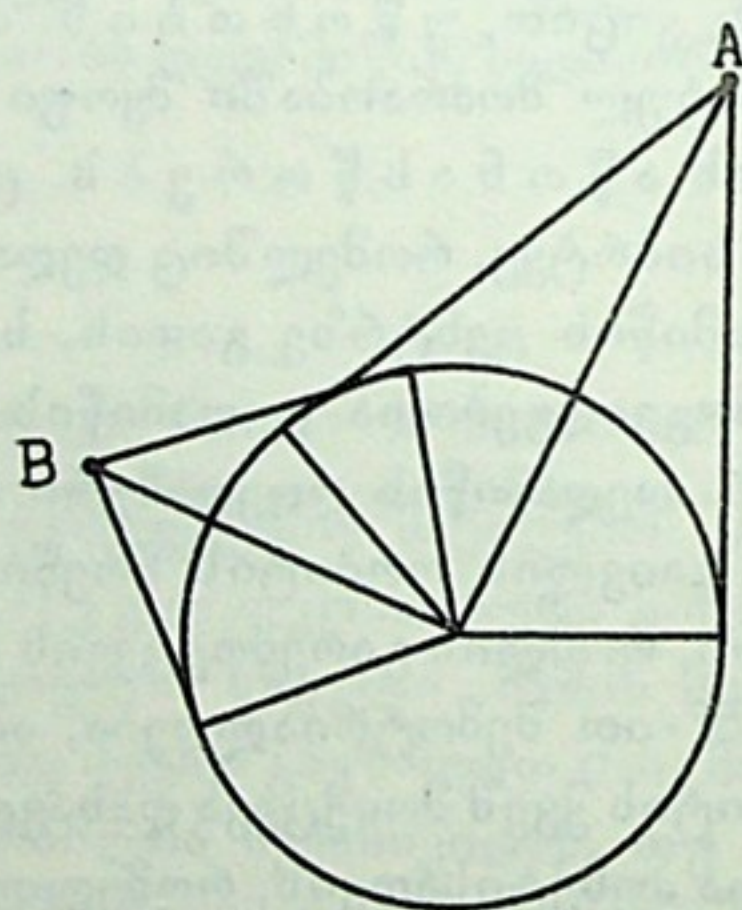
თანამგზავრის ხილვადობის პირობებს მისი სიმაღლეც ანუ ორბიტის ნახევარდერძის სიდიდეც განსაზღვრავს. ეს 294-ე ნახაზზე ჩანს:  $A$  წერტილი დედამიწის ზედაპირის გაცილებით უფრო ფართო არიდან მოჩანს, ვიდრე  $B$ .

შორეული ცის სხეულები—მთვარე, მზე, ვარსკვლავები—საშუალოდ ნახევარი დღე-ღამის განმავლობაში ჩვენი ჰორიზონტის ზემოთ არიან; ახლო მსრბოლავი სხეულები კი—შეუდარებლად უფრო ნაკლები დროის განმავლობაში.

ხელოვნურ თანამგზავრს ვხედავთ იმის წყალობით, რომ მისი ზედაპირი არეკლავს მასზე ვარდნილ მზის სხივებს. დღისით იგი არ მოჩანს, ისევე როგორც მზის სინათლეზე ყველა სხვა ციური სხეული. შუადამეზეც არ ჩანს იგი, რადგანაც დედამიწის ჩრდილის კონუსის სიღრმეშია და—მზით გაუნათებელი. მისი



ნახ. 293.



ნახ. 294

ხილვა შეიძლება ღამის პირველ და უკანასკნელ საათებში, როცა დაკვირვების ადგილას ღამეა, მაგრამ მისი ზენიტის მახლობლობაში, დიდ სიმაღლეზე ატმოსფეროს ფენები განათებულია ახლად ჩასული ან ამოსასვლელი მზის სხივებით.

ცხადია, რომ თანამგზავრის ზომასაც აქვს მნიშვნელობა მისი ხილვადობის პირობებისათვის. ვარსკვლავებიან ცაზე გამავალი ხელოვნური თანამგზავრი





გარეგნულად ვარსკვლავისაგან თითქოს არ განსხვავდება; მოძრაობით მეტეორს ანუ მოწყვეტილ ვარსკვლავს (იხ. ქვემოთ) მოგვაგონებს, თუმცა მასზე უფრო ნელა მოძრაობს: ცის კამარის გადაკვეთას რამდენიმე ათეულ წამს ან რამდენიმე წუთს უნდება. ეს ხანგრძლივობა იმაზეც არის დამოკიდებული, თუ ორბიტის რა ნაწილშია ამ დროს თანამგზავრი: პერიგეუმთან თუ აპოგეუმთან. თანამგზავრისათვის დამახასიათებელია სიკაშკაშის პერიოდული ცვლილება. ეს გამოწვეულია თანამგზავრის საკუთარი ტრიალით,—რაც ყოველთვის ხდება, თუ იგი არაა აღჭურვილი ორიენტაციის ფიქსირების საშუალებებით. თუ თანამგზავრის ფორმა არაა სიმეტრიული და ერთი მხარე მეტ-ნაკლებად არეკლავს მზის სხივებს, ვიდრე მეორე, მაშინ სიკაშკაშის ცვლილება უფრო მეტად შესამჩნევია.

ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტის ელემენტები საგრძნობსა და პრინციპულად ადვილად აღსარიცხავ ცვლილებებს ექვემდებარება, რაც განპირობებულია უმთავრესად დედამიწის ატმოსფეროს წინააღმდეგობით, დედამიწის ფორმის არასიმეტრიულობით და მასში ნივთიერების არათანაბარი განაწილებით. ყველა ეს და სხვა ფაქტორები იწვევენ ორბიტის ეკვატორის სიბრტყესთან გადაკვეთის წერტილების (კვანძების) რეგრესიას, პერიგეუმის მოძრაობას, მის მოახლოებას დედამიწასთან და სხვ.

ცხადია, დედამიწის ატმოსფეროს წინააღმდეგობის ეფექტი პერიგეუმის ახლო მეტია. აქ თანამგზავრი ხვდება ჰაერის მოლეკულების მეტ რაოდენობას და მათთან ყოველი გარემოქცევისას დაჯახებით კარგავს სიჩქარეს, მუხრუჭდება და ხურდება. ამასთანავე ელიფსური ორბიტის ექსცენტრისიტეტი თანდათანობით კლებულობს და ორბიტა წრეს უახლოვდება. ორბიტების ელემენტთა ვარიაციების აღრიცხვა და კვლევა ატმოსფეროს სიმკვრივისა და მისი ცვლილებების, დედამიწის ფორმისა და მის წიაღში ნივთიერებისა და სასარგებლო ნამარხების განაწილების შესწავლის საშუალებას იძლევა.

ხელოვნური თანამგზავრის „სიცოცხლის“ ხანგრძლივობა დამოკიდებულია მისი ორბიტის პერიგეუმის სიმაღლეზე დედამიწის ზედაპირიდან. 200—250 კმ სიმაღლის აპოგეუმის მქონე თანამგზავრი სულ მხოლოდ რამდენიმე კვირას ძლებს, 600—700 კმ სიმაღლისა კი—რამდენიმე ათეულ წელიწადს.

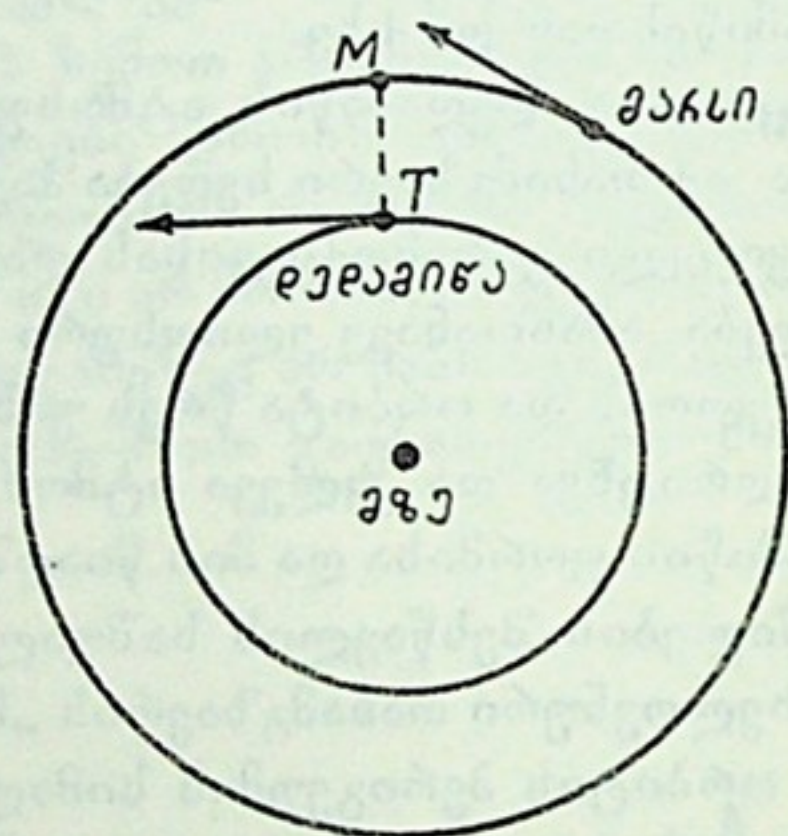
კოსმოსური ზონდი ან კოსმოსური ხომალდი, რომელმაც მთვარეს უნდა მიადწიოს, გაშვებულ უნდა იქნეს ისეთი სიჩქარით, რომ მისი ელიფსური ორბიტა მთვარის მანძილამდე იყოს გაწელილი. დედამიწა-მთვარის 0.9 მანძილზე იგი მთვარის მიზიდულობის სფეროში მოექცევა (იხ. ზემოთ) და იწყებს მისკენ დაშვებას 2.4 კმ/წმ სიჩქარით (ეს მთვარის ზედაპირიდან გასროლის კოსმოსური სიჩქარეა). რბილად დასაშვებად საჭიროა, რომ ხომალდი  $180^\circ$ -ით მოტრიალდეს (ორიენტაცია ავტომატურად ხორციელდება მზის ან რომელიმე კაშკაშა ვარსკვლავის მეშვეობით), რათა ამოძრავებულ იქნეს სათადარიგო, დასაშვები ძრავები, რომლებმაც ახლა აჩქარება მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით უნდა მისცენ ზონდს (ხომალდს) და მით მისი მთვარის ზედაპირზე დაშვების სიჩქარე შეანელონ. პარაშუტის ჩვეულებრივი სისტემა არ გამოიყენება მთვარეზე უატმოსფეროების გამო.

მთვარეზე დაშვება შუალედური მანევრირების გზითაც შეიძლება, მაგალითად, ჯერ მთვარის ირგვლივ ორბიტაზე ხომალდის გაყვანით და შემდგომ—ორბიტიდან დაშვებით. ყველა შემთხვევაში ხომალდი (ან სხვა დასაშვები აპარატი) უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს საწვავითა და აღჭურვილი—სათანადო დამატე-

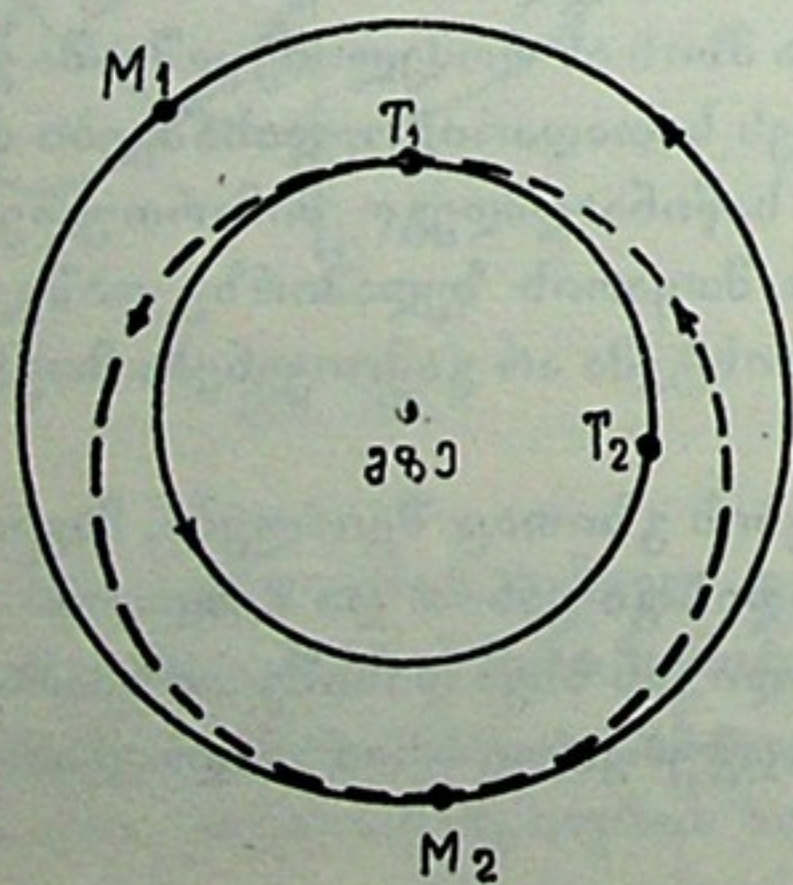


ბითი ძრავებით, რომლებიც საჭირო დროს და ხომალდის საჭირო ორიენტაციის პირობებში სათანადო სიმძლავრითა და ხანგრძლივობით იმუშავებენ. ყველა ეს ოპერაცია წინასწარ გაანგარიშებასა და დაპროგრამებას მოითხოვს და ავტომატურად ან ადამიანის მიერ მართვით ხორციელდება.

მთვარეზე უფრო შორს, მეზობელ პლანეტამდე ფრენის დროს, აპარატის ან ხომალდის მოძრაობას მზის მიზიდულობის ძალა განაგებს მას შემდეგ, რაც  $11.2$  კმ/წმ სიჩქარით გაშვებული, იგი იმდენად შორდება დედამიწას, რომ მისი მიზიდულობის გავლენიდან გამოდის. ამიტომ, რაც შეიძლება მეტად უნდა გამოვიყენოთ თვით მზისმიერი მიზიდულობა აპარატის ტრაექტორიის გაანგარიშებაში. შეიძლება მოგვეჩვენოს, მაგალითად, რომ მარსისაკენ აპარატის გაშვება  $TM$  გზით (ნახ. 295) ხდება, რადგანაც ეს უმოკლესი გზაა მარსის ორბიტამდე. მაგრამ აპარატის მოძრაობის ამ გზით განხორციელება მოითხოვს, გადააღახვიანო მას დედამიწის ორბიტული სიჩქარე, რომელიც თითქმის  $30$  კმ/წმ-ია, და ამას გარდა, კიდევ მიაწოდოს მას მზიდან დაშორების სიჩქარე. ეს სიჩქარე პლანეტასთან მიახლოებისას ჩაქრობილ უნდა იქნეს. ყველა ამას საწვავის დიდი მარაგი და ძრავების მომეტებული სიმძლავრე ესაჭიროება. გაცილებით უფრო მიზანშეწონილი და ეკონომიურია შემდეგი გზა: რადგანაც დედამიწაცა და მარსიც თითქმის ერთ და იმავე სიბრტყეში და საერთო მიმართულებით სრბოლავენ, გავუშვათ აპარატი ცთომილის მოძრაობის მიმართულებით, ორივე ორბიტის მხების გასწვრივ. თუ სხეულს ისეთ სიჩქარეს მივაკუთვნებთ, რომელიც მას შედარებით მცირე ექსცენტრისიტეტის მქონე ელიფსის გასწვრივ აამოძრავებს, აპარატი მიაღწევს მარსს. მართალია, უფრო გრძელი გზით, მაგრამ ინერციით, ძრავების შემდგომი მუშაობის გარეშე, და თითქმის პლანეტის კუთვნილი სიჩქარით. როგორც ეს 296-ე ნახაზზეა გამოსახული, მზის ირგვლივ უნდა შეიქმნას ელიფსური (თითქმის წრიული) ორბიტა, რომლის პერიპელიუმში  $1$  ასტრონომიული ერთეულითაა დაშორებული მზეს, ხოლო აფელიუმში— $1.52$  ასტრ.



ნახ. 295



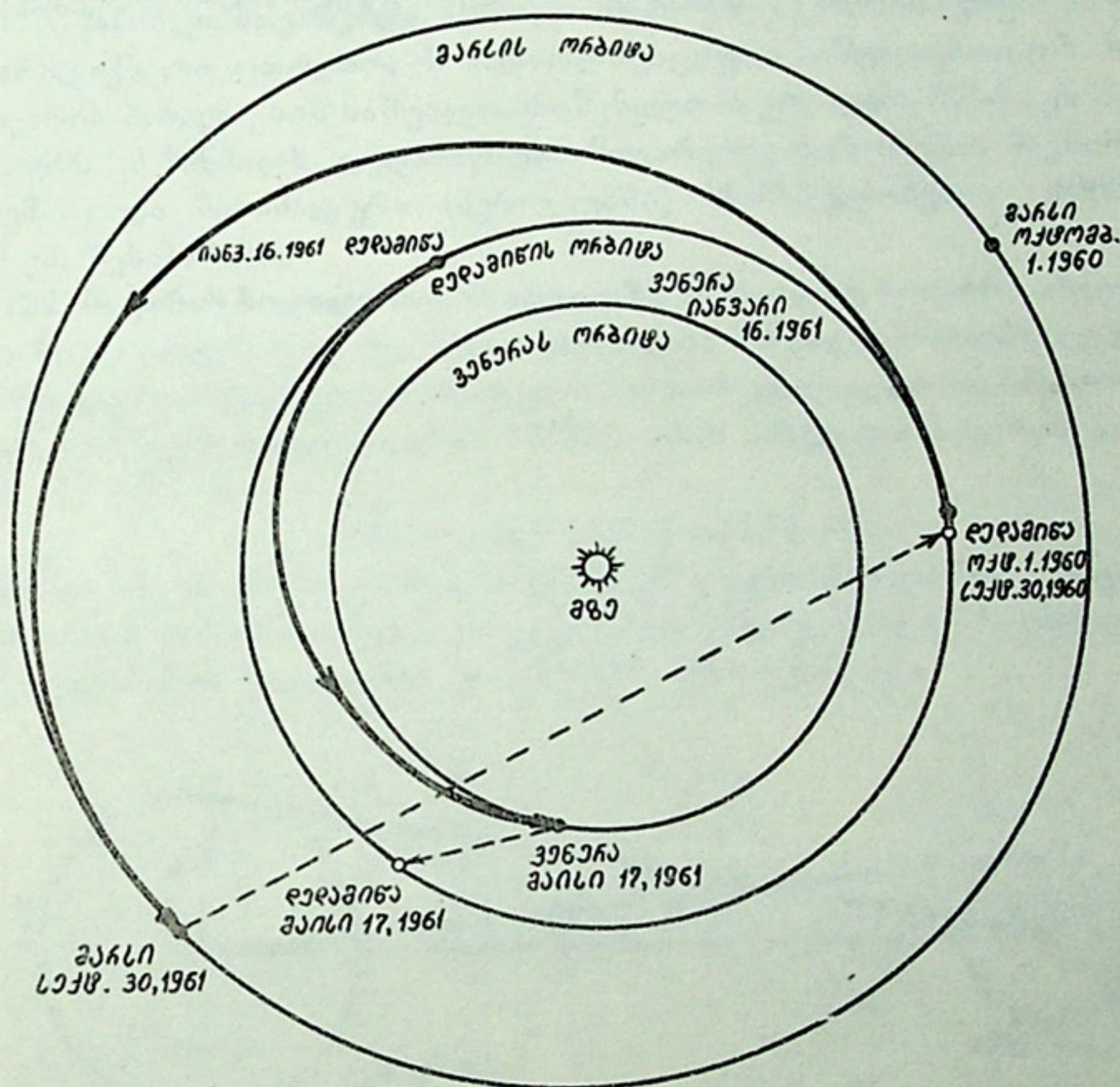
ნახ. 296

ლით, რაც მზე-მარსის მანძილს ეტოვლება. აპარატი გაშვებულ უნდა იქნეს იმ მომენტში, როცა დედამიწა და მარსი  $T_1$  და  $M_1$  წერტილებშია, შესაბამისად. იგი მიაღწევს მარსს, როცა მარსი  $M_2$  წერტილში მივა.  $M_1$ -დან  $M_2$ -მდე მისვლას  $8\frac{1}{2}$  თვე ესაჭიროება. ეს იქიდანაც გამომდინარეობს, რომ რაკი აპარატის ორბიტის ნახევარდერძი  $1.26$  ასტრონომიული ერთეულია, ამიტომ კეპლერის მესამე კანონის თანახმად მისი სიღერული პერიოდი  $17$  თვეა. ასეთი ორბიტის გან-



სახორციელებლად აპარატს უნდა მიენიჭოს ორბიტული სიჩქარე  $32.6 \text{ კმ/წმ}$ -ით. დედამიწის ორბიტულ სიჩქარეს ეს მხოლოდ  $3 \text{ კმ/წმ}$ -მდე სიჩქარით აღემატება.  $11.2 \text{ კმ/წმ}$  სიჩქარით გატყორცნილი აპარატი მალე მოექცევა მზის მიზიდულობის ქვეშ. მარსთან მიახლოებისას მისი სიჩქარე მარსის მიმართ  $3 \text{ კმ/წმ}$ -ს არ აღემატება. თვით მარსის ორბიტული სიჩქარე  $24 \text{ კმ/წმ}$ -ია.

მარსისაკენ აპარატის გაშვების ეს გზა ნებისმიერ მომენტში ვერ განხორციელდება. მისი განხორციელება მხოლოდ ერთხელ შეიძლება ერთი სინოდური წლის განმავლობაში—მარსის ოპოზიციამდე სამი თვით ადრე. სხვა დროს გაშვებულ აპარატს მარსი არ დახვდება ორბიტის აფელიუმში. ასეთ შემთხვევაში აპარატმა უნდა განაგრძოს მოძრაობა და მივიდეს თავის პერიჰელიუმში, მაგრამ ახლა აქ მას დედამიწაც არ დახვდება.



ნახ. 297

აღწერილი გზით (მას ტანგენსურ გზას უწოდებენ) პლუტონისაკენ გაშვებულ აპარატს მიზნის მისაღწევად 43 წელი დასჭირდებოდა.

ამ პარაგრაფის დასარულს განვიხილოთ ნახ. 297. აქ წარმოდგენილია 1960 წ. 1 ოქტომბერს მარსისაკენ, ხოლო 1961 წ. 16 იანვარს ვენერასაკენ გაშვებული ავტომატური სადგურების გზები პლანეტათშორის სივრცეში. სადგური დაუახლოვდა მარსს, როცა იგი თითქმის  $330 \text{ მლნ კმ}$ -ით იყო დაშორებული დედამიწისაგან.





სადგურის გაშვების მომენტის შერჩევა განსაკუთრებულ ანგარიშს მოითხოვს. ვენერას ორბიტა დახრილია ეკლიპტიკასთან დაახლოებით  $3\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით, მარსისა— $2^{\circ}$ -ით. თუმცა მცირეა ეს კუთხეები, მაგრამ მაინც შემოაქვთ შესამჩნევი ცვლილება, თუ სადგურის ტრაექტორიის გამოთვლაში მზის სისტემის „ბრტყელ სურათს“ დავემყარებით. აღნიშნული დახრის გამო ვენერა ზოგ ადგილას 4 მლნ კმ-ზე უფრო მეტად დაშორებულია დედამიწის ორბიტის სიბრტყეს. ამოცანა მარტივდება, თუ გაშვება იმ მომენტში მოხდება, როცა დედამიწა ვენერას ორბიტის სიბრტყეს ჰკვეთს. მაშინ სადგური შეიძლება გაშვებულ იქნეს უშუალოდ ვენერას ორბიტის სიბრტყეში და საქმე გვექნება ე. წ. „ბრტყელ ამოცანასთან“. მაგრამ შეიძლება ეს მომენტი არ იყოს ხელსაყრელი ენერგეტიკული (ეკონომიური) თვალსაზრისით. ორივე თვალსაზრისით მაქსიმალურად ხელსაყრელი სიტუაცია იყო 1959 წ. 8 ივნისს და ასეთი—არცთუ ძალე განმეორდა. შედარებით ხელსაყრელი სიტუაციები რამდენიმე წელიწადში ერთხელ იქმნება.



თ ა 3 0 XIII

მ თ 3 ა რ ე

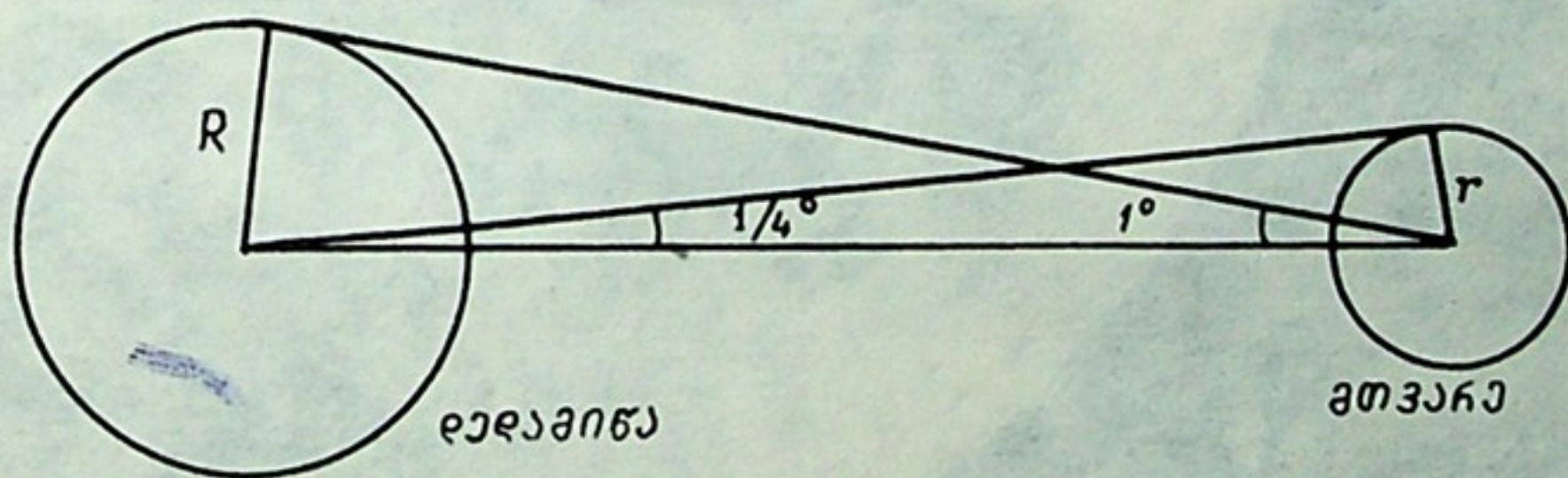
§ 156. **მანძილი მთვარემდე.** მანძილი მთვარემდე განისაზღვრება ან კლასიკური პარალაქსური მეთოდით, ან რადიოლოკაციური საშუალებით (იხ. ზემოთ).

მთვარის პარალაქსის საშუალო მნიშვნელობა ეტოლება  $57'$ -ს. ეს შეესაბამება  $384400$  კმ მანძილს. დედამიწიდან მთვარემდე დაშორების მაქსიმალური (აპოგეუმში) და მინიმალური (პერიგეუმში) მნიშვნელობებია:  $406500$  კმ,  $366300$  კმ, შესაბამისად.

§ 157. **მთვარის სიდიდე.** თავის ადგილზე ვნახეთ, თუ როგორ გამოითვლება დისკოიანი მნათობის სიდიდე, როცა ცნობილია მანძილი მნათობამდე და მისი დისკოს ხილული რადიუსი, გამოხატული რკალის ერთეულებით. მთვარისათვის ხილული საშუალო რადიუსი არის  $15'32''$ . ამის მიხედვით მთვარის ხაზოვანი რადიუსია:

$$r = 384.4 \cdot \sin(15'32'') = 1738 \text{ კმ.}$$

მაშასადამე, მთვარის დიამეტრი ( $3476$  კმ) დედამიწის დიამეტრის დაახლოებით მხოლოდ ერთი მეოთხედია. მოცულობით მთვარე  $49$ -ჯერ ნაკლებია დედამიწაზე, დედამიწის მოცულობა კი  $1.1 \cdot 10^{12}$  კმ<sup>3</sup>-ს ეტოლება.



ნახ. 298

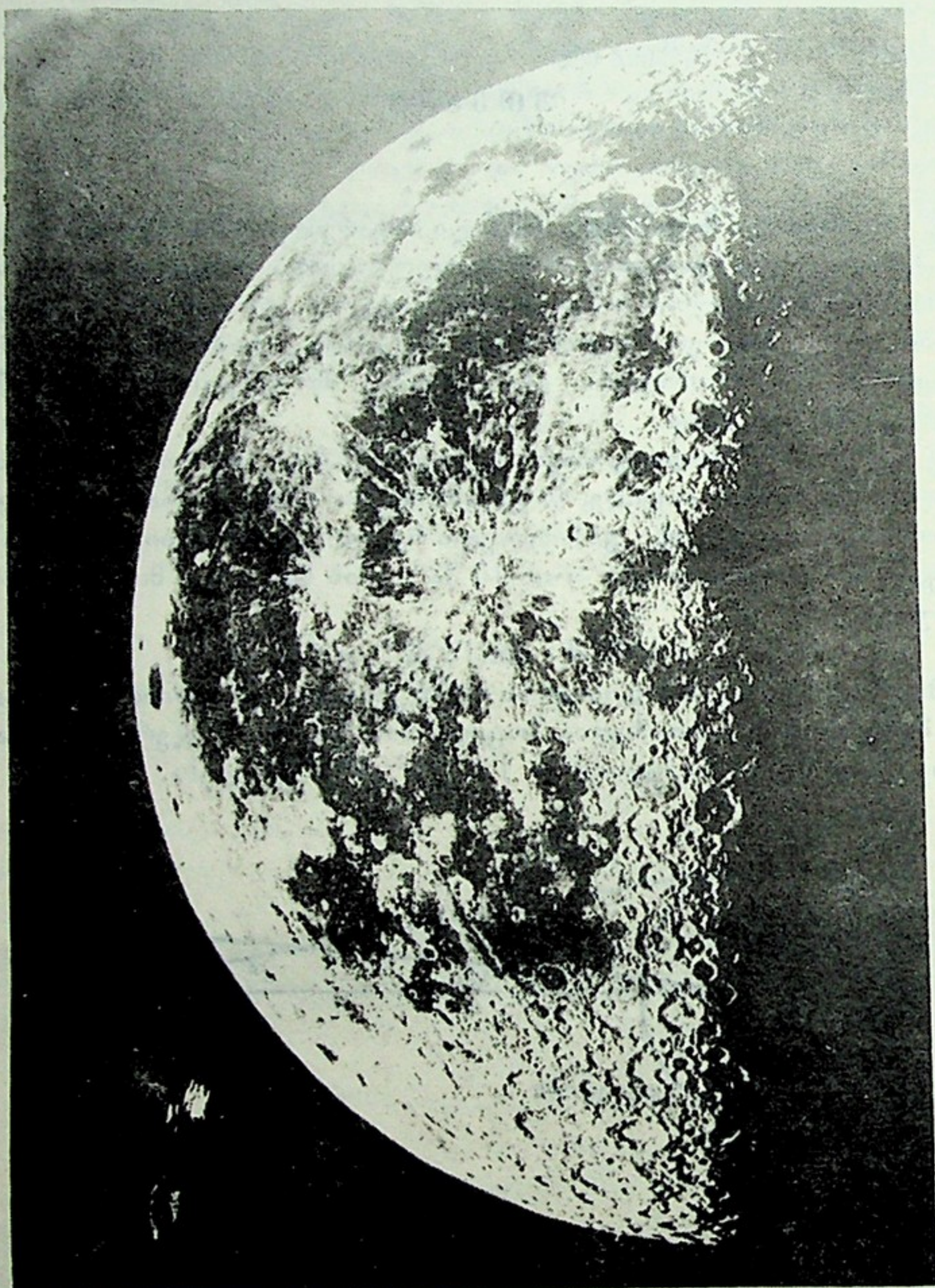
მთვარის რადიუსი შეგვიძლია სახელდახელოდ დაახლოებით შევაფასოთ, თუ ვიცით მისი პარალაქსი, რომელიც, დაახლოებით,  $1^\circ$ -ის ტოლად შეგვიძლია ჩავთვალოთ. 298-ე ნახაზის მიხედვით, სადაც დედამიწის რადიუსით „შეკრული“ კუთხე მთვარის გეოცენტრული პარალაქსია ( $1^\circ$ ), ხოლო მთვარის რადიუსით შეკრული—მისი რადიუსის ხილული სიდიდე ( $0^\circ.25$ ), უბრალოდ დაიწერება:



$$\frac{r}{R} = \frac{0^{\circ}.25}{1^{\circ}} = \frac{1}{4},$$

$$r = 0.25R.$$

§158. მთვარის მასა. მიზიდულობის ძალის სიდიდე მთვარის ზედაპირზე. მთვარის მასა დედამიწის მასის  $1/81$  ნაწილს წარმოადგენს. სხვა სიტყვებით, მთვარე  $7.4 \cdot 10^{19}$  ტონას „იწონის“.



ნახ. 299

მთვარის ზედაპირზე მიზიდულობის ძალა თითქმის ექვსჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე. ადვილი მისახვედრია, რატომღაა ეს ასე. დედამიწის ზედაპირზე მდებარე  $m$  მასის მქონე რაიმე ნივთიერი ნაწილაკის დედამიწისმიერი მიზიდულობა გამოიხატება ძალით:









რადგანაც  $M_2 = \frac{1}{81} M_1$ , ხოლო  $R_2 = \frac{1}{4} R_1$  (დაახლოებით), შეიძლება და-  
ვწეროთ:

$$F_2 = g \frac{\frac{1}{81} M_1 \cdot m}{\left(\frac{1}{4} R_1\right)^2}$$



ფს. 301







ამგვარად, მთვარე ექვსჯერ ნაკლები ძალით მიიზიდავს თავისკენ, ვიდრე ლაკს, საგანს, სხეულს, ადამიანს, რომელიც მის ზედაპირზეა. ეს პრაქტიკულად განიცადეს კოსმონავტებმა, რომლებიც მთვარის ზედაპირზე დაეშვნენ. მთვარის ზედაპირზე პირველი კოსმოსური სიჩქარე ეტოლება 1.68 კმ/წმ-ს.

§ 159. **მთვარის სიმკვრივე.** იგი ადვილად გამოითვლება, რაკი ვიცით მთვარის მოცულობაცა და მასაც. იგი ეტოლება 3.3 გრ/სმ<sup>3</sup>-ს, ე.ი. 3.3-ჯერ აღემატება წყლის სიმკვრივეს. დედამიწის სიმკვრივესთან შედარებით, რომელიც ეტოლება 5.5 გრ/სმ<sup>3</sup>-ს, მთვარის სიმკვრივე 3/5-ს წარმოადგენს. ეს განსხვავება საგულისხმოდ უნდა ჩაითვალოს, მეტადრე, თუ დავუკავშირებთ მას დედამიწასა და მთვარის ერთობლივ თუ არაერთობლურ წარმოშობასა და ევოლუციას; ორივე შემთხვევაში სიმკვრივეთა შორის განსხვავება მოითხოვს ახსნას. იგი მიუთითებს იმაზე, რომ დედამიწისა და მთვარის შიგა აღნაგობა სხვადასხვაგვარია. დედამიწის ქერქის მასალის სიმკვრივე საშუალოდ მხოლოდ 3 გრ/სმ<sup>3</sup>-ია, მაშინ როცა მთლიანად დედამიწისა—5.5 გრ/სმ<sup>3</sup>. მაშასადამე, დედამიწის გული ძალიან მკვრივია. მთვარე კი უფრო მარტივი აღნაგობის ანუ უფრო ერთგვაროვან სხეულად უნდა ჩავთვალოთ, თუმცა, რა თქმა უნდა, სავსებით შესაძლებელია, რომ იქაც იყოს განსხვავებული სიმკვრივე გარე და შიდა ფენებს შორის. ამ საკითხს საბოლოოდ გამოარკვევენ ან ავტომატური სადგურები (რომლებიც ახლო მომავალში მრავლად დაეშებიან მთვარეზე მისი თვისებების შესასწავლად), ან თვით ადამიანი-მკვლევარი, რომლისთვისაც მთვარე უკვე მისაღწევი გახდა.

§ 160. **მთვარის ზედაპირის აღწერა.** მაშინაც კი, როცა მთვარეს უბრალო, შეუიარაღებელი თვალით ვუყურებთ, ვრწმუნდებით, რომ მისი ზედაპირი არაა ერთგვაროვანი; მთვარის ბადროზე მოჩანს ფართო ბნელი „ლაქები“—შედარებით ნაკლებად კაშკაშა ვრცელი არეები, რომელთაც დიდი ხანია მთვარის ზღვებს უწოდებენ, თუმცა უტყუარად დადგენილია, რომ მთვარეზე არ მოიპოვება არც წყალი და არც ჰაერი და, მაშასადამე, იქ ზღვების არსებობაც გამორიცხებულია. მთვარის „ზღვები“ წარმოადგენს, უბრალოდ, შედარებით გლუვ, ბრტყელ, უწყლო სივრცეებს მის ზედაპირზე, რომლებიც, ამასთანავე, უფრო დაბლა მდებარეობენ, ვიდრე მთვარის ზედაპირის საშუალო დონეა.

თუკი მთვარეს ტელესკოპით შევხედავთ; ვნახავთ, რომ მისი ზედაპირი მოფენილია მთებით, მთაგრეხილებით, დასერილია ნაპრალებით, ერთგვარი „სხივებით“, რომლებიც ცალკეული მთებიდან რადიალურად გამოდიან და სხვ. ზოგი ამ სხივის სიგრძე 1500 კმ-ს ჭარბობს. ერთი სიტყვით, ტელესკოპში მთვარის ზედაპირი ერთობ რთულია, არაერთგვაროვანი, „აჭრელებულია“.

299-ე და 301-ე ნახაზები წარმოგვიდგენს მთვარის სურათს ისე, როგორც იგი ზომიერი სიდიდის ტელესკოპში ჩანს. მათგან პირველი მთვარის აღმოსავლეთ, მეორე—დასავლეთ ნახევარს გამოხატავს. სურათებს ახლავს მთვარის სქემატური რუკებიც (ნახ. 300, ნახ. 302), რომლებზეც აღნიშნულია მთვარის ძირითადი წარმონაქმნები: ზღვები (მაგალითად, წვიმების ზღვა, სიწყნარის ზღვა) და მთები (მაგალითად, კავკასიონი), მთაგრეხილები (მაგალითად, აპენინები) და კრატერები (მაგალითად, ალფონსის კრატერი).

მთვარის რელიეფის წარმონაქმნები ჩვენთვის ცნობილ გეოგრაფიულ და სხვა სახელებს ატარებენ, თუმცა, ამასთანავე, ბევრ მათგანს საგანგებო საკუთარი სახელიც შეარქვეს.

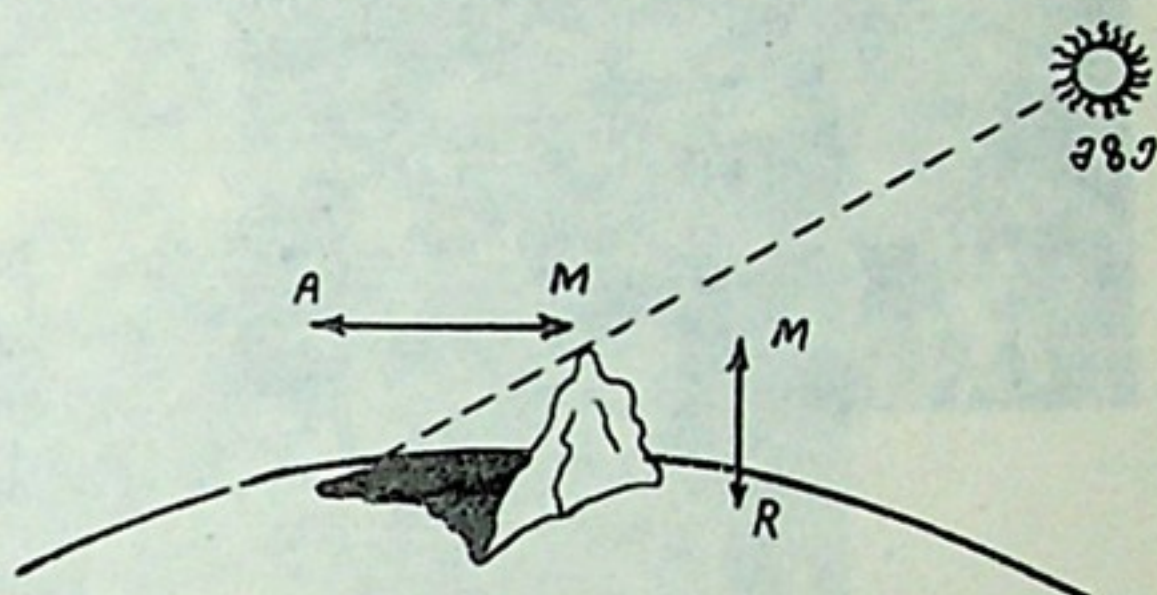


კრატერები გარშემორტყმულნი არიან რგოლის ფორმის „კედლებით“, რომელთა სიმაღლე რამდენიმე (5—7) კილომეტრს აღწევს. კრატერების რიცხვი მთვარეზე ძალიან დიდია. ზომიერი სიმძლავრის ტელესკოპის მეშვეობით მიღებულ ფოტოგრაფიაზე შეგვიძლია რამდენიმე ათასი კრატერი დავთვალოთ. მთვარის ზედაპირის ფოტოგრაფიებზე, რომლებიც ძალიან ახლო მანძილიდან მიიღეს კოსმონავტებმა ან შეასრულეს ავტომატურმა სადგურებმა, მრავლად მოჩანან უფრო მცირე ზომის კრატერები. უდიდესი კრატერები განივკვეთში 200 კმ-ს აღემატებიან. კრატერი ყველაზე უფრო დამახასიათებელი წარმონაქმნია მთვარის ზედაპირისათვის.

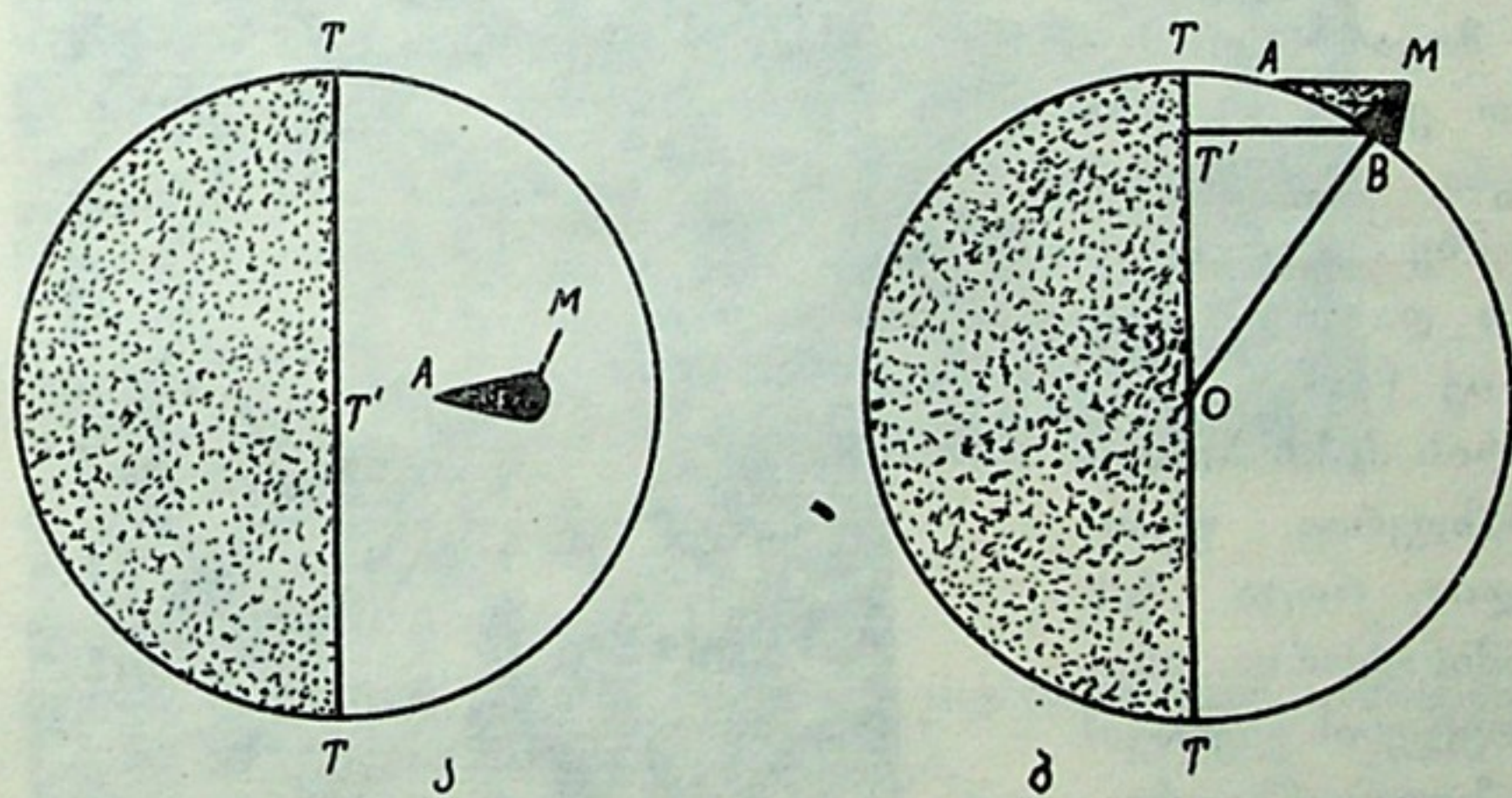
უფრო იშვიათია მთვარეზე მთაგრეხილები. ერთ მხარეზე ისინი უფრო ციცაბონი არიან, ვიდრე ძეორეზე, მსგავსად იმისა, რასაც ვხვდებით, მაგალითად, ჩრდილოეთ ამერიკის კონტინენტზე ცნობილ მთაგრეხილში—ე. წ. სიერა ნევადაში.

მთვარის მთების სიმაღლე ადვილად გამოითვლება. ყოველი მათგანი, როცა მზის სხივებითაა განათებული, იძლევა ჩრდილს, რომლის სიგრძის განსაზღვრა შედარებით ადვილი

საქმეა: განისაზღვრება ჩრდილის კუთხური სიდიდე, რომელიც შემდგომ—მთვარემდე მანძილის მიხედვით—გამოიხატება კილომეტრებით. მაგრამ მთის ჩრდილის სიგრძე დამოკიდებულია არა მარტო მთის სიმაღლეზე, არამედ მზის სიმაღ-



ნახ. 303



ნახ. 304

ლეზეც იმ ადგილის პორიზონტიდან, სადაც მთა იმყოფება (ნახ. 303). მთვარის ფაზის მიხედვით ადვილია ამ უკანასკნელის განსაზღვრა.

304-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მთვარეზე მთის სიმაღლის განსაზღვრის ხერხი, რომელიც არ მოითხოვს მთვარის პორიზონტზე მზის სიმაღლის ცოდნას. „ა“ წარმოადგენს მთვარის დისკოს, რომელიც მეოთხედ ფაზაშია. M არის მთის





წვერო, რომლის ჩრდილი გაჭიმულია  $A$ -მდე. „ბ“ გამოხატავს იმავე სურათს პირველის მართობული სიბრტყის პროექციაში.  $O$  მთვარის ბადროს ცენტრია.

$AM$  მართობულია  $OT$ -სი.  $AB$ -ც შეგვიძლია ჩავთვალოთ (მთვარის რადიუსთან შედარებით სიმცირის გამო)  $OM$ -ის მართობულად და დავწეროთ:

$$\frac{BM}{AM} = \frac{T'B}{OB}$$

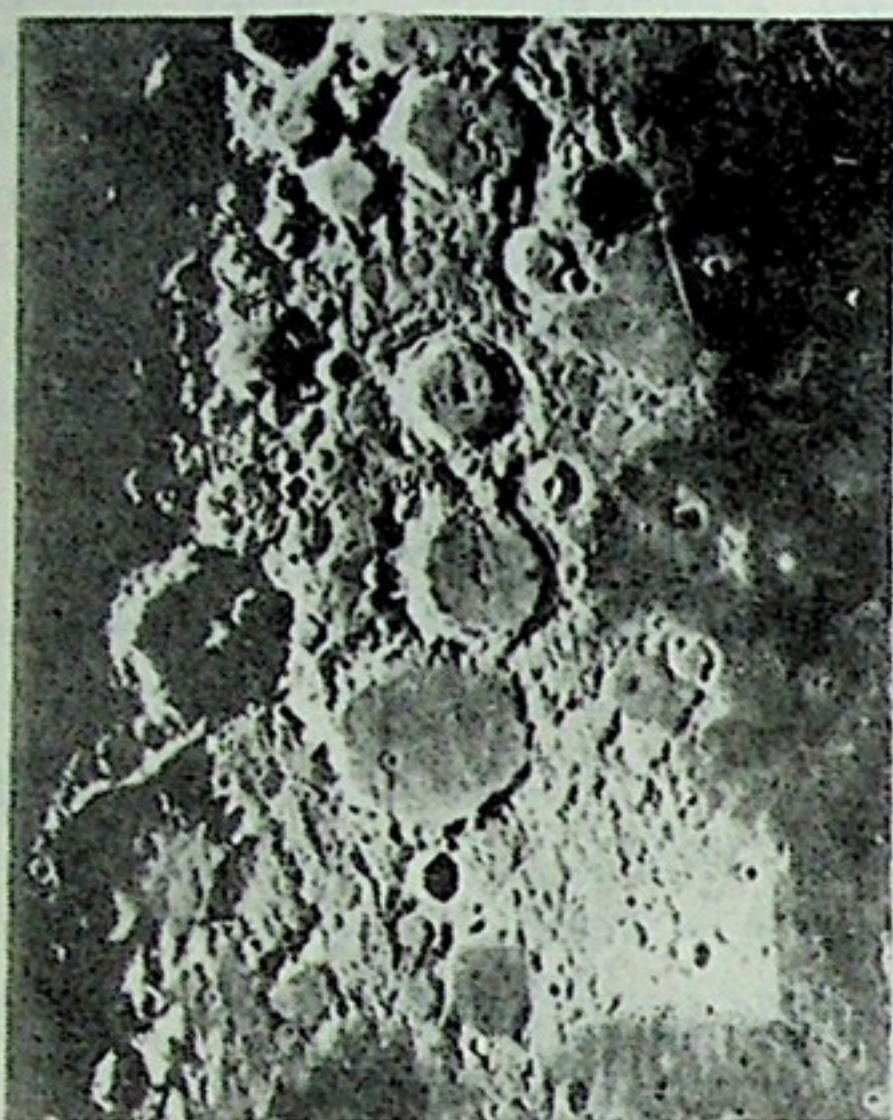
$AM$  და  $T'B$  გაიზომება მიკრომეტრით და გამოიხატება კმ-ებით,  $OB$  ცნობილია. ამგვარად გამოითვლება  $BM$ .

ზოგიერთი მწვერვალის სიმაღლე მთვარეზე 9 კილომეტრს აღწევს. როგორც გვახსოვს, დედამიწის უმაღლესი მწვერვალის ჯომოლუნგმას (ევერესტი) სიმაღლე 8848 მეტრია. მაშასადამე, რადი-

უსთან შედარებით მთვარის მთები უფრო მაღალია, ვიდრე დედამიწისა.

სავსემთვარეობისას მთვარის ბადროს ცენტრალურ ზონაში მთვარის მთები არ იძლევა ჩრდილს, რამდენადაც ამ დროს მზე მათ ზენიტშია. ამით და ზედაპირის ფოროვანი აგებულებით აიხსნება ის, რომ სავსემთვარეობისას მთვარის დისკო შედარებით ერთგვაროვნად გამოიყურება. ტერმინატორისათვის მზე მთვარის პორიზონტზეა და ჩრდილები ამ დროს იქ წაგრძელებულია. მთვარის მთის სიმაღლის განსაზღვრაც უფრო ხელსაყრელია, როცა მის ახლო ტერმინატორია. ანალოგიურ მოვლენას ვხედავთ დედამიწის ზედაპირზე, როცა ვათვალიერებთ ვრცელ პეიზაჟს; დილით (ან სადამოს), როცა მზე პორიზონტის ახლოა ჩრდილები უფრო კონტრასტულია.

305-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის ზედაპირის შედარებით მცირე ნაწილი (დაახლოებით,  $640 \times 830$  კმ<sup>2</sup>) ტერმინატორის ახლო. შუაში კრატერია, სახელწოდებით ალფონსი.



ნახ. 305

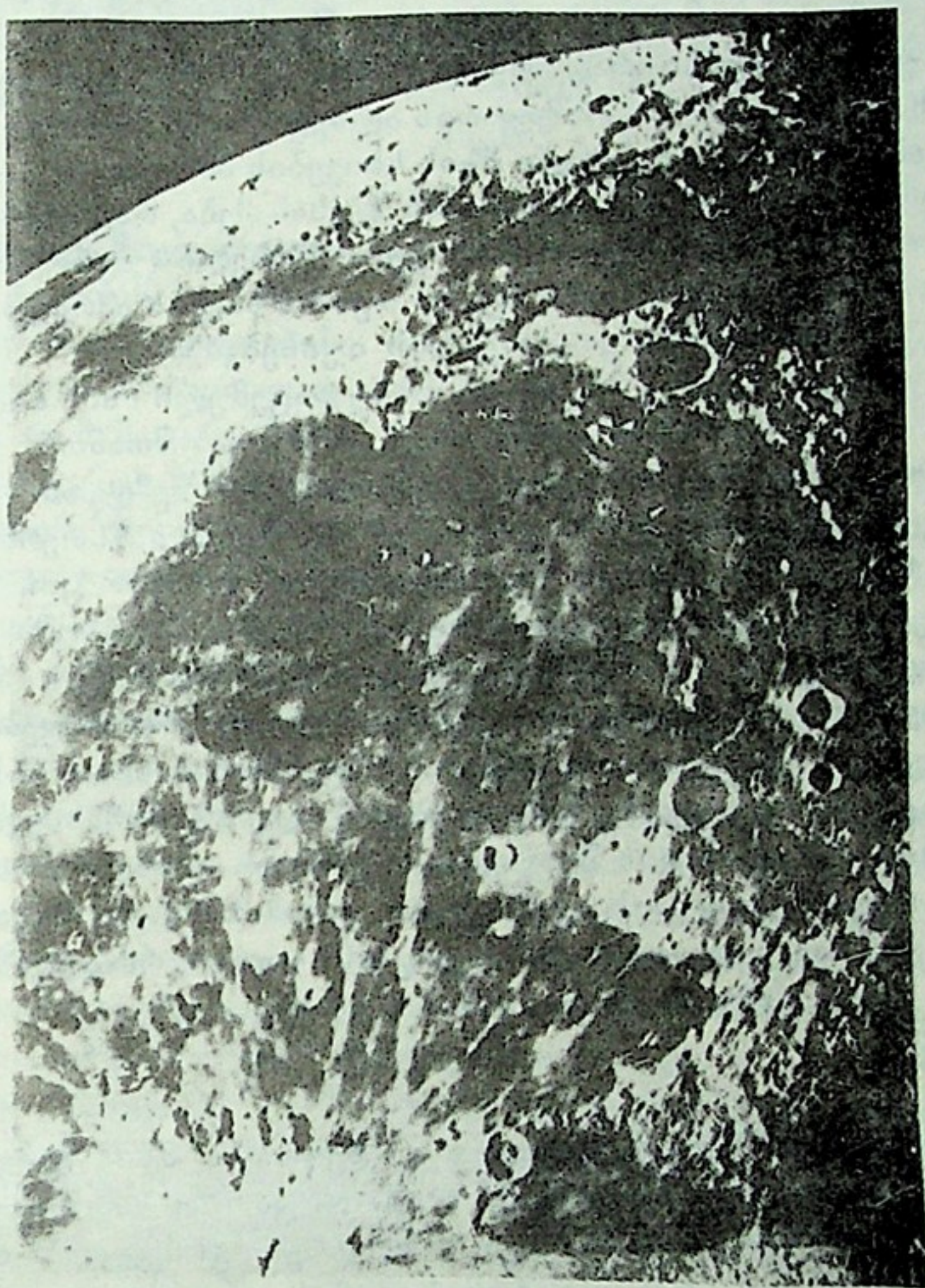


ნახ. 306



306-ე ნახაზზე ვხედავთ კრატერს, სახელწოდებით კოპერნიკი. მისი დიამეტრი 90 კმ-ს აღწევს. კრატერისათვის დამახასიათებელია მის გარს რადიალურად გავრცელებული სხივებისებრი წარმონაქმნები, რაც კრატერის ვულკანურ წარმოშობაზე მიგვანიშნებს.

307-ე ნახაზი წარმოადგენს ე. წ. წვიმების ზღვის ფოტოგრაფიას. მარჯვენა ქვედა კუთხეში ე. წ. აპენინების მთაგრეხილია, მის ზემოთ—არქიმედესა და



ნახ. 307

არისტოტელეს კრატერები. ზღვის ჩრდილოეთ კიდეზე მდებარე ღრმა, ჩრდილით მოცული კრატერი პლატონის სახელს ატარებს.

§ 161. მთვარის ალბედო. სითბური და რადიოგამოსხივება. ალბედო ახასიათებს ნივთიერების მიერ სინათლის არეკვლის უნარს. იგი გამოხატავს ზედაპირიდან არეკვლილი სინათლის რაოდენობის ფარდობას მასზე დაცემულ სინათლესთან. მაგალითად, კარგი გატკეცილი თეთრი ქაღალდი შედარებით კარგად არეკლავს სინათლეს, რაც არ ითქმის ხის ფიცარზე. ამიტომ ამბობენ, რომ ქაღალდის ალბედო უფრო მაღალია (დიდია), ვიდრე ხისა. ცნობილია, რომ ზაფხულის სეზონში რომელიმე საშუალო ლანდშაფტი მასზე ვარდნილი სინათლის დაახლოებით მხოლოდ მეხუთედს არეკლავს; დანარჩენს იგი შთანთ-





ქავს, რის შედეგად მისი ტემპერატურა შესაბამისად მატულობს. თოვლით დაფარული არემარე კი გაცილებით უფრო მეტ სინათლეს არეკლავს; თოვლის ალბედო დიდია. ალბედოს რიცხობრივ მნიშვნელობას ნივთიერება და მისი მდგომარეობა განსაზღვრავს. ამასთან დაკავშირებით გვაინტერესებს მთვარის ალბედო. მას შეუძლია ერთგვარი მითითება მოგვცეს მთვარის ზედაპირის ნივთიერების თვისებებზე. ამიტომ შეისწავლიან მთვარის ალბედოს და მის ცვალებადობას ფაზის ცვალებადობასთან ერთად. ალბედოს შესწავლას უკავშირებენ აგრეთვე სინათლის სპექტრულ შედგენილობასაც. ასე, მაგალითად, მთვარე უფრო ინტენსიურად არეკლავს წითელ სინათლეს, ვიდრე ლურჯს. საერთოდ კი ხილულ სინათლეში მთვარის ალბედო სულ მხოლოდ  $7^0/0$ -ია, ე. ი. მთვარის ზედაპირი მასზე დაცემული მზის სხივების მხოლოდ  $7^0/0$ -ს არეკლავს. ეს დაბალი ალბედოა და დაახლოებით იმას შეესაბამება, რაც ახასიათებს ვულკანური წარმოშობის მთებს; შედარებით უფრო ნათელი (უფრო მაღალი ალბედოს მქონე) არეების ალბედო უფრო მეტად თეთრი სილის ამრეკლავ თვისებებს უახლოვდება, უფრო ბნელისა კი—ფიქალის თვისებებს.

როგორც ვთქვით, მთვარე არეკლავს მასზე დაცემული მზის ხილული რადიაციის  $7^0/0$ -ს. მაგრამ დანარჩენ ენერგიასაც, რომელიც შთანთქმა, ნაწილობრივ კვლავ გამოასხივებს სივრცეში, ერთგვარი გარდაქმნის შემდგომ. ეს გამოასხივება ინფრაწითელი ბუნებისაა, და მის გაზომვას ახერხებენ ე. წ. თერმოწყვილებით (იხ. ქვ. II ტ.), ნაწილობრივ კი იგი რადიოტალღების სახისაა. ცის სხეულებისაგან გამოასხივებული რადიოტალღების რეგისტრაცია კარგად უზრუნველყოფილია ობსერვატორიების თანამედროვე რადიოასტრონომიული აპარატურით. ამასთანავე იმდენად დამუშავდა ცის სხეულების რადიოგამოსხივების თეორიაც, რომ სხვადასხვა სიგრძის რადიოტალღების ინტენსივობისა და მისი ცვლილების რეგისტრაციის საფუძველზე შესაძლებელი ხდება გამომსხივებელი ობიექტის ზოგი ფიზიკური თვისების შესწავლაც. კერძოდ, დაახლოებით სანტიმეტრის სიგრძის რადიოტალღების აღრიცხვით განისაზღვრება მთვარის ქერქის ტემპერატურა არა მის ზედაპირზე, არამედ ცოტა უფრო ღრმად; განისაზღვრება აგრეთვე მისი სითბოგამტარიანობის უნარი და სხვ.

**§162. ტემპერატურა მთვარეზე.** მთვარის ზედაპირი მზის სხივებით თბება  $120-130^{\circ}$ -მდე ცელსიუსით იმ დროისათვის, როცა მზე სათანადო ადგილის ზენიტს აღწევს. გავიხსენოთ აქ, რომ დღე მთვარეზე გრძელდება თითქმის ორ კვირას (მთვარის დღე-ღამე დაახლოებით 4 კვირის ხანგრძლივობისაა, ღერძის ირგვლივ მისი ნელი ბრუნვის შესაბამისად). მაშასადამე, მზე მთვარის ზედაპირის მოცემულ პუნქტში ზენიტს აღწევს ამოსვლის მომენტიდან ერთი კვირის შემდგომ.

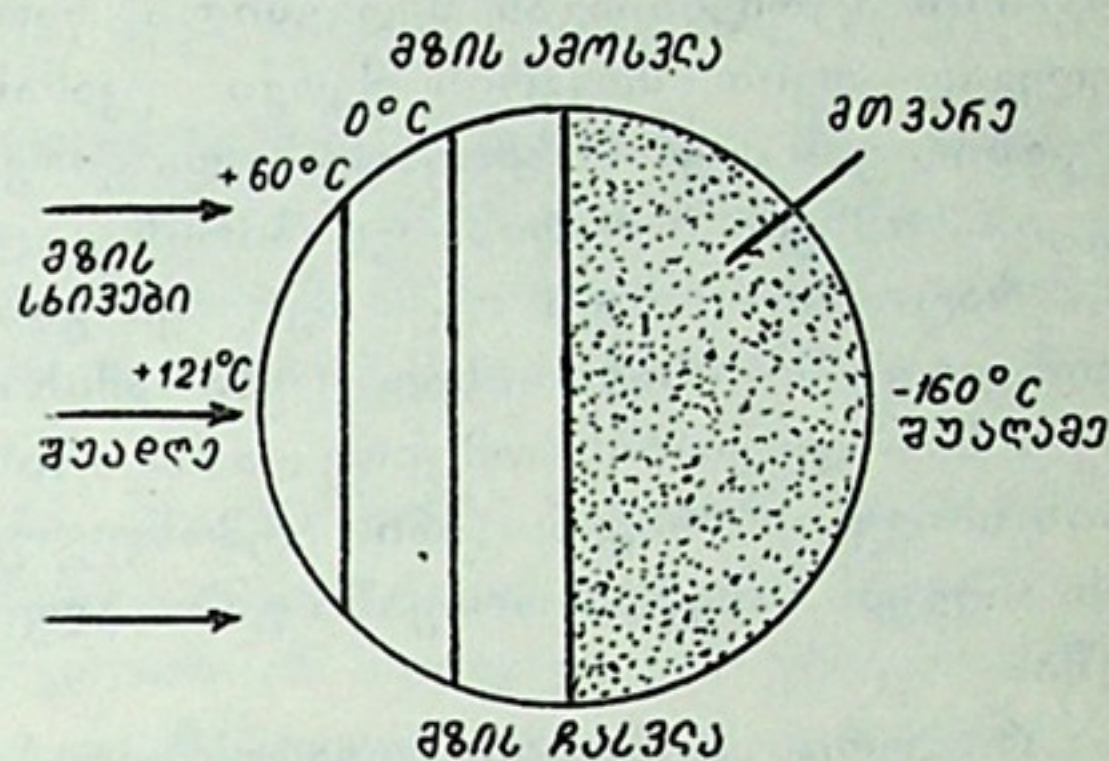
სამაგიეროდ, მთვარის ღამის განმავლობაში ტემპერატურა ეცემა მინუს  $160-170$  გრადუსამდე. ასე მკვეთრია მთვარეზე განსხვავება დღისა და ღამის ტემპერატურებს შორის.

308-ე ნახაზზე ვხედავთ, რომ მთვარის იმ წერტილში, რომლის ზენიტში მოთავსებულია მზე (სავსემთვარეობის მომენტში ეს წერტილი მთვარის ბადროს ცენტრია), ტემპერატურა გაცილებით მაღალია, ვიდრე სხვა ადგილას.

მგრძნობიარეა მთვარის ზედაპირი—ტემპერატურის ცვლილების თვალსაზრისით—აგრეთვე მზის დაბნელებისადმი. ადვილი წარმოსადგენია, რომ მზის დაბნელება მთვარეზე მაშინ ხდება, როცა ჩვენთვის მთვარის დაბნელებაა. ამ



დროს მთვარის ზედაპირს ეცემა დედამიწის ჩრდილი და, მაშასადამე, წყდება მისი გათბობა მზის სხივებით. როგორც ვიცით, მთვარის დაბნელება (ანუ მზის დაბნელება მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის) ზოგჯერ თითქმის 2 საათს გრძელდება. ამ ხნის განმავლობაში ტემპერატურა თითქმის 200 გრადუსით კლებულობს. მაშასადამე, მთვარის ზედაპირზე ნივთიერებას სუსტი სითბოგამტარიანობა ახასიათებს, რასაც რადიოგაზომებიც ადასტურებს.



ნახ. 308

§ 163. მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს. მთვარის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილების აღწერილი ხასიათი ძირითადად მით აიხსნება, რომ მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს. მთვარეზე რომ ატმოსფერო არაა, ამას მრავალი მოვლენა ამტკიცებს. ჯერ ერთი, მთვარის ზედაპირი, როცა კი მთვარე მოჩანს მოწმენდილ ცაზე, ყოველთვის ერთნაირად გამოიყურება. ჩრდილები მასზე მკვეთრად მოხაზულია და ბნელია. ჰაერი რომ ყოფილიყო იქ, ჩრდილის კონტურები უფრო ნაკლებ მკვეთრი იქნებოდა, როგორც დედამიწაზე, სადაც ჰაერი განაბნევს სინათლეს და ჩრდილში არაა სრული სიბნელე. ამასთანავე ჰაერი რომ ყოფილიყო მთვარეზე, შიგ ზოგჯერ გამოჩნდებოდა ღრუბელი ან მტვერი, რაც მთვარის სახესაც დაეტყობოდა. მთვარეზე რომ ატმოსფერო ყოფილიყო, მთვარის ტერმინატორის ან ახალი მთვარის „რქების“ მოხაზულობა არ იქნებოდა ესოდენ მკვეთრი. ფაზები ვენერაზედაც არსებობს; „ნამგლის“ სახით ზოგჯერ ვენერაც მოჩანს, მაგრამ მისი ნამგლის ბოლოები ანუ „რქები“ მკვეთრი როდია, ერთგვარად დიფუზურია და წაგრძელებულია მისი ატმოსფეროს მიერ სინათლის გაბნევის გამო. ამის მიზეზი ვენერას სქელი ატმოსფეროა (იხ. ქვ. II ტ.). უატმოსფერობას მთვარეზე ისიც ამტკიცებს, რომ მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა მყისიერია. მთვარის სპექტრული დაკვირვების შედეგებიც მოწმობს უატმოსფერობას მთვარეზე. მთვარის სინათლის სპექტრი სრულიად არ განსხვავდება მზის სინათლის სპექტრისაგან; მთვარეზე მზის ვარდნილსა და არეკვლილ სინათლეს არაფერი ემატება ისეთი, რაც მთვარის ატმოსფეროში შეიძლება ყოფილიყო წარმოქმნილი—რაიმე შთანთქმის ან გამოსხივება.

ამგვარად, შეგვიძლია დავადასტუროთ, რომ მთვარე პრაქტიკულად მოკლებულია ატმოსფეროს. ჩვენ ხაზს ვუსვამთ სიტყვას „პრაქტიკულად“, რადგანაც შესაძლებელია, რომ ძალზე გაიშვიათებული ატმოსფერული გარსი მაინც იყოს მთვარეზე. მაგრამ, თუ ასეთი არის, მისი სიმკვრივე არ იქნება უფრო მეტი, ვიდრე დედამიწის გარემომცველი ატმოსფეროს მეათე-მეასემედიონედი. ეს კი სწორედ იმას ნიშნავს, რომ პრაქტიკულად მთვარეზე ატმოსფერო არაა.

მაგრამ თვლიან, რომ აღნიშნული, ერთობ უმნიშვნელო სიმკვრივის ატმოსფერო მაინც მოიპოვება მთვარეზე. ასეთი მტკიცების საფუძველი ისაა, რომ ზოგიერთი რადიოტელესკოპური დაკვირვება მთვარეზე და მის მიმართულებით მყოფ გალაქტიკურ ნისლეულებზე ამჟღავნებს ისეთ მოვლენებს, რომელთა ახსნა ჯერჯერობით მხოლოდ იმის დაშვებით ხერხდება, რომ მთვარის უშუალო მახ-



ლობლობაშია იონიზებული გაზის მასები, თუმცა ერთობ გაიშვიათებულია. რეთვე დასაშვებია, რომ მთვარეს ეს გაზი სტაბილური გარსის სახით კი არ აკრავს, არამედ მხოლოდ დროგამოშვებით ჩნდება. სად არის ასეთ შემთხვევაში მისი წარმოშობის წყარო? მიაჩნიათ, როს ასეთ გაზს, უმთავრესად ჰელიუმისა და არგონის ატომებისაგან შედგენილს, წარმოშობს—რადიაქტიური პროცესების შედეგად—თვით მთვარის ქერქი. უკანასკნელ წლებში, საბჭოთა კავშირში ნ. კოზირევის მიერ წარმოებულმა დაკვირვებებმაც გამოავლინა გაზების ამოფრქვევის ნიშნები მთვარის ზედაპირის ცალკეულ ადგილებში.

რატომ არ იყრის თავს მერე ეს გაზი მთვარის ირგვლივ შემოვლებული მუდმივი გარსის სახით, სად ქრება? ამის მიზეზი, ძირითადად, ორია: მთვარის-მიერი მიზიდულობის სიმცირე და მთვარის ზედაპირის მეტად ძლიერი დათბობა მზის სხივებით, რაც მთვარის ატმოსფერული მასის ნაწილაკებს დიდ სიჩქარეებს ანიჭებს. ასეთ პირობებში გაზი ადვილად განიფანტება კოსმოსურ სივრცეში.

როგორც უკვე ვიცით, მთვარის ზედაპირზე ნაწილაკის მთვარისმიერი მიზიდულობა ნაკლებია, ვიდრე მიზიდულობა დედამიწის ზედაპირზე. თუ დედამიწაზე კოსმოსურ სივრცეში გაჭრის სიჩქარე 11.2 კმ/წმ-ია, მთვარეზე იგი მხოლოდ 2.4 კმ/წმ-ს უახლოვდება. ატმოსფეროში მოლეკულების სიჩქარე საკმაოდ დიდ ფარგლებში ცვალებადობს და დიდად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე. აბსოლუტურ ნულზე მოლეკულები უძრავია, გაყინვის წერტილის მახლობლობაში (რაც აბსოლუტური სკალით 273°-ით გამოიხატება) მათი სიჩქარე, კერძოდ, წყალბადისათვის დაახლოებით 2 კმ/წმ-ია. მაღალ ტემპერატურაზე წყალბადის მოლეკულების სიჩქარეები 10 და 11 კმ-აც აღემატება წამში. მძიმე ელემენტებისა კი შესამჩნევად ნაკლებია. საერთოდ, მოლეკულის საშუალო სიჩქარის დამოკიდებულება ნივთიერებასა და ტემპერატურაზე შემდეგი ფორმულით გამოიხატება:

$$v = \sqrt{3kT/m},$$

სადაც  $T$  გაზის ტემპერატურაა,  $m$ —მოლეკულის მოლეკულური წონა (რაც ნივთიერებას ახასიათებს),  $k$ —ერთგვარი მუდმივა, ე. წ. ბოლცმანისეული მუდმივა. მთვარისათვის, სადაც დღისით ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია, ადვილად იქმნება პირობები, რომლებიც ხელს უწყობს გაზის მოლეკულებს—წყალბადია ეს თუ სხვა რომელიმე ძიმე ელემენტი—გაიჭრან კოსმოსურ სივრცეში. დედამიწაზე კი მხოლოდ მსუბუქი გაზის—წყალბადის—მოლეკულებისათვის იქმნება სათანადო პირობები.

მზის სისტემაში ცნობილია სხვა ისეთი „მთვარე“, რომელსაც მკვრივი ატმოსფერო ახლავს. ეს არის სატურნის თანამგზავრი ე. წ. ტიტანი—ერთ-ერთი სატურნის 18 თანამგზავრთა შორის. ეს იმიტომ, რომ, თუმცა ტიტანის მასა მხოლოდ ორჯერ აღემატება მთვარისას, მზიდან სატურნის (და მისი თანამგზავრების) ერთობ დიდი დაშორების გამო მზისმიერი დათბობა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ გაზის მოლეკულები ვერ აღწევენ იქ სათანადო კრიტიკულ სიჩქარეს.

საინტერესოა შესადარებლად თვით მზის შემთხვევაც. იქ, მიუხედავად ძალიან მაღალი ტემპერატურისა (6000° მის ზედაპირზე), სითბური სიჩქარეები მაინც ვერ აღწევს კრიტიკულ სიჩქარეს. უკანასკნელი მზეზე—მისი ვეება მასის



გამო—ეტოლება 620 კმ/წმ. მართალია, ცნობილია, რომ მზისაგან გამოიფრქვევა გაზის ნაწილაკები, მაგრამ ეს „თავისუფალი“ ლტოლვა კი არ არის, განპირობებული მხოლოდ მოლეკულების საკუთარი სიჩქარეებით, არამედ შედეგია მზის ცალკეულ ზონებში ან უბნებში სხვადასხვა ძალების დროებითი გააქტივებისა.

§ 164. **მთვარის ზედაპირულ წარმონაქმნთა ბუნება.** მთვარის ზედაპირის ყველაზე უფრო დამახასიათებელი და სიმრავლითაც გამორჩეული წარმონაქმნები კრატერებია. ამიტომ მთვარის ზედაპირის ბუნების აღწერა ან მისი სახის წარმოშობის ახსნა ვერ ასცილდება პირველ რიგში კრატერების დახასიათებას.

კრატერების წარმოშობის შესახებ არსებობს ორი ჰიპოთეზა. ერთი მათგანი კრატერებს უყურებს როგორც მთვარეზე ვულკანური პროცესების შედეგს, მეორე კი მიაწერს მათ მეტეორიტების მოქმედებას. არ შეიძლება გამოვრიცხოთ ორივე დასახელებული აგენტის მოქმედება. მართლაც, ადვილად დასაჯერებელია, რომ ევოლუციის რომელიღაც ეტაპზე მთვარე იმდენად გახურებული იყო წიაღში, რომ ვულკანური პროცესები მასზე ხშირი იყო, დედამიწის მსგავსად. ამასთანავე სიტბო მთვარეს შეიძლებოდა თანდაყოლილი ჰქონოდა თავისი წარმოშობის თავდაპირველი სტადიებიდან. მეორე მხრივ, ისიც შეიძლებოდა, რომ სიტბო უფრო გვიან განვითარებულიყო წიაღში მოქცეული ურანიუმის, თორიუმისა და სხვა რადიოაქტიური ნივთიერების მიერ გამოყოფილი ენერგიის მეშვეობით.

რაც შეეხება მეტეორიტების მოქმედებას, მათაც შეეძლოთ ესოდენ დიდი კვალის დამჩნევა მთვარის სახეზე. მართლაც, თუ მთვარე შორეულ ეპოქაშიც მოკლებული იყო ატმოსფეროს, მეტეორიტები მის ზედაპირთან მიახლოებისას არც იშლებოდნენ და არც „მუხრუჭდებოდნენ“ ატმოსფეროს გარემოში და მთელი მასითა და სიჩქარით ეცემოდნენ მას. დედამიწის შემთხვევაში, ატმოსფერო ერთგვარ ჯავშანს ქმნის, რომელიც დიდად აქუცმაცებს მეტეორიტებს და ანელებს მათ სიჩქარეებს. ვგულისხმობთ იმასაც, რომ შორეულ წარსულში მეტეორიტების მასები და სიხშირე შეუდარებლად უფრო მეტი იყო, ვიდრე ახლა, თორემ ისეთი მკვეთრი კვალი მთვარის ზედაპირს არ დააჩნდებოდა.

დამახასიათებელია მთვარისათვის აგრეთვე ერთგვარი „სხივები“, რომლებიც რადიალურად ვრცელდება ყველა მიმართულებით ზოგიერთი კრატერის ირგვლივ (ნახ. 306). ცხადია, „სხივებში“ თავმოყრილია ისეთი ნივთიერება, რომელსაც შედარებით უფრო მაღალი არეკვლის უნარი აქვს. სწორედ ამიტომ ქმნის ეს ნივთიერება სხივების ილუზიას. რადიალური განლაგება კი კრატერის ირგვლივ გვაფიქრებინებს, რომ ეს ნივთიერება ვულკანის ამოფრქვევისას ამონთხეულა წიაღიდან თხევად მდგომარეობაში და დაღვრილა მის გარშემო ისე, როგორც ღავა.

თვალში გვეცემა დიდი განსხვავება კრატერების სიმრავლეში დედამიწასა და მთვარეზე. მთვარეზე ისინი მრავალია, დედამიწის ზედაპირზე კი საკუთრივ მეტეორიტული წარმოშობის კრატერები სულ რამდენიმე ათეულია. ამ განსხვავების ახსნის ძიებისას, ჯერ ერთი, უნდა გვახსოვდეს მათი წარმოშობის პირობების სხვადასხვაობა და, მეორეც, უნდა ვითვალისწინებდეთ იმას, რომ დედამიწაზე ინტენსიური ატმოსფერული მოვლენების ზემოქმედება და წყლის მიმოქცევა ზედაპირულ წარმონაქმნებს მნიშვნელოვნად უცვლის სახეს (ე. წ. ე რ ო ზ ი ა), რასაც მთვარეზე ადვილი არა აქვს. მთვარეზე მხოლოდ ტემპერატურის მკვეთრ ცვლილებებს თუ შეაქვს რაიმე ცვლილება ზედაპირში (მაგალითად, დას-





კდომა, ნაპრალების გაჩენა). თუმცა, თავის გავლენას ახდენს აგრეთვე მზისმიერი რადიაცია, ამასთანავე—მოკლეტალღიანი რადიაცია, რომლისგანაც მთვარე დაცული არაა ისე, როგორც დედამიწა მისი ატმოსფეროს წყალობით. ესეც ერთგვარ ეროზიას იწვევს, თუმცა—განსხვავებული ბუნების ეროზიას. მაინც საფიქრებელია, რომ მთვარის ზედაპირი, როგორსაც მას ვხედავთ, უფრო „შენახულია“, ვიდრე დედამიწისა, სწორედ იმიტომ, რომ მასზე ატმოსფერულ მოვლენებს არ უმოქმედნია. შეიძლება დავუშვათ, რომ რამდენიმე ასეული მილიონი ან მილიარდი წლის წინათ, როცა მეტეორული მოვლენები უფრო ხშირი იყო (ამის დაშვებაც მართებულია), მთვარე და დედამიწა ერთნაირად „დასახიჩრებული“ იყვნენ მათი დაჯახებებით: მას შემდეგ კი დედამიწის სახე ძალიან შეცვალა ატმოსფერულმა აგენტებმა, მათთან წყალმაც. მთვარეს კი, უნდა ვიფიქროთ, თითქმის შერჩა ძველი, წინანდელი სახე, თუ არ გავითვალისწინებთ იმ ცვლილებებს, რომლებსაც მზის რადიაცია იწვევს და რომელთა მოქმედების ხასიათი ჯერჯერობით უცნობია ჩვენთვის.

მთვარეზე დაშვებულმა კოსმოსურმა აპარატებმა დაადასტურა ასტრონომების მიერ ადრე მიღებული დასკვნა, რომ მთვარის გრუნტი ფორიანია. გრუნტი უფრო დაწვრილებით გამოიკვლიეს, როცა მისი ნიმუშები დედამიწაზე ჩამოიტანეს ასევე ავტომატური აპარატების საშუალებით, ან თვით ასტრონავტებმა. გამოირკვა, რომ მთვარის გრუნტის შედგენილობა დიდად არ განსხვავდება დედამიწის გრუნტისაგან. ჭარბობს სილიკატური ნივთიერება, ალუმინის ჟანგეულითურთ, „ზღვების“ არეებში კი ბაზალტი. ივარაუდება, რომ ამოფრქვეული მთის ქანების ასაკი ოთხნახევარი მილიარდი წელია.

მთვარეზე ხანგრძლივად (რამდენიმე თვეს) მოქმედებდა 1970 წლის ნოემბერში იქ დაშვებული პირველი მთვარემავალი. მეორე ასეთი ავტომატური აპარატი დაეშვა 1973 წლის იანვარში. მათ მდიდარი ცნობები მოიპოვეს და დედამიწაზე გადმოსცეს მთვარის გრუნტის ფიზიკური, მექანიკური და სხვა თვისებების შესახებ, აგრეთვე ზედაპირის მაღალი გარჩევის უნარის მქონე ფოტოგრაფიები. მთვარის მაგნიტური ველი შეუდარებლად უფრო სუსტია ვიდრე დედამიწისა.

მთვარის შიგა აღნაგობას რაც შეეხება, ივარაუდება, რომ მისი ქერქი რამდენიმე ათეული კილომეტრის სისქისაა. მთვარეს აქვს მანტია და მკვრივი გული. გეოლოგიური თვალსაზრისით ჯერ კიდევ არაა იგი სავსებით გაცივებული და აქტიურობას მოკლებული. მინიშნებულია, რომ ზოგჯერ ზოგი კრატერის თავზე (უფრო მეტად, კრატერი სახელწოდებით ალფონსი) ერთობ გაიშვიათებული გაზის „დრუბელი“ ჩნდება. ეს მონაცემები საფუძვლად ედება მოსაზრებებს დედამიწის, სხვა პლანეტების და, საერთოდ, მთელი მზის სისტემის წარმოშობასა და ევოლუციაზე.

**§ 165. კოსმოსური სივრცის მეცნიერული ათვისება და მთვარე.** მას შემდეგ, რაც მთვარეზე ავტომატურმა სადგურებმა დაიწყეს სისტემატური მუშაობა, აგრეთვე,—ადამიანი ეწვია მას და მისი ნიადაგის სინჯებიც აიღო, აშკარაა, რომ ინფორმაცია მთვარის აგებულების, ბუნებისა და ევოლუციის შესახებ ერთობ სწრაფად გამდიდრდება. ეს სრულიად არ გამორიცხავს იმას, რომ ამასთანავე ახალი საიდუმლოებები იჩენს თავს და გადასატრელად მრავალი ახალი ამოცანა წამოიჭრება. ამის ნიშნები უკვე გვაქვს. მთვარის ზედაპირის ნივთიერების პირველმა სინჯებმა გვიჩვენა, მაგალითად, რომ, თუმცა მთვარეზე ბევრი ნაცნობი ელემენტი აღმოჩნდა, მაგრამ მათი პროპორცია საერთო შემცველობაში გან-



სხვაგვებულა დედამიწისაგან. ტიტანიუმი და ცირკონიუმი მთვარეზე შედარებით დიდი რაოდენობით მოიპოვება. ეს ახალი ფაქტი ახსნას მოითხოვს. მაგრამ ისიც უნდა ითქვას, რომ განმეორებითი სინჯები თვით ამ დასკვნასაც საეჭვოდ ხდის. ასევე ახალ ამოსახსნელ ამოცანას წარმოშობს მეორე დასკვნა, რომ მთვარის ზოგი ქანის ასაკი უფრო დიდი ყოფილა, ვიდრე დედამიწის ყველაზე უფრო ძველი ქანებისა.

მთვარის ზედაპირზე ხელსაწყოების ამუშავება და ადამიანის მისვლა მართო თავისთავად მთვარის შესწავლას კი არ დააჩქარებს, არამედ, აგრეთვე, გარე სამყაროს სხვა სხეულებისასაც: პლანეტების, ვარსკვლავების, გალაქტიკების. იმის გამო, რომ მთვარეს არ აკრავს ატმოსფერო, იგი იდეალურ ადგილს წარმოადგენს ტელესკოპური დაკვირვებისათვის, რამდენადაც იქ უზრუნველყოფილი იქნება საუკეთესო ოპტიკური გამოსახულებანი და ერთობ დიდი გამადიდებლობის გამოყენება. მთვარიდან დაუბრკოლებლად დაიკვირვება მნათობთა ინფრაწითელი, ულტრაიისფერი, რენტგენისა და გამა-გამოსხივება. მთვარიდან ყოველთვის მოჩანს მზის კორონა (იხ. ქვ. II ტ.), ზოდიაკური ნათება და პირისპირნათება (იხ. ქვ. II ტ.). ამასთანავე მთვარეს თავისი უპირატესობები აქვს როგორც ადგილს, პლაცდარმს, საიდანაც უფრო ადვილად (ნაკლები ენერგიის დახარჯვით), ვიდრე დედამიწიდან, შეიძლება აშვებულ იქნეს დიდი და მძიმე, ნაკრები კოსმოსური სადგურები, ხომალდები და მატარებლები. დაბოლოს გარკვეული უპირატესობა აქვს იმასაც, რომ ცამრგვალის ბრუნვა მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის გაცილებით უფრო ნელია, ვიდრე დედამიწაზე.





პირთა და საგანთა საძიებელი

აბერაცია . . . . . 250—256  
აბერაციის მუდმივა . . . . . 254  
აბსოლუტური ნული . . . . . 34, 35  
ადგილის განედის განსაზღვრა . 17, 95, 96, 174, 175  
ადგილის გრძედის განსაზღვრა . . . . . 175, 176  
აერონავიგაცია . . . . . 17, 177  
აზიმუტი . . . . . 80, 81  
აზიმუტი გეოდეზიური . . . . . 82  
აინშტაინის ფარდობითობის თეორია . . . 12, 29  
ალბედო . . . . . 389, 390  
ალმუკანტარატი . . . . . 81, 83  
ამოსვლა-ჩასვლის (მნათობისა) გამოთვლა . . . . . 178 — 180  
ანგსტრემი . . . . . 33  
ანდრომედას გალაქტიკა . . . . . 9, 25, 26, 263  
ანომალისტური თვე . . . . . 287, 293  
ანომალისტური წელიწადი . . . . . 169  
ანტიპოდი . . . . . 60, 63  
ანტიციკლონი . . . . . 231  
აპექსი . . . . . 252  
აპოგეუმი . . . . . 285, 306  
არისტარქე . . . . . 325, 326  
არისტოტელი . . . . . 325  
ასტროგრაფი . . . . . 207  
ასტროდინამიკა . . . . . 17  
ასტრომეტრია . . . . . 17, 18, 262  
ასტრონომია . . . . . 7—13, 16—20, 342, 343  
ასტრონომია და ფილოსოფია . . . . . 12, 13  
ასტრონომია გარეატმოსფერული . . . . . 16, 19  
ასტრონომია თეორიული . . . . . 17  
ასტრონომია პრაქტიკული . . . . . 17, 170  
ასტრონომია რენტგენული . . . . . 19  
ასტრონომია საავიაციო . . . . . 178  
ასტრონომია საზღვაოსნო . . . . . 17, 59, 178  
ასტრონომია სფერული . . . . . 16, 17  
ასტრონომიის ისტორია . . . . . 13—16  
ასტრონომიული ერთეული . . . . . 33, 332  
ასტრონომიული კოორდინატები . 17, 77, 80—83, 86—103  
ასტრონომიული პუნქტის განსაზღვრა . . . . . 176  
ასტრონომიული ყოველწლიური (წელიწადეული ანუ კალენდარი). . . . . 160, 163, 267, 269, 289, 290, 319, 321, 332  
ასტროსპექტროსკოპია . . . . . 18  
ასტროფიზიკა . . . . . 11, 17, 18  
ასტროფიზიკა თეორიული . . . . . 17, 18  
ასტროფოტომეტრია . . . . . 18  
აფელიუმი . . . . . 332  
აფსიდების ხაზი . . . . . 286, 287, 332  
„აღმოსავლეთი 4“ (კოსმ. ხომალდი) . . . . . 285

ახალი მთვარე . . . . . 270  
ახალი სტილი . . . . . 164—166  
ახალმთვარეობა . . . . . 273—276  
ბადროიანი მნათობის ამოსვლა-ჩასვლა და გავლა პერიდიანზე . . . . . 180—181  
ბადროიანი მნათობის სიდიდე . . . . . 266, 267  
ბერი კ. (რუსი მეცნიერი) . . . . . 232  
ბერის კანონი . . . . . 232  
ბესელი . . . . . 14, 217, 249  
ბესელისეული ელემენტები (დედამიწის ფიგურისა) . . . . . 217  
ბინდი . . . . . 192—198  
ბინდი ასტრონომიული . . . . . 195—197  
ბინდი სამოქალაქო . . . . . 195—197  
ბინდის სინათლე . . . . . 194, 226  
ბიუსი ე.ი. . . . . 324  
ბოლცმანისეული მუდმივა . . . . . 392  
ბრადლეი . . . . . 256  
ბრაჰე ტიხო . . . . . 325  
ბრუნო ჯ. . . . . 14, 344  
ბრწყინვალეობა . . . . . 28, 29  
ბუნიობა . . . . . 89  
გავლა პლანეტისა მზის დისკოზე . . . . . 329  
გაზაფხულის დედამეტოლოგიის წერტილი . . . . . 89, 107—109, 131, 150, 244, 246, 331  
გალაქტიკა (ჩვენი) . . . . . 8, 15, 18, 24, 25, 29  
გალაქტიკები . . . . . 8, 9, 25, 29  
გალაქტიკის ბრუნვა . . . . . 29  
გალილეი გ. . . . . 14, 344, 366  
გამა-ასტრონომია . . . . . 19  
განედის ვარიაციები . . . . . 240  
გარეატმოსფერული დაკვირვებანი (ასტრონომია) . . . . . 16, 19, 325  
გაუსის მუდმივა . . . . . 350  
გაჭრის (კრიტიკული) სიჩქარე . . . . . 361  
გაჭრის (კრიტიკული) სიჩქარე მზეზე და მთვარეზე . . . . . 392  
გეოდეზია . . . . . 177, 216  
გეოდეზია კოსმოსური . . . . . 217  
გეოიდი . . . . . 215, 216  
გეოცენტრული კოორდინატები . . . . . 261, 352  
გეოცენტრული მოძღვრება (სისტემა) . . . . . 247, 341, 342, 343  
გრავიმეტრია . . . . . 177, 216  
გრავიტაციის მუდმივა . . . . . 350  
გრავიტაციული შეშფოთება 30, 269, 272, 285, 363  
გრავიტაციული ძალა . . . . . 30, 350  
გრიგორიუს XIII (რომის პაპი) . . . . . 165  
გრინვიჩის პერიდიანი . . . . . 115, 116, 118  
დაბნელება მკრთალჩრდილოვანი (მთვარისა) . . . . . 313, 314  
დაბნელება ნაწილობრივი . . . . . 295, 304, 305, 307  
დაბნელება რგოლისებრი . . . . . 303, 307  
დაბნელება სრული . . . . . 294, 295, 301, 304—308, 315



დაბნელება ცენტრალური . . . . . 307  
დაბნელებათა ისტორიიდან . . . . . 324—326  
დაბნელებათა (მოძავალ) ცხრილი . . . . . 320  
დაბნელებათა წინასწარგამოთვლა 17, 316, 318,  
319, 321  
დაბნელების ეკლიპტიკური საზღვარი . . . . . 315  
დახრილობა (ეკვატ.კოორდინატი) . . . . .  
88—91, 95, 96, 99, 100  
დახრილობის წრე . . . . . 88, 98  
დედამიწა . . 8, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 35, 39,  
40, 140—148, 210—224, 357—359  
დედამიწის ატმოსფერო . . . . . 221—226, 372  
დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტი-  
კისადმი . . . . . 141, 142  
დედამიწის მაგნიტური ველი . . . . . 220, 221  
დედამიწის მასა . . . . . 218, 219  
დედამიწის მოძრაობანი . . 140, 141, 227—237,  
247—252, 286, 331—334, 347—350  
დედამიწის პოლუსების გადაადგილება . 240, 241  
დედამიწის სიდიდე . . . . . 214  
დედამიწის სიმკვრივე . . . . . 218, 219  
დედამიწის ფიგურა . . . . . 214, 236  
დედამიწის შინაგანი აგებულება . . . . . 219, 372  
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი 10, 17, 198,  
212—214, 217, 218, 221, 222, 224, 226, 272,  
285, 325, 356, 357, 361, 374—378  
დეფერენტი . . . . . 341, 342  
დიგრესია . . . . . 104  
დიდი პირისპირდგომა (მარსისა) . . . . . 338  
დილისა და საღამოს ხანგრძლივობა . . . 138, 139  
დრაკონული თვე . . . . . 285, 287, 300, 301  
დრაკონული წელიწადი . . . . . 169  
დრო ადგილობრივი 113—116, 119, 121, 161, 162  
დრო გრინვიჩისა (ნულოვან მერიდიანზე) 115,  
120, 161, 162  
დრო დეკრეტული . . . . . 120, 121, 139  
დრო დინამიკური . . . . . 240  
დრო ეფემერიდული . . . . . 239, 240  
დრო ვარსკვლავთმძიერი 105, 107—109, 157—163  
დრო ზოლური . . . . . 116, 117, 119, 121, 161  
დრო თბილისისა . . . . . 118  
დრო მზისმძიერი . . . . . 105, 109—111, 157—163  
დრო მოსკოვისა . . . . . 117, 118, 120  
დრო მსოფლიო . . . . . 115, 117, 119  
დრო ორმაგი საზაფხულო . . . . . 121  
დრო საზაფხულო . . . . . 121, 162  
დროის აღრიცხვა . . . . . 11, 13, 17  
დროის გაზომვა . . . . . 105, 112  
დროის განტოლება (სწორება) . . . . . 110, 111, 122,  
139, 333—335  
დროის სამსახური . . . . . 171  
დროის სკალა . . . . . 31  
დღე-ღამე ვარსკვლავთმძიერი 106, 107, 112, 129, 130  
დღე-ღამე მზისმძიერი . . 106, 107, 110, 111, 129, 130  
დღე-ღამის ხანგრძლივობა . . . . . 237, 238, 240

დღელამტოლობა . . 89, 125, 131, 147, 166, 244, 246  
დღელამტოლობის კოლური . . . . . 89  
დღელამტოლობის წერტილები . . . . . 89, 90, 131  
დღელამტოობის პარალელი . . . . . 73, 74, 89, 100  
დღისა და ღამის ხანგრძლივობა . . 124, 125, 135,  
. . . . . 146, 148  
ეგზოსფერო . . . . . 224  
ეგოროვი ბ.ბ. (კოსმონავტი) . . . . . 58  
ეკვატორიალი (ეკვატორული დანადგარი) 92—94,  
. . . . . 201  
ეკვატორის დახრა ეკლიპტიკისადმი . . . . . 152  
ეკვატორული სისტემა კოორდინატებისა . . . 88,  
. . . . . 90—93, 99, 101  
ეკლიპტიკა . . . . . 13, 130, 131, 149, 151—156  
ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი . . . . . 153  
ეკლიპტიკის პოლუსი . . . . . 243  
ეკლიპტიკური კოორდინატები . . . 331, 351, 352  
ელექტრო-მაგნიტური გამოსხივების სპექტრი  
. . . . . 222, 223  
ელონგაცია . . . . . 104  
ენერგიის განტოლება . . . . . 360  
ეპიციკლი . . . . . 341, 342  
ეპიციკლოიდა . . . . . 283  
ეპოქა . . . . . 353  
ეროსი (მცირე ცთომილი) . . . . . 266  
ეროსის პარალაქსი . . . . . 266  
ეროსის პირისპირდგომა . . . . . 266  
ეფემერიდები . . . . . 17, 239, 353, 362  
ეფემერიდული დრო . . . . . 239, 240  
ექსტრაპოლაცია . . . . . 45, 46  
ვარსკვლავები . . . . . 7, 9, 15, 26, 226  
ვარსკვლავები ამოუსვლელი . . . . . 100  
ვარსკვლავები ჩაუსვლელი . . . . . 100  
ვარსკვლავთა ასტრონომია (სამეცნიერო დისციპ-  
ლინა) . . . . . 18, 262  
ვარსკვლავთა გროვები . . . . . 9, 29  
ვარსკვლავთა დინამიკა . . . . . 18  
ვარსკვლავთა ევოლუცია . . . . . 18  
ვარსკვლავთა კატალოგები . . . . . 15, 91  
ვარსკვლავთა (მნათობთა) კოორდინატების გან-  
საზღვრა . . . . . 170, 172  
ვარსკვლავთა მანძილები . . . . . 14, 263  
ვარსკვლავთა მოძრაობა . . . . . 14, 29  
ვარსკვლავთა სისტემები . . . . . 17, 18  
ვარსკვლავთშორისეთი . . . . . 12, 26, 35  
ვარსკვლავშორისეთის გაზი . . . . . 27  
ვარსკვლავშორისეთის მტვერი . . . . . 27, 35  
ვარსკვლავთშორისეთული მატერია . . 8, 9, 15, 30  
ვარსკვლავი ანთებადი . . . . . 30  
ვარსკვლავი არამდგრადი . . . . . 9  
ვარსკვლავი ახალი . . . . . 9, 29  
ვარსკვლავი ზეახალი . . . . . 9, 29  
ვარსკვლავი ზეგზანტი . . . . . 28  
ვარსკვლავი ორჯერადი . . . . . 9





ვარსკლავი პოლარული (პოლუსის) . . . 72, 338  
 ვარსკლავი ფეთქებადი . . . . . 9  
 ვარსკლავი ცვალებადი . . . . . 29, 30, 168  
 ვარსკლავი ჯერადი . . . . . 9, 17, 73  
 ვარსკლავი „გედის 61“ . . . . . 249  
 ვარსკლავი „ვეგა“ („ქნარის α (ალფა)“) 243, 249,  
 . . . . . 324  
 ვარსკლავი „ვოლფის 457“ . . . . . 28  
 ვარსკლავი „ვოლფის 1055“ . . . . . 28  
 ვარსკლავი „ლომის α (ალფა)“ . . . . . 329  
 ვარსკლავი „მეეტლის ε (ეფსილონი)“ . . . 28  
 ვარსკლავი „მიცარი“ . . . . . 73  
 ვარსკლავი „ორიონის δ (დელტა)“ . . . . . 94  
 ვარსკლავი „პროქსიმა“ . . . . . 27, 249  
 ვარსკლავი „რიგელი“ . . . . . 27  
 ვარსკლავი „სირიუსი“ . . . . . 27, 338  
 ვარსკლავი „ცენტავრის α (ალფა)“ . . . 24, 27, 249  
 ვარსკლავი „ცეფეუსის W“ . . . . . 28  
 ვარსკლავის გავლის ფოტოელექტრული რეგის-  
 ტრაცია . . . . . 174  
 ვარსკლავის დაფარვა მთვარის მიერ 326–329  
 ვენერა 14, 20, 21, 295, 324, 329, 336, 337, 344,  
 . . . . . 358, 363, 379, 380  
 ვერცხლისებრი (მეზოსფერული) ღრუბელი 224  
 ვერძის წერტილი (იხ. გაზაფხულის დედამტო-  
 ლობის წერტილი)  
 ზენიტი . . . . . 59–61, 80, 81, 136  
 ზენიტური მანძილი . . . . . 80, 82  
 ზოდიაქო . . . . . 150  
 ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები 148, 150, 235, 244  
 თალესი მილეთელი . . . . . 324  
 თანავარსკვლავედები ზოდიაქური (იხ. ზოდიაქოს  
 თანავარსკვლავედები)  
 თანავარსკვლავედი . . . . . 13, 63  
 თანავარსკვლავედი „გედი“ . . . . . 243  
 თანავარსკვლავედი „დიდი დათვი“ 63, 71, 72, 80  
 თანავარსკვლავედი „ვერძი“ . . . . . 89, 244  
 თანავარსკვლავედი „თევზები“ . . . . . 28, 244  
 თანავარსკვლავედი „თხისრქა“ . . . . . 137  
 თანავარსკვლავედი „ორიონი“ . . . . . 27, 94, 243  
 თანავარსკვლავედი „პატარა (მცირე) დათვი“ 72,  
 . . . . . 243  
 თანავარსკვლავედი „სასწორი“ . . . . . 131, 244  
 თანავარსკვლავედი „ქალწული“ . . . . . 244  
 თანავარსკვლავედი „ქნარი“ . . . . . 243  
 თანავარსკვლავედი „ცეფეუსი“ . . . . . 243  
 თანამგზავრი ცთომილისა . . . . . 8, 9, 17  
 თარიღის გამოცვლის ხაზი . . . . . 119, 120  
 თეთრი ღამე . . . . . 196, 197  
 თეოდოლიტი . . . . . 84, 85  
 ინტერპოლაცია . . . . . 45  
 ინტერპოლაცია (ინტერპოლოზა შუაზე) . . . 48  
 ინტერპოლაცია (სტირლინგის ფორმულა) 47, 48

იონოსფერო . . . . . 223, 224  
 ირმის ნახტომი (რძიანი გზა) . . . . . 26  
 იულიუსი (რომაელი კეისარი) . . . . . 164  
 იულიუსისეული დღეები . . . . . 167, 168  
 იუპიტერი . . . 20, 21, 28, 220, 236, 324, 329,  
 . . . . . 344, 358, 363.  
 იუპიტერის თანამგზავრების დაბნელება . . 176  
 იუპიტერის თანამგზავრების დაფარვა . . . 329  
 კალენდარი . . . . . 163, 166–169  
 კალენდარი გრიგორიუსისეული (ახალი სტილი)  
 . . . . . 164, 165  
 კალენდარი იულიუსისეული (ძველი სტილი)...  
 . . . . . 164, 167  
 კალენდარი მთვარისმიერი . . . . . 168  
 კალენდარი შუე-მთვარისმიერი . . . . . 168, 169  
 კალენდარი მუსლიმანური (ჰიჯრა) . . . . . 168  
 კალენდარი ძველბაბილონური . . . . . 169  
 კალენდარი ძველებრაული . . . . . 169  
 კალენდარი ძველევგვიპტური . . . . . 168  
 კანტი . . . . . 14  
 კარტოგრაფია . . . . . 176  
 კეპლერი . . . . . 14, 325  
 კეპლერის კანონები . . . . . 14, 17, 355–358  
 კვადრატურა . . . . . 274, 338  
 კვაზარი . . . . . 30  
 კვანძი (ორბიტისა) . . . . . 286, 287, 353  
 კილოპარსკვი . . . . . 263  
 კლასიფიკაცია ცის სხეულებისა . . . . . 8, 9  
 კლიმატური სარტყელები . . . . . 137, 147  
 კოზირევი ნ.ა. . . . . 392  
 კომაროვი ვ. (კოსმონავტი) . . . . . 58  
 კომეტა . . . . . 9, 363  
 კონტაქტები დაბნელების დროს . . . . . 306  
 კონფიგურაცია პლანეტებისა . . . . . 340  
 კოორდინატები გეოცენტრული (ეკლიპტიკური)  
 . . . . . 352  
 კოორდინატები ტოპოცენტრული . . . . . 261  
 კოორდინატები ჰელიოცენტრული . . . . . 352  
 კოორდინატთა გარდაქმნის ფორმულები 101–103  
 კოპერნიკი . . . . . 14, 167, 247, 340, 343, 344.  
 კოპერნიკისეული მოძღვრება . . . 14, 228, 247, 249,  
 . . . . . 343, 344  
 კორელაცია . . . . . 54  
 კოსინუსის ფორმულა . . . . . 42  
 კოსმოგონია . . . . . 18  
 კოსმოლოგია . . . . . 13  
 კოსმონავიგაცია . . . . . 17, 176, 178  
 კოსმოსური გეოდეზია . . . . . 217  
 კოსმოსური ტრიანგულაცია . . . . . 213, 214  
 კრასოვსკი თ. . . . . 216  
 კრასოვსკისეული ელემენტები (დედამიწის ფი-  
 გურის) . . . . . 217  
 კრატერები მთვარეზე: „ალფონსი“, „არისტოტე-  
 ლი“, „არქიმედი“, „პლატონი“ . . . . . 388–389



კუთხმზომი იარაღები . . . . . 13, 83  
 კუთხური მანძილები ცაზე . . . . . 78–80  
 კულმინაცია . . . . . 97, 98  
 კულმინაციის მომენტი . . . . . 97  
 ლაპლასი . . . . . 14  
 ლიბრაცია . . . . . 291–293  
 ლომონოსოვი . . . . . 14, 329, 344  
 „ლუნა-3“ . . . . . 279  
 მაკსუტოვი დ.დ. . . . . 205  
 მანძილები მნათობებამდე . . . . . 259, 260, 263  
 მანძილები პლანეტებამდე . . . . . 340  
 მარსი . 20,21,264,265,325, 337–341,356,378,379  
 მეგაპარსეკი . . . . . 263  
 მეუესი ჯ. . . . . 325  
 მეორე კოსმოსური სიჩქარე . . . . . 361  
 მერიდიანული წრე . . . . . 173  
 მერკური . . . 20,21,29,329,330,337,356,358,363  
 მეტაგალაქტიკა . . . . . 9,26,29  
 მეტეორი . . . . . 8,9,225  
 მეტეორიტული სხეულები . . . . . 21  
 მზე . . . . . 7,9,12,20–24,27,28,268  
 მზებუდობა (მზედგომა) . . . . . 132,134,147,166  
 მზებუდობათა კოლური . . . . . 132  
 მზისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან .  
 . . . . . 324–326  
 მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები პო-  
 რიზონტზე . . . . . 123–124  
 მზის დაბნელება . . 10,12,13,17,294–301,317–  
 . . . . . 320,325  
 მზის დაბნელებათა სიხშირე . . . 308–311,317  
 მზის ზემოქმედება . . . . . 221  
 მზის კორონა . . . . . 12,395  
 მზის პარალაქსი (იხ. პარალაქსი მზისა)  
 მზის საშუალო სიმაღლე . . . . . 125,126,143  
 მზის სისტემა . . . . . 17,20,363  
 მზის სისტემის წარმოშობის ჰიპოთეზები . . . 14  
 მზის ხილული გადაადგილება ცაზე . . 123–130  
 მთაგრეხილი „აპენინები“ მთვარეზე . . . . 389  
 მთვარე . . . . 6–10,20,22,267,268,381,382,393  
 მთვარეზე ატმოსფერო . . . . . 391,392  
 მთვარის ალბედო . . . . . 389,390  
 მთვარის ბრუნვა . . . . . 276–280,291  
 მთვარის დაბნელება . . . 10,13,17,176,311–326  
 მთვარის დაბნელებათა სიხშირე . . . . 316,317  
 მთვარის დაბნელებათა წინასწარგამოთვლა  
 . . . . . 316,319,321–323  
 მთვარის ზედაპირი 269,325,327,382,383,386–388  
 მთვარის მთის სიმაღლის გამოთვლა . . 387,388  
 მთვარისმიერი დღე-ღამე . . . . . 370  
 მთვარის მოძრაობა სივრცეში . . . . . 270–272,  
 . . . . . 284,286,289  
 მთვარის მოძრაობის თეორია . . . . . 289,365  
 მთვარის ორბიტის თვისებები . . . . . 285–289

მთვარის პარალაქსი . . . . . 327  
 მთვარის რადიოგამოსხივება . . . . . 389  
 მთვარის სითბური გამოსხივება . . . . . 389  
 მთვარის ტემპერატურა . . . . . 390  
 მთვარის ფაზები . . . . . 13,270,272–274, 276  
 მთვარის შემაშფოთებელი (გრავიტაციული) მოქ-  
 მედება . . . . . 364  
 მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე . . 270  
 მიზიდულობის კანონი . . . . . 347, 350, 359  
 მიკრომეტრი კონტაქტიანი (უპიროვნო) . . . 173  
 მიკრომეტრი მარეგისტრირებელი . . . . . 173  
 მირაჟი . . . . . 189, 190  
 მიქცევა-მოქცევა . . . . 17, 268,280, 366–373  
 მიქცევა-მოქცევა დედამიწის ატმოსფეროში 372  
 მიქცევა-მოქცევა დედამიწის წიაღში . . . . 371  
 მსოფლიო მიზიდულობის კანონი (თეორია) 14,  
 . . . . . 17,29,218,239,350  
 მუკე პ. . . . . 325  
 მცირე პლანეტა (მცირე ცთომილი) 21, 265, 335  
 ნადირის წერტილი . . . . . 60, 76  
 ნაკიანი წელიწადი (იხ. წელიწადი ნაკიანი)  
 ნახევარჩრდილის არე (დაბნელებაში) . . . . 304  
 ნეპტუნი . . . . . 10, 15, 21, 22, 363  
 ნისლეული . . . . . 9  
 ნიუტონი . . . . . 14, 217, 325, 359, 366  
 ნიუტონის კანონები 17,29,218,239,348,349,350,  
 . . . . . 359  
 ნუტაცია . . . . . 241, 245–247, 254,255  
 ობსერვატორია . . . . . 13,14,16,19, 105,207–209  
 ობსერვატორია აბასთუმნის ასტროფიზიკური 16,  
 . . . . . 205, 208  
 ობსერვატორია ბიურაკანის ასტროფიზიკური 208  
 ობსერვატორია გრინვიჩის ასტრონომიული 14,39,  
 . . . . . 118, 209  
 ობსერვატორია ვილსონის მთაზე . . . . . 209  
 ობსერვატორია პალომარის მთაზე . . . . . 209  
 ობსერვატორია პულკოვოს ასტრონომიული . 14,  
 . . . . . 208, 211  
 ობსერვატორია ყირიმის ასტროფიზიკური . . 208  
 ობსერვატორია ჰამილტონისა (ლიკისა) . . . . 209  
 ოზონი . . . . . 222, 224  
 ოპოზიცია (იხ. პირისპირდგომა)  
 ოპოლცერი თ. . . . . 325  
 ორბიტა . . . . . 17, 355  
 ორბიტის ელემენტები . . 17,29,269,352–354,377  
 პარალაქსი . . . . . 256–262  
 პარალაქსი დღელამური . . . . . 259  
 პარალაქსი მარსისა . . . . . 265  
 პარალაქსი მზისა . . . . . 264–266  
 პარალაქსი მთვარისა . . . . . 259, 260  
 პარალაქსი წლიური . . . . . 256, 257, 262  
 პარალაქსი პორიზონტული . . . . . 259  
 პარალაქსური გადაადგილება . . . . . 249, 255–257  
 პარალაქსური კუთხე . . . . . 103, 257, 258  
 პარალაქსური სამკუთხედი . . . . . 103





პარსეკი . . . . .	263	საათის სვლა . . . . .	171
პასატები . . . . .	229, 230	საათის შესწორება . . . . .	171, 175
პერიგეუმი . . . . .	285, 286, 377	საათის წრე . . . . .	88
პერიპელიუმი . . . . .	332, 353	საათ-კუთხე . . . . .	98,99,107—110
პერტურბაციები . . . . .	363	საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირი . . .	16
პირდაპირი აღვლენა . . . . .	89—91	სავსემთვარეობა . . . . .	270, 272
პირდაპირი მოძრაობა . . . . .	287	სამყაროს აგებულების სისტემა . . . . .	13
პირველი ვერტიკალი . . . . .	75,76	სამყაროს ბრუნვის ღერძი . . . . .	67, 69, 76
პირველი კოსმოსური სიჩქარე . . . . .	374, 375	სამყაროს პოლუსები . . . . .	67,69,76
პირისპირდგომა . . . . .	264—266, 274,337,338	საპასაჟო ინსტრუმენტი . . . . .	173,174
პირისპირდგომა მარსისა . . . . .	337,338	საროსი . . . . .	299—301, 324
პირუკუ მოძრაობა ორბიტის კვანძისა (იხ. რეგ- რესია)		სატურნი . . . . .	20,21,22
პლანეტა (ცთომილი) . . . . .	7—10,15—17,21, 22, 335—338, 345, 346, 355—359	სიდერული თვე . . . . .	269,276,277,283,287,346
პლანეტა გარე, ზედა, შიდა, ქვედა . . . . .	336	სიდერული პერიოდი . . . . .	276, 345, 346
პლანეტათშორისი ნივთიერება . . . . .	8	სიდერული წელიწადი . . . . .	169
პლანეტების კონფიგურაცია . . . . .	340	სიზიგიები . . . . .	274
პლანეტების მოძრაობის თეორია . . . . .	13	სიმაღლე (ასტრონომიული კოორდინატი) 80—87	
პლანეტების მოძრაობის საერთო თვისებები 351		სიმძიმის ძალის ცვლილებანი დედამიწის ზედა- პირზე . . . . .	217
პლანეტის გავლა მზის დისკოზე . . . . .	329, 330	სინათლის წელი . . . . .	9, 24, 33, 263
პლანეტის დაფარვა მთვარის მიერ . . . . .	329	სინოდური თვე . . . . .	270,276,283,286,300,346
პლანეტის მასა . . . . .	358	სინოდური მოძრაობის განტოლება . . . . .	283
პლანეტოიდი . . . . .	335	სინოდური პერიოდი . . . . .	275,345,346
პლანეტური (ცთომილთა) სისტემა . . . . .	8,24	სინუსების ფორმულა . . . . .	43
პლატონის წელიწადი . . . . .	243	სიჩქარე კუთხური . . . . .	354
პლუტონი . . . . .	21, 24, 379	სიჩქარე პარაბოლური . . . . .	360
პოლარული დღე . . . . .	135	სიჩქარე ფართითი . . . . .	354
პოლარული (პოლუსის) ვარსკვლავი 71—73, 95, . . . . .	243	სიჩქარე წრფივი . . . . .	354
პოლარული მანძილი (კოორდინატი) . . . . .	90	სოზიგენი (ეგვიპტელი ასტრონომი) . . . . .	165
პოლარული ღამე . . . . .	135	სპექტრი მნათობისა . . . . .	18
პოლარული ციალი . . . . .	224,225	სპექტროგრაფი . . . . .	207
პოლარული წრე . . . . .	136	სპექტრული ანალიზი . . . . .	15,18,31
პოლუსისაზლო ვარსკვლავი . . . . .	104	სტირლინგის ფორმულა . . . . .	47, 48
პოლუსის სიმაღლე . . . . .	95	სტრატოსფერო . . . . .	224
პოლუსის წერტილი . . . . .	95,246	სტრუქტ. ვ. . . . .	14, 249
პოპოვიჩი პ.რ. (კოსმონავტი) . . . . .	285	სფერული კუთხე . . . . .	37
პრეცესია . . . . .	17,241—247, 354	სფერული სამკუთხედი . . . . .	38, 41
პრეცესიის მუდმივა . . . . .	246	სფერული ტრიგონომეტრია . . . . .	41
პროტუბერანცი . . . . .	22, 23, 30	სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულები . . . . .	43
პროქსიმა . . . . .	27, 249	სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორ- მულები . . . . .	41—45
პტოლემეოსი . . . . .	167, 342	ტელესკოპი . . . . .	8—10,14—16,26,93,94,198—209
პტოლემეოსისეული მოძღვრება (სისტემა) 228, . . . . .	247, 342, 344	ტელესკოპი ლინზა - სარკოვანი . . . . .	205
პულსარი . . . . .	30	ტელესკოპი მაქსუტოვისეული (მენისკური) 205	
რადიოასტრონომია . . . . .	19, 206	ტელესკოპი შმიდტისეული . . . . .	205
რადიოტელესკოპი . . . . .	10, 15,16,19,206,207	ტელესკოპის გამაღიდებლობის უნარი . . . . .	203
რეგრესია ორბიტის კვანძისა . . . . .	287	ტელესკოპის გარჩევის უნარი . . . . .	203
რეფლექტორი . . . . .	204,207—209	ტელესკოპის ოპტიკური ღერძი . . . . .	201
რეფრაქტორი . . . . .	204, 207, 208	ტელესკოპის შედწევის უნარი . . . . .	203
რეფრაქცია . . . . .	17, 181—187, 226	ტელესკოპის ფოკუსი . . . . .	200,201
რეფრაქციის მუდმივა . . . . .	186	ტელესკოპის ფოკუსის მანძილი . . . . .	200,201
საათი . . . . .	170, 171, 238	ტემპერატურული სკალა . . . . .	34,35
		ტერმინატორი . . . . .	280,281,388



ტიტანი (სატურნის თანამგზავრი) . . . . .	392
ტიტანია (ურანის თანამგზავრი) . . . . .	358
ტრიანგულაცია . . . . .	210, 211, 214
ტრიანგულაცია კოსმოსური . . . . .	212—214
ტროპიკი . . . . .	135, 137
ტროპოსფერო . . . . .	224, 225
უნივერსალური ინსტრუმენტი . . . . .	84, 85, 94
ურანი . . . . .	21, 22, 358
უწონადობა . . . . .	375
ფარდობითობის თეორია (იხ. აინშტაინის ფარ- დობითობის თეორია)	
ფეოდოროვი ე. კ. . . . .	218
ფეოკტისტოვი კ.პ. (კოსმონავტი) . . . . .	58
ფერფლისფერი სინათლე . . . . .	281, 282
ფოტოგრაფია . . . . .	15
ფოტოგრაფიული პატრული . . . . .	213
ფოტოელექტრული რეგისტრაცია . . . . .	174
ქანქარა . . . . .	232—236
ქრონოგრაფი . . . . .	173
ქრონოლოგია . . . . .	167
ქრონომეტრი . . . . .	173
შეერთება მთვარისა მზესთან . . . . .	237
შეერთება პლანეტისა მზესთან . . . . .	338
შემოდგომის დღედამტოლობის წერტილი . . . . .	131
შეშფოთება გრავიტაციული (იხ. გრავიტაციული შეშფოთება)	
შეშფოთებათა თეორია . . . . .	359, 365
შუადღის ხაზი . . . . .	74, 76
შტერნბერგის სახ. სახელმწ. ასტრონომიული ინსტიტუტი . . . . .	171
ჩრდილის სიგრძე შუადღისას . . . . .	137, 138
ცა . . . . .	55, 56, 63
ცამრგვალის ილუზორული შებრტყელება 187-189	
ცდომილება ალბათი . . . . .	51
ცდომილება გაზომვის . . . . .	49
ცდომილება დამზერის . . . . .	49
ცდომილება საშუალო არითმეტიკული . . . . .	50
ცდომილება საშუალო კვადრატული . . . . .	50
ცდომილება სისტემატური . . . . .	49
ცდომილება შემთხვევითი . . . . .	49
ცენტრის განტოლება . . . . .	335
ცთომილი (იხ. პლანეტა)	
ციკლონი . . . . .	230
ციმციმი . . . . .	192, 226
ცისარტყელა . . . . .	189—192
ცის ეკვატორი . . . . .	67, 69, 76, 77
ცის პერიდიანი . . . . .	74, 75, 76, 77
ცის მექანიკა . . . . .	17, 18, 289, 299, 365
ცის სფერო . . . . .	36, 56, 59, 69, 70, 77
ცის სხეულების წარმოშობა-განვითარება . . . . .	15
ცის ფერი . . . . .	192, 226
ძაფბადე (ძაფჯვარი) . . . . .	172—174
ძველი მთვარე . . . . .	265

ძველი სტილი . . . . .	164—166
ძრაობის რაოდენობის მომენტი . . . . .	238
ძრაობის რაოდენობის მუდმივობის კანონი . . . . .	238
წელთაღრიცხვა . . . . .	156, 163
წელთაღრიცხვა ძველი და ახალი . . . . .	164—166
წელიწადი ნაკიანი . . . . .	164—166
წელიწადის დრონი (სეზონები) . . . . .	143—148, 247
წელიწადი ტროპიკული 33, 156—159, 163—166, 240	
„წვიმების ზღვა“ (მთვარეზე) . . . . .	389
ხელოვნური კოსმოსური სხეულები 16, 17, 19, 359	
ჯავახიშვილი ი. . . . .	324
პალეი . . . . .	14
პალო . . . . .	189, 190
პელიომეტრი . . . . .	267
პელიოფიზიკა . . . . .	18
პეოლიოცენტრული კოორდინატები . . . . .	352
პელიოცენტრული სისტემა . . . . .	341—344
პენდერსონი თ. . . . .	14
პიპარქე . . . . .	167, 244, 326
პორიზონტი . . . . .	55—67, 80—88, 226
პორიზონტი ხილული (ფიზიკური) . . . . .	59
პორიზონტი ჭეშმარიტი (მათემატიკური) . . . . .	59
პორიზონტის დაწვეა . . . . .	58, 59
პორიზონტის სიშორე . . . . .	56—58
პორიზონტული კოორდინატების სისტემა . . . . .	82, 83,
. . . . .	86—88, 101



## შინაარსი

<b>პირველი გამოცემის წინასიტყვაობიდან</b>	3
<b>წინასიტყვაობა მეორე გამოცემისათვის</b>	4
<b>შესავალი</b>	7
§1. ასტრონომიის საგანი . . .	7
§2. ცის სხეულების კლასიფიკაცია . . .	8
§3. ასტრონომიული კვლევის მეთოდები . . .	9
§4. ასტრონომია და ცხოვრება . . .	10
§5. ასტრონომიის ისტორია სულ მოკლედ . . .	13
§6. ასტრონომიის დაყოფა დარგებად . . .	16
§7. ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან . . .	19
§8. სამყაროს ზოგადი მიმოხილვა . . .	20
 <b>თავი II</b>	
<b>წინასწარი და დამხმარე ცნობები</b>	32
§9. დიდი და მცირე რიცხვების ჩაწერის შესახებ . . .	32
§10. ძირითადი ერთეულები . . .	33
§11. ჯერადი და წილადი ერთეულები . . .	36
§12. სფეროს გეომეტრია . . .	36
§13. დედამიწის სფერო . . .	39
§14. სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულები . . .	41
§15. ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია . . .	45
§16. დამზერის ცდომილებათა შესახებ . . .	49
§17. კორელაციის შესახებ . . .	54
 <b>თავი III</b>	
<b>ცა. ცის სფერო. მთავარი წერტილები და წრეები ცის სფეროზე</b>	
§18. პორიზონტი . . .	55
§19. ცა. ცის სფერო . . .	56
§20. პორიზონტის სიშორე . . .	56
§21. პორიზონტის დაწვევა . . .	58
§22. ზენიტი . . .	59
§23. მნათობის ამოსვლა-ჩასვლა და ხილული მოძრაობა ცაზე . . .	61
§24. სამყაროს ბრუნვის ღერძი. სამყაროს პოლუსები. ცის ეკვატორი . . .	67
§25. პოლარული ვარსკვლავი . . .	71
§26. დედამიწის პარალელი . . .	73
§27. შუადღის ხაზი . . .	74
§28. ცის პერიდიანი . . .	74
§29. პირველი ვერტიკალი . . .	75
 <b>თავი IIII</b>	
<b>ასტრონომიული კოორდინატები</b>	77
§30. დამკვირვებელი და ცის სფერო . . .	77
§31. ხილული კუთხური მანძილები . . .	78
§32. პორიზონტული კოორდინატები. სიმაღლე და აზიმუტი. ზენიტური მანძილი . . .	80
§33. პორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხეზომი იარაღით . . .	83



§34. უნივერსალური ინსტრუმენტი და თეოდოლიტი . . .	84
§35. პორიზონტულ კოორდინატთა სისტემის თავისებურება . . .	86
§36. ეკვატორული კოორდინატები. დახრილობა და პირდაპირი აღვლენა . . .	88
§37. ეკვატორიალი . . .	92
§38. ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილის სიმაღლე პორიზონტიდან და დამკვირვებლის ადგილის განვლი . . .	95
§39. მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში. ადგილის გეოგრაფიული განვლის განსაზღვრა . . .	95
§40. მნათობის კულმინაცია . . .	97
§41. საათ-კუთხე . . .	98
§42. ჩაუსვლელი და ამოუსვლელი ვარსკვლავები . . .	100
§43. დამოკიდებულება პორიზონტულ და ეკვატორულ კოორდინატთა შორის . . .	101
§44. პარალაქსური სამკუთხედი. პარალაქსური კუთხე . . .	103
§45. პოლუსისა და ვარსკვლავის დიგრესია . . .	104

#### თ ა ვ ი IV

##### დ რ ო ი ს გ ა ზ ო მ ვ ა

105

§46. ვარსკვლავთმომიერი და მზისმომიერი დღე-ღამე . . .	105
§47. ვარსკვლავთმომიერი დრო . . .	107
§48. მზისმომიერი დრო . . .	109
§49. დროის სწორება . . .	110
§50. დროის გაზომვის პრობლემა . . .	112
§51. ადგილობრივი დრო . . .	113
§52. მსოფლიო დრო . . .	115
§53. ზოლური დრო . . .	116
§54. თარიღის გამოცვლის ხაზი . . .	119
§55. დეკრეტული დრო . . .	120

#### თ ა ვ ი V

##### მ ზ ი ს ხ ი ლ უ ლ ი წ ლ ი უ რ ი გა და ა დ გ ი ლ ე ბ ა ც ა ზ ე ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ე ბ ს შ ო რ ი ს . . . . .

123

§56. მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადაადგილება პორიზონტზე წლის განმავლობაში . . .	123
§57. დღისა და ღამის ხანგრძლივობის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში . . .	124
§58. მზის საშუალო სიმაღლის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში . . .	125
§59. მზის გადაადგილება ცაზე, ვარსკვლავების ფონზე . . .	126
§60. ეკლიპტიკა . . .	130
§61. გაზაფხულისა და შემოდგომის დედამეტოლოგიის წერტილები . . .	131
§62. ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობის წერტილები . . .	131
§63. მზის პირდაპირი აღვლენისა და დახრილობის ცვლილება წელიწადის განმავლობაში . . .	132
§64. პოლარული დღე და პოლარული ღამე . . .	134
§65. პოლარული წრეები და ტროპიკები დედამიწის ზედაპირზე . . .	135
§66. ჩრდილის სიგრძე შუადღისას . . .	137
§67. დღისა და საღამოს ხანგრძლივობათა შესახებ . . .	138

#### თ ა ვ ი VI

##### დ ე დ ა მ ი წ ი ს ს რ ბ ო ლ ა მ ზ ი ს გ ა რ შ ე მ ო

§68. დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო . . .	140
§69. დედამიწის ბრუნვის დერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი . . .	141
§70. წელიწადის დრონი (სეზონები) . . .	143





§71. მზის თანმიმდევრული მდებარეობანი ეკლიპტიკაზე. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები . . . .	148
§72. ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის განსაზღვრა მზის საშუალო სიმაღლეზე დაკვირვების საფუძველზე . . . .	152
§73. ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი . . . .	153

**თავი VII**

<b>წელთაღრიცხვა. კალენდარი . . . .</b>	<b>156</b>
§74. ტროპიკული წელიწადი . . . .	156
§75. დამოკიდებულება საშუალო მზისმიერ დროსა და ვარსკვლავთმხერ დროს შორის . . . .	157
§76. დროის სხვადასხვა ანგარიშის ურთიერთშედარება . . . .	161
§77. წელთაღრიცხვა. კალენდარი . . . .	163
§78. იულიუსისეული კალენდარი (ძველი სტილი) . . . .	164
§79. გრიგორიუსისეული კალენდარი (ახალი სტილი) . . . .	164
§80. კალენდართან დაკავშირებული სხვა საკითხები . . . .	166

**თავი VIII**

<b>პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები</b>	<b>170</b>
§81. მნათობის კოორდინატების განსაზღვრა მერიდიანში დაკვირვებით. საათი . . . .	170
§82. მერიდიანული წრე . . . .	172
§83. საპასაუო ინსტრუმენტი . . . .	173
§84. ადგილის განედის განსაზღვრა . . . .	174
§85. ადგილის გრძედის განსაზღვრა . . . .	175
§86. ასტრონომიის გამოყენება გეოდეზია-კარტოგრაფიაში, ზღვაოსნობაში, თვითმფრინავ-მძღოლობასა და კოსმონავიგაციაში . . . .	176
§87. მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა . . . .	178
§88. დროის შუალედის განსაზღვრა, რომლის განმავლობაში ბადროიანი მნათობი გადის მერიდიანს . . . .	180
§89. ასტრონომიული რეფრაქცია . . . .	181
§90. ცამრგვალის ილუზორული შებრტყელება . . . .	187
§91. მირაჟი. პალო. ცისარტყელა . . . .	189
§92. ვარსკვლავთ ციმციმი . . . .	192
§93. ცის ფერი. ბინდი. ბინდის სინათლე . . . .	192
§94. ტელესკოპი . . . .	198
§95. რადიოტელესკოპი . . . .	206
§96. ასტრონომიული ობსერვატორიები . . . .	207

**თავი IX**

<b>დედამიწა როგორც კოსმოსური სხეული</b>	<b>210</b>
§97. დედამიწის რადიუსის გაზომვა. ტრიანგულაცია . . . .	210
§98. კოსმოსური ტრიანგულაცია . . . .	212
§99. დედამიწის ჭეშმარიტი ფიგურა. მისი სიდიდე და შეკუმშულობა . . . .	214
§100. სიმძიმის ძალის ცვლილება დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ . . . .	217
§101. დედამიწის მასა და სიმკვრივე . . . .	218
§102. დედამიწის შინაგანი აგებულება . . . .	219
§103. დედამიწის ატმოსფერო . . . .	221
§104. დედამიწის მოძრაობები . . . .	227
§105. დედამიწის ბრუნვა და მისი დამამტკიცებელი მოვლენები . . . .	227
§106. დღე-ღამის ხანგრძლივობის ცვლილებანი . . . .	237
§107. ეფემერიდული დრო . . . .	239
§108. განედის ვარიაციები. დედამიწის პოლუსების გადანაცვლება . . . .	240
§109. პრეცესია და ნუტაცია . . . .	241
§110. დედამიწის წლიური მოქცევა მზის გარშემო (დედამიწის ორბიტული გარემოქცევა) და	



მისი დამამტკიცებელი ფაქტები . . .	247
§111. სხივის აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი . . .	252
§112. წლიური და დღედამური აბერაცია . . .	256
§113. წლიური და დღედამური პარალაქსი . . .	256
§114. დამოკიდებულება მნათობის პარალაქსსა და მანძილს შორის . . .	260
§115. მნათობის პარალაქსის განსაზღვრა დაკვირვებიდან . . .	261
§116. ვარსკვლავთა მანძილები . . .	263
§117. მზის პარალაქსის განსაზღვრა . . .	264
§118. დისკოიანი მნათობის სიდიდის განსაზღვრა . . .	266

## თ ა ვ ი X

მთვარის ხილული და ჭეშმარიტი მოძრაობა	268
--------------------------------------	-----

§119. მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე. მთვარის სიღერული თვე . . .	268
§120. მთვარის ფაზები. მთვარის სინოდური თვე . . .	270
§121. მთვარის მოძრაობა სივრცეში. მისი ხილული მოძრაობისა და ფაზების ახსნა . . .	270
§122. მთვარის ბრუნვა ღერძის ირგვლივ . . .	276
§123. ტერმინატორი. ფერფლისფერი სინათლე . . .	280
§124. დამოკიდებულება მთვარის სიღერულსა და სინოდურ თვეთა შორის . . .	283
§125. მთვარის გზა საპლანეტათშორისო სივრცეში . . .	283
§126. მთვარის ორბიტის თვისებები და ცვლილებები. მთვარის დრაკონული თვე . . .	285
§127. ცაზე მთვარის ხილვადობის ზოგი თავისებურების ახსნა . . .	289
§128. მთვარის ლიბრაცია . . .	291

## თ ა ვ ი XI

მზისა და მთვარის დაბნელება	294
----------------------------	-----

§129. მზის დაბნელება . . .	294
§130. მზის დაბნელების გამომწვევი მიზეზები . . .	295
§131. საროსი . . .	299
§132. მზის დაბნელების ვითარება . . .	301
§133. მზის დაბნელებათა სიხშირე . . .	308
§134. მთვარის დაბნელება და მისი ვითარება . . .	311
§135. რა პირობებში ხდება მთვარის დაბნელება . . .	314
§136. მზისა და მთვარის დაბნელებათა ზოგადი დახასიათება. მათი წინისწარგამოთვლა . . .	316
§137. მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლა . . .	321
§138. ცოტა რამ მზისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან . . .	324
§139. მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა . . .	326
§140. მერკურისა და ვენერას გავლა მზის დისკოზე . . .	329

## თ ა ვ ი XII

დედამიწისა და სხვა ცთომილების მოძრაობა მზის გარშემო	331
---	-----

§141. დედამიწის ორბიტა . . .	331
§142. პლანეტები და მათი ხილული მოძრაობა . . .	335
§143. სამყაროს გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა . . .	341
§144. პლანეტთა ორბიტების დახრა ეკლიპტიკისადმი . . .	345
§145. დამოკიდებულება პლანეტების გერემოქცევის სინოდურ და სიღერულ პერიოდებს შორის . . .	345
§146. მიზიდულობის კანონი . . .	347
§147. მზის სისტემის ცთომილების მოძრაობის საერთო დახასიათებელი . . .	351
§148. ეკლიპტიკური კოორდინატების სისტემის შესახებ . . .	351
§149. პლანეტთა ორბიტის ელემენტები . . .	352
§150. მოძრაობის კეპლერისეული კანონები . . .	355
§151. კეპლერის მესამე კანონის ზოგადი სახე . . .	357



§152. პლანეტების მასის გამოთვლა . . .	358
§153. მიზიდულობის თეორიასთან დაკავშირებული სხვა საკითხები . . .	359
§154. ზღვა-ოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევის მოვლენა . . .	366
§155. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის შესახებ. . .	374

### თ ა ვ ი XIII

#### მ თ ვ ა რ ე

381

§156. მანძილი მთვარემდე . . .	381
§157. მთვარის სიდიდე . . .	381
§158. მთვარის მასა. მიზიდულობის ძალის სიდიდე მთვარის ზედაპირზე . . .	382
§159. მთვარის სიმკვრივე . . .	386
§160. მთვარის ზედაპირის აღწერა . . .	386
§161. მთვარის ალბედო. სითბური და რადიოგამოსხივება . . .	389
§162. ტემპერატურა მთვარეზე . . .	390
§163. მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს . . .	391
§164. მთვარის ზედაპირულ წარმონაქმნთა ბუნება . . .	393
§165. კოსმოსური სივრცის მეცნიერული ათვისება და მთვარე . . .	394

#### პირთა და საგანთა საძიებელი

396



## СОДЕРЖАНИЕ

Из предисловия к первому изданию . . . . .	5
Предисловие ко второму изданию . . . . .	6
В в е д е н и е . . . . .	7
§ 1. Предмет астрономии . . . . .	7
§ 2. Классификация небесных тел . . . . .	8
§ 3. Методы астрономических исследований . . . . .	9
§ 4. Астрономия и жизнь . . . . .	10
§ 5. История астрономии в самом сжатом изложении . . . . .	13
§ 6. Деление астрономии на отдельные дисциплины . . . . .	16
§ 7. Связь астрономии с другими науками . . . . .	19
§ 8. Общее описание Вселенной . . . . .	20
<b>Глава I</b>	
<b>Предварительные и вспомогательные сведения . . . . .</b>	<b>32</b>
§ 9. О записи больших и малых чисел . . . . .	32
§ 10. Основные единицы . . . . .	33
§ 11. Кратные и дробные единицы . . . . .	36
§ 12. Геометрия сферы . . . . .	36
§ 13. Земной шар . . . . .	39
§ 14. Основные формулы сферической тригонометрии . . . . .	41
§ 15. Интерполяция и экстраполяция . . . . .	45
§ 16. Об ошибках наблюдений . . . . .	49
§ 17. О корреляции . . . . .	54
<b>Глава II</b>	
<b>Небо. Небесная сфера. Основные точки и окружности на небесной сфере . . . . .</b>	<b>55</b>
§ 18. Горизонт . . . . .	55
§ 19. Небо. Небесная сфера . . . . .	56
§ 20. Дальность горизонта . . . . .	56
§ 21. Понижение горизонта . . . . .	58
§ 22. Зенит . . . . .	59
§ 23. Восход и заход светил и их видимое движение по небосводу . . . . .	61
§ 24. Ось мира. Полюсы мира. Небесный экватор . . . . .	67
§ 25. Полярная звезда . . . . .	71
§ 26. Суточная параллель . . . . .	73
§ 27. Полуденная линия . . . . .	74
§ 28. Небесный меридиан . . . . .	74
§ 29. Первый вертикал . . . . .	75
<b>Глава III</b>	
<b>Астрономические координаты . . . . .</b>	<b>77</b>
§ 30. Наблюдатель и небесная сфера . . . . .	77
§ 31. Видимые угловые расстояния . . . . .	78
§ 32. Горизонтальные координаты. Высота и азимут. Зенитное расстояние . . . . .	80
§ 33. Измерение горизонтальных координат с помощью угломерных инструментов . . . . .	83
§ 34. Универсальный инструмент и теодолит . . . . .	84
§ 35. Особенность горизонтальной системы координат . . . . .	86
§ 36. Экваториальные координаты. Склонение и прямое восхождение . . . . .	88
§ 37. Экваториал . . . . .	92
§ 38. Высота точки полюса над горизонтом и широта места наблюдателя . . . . .	95
§ 39. Определение склонения светила в одном частном случае. Определение геогра- фической широты места . . . . .	95





УДК 52(075.8)  
ББК 22.01(075.8)

§ 40. Кульминация светила . . . . .	97
§ 41. Часовой угол . . . . .	98
§ 42. Незаходящие и невосходящие звезды . . . . .	100
§ 43. Связь между горизонтальными и экваториальными координатами . . . . .	101
§ 44. Параллактический треугольник. Параллактический угол . . . . .	103
§ 45. Дигрессия околополярной звезды . . . . .	104

#### Глава IV

Исчисление времени . . . . .	105
------------------------------	-----

§ 46. Звездные и солнечные сутки . . . . .	105
§ 47. Звездное время . . . . .	107
§ 48. Солнечное время . . . . .	109
§ 49. Уравнение времени . . . . .	110
§ 50. Проблема счисления времени . . . . .	112
§ 51. Местное время . . . . .	113
§ 52. Мировое время . . . . .	115
§ 53. Поясное время . . . . .	116
§ 54. Линия изменения даты . . . . .	119
§ 55. Декретное время . . . . .	120

#### Глава V

Видимое годовое перемещение Солнца на звездном небе . . . . .	123
---	-----

§ 56. Смещение точек восхода и захода Солнца на горизонте в течение года . . . . .	123
§ 57. Изменение продолжительности дня и ночи в течение года . . . . .	124
§ 58. Изменение полуденной высоты Солнца в течение года . . . . .	125
§ 59. Перемещение Солнца по небу на фоне звезд . . . . .	126
§ 60. Эклиптика . . . . .	130
§ 61. Точки весеннего и осеннего равноденствий . . . . .	131
§ 62. Точки летнего и зимнего солнцестояний . . . . .	131
§ 63. Изменения прямого восхождения и склонения Солнца в течение года . . . . .	132
§ 64. Полярный день и полярная ночь . . . . .	134
§ 65. Полярные круги и тропики на поверхности Земли . . . . .	135
§ 66. Длина полуденной тени . . . . .	137
§ 67. О продолжительности утра и вечера . . . . .	138

#### Глава VI

Обращение Земли вокруг Солнца . . . . .	140
---	-----

§ 68. Годовой путь Земли вокруг Солнца . . . . .	140
§ 69. Наклон оси вращения Земли к эклиптике . . . . .	141
§ 70. Времена года (сезоны) . . . . .	143
§ 71. Последовательные положения Солнца на эклиптике. Зодиакальные созвездия . . . . .	148
§ 72. Определение наклона эклиптики к экватору на основании наблюдений высоты Солнца . . . . .	152
§ 73. Наклон эклиптики к горизонту . . . . .	153

#### Глава VII

Времяисчисление. Календарь . . . . .	156
--------------------------------------	-----

§ 74. Тропический год . . . . .	156
§ 75. Зависимость между средним солнечным и звездным временем . . . . .	157
§ 76. Сравнение между собой различных систем времяисчисления . . . . .	161
§ 77. Времяисчисление. Календарь . . . . .	163
§ 78. Юлианский календарь (старый стиль) . . . . .	164
§ 79. Григорианский календарь (новый стиль) . . . . .	164
§ 80. Вопросы связанные с календарем . . . . .	166





**Глава VIII**  
**Элементы практической астрономии . . . . . 170**

§ 81. Определение координат светил по наблюдениям в меридиане. Часы . . . . .	170
§ 82. Меридианный круг . . . . .	172
§ 83. Пассажный инструмент . . . . .	173
§ 84. Определение широты места . . . . .	174
§ 85. Определение долготы места . . . . .	175
§ 86. Применение астрономии в геодезии, картографии, кораблевождении, самолето- вождении и в космонавтике . . . . .	176
§ 87. Вычисление моментов восхода и захода светила . . . . .	178
§ 88. Определение промежутка времени в течение которого дискообразное светило проходит через меридиан . . . . .	180
§ 89. Астрономическая рефракция . . . . .	181
§ 90. Иллюзорная сплюснутость небосвода . . . . .	187
§ 91. Мираж. Гало. Радуга . . . . .	189
§ 92. Мерцание звезд . . . . .	192
§ 93. Цвет неба. Сумерки. Сумеречный свет . . . . .	192
§ 94. Телескоп . . . . .	198
§ 95. Радиотелескоп . . . . .	206
§ 96. Астрономические обсерватории . . . . .	207

**Глава IX**  
**Земля как космическое тело . . . . . 210**

§ 97. Измерение радиуса Земли. Триангуляция . . . . .	210
§ 98. Космическая триангуляция . . . . .	212
§ 99. Истинная фигура Земли. Ее величина и сжатие . . . . .	214
§ 100. Изменение силы тяжести по поверхности Земли . . . . .	217
§ 101. Масса и плотность Земли . . . . .	218
§ 102. Внутреннее строение Земли . . . . .	219
§ 103. Атмосфера Земли . . . . .	221
§ 104. Движение Земли . . . . .	227
§ 105. Вращение Земли и явления, доказывающие вращение . . . . .	227
§ 106. Изменения продолжительности суток . . . . .	237
§ 107. Эфемеридное время . . . . .	239
§ 108. Вариаций широты; перемещение полюсов Земли . . . . .	240
§ 109. Прецессия и нутация . . . . .	241
§ 110. Годичное обращение Земли вокруг Солнца (орбитальное обращение Земли) и явления, доказывающие его . . . . .	247
§ 111. Закономерности абберрационного смещения луча . . . . .	252
§ 112. Годичная и суточная абберрации . . . . .	256
§ 113. Годичный и суточный параллакс . . . . .	256
§ 114. Связь между параллаксом и расстоянием светила . . . . .	260
§ 115. Определение параллакса светила из наблюдений . . . . .	261
§ 116. Расстояние до звезд . . . . .	263
§ 117. Определение параллакса Солнца . . . . .	264
§ 118. Определение размера дискообразных светил . . . . .	266

**Глава X**  
**Видимое и истинное движение Луны . . . . . 268**

§ 119. Видимое перемещение Луны по небу. Сидерический месяц Луны . . . . .	268
§ 120. Фазы Луны. Синодический месяц Луны . . . . .	270
§ 121. Движение Луны в пространстве. Объяснение ее видимого движения и фаз . . . . .	270
§ 122. Вращение Луны вокруг ее оси . . . . .	276
§ 123. Терминатор. Пепельный свет . . . . .	280
§ 124. Связь между сидерическим и синодическим месяцем Луны . . . . .	283
§ 125. Путь Луны в межпланетном пространстве . . . . .	283
§ 126. Свойства и изменения орбиты Луны . . . . .	285





§ 127. Объяснение некоторых особенностей условий видимости Луны на небе . . . . .	289
§ 128. Либрация Луны . . . . .	291

Беларуская навука  
Беларуская энцыклапедыя  
Беларуская літаратура

## Глава XI

<b>Затмения Солнца и Луны . . . . .</b>	<b>294</b>
---	------------

§ 129. Затмение Солнца . . . . .	294
§ 130. Причины, вызывающие затмение Солнца . . . . .	295
§ 131. Сарос . . . . .	299
§ 132. Течение солнечного затмения . . . . .	301
§ 133. Частота солнечных затмений . . . . .	308
§ 134. Лунное затмение и его течение . . . . .	311
§ 135. Условия, при которых происходит лунное затмение . . . . .	314
§ 136. Общая характеристика солнечных и лунных затмений. Их предвычисление . . . . .	316
§ 137. Предвычисление лунного затмения . . . . .	321
§ 138. Немного из истории солнечных и лунных затмений . . . . .	324
§ 139. Покрытие звезд Луной . . . . .	326
§ 140. Прохождение Меркурия и Венеры по диску Солнца . . . . .	329

## Глава XII

<b>Движение Земли и планет вокруг Солнца . . . . .</b>	<b>331</b>
--	------------

§ 141. Орбита Земли . . . . .	331
§ 142. Планеты и их видимые движения . . . . .	335
§ 143. Геоцентрическая и гелиоцентрическая система мира . . . . .	341
§ 144. Наклон орбит планет к эклиптике . . . . .	345
§ 145. Зависимость между синодическим и сидерическим периодами обращения планет . . . . .	345
§ 146. Закон тяготения . . . . .	347
§ 147. Общие характеристики движения планет . . . . .	351
§ 148. Об эклиптической системе координат . . . . .	351
§ 149. Элементы планетных орбит . . . . .	352
§ 150. Кеплеровы законы движения . . . . .	355
§ 151. Общий вид третьего закона Кеплера . . . . .	357
§ 152. Вычисление массы планеты . . . . .	358
§ 153. Другие вопросы, связанные с теорией тяготения . . . . .	359
§ 154. Приливы и отливы воды в морях и океанах . . . . .	366
§ 155. О движении искусственных спутников Земли . . . . .	374

## Глава XIII

<b>Луна. . . . .</b>	<b>381</b>
----------------------	------------

§ 156. Расстояние до Луны . . . . .	381
§ 157. Размеры Луны . . . . .	381
§ 158. Масса Луны. Сила притяжения на поверхности Луны . . . . .	382
§ 159. Плотность Луны . . . . .	386
§ 160. Описание поверхности Луны . . . . .	386
§ 161. Альbedo Луны. Тепловое и радиозлучение Луны . . . . .	389
§ 162. Температура на Луне . . . . .	390
§ 163. Луна лишена атмосферы . . . . .	391
§ 164. Природа образований лунной поверхности . . . . .	393
§ 165. Научное освоение космического пространства и Луна . . . . .	394

<b>Именной и предметный указатель . . . . .</b>	<b>396</b>
---	------------



გამომცემლობის რედაქტორი ლ. გამცემლიძე  
მხატვარი გ. ლომიძე  
სამხატვრო რედაქტორი ი. ჩიქვინიძე  
ტექნიკური რედაქტორი ი. ხუციშვილი  
კორექტორი ქ. გაჩეჩილაძე

სბ № 1641

. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 3.07.90 საბეჭდო ქაღალდი  
70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 36,1. სააღრ.-საგამომც. თაბახი 29,49.  
გარნიტურა აკადემიური. ტირაჟი 1000. შეკვეთის № 1259.

**ფასი 5 მან.**

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა.  
თბილისი, 380028, ი. ჭავჭავაძის პროსპექტი, 14.

---

საქ. მეცნ. აკადემიის სტამბა, თბილისი 380060, კუტუზოვის ქ., 19  
Типография АН. Грузии, Тбилиси 380060, ул. Кутузова, 19

---



ЕВГЕНИЙ КИРИЛЛОВИЧ  
ХАРАДЗЕ

ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

I

(на грузинском языке)

Издательство Тбилисского университета

Тбилиси 1991



23/3

УДК 62-50  
62-50:62-50