

მეცნიერი ხარაძე

ასტრონომიის საფუძვლები

I

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო
სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ
დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
სტუდენტებისათვის



თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა
თბილისი 1971

წიგნი წარმოადგენს ზოგადი ასტრონომიის ვრცელი კერსის 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. მასში შევა აგრეთვე ორივე ტომისათვის განკუთვნილი ამოცანები და სავარჯიშოები, დამხმარე ცხრილები და სხვა დამატებანი.

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

ფიგ სამსახურს გაუწევს საშუალო სკოლის ასტრონომიის მასწავლებლებსაც

წინასიტყვაობა

„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 ხტუდენტებს. 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 გაეცნოს.

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

წიგნი სასარგებლო უნდა იყოს ასტრონომიის დარგის ასპირანტთათვისაც, მეტადრე იმათთვის, რომლებიც უმაღლეს სასწავლებელს ამთავრებენ არა როგორც ასტრონომები, არამედ როგორც ფიზიკოსები, გეოფიზიკოსები, გამოთვლითი მათემატიკის სპეციალისტები და სხვ. ამ დარგების სპეციალისტთა მიერ ასტრონომის 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 მასწავლებლები.

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 კუთხმზომი იარაღებითა და ტელესკოპებით, მაგრამ ჭერჯერობით მათი დიდონაკლებობაა როგორც საშუალო სკოლაში, ისე პედაგოგიურ ინსტიტუტებში.

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

წყობი ყოფილიყო. ამასთან დაკავშირებით ზოგ შემთხვევაში გვერდი ავუარეთ 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 ერთმეორისაგან, 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, დაკავშირებული როგორც მეორე, ისე პირველი ტომის მასალასთან (მაგ., გარეატმოსფერული ასტრონომიის, ცის მექანიკის, ფარდობითობის თეორიის საკითხები და სხვ.), ამოცანები, სავარჯიშოები და საცნობარო ცხრილები.

წინამდებარე პირველი ტომის ხელნაწერი წაიკითხეს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის კათედრის თანამშრომლებმა, რომელთაც გულწრფელ მადლობას მოვასხენებ სასარგებლო შენიშვნებისათვის.

იმედი უნდა ვიქონიოთ, რომ წიგნის ხმარების პროცესში ნათელი გახდება მისი ნაკლოვანებები და წიგნის მომხმარებლების შენიშვნები და რჩევები დაგვეხმარება მის შემდგომ გაუმჯობესებაში.

ПРЕДИСЛОВИЕ

«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 проникнуть 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 рисунку

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, связанные с материалом как 2-го, так и 1-го тома (напр., вопросы внеатмосферной астрономии, небесной механики, теории относительности и др.), а также задачи, упражнения и справочные таблицы.

С настоящим томом в рукописи ознакомились сотрудники кафедры астрономии Тбилисского государственного университета, которым автор выражает искреннюю благодарность за полезные замечания.

Автор надеется, что в процессе пользования книгой полнее будут выявлены ее недостатки, а замечания и советы со стороны ее читателей окажут пользу для её дальнейшего улучшения.

შესავალი

ასტრონომიის საგანი. ასტრონომია საბუნებისმეტყველო მეცნიერების დარგია, რომელიც შეისწავლის ცის მნათობებს: ვარსკვლავებს, მზეს, მთვარეს, პლანეტებს ანუ ეთომილებს, 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 დედამიწეც 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 — გეოღეზია, 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, განზოლოებული, შედარებით მკვირივ 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 ვაბნეული. ეს ნივთიერება მოკლებულია წესიერ ფორმებს, მრავალ შემთხვევაში უხილავიცაა უშუალო დაკვირვებისათვის, თუმცა თავისი მოქმედებით, ცის სხვა სხეულებთან

კავშირით, მასითა და სხვა თვისებებით მისი როლი მეტად დიდია ასტრონომიულ სამყაროში. აქამდე მატერიის ეს სახეობა—ვარსკვლავთშორისეთული ნივთიერება—ასტრონომიული და ასტროფიზიკური ერთობ გაცხოველებული კვლევის საგანს წარმოადგენს. უეჭველია, რომ სამყაროს უსაზღვრო სივრცეებში მატერიალური სხეულები მოიპოვება ისეთი სახეობებითაც, რომლებიც ჯერ კიდევ აღმოუჩენელი და უცნობია ჩვენთვის.

ცის სხეულების კლასიფიკაცია. ცის სხეულების სიმრავლისა და ნირსახეობის გამო საკირო ხდება მათი კლასიფიკაცია — ერთგვარი დაჯგუფება მონათესავე ნიშნებით. პირველად მზეზე შეეჩერდეთ. თუმცა გარეგნულად იგი განსხვავდება მთვარისაგან, უფრო მკვეთრად — ცთომილებისაგან ანუ პლანეტებისაგან და მით უფრო—დედამიწისაგან, მაინც ერთად აღებული ეს სხეულები — მზე, დედამიწა, მთვარე, ცთომილები — ერთ ჯგუფს, ერთ სისტემას ანუ ოჯახს ქმნიან: მზის სისტემას ანუ პლანეტურ სისტემას. მასში შედიან, მაშასადამე, მზე როგორც ამ ოჯახის „ბურჯი“, ცთომილები ანუ პლანეტები, რომელნიც მზის გარშემო სრბოლავენ (მათთან ერთად დედამიწაც), და თანამგზავრები, რომელნიც ცთომილებს ახლავთ და მათ ირგვლივ მოიქცევიან ისე, როგორც მთვარე დედამიწის გარს. მანძილები ამ სხეულებს შორის ერთობ დიდია და შეუდარებლად მეტი, ვიდრე თვით მათი ზომები. ეს სხეულები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან საკუთარი ზომებით. მზე, მაგალითად, დედამიწასთან შედარებით გიგანტური სიდიდისაა. მზის სისტემა მოიცავს აგრეთვე კომეტებსა და მეტეორებს, რომელნიც აგებულით, ასევე—მოდრაობის 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 მანძილი პლანეტებს შორის. პლანეტებისაგან ვარსკვლავები მკვეთრად განსხვავდებიან 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 მზისეულ სხივებს. ტელესკოპი გამოაუღუნს მილიონობით ისეთ ვარსკვლავს, რომლებიც უხილავია შეუთარაღებელი თვალისათვის. ოპტიკურად რაც უფრო მძლავრი ტელესკოპი გამოიყენება, მით მეტი ვარსკვლავი დაიშორება, დაიკვირვება და შეისწავლება. მრავალ შემთხვევაში ვარსკვლავები ერთიანდებიან ჯერად სისტემებში და სხვადასხვა სახის გროვებში. ვარსკვლავთ დიდი ერთობლიობა, რომელშიც მათი რაოდენობა ას მილიარდს აღემატება, ვარსკვლავთშორისეთულ მატერიასთან ერთად ქმნის ე. წ. გალაქტიკას — ჩვენს გალაქტიკას.

მაგრამ ჩვენი გალაქტიკა ერთადერთი როდია. კვლევისათვის მისაწვდომ სივრცეში გალაქტიკების რაოდენობა აურაცხელია. მანძილები გალაქტიკებს შორის გაცილებით დიდია, ვიდრე თვით ცალკეული გალაქტიკების ზომები. ეს მანძილები მილიონობით სინათლის წლებით განისაზღვრება. სინათლის წელი ეს ის მანძილია, რომელსაც სხივი, გარბის რა წამში დაახლოებით 300000 კმ, ერთ წელიწადში გაავლის. გალაქტიკების ერთობლიობა ქმნის დიდ მეტაგალაქტიკურ სამყაროს. ამასთანავე, ისე როგორც ვარსკვლავები გალაქტიკის შიგნით, გალაქტიკებიც მეტაგალაქტიკის შიგნით მრავალ შემთხვევაში ერთიანდებიან ჯერად სისტემებსა.

და გროვებში. სიერცეც გალაქტიკებს შორის სრულიად თავისუფალი როლია გაბნეული ნივთიერებისაგან.

საგულისხმაა, 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 საღამოობითაა; მოჩანს როგორც მკრთალი ლაქისებრი წაგრძელებული წარმონაქმნი დაახლოებით 1—2^o-ის სიდიდისა, ე. ი. 3—4-ჯერ აღემატება საცე 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 არჩევაც, 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, ბრწყინვალეობას, სიმცხუნვარეს. შინაგანი ბუნების მიხედვით კლასიფიკაცია შემდეგ ცალკეულ ჯგუფებს მოგვემდღა: 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 გამფეხბული.

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 გამოითვალოს კიდევ ზოგიერთი ასტრონომიუ-

ლი მოვლენა, მაგალითად, შვისა და მთვარის დაბნელება, პერიოდული კომეტის გამოჩენა, ახალი, ჯერ უჩინარი პლანეტის აღვლმდებარეობა, 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 „ლაბორატორია“, 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, საპლანეტათმორისო ავტომატური სადგურებისა და თანამგზავრი-ხომალდების გამოყენება ასტრონომიული დაკვირვების მძლავრ, უსაზღვრო პერსპექტივების მქონე ახალ მეთოდად მოველინა მეცნიერებას.

ახლა თვით ადამიანი-მკვლევარი უშუალოდ შეიქრა კოსმოსურ სივრცეში, მართალია, ჯერ კიდევ მის ახლო ზონაში, მაგრამ იგი უკვე ახდენს დაკვირვებებსა და ექსპერიმენტებს დედამიწის ატმოსფეროს მეკარივე ფენების გარედან, თვისობრივად ახალ გარემოში, რაც ხელს უწყობს უფრო მდიდარი და უფრო ზუსტი ასტრონომიული მონაცემების მოპოვებას. ადამიანი თვითონ მივიდა მთვარეზე, უშუალოდ იკვლევს მას; ავტომატური სადგურები მთვარისა და ვენერას ზედაპირზე დაემუნენ; მთვარემაგალი ხანგრძლივ კვლევას ეწევა მთვარის ზედაპირზე.

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 დიდგნილ ფიზიკურ კანონებს, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში აღმოჩენილ ზოგად კანონზომიერებებს. თეორიული გაანგარიშებისა თუ ვარაუდის შედეგების შემოწმება კვლავ დაკვირვების საფუძველზე ხდება. ამრიგად, ბუნებრივია, ასტრონომია მიეკუთვნება ზუსტ მეცნიერებათა დარგებს.

ასტრონომია და ცხოვრება. ცის სხეულების უმაგალითო სიშორე არც იმას ნიშნავს, რომ ასტრონომია საზოგადოების პრაქტიკულ ინტერესებს მოწყვეტილ, განყენებულ მეცნიერებად შეიძლება ჩაქთვალოთ. პირიქით, ასტრონომია ძველთაგანვე ადამიანის პრაქტიკულ მოთხოვნათა დაკმაყოფილების ნიადაგზე აღმო-

ცენდა. 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 სხე.

ჩვენს დროში ასტრონომიული მეთოდებისა და ცოდნის პრაქტიკული გამოყენება შორს ვასცდა 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 მაგნიტიზმის მოვლენები, დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე მრავალნაირი პროცესები, ამინდი, მზის ენერჯის ტექნიკური გამოყენება და სხე.

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

მაგალითად, მრავალ გვხვდება ისეთი ვარსკვლავი, რომლის ზედაპირული ტემპერატურა 20000°-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 აწლთა სინათლის სიჩქარესთან, უმძლავრესი მაგნიტური და გრავიტაციული ველების ნივთიერებაზე ზეგავლენის მაგალითები, ძლიერი რენტგენისული გამოსხივება 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 ვაფართოვებთ 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 ენერჯის, 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 კვლევამ, რომელიც პირველად სრულიად აბსტრაქტულ ასპექტში მიმდინარეობდა, მიიყვანა ასტრონომ-მათემატიკოსები დინამიკის კანონების აღმოჩენამდე და დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვის საფუძვლების ჩამოყალიბებამდე. შე-

მდგომ კი. საზოგადოებისა და მეცნიერების განვითარების მსვლელობაში, ამან შექმნა თანამედროვე ტექნიკის მკვიდრი საძირკველი!

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

შუქძლებელია წინასწარ გაითვალისწინო ცოტათ 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 ფუნდამენტური ობიექტურ კანონზომიერებათა ერთიანი მოქმედება და სხვ., რის მოწმობასა და ილუსტრაციას უზავდ 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 ვინშტეინისეული ფარდობითობის თეორიის დასკვნები. დამზერითი ასტრონომიის მიერ მოპოვებული უხვი ცნობები დიდ ახალ თეორიულ პრობლემებს წამოკრის, 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.

ასტრონომიის ისტორია სულ მოკლეა. ასტრონომიული მეცნიერების ფესვები ღრმა წარსულშია. შეიძლება ითქვას, რომ იგი მაშინ ჩაისახა, როცა უძველესი დროის ადამიანი მისმა ყოველდღიურმა საქმიანობამ, პრაქტიკულმა ინტერესებმა აიძულა დაკვირებოდა გარემოსა და ცას, მნათობებსა და ციურ მოვლენებს. ძველ დროშივე იყო გავრცელებული მეჭოგეობა 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 შშის ხილული გზის წლიური პერიოდულობა, თანავარსკვლავედთა მდებარეობის კანონზომიერი ცვლა ის მოვლენები იყო, რომლებიც შენიშნა ადამიანმა, დააკვირდა, ჩაუფიქრა, სხვა მოვლენებს დაუკავშირა და გამოიყენა კიდევ როგორც დროის აღრიცხვის, რელიგიურ-სარიტუალო თარიღების დადგენის, ხოლო შემდგომ, შორეულ მოგზაურობებში, გარემოში გაგნების საშუალება.

ჯერ კიდევ VI საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე აღმოსავლეთის ხალხებში 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 შშის 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 ნაირნაირი კუთხმზომი იარაღები და დაყოფილი წრეები გამოიყენებოდა შშის, მთვარისა და ცთომილთა მოძრაობის უფრო ღრმად შესასწავლად. მრავლდებოდა დაკვირვებები. გროვდებოდა ცოდნა. საზოგადოების ეკონომიური განვითარება, ვაჭრობისა და ზღვაოსნობის გაფართოება, მრეწველობის ჩასახვა ახალ მოთხოვნ-

ებს უყენებდა მეცნიერებას და, კერძოდ, ასტრონომიასაც. ეს პროცესი დაგვირგვინდა მეცნიერებაში მთელი რიგი ახალი, რევოლუციური აღმოჩენებით, რომლებიც უკვე იმ ეპოქაში ათავისუფლებდა მეცნიერებას ცრურწმენისა და რელიგიის 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, „მიწიერს“ 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 კანონის 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—პულკოვისი, 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. პალეიმ (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 გარე 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 კუთვნილ 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 სამყაროს ასტრონომიულ კვლევას, რომელიც გადაიზარდა მზის მომცველი ვარსკვლავთ სისტემის აგებულების შესწავლაში. ხოლო პლანეტური სისტემის კვლევა ტრიუმფალუ-

რად 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 საფუძველების 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 წყალობით შესაძლებელი გახდა თეორიული გამოკვლევების განვითარება, რომლებიც შეეხება შხისა და ვარსკვლავების ატმოსფეროსა და წილის აგებულებას, გამოსხივების ენერჯის 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 ამჟამადც მიმდინარე პროცესია და მათ სამყაროში ხნიერი ვარსკვლავების გვერდით ახლად წარმოშობილებსაც ეხედებით.

მიმდინარე პერიოდი ასტრონომიის ისტორიაში ხასიათდება ძირითადად ორი გარემოებით. პირველი შეეხება ასტრონომიული დაკვირვებისა და კვლევის მეთოდებს, რომელთა შორის სულ უფრო და უფრო მეტად 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 პერსპექტივების მქონე გარეატმოსფერული დაკვირვებანი ხელოვნური კოსმოსური სხეულების მეშვეობით.

მეორე გარემოება ისაა, რომ მოპოვებული ფაქტების სიმრავლე და მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა უფრო ფართოდ და ღრმად შევისწავლოთ სხვადა-

სხვა ობიექტის ურთიერთობა, მოვლენებს შორის კავშირი, ერთიანი კანონ-
ზომიერებანი.

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

დიდი განვითარება განიცადა ასტრონომიამ საბჭოთა კავშირში. ეს გამოიხატა
არა მარტო დიდი მნიშვნელობის თეორიული გამოკვლევების შესრულებით და
ახალი თეორიების დამუშავებით, არამედ აგრეთვე თანამედროვე, დიდი ზომის ტე-
ლესკოპებისა და რადიოტელესკოპების შექმნითა და ახალი ობსერვატორიების
დაარსებით. მათ შორის არის საქართველოს ტერიტორიაზე, აბასთუმნის მახლობ-
ლად, 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—აშენდეს ახალი ობსერვატორიები,
ხოლო ძველი გაიტანონ ქალაქგარეთ, ქალაქის ხელოვნურ განათებას, მტვერს,
სამრეწველო ნაგებობების თანამგზავრ ჭვარტლსა და ბოლს მოშორებულ ადგილებ-
ში; ხშირად—გარკვეული მეცნიერული მიზნებით—მთიან ადგილებშიც, რომელთა
კარგი ატმოსფერული პირობები, როგორცაა გამჭვირვალობა, სიწყნარე და სხვ.,
ხელშემწყობია თანამედროვე იარაღებით წარმოებული ასტრონომიული და, კერ-
ძოდ, ასტროფიზიკური გამოკვლევების ნაყოფიერებისათვის.

დღეს მთელი დედამიწის ზურგი მოფენილია სამასზე მეტი ასტრონომიული
ობსერვატორიით; ამათ გარდა მუშაობას ეწევა სამოცზე მეტი რადიოასტრონომიუ-
ლი ობსერვატორია. მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა ობსერვატორიების მო-
წყობილობის ახალი დიდი ტელესკოპებით შევსებაზე და აგრეთვე ახალი ტექნიკის
ჩანერგვაზე ტელესკოპებთან კომბინაციაში გამოსაყენებლად. მიმდინარეობს აგრე-
თვე სპეციალური კონსტრუქციის ტელესკოპების დამზადება, რომლებიც ხელოვ-
ნური კოსმოსური სხეულების მეშვეობით გააქვთ ატმოსფეროს გარეთ, სადაც
მნათობების დასაკვირვებლად იდეალური პირობებია. თვით ადამიანი მიიქრა მთვა-
რეზე, საიდანაც ქანების სინჯები წამოიღო, და მისიწრაფვის ახლო მანძილიდან
უშუალოდ გამოიკვლიოს ჩვენი მეზობელი პლანეტები, რომლებსაც შორიდან ათას-
წლობით აკვირდებოდა.

ასტრონომიის დაყოფა დარგებად. თანამედროვე ასტრონომია მეტად გან-
ვითარებული, მრავალდარგიანი მეცნიერებაა. ჩამოვთვალოთ და მოკლედ დავახა-
სიათოთ მისი ძირითადი დარგები.

1) სფერული ასტრონომია გვასწავლის ცაზე მნათობების მდებარეო-
ბის განსაზღვრის მათემატიკურ მეთოდებს, მნათობთა კოორდინატების სხვადა-
სხვა მიზეზით (რეფრაქცია, პრეცესია და სხვ.) გამოწვეულ ცვლილებებს, დროის
აღრიცხვას, მზისა და მთვარის დაბნელებათა წინასწარგამოთვლას და სხვ.

2) პრაქტიკული ასტრონომია 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 საზღვაოსნო ასტრონომია და აერონავიგაცია, რომლებიც ემსახურებიან ადგილმდებარეობისა და დროის განსაზღვრას ზღვასა და ჰაერში, შესაბამისად.

ამჟამად ვითარდება კოსმონავიგაცია—კოსმოსურ სივრცეში ხომალდის ასტრონომიული ორიენტირების მეთოდების დამუშავებული დარგი და იწყება დამუშავება მეთოდებისა, რომელთა გამოყენება აუკლებელი იქნება ორიენტირებისათვის მთვარის ზედაპირზე და მთვარის ზედაპირიდან.

სფერული ასტრონომია და პრაქტიკული ასტრონომია ერთიანდებიან უფრო ფართო დარგში, რომელიც ცნობილია ასტრომეტრიის სახელწოდებით.

3) თეორიული ასტრონომია შეისწავლის მზის სისტემის სხეულთა ნამდვილ მოძრაობებს, ამ სხეულების ხილულ მდებარეობათა მიხედვით ორბიტების განსაზღვრის მეოთხედს და, პირველ, მნათობების ხალულ მდებარეობათა (ეფემერიდების) გამოთვლას ცნობილი ორბიტების ელემენტების მიხედვით. თეორიული ასტრონომია ეყრდნობა კეპლერის ელემენტების კანონებსა და ნიუტონის ელემენტარული მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოყენებას. ეს დარგი მეთოდურად და შინაარსობრივ უფრო მეტად მათემატიკურია.

4) ცის მექანიკაც 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 მიქცევა-მოქცევათა თეორიის საკითხებს, ცის სხეულების წინასწორობის პირობებს, მათ ფიგურებსა და სხვ. ცის მექანიკის მეთოდები გამოიყენება ვარსკვლავთა სისტემების, ჭრადი ვარსკვლავების კომპონენტთა მოძრაობის შესასწავლად, დაბოლოს,—ედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებისა და კოსმოსური რაკეტების მოძრაობის წინასწარ გაანგარიშებისათვის. ამ უკანასკნელი მიმართულებით წარმოებული გამოკვლევანი და მათი შედეგების გამოყენება საფუძველია ახალი დარგის განვითარებისა, რომელსაც ეწოდება ასტროდინამიკა.

5) ასტროფიზიკა, რომელსაც თანამედროვე ასტრონომიაში ერთგვარად ცენტრალური ადგილი უკავია, შეისწავლის ცის სხეულების ფიზიკურ თვისებებს: მათ სიკაშკაშეს, ტემპერატურას, გამოსხივების უნარს, მათა ატმოსფეროების ფიზიკურ მახასიათებლებსა და ქიმიურ შედგენილობასა და, საერთოდ. ყველა იმ მოვლენას, რომლებიც ცის სხეულების ფიზიკურ თვისებებზეა დამოკიდებული ან ამ თვისებებზე რაიმე ცნობას ვცაწვდის. მოკლედ, ასტროფიზიკა ანუ ფიზიკური ასტრონომია არის მეცნიერება ცის სხეულების ფიზიკური ბუნების შესახებ.

6) როგორც ცალკე დარგი, უნდა იქნეს დასახელებული თეორიული 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 ასტრონომიუ-

ლი პროცესები, რომლებიც თავის კვალს აჩვენებს მნათობთა სპექტრებს და მათ თავისებურებებში გამოვლინდება. თეორიული ასტროფიზიკის უშუალო კვლევის ასპარეზია მზისა და ვარსკვლავების ატმოსფერო, მათივე წიაღი, ნისლეულთა ნათების თეორიები, 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 სიერეში 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 დაყოფა თანამედროვე ასტრონომია ძირითად დარგებად. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ, ჯერ ერთი, ყოველთვის არ ხერხდება მკვეთრი მიჯნის გაკლება 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 კომპლექტურიდაც ჩაითვალოს. ასეთია, მაგალითად, კოსმოგონია, რომელიც შეისწავლის კოსმოსური სხეულების (ცთომილების, ვარსკვლავების) წარმოშობისა და ევოლუციის და სხვა პრობლემებს. მაგრამ, თუ საკითხს მიყუდდებით 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 გვეკირდება მათი ქვედარგებად დაყოფა. ასე შეიძლება გამოყოფილ იქნეს ასტროფიზიკაში ასტროფოტომეტრია (ცის მნათობთა სიკაშკაშის შემსწავლელი მეცნიერება), ასტროსპექტროსკოპია (მნათობთა შესწავლა სპექტრული ანალიზის საფუძველზე), ჰელიოფიზიკა (საკუთრივ მზის ფიზიკა) და სხვ. ვარსკვლავთა ასტრონომიაში შეიძლება ცალკე ქვედარგად გამოვეყოთ ვარსკვლავთა სისტემების დინამიკა და სხვ.

უკანასკნელ დროს სულ ახალი დარგიც გაჩნდა: რადიოასტრონომია.

ასტრონომიული კვლევის რადიოასტრონომიული მეთოდი ემყარება სამყაროს სხეულთა ელექტრომაგნიტურა გამოსხივების იმ ნაწილის რეგისტრაციასა და ანალიზს, რომელიც რადიოტალღების დიამაზონშია და, მაშასადამე, რადიომიმღებებით მიიღება როგორც „რადიოხმაური“. რადიოასტრონომიის მიერ მოპოვებული ინფორმაცია თვისობრივად ახალია და არსებითად ავსებს იმ ინფორმაციას, რო-

ნელსაც ჩვეულებრივი, ოპტიკური მეთოდებით, ე. ი. თვალის, ტელესკოპის, ფოტოფირფიტისა და სხვა მისთანათა გამოყენებით ვლებულობთ. არსებობს ბევრი ისეთი ობიექტი და მოვლენა, რომელთა მახასიათებელი მონაცემების მოპოვება შეუძლებელია ოპტიკური ტელესკოპებით, მაგრამ მისაწვდომია რადიოტელესკოპებით.

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

უკვე ჩაისახა და კოსმოსურ მიღწევათა ჩვენს ეპოქაში ფართო პერსპექტივები აქვს ახალი დარგების — რენტგენისული ასტრონომიისა და გამა-ასტრონომიის განვითარებას. ამასთანავე ყალიბდება ასტრონომიის ერთი ახალი დიდი დარგი, რომელიც მთლიანად ეყრდნობა დაკვირვებებს ატმოსფეროს გარედან. ეს არის გარეატმოსფერული ასტრონომია.

წინამდებარე წიგნი გადმოსცემს ასტრონომიის საფუძვლებს, ასტრონომიის ზოგად მასალას და ამდენად იგი მოიცავს ყველა ზემოჩამოთვლილი დარგებისა და ქვედარგების ელემენტებს. თავისი შინაარსით იგი ჩაითვლება ზოგადი ასტრონომიის კურსად.

ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან. ზემოთ უკვე დავახასიათეთ ასტრონომიის კავშირი ფიზიკასთან, რომელთანაც მას აერთიანებს 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 გაღრმავებასთან დაკავშირებით უფრო ფართოდ გამოვლინდა მოვლენათა შორის ურთიერთკავშირი, ხშირად ვხვდებით პრობლემის კომპლექსურად კვლევის აუცილებლობას და ამის გამო — ერთი პრობლემა სხვადასხვა, ზოგჯერ არცთუ ერთმანეთთან ძალიან ახლობელი დარგებით გადაითარება. ეს გარემოება შეიძინევა ასტრონომიაშიც, რაც განსაზღვრავს მის აწმყო და მომავალ კავშირს სხვა მეცნიერებებთან.

① 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 იმავით დაგვარწმუნებს, თუ რა რიგ რთული საკითხები ყოფილა გარკვეული და რა რიგ 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 385000 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 მზია გარშემო ერთხელ შემოვლას. მას თავისი 12 მთვარე-თანამგზავრი ახლავს. იუპიტერს მოსდევს სატურნი—სიდიდით იუპიტერზე მცირე, მაგრამ მეტად საინტერესო მით, რომ იგი ერთადერთი ცნობილი კოსმოსური სხეულია, რომელიც გარემოცულია ერთგვარი მეტეორული შედგენილობის რგოლების სისტემით. 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.

* რიცხვ-ბრუნე მანაკნებში ამ პარაგრაფში მიახლოებითი და ღამრგვალებულია.

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

ჩამოთვლილი დიდი ცთომილების გარდა მზის სისტემაში შედის დღეისათვის ცნობილი 1750-ზე მეტი მცირე ცთომილი, რომლებიც მოთავსებულია და სრბოლავს მზის გარშემო, ძირითადად, მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის. მათთან ერთად მზის სისტემაში მრავლადაა კომეტები და აურაცხელია მეტეორები და მეტეორიტები. მეტეორიტები ერთადერთი სხეულებია, რომლებიც გარე კოსმოსიდან დედამიწის ატმოსფეროში შემოიჭრება, ზედაპირზე ცვივა და ამის წყალობით ფიზიკური და ქიმიური უშუალო ანალიზის ობიექტი ხდება.

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



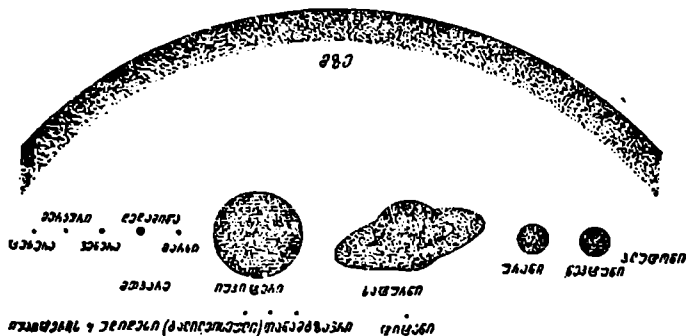
Fig. 1.

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

ცენტრალურ სხეულს მზის სისტემაში თვით მზე წარმოადგენს—გავარჯარებული, 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 6 ათას გრადუსს ეტოლება. მის წიაღში ტემპერატურა რამდენიმე მილიონ გრადუსს აღწევს. მზე გამოაფრქვევს ვეება ენერჯიას—სინათლეს, სითბოს, სხვადასხვაგვარ გამოსხივებას. მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენაში ხშირად ჩანს ისეთი წარმონაქმნები, რომლებსაც განვითარების განსაკუთრებით

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

მზის მიერ გამოფრქვეული სხივური ენერგიის ნაკადი შეგვიძლია გამოვითვალოთ იმ ენერგიის გაზომვით, რომელიც დედამიწის ზედაპირს მოაღწევს დროის ყოველ წამში. ეს ენერგია იმდენად უხვია, რომ მზის წიაღში უნდა მიმდინარეობდეს პროცესები, რომელთაც შეაწევთ უნარი განუწყვეტლივ გამოიმუშაონ



ნახ. 2.

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, როგორათაც ჩვენს ერაში დაიკვირვება.

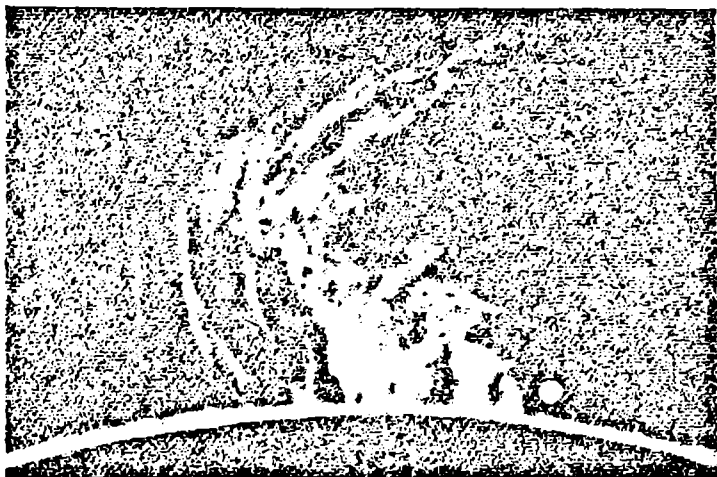
მე-3 ნახაზზე გამოსახულია მზის კიდის ნაწილი, სადაც უზარმაზარი პროტუბერანცია აღმართული. მარჯვნივ მოთავსებული თეთრი წრე დედამიწას წარმოადგენს იმავე მასშტაბში და აქ მოთავსებულია შესადარებლად: პროტუბერანციის მიერ დაკავებული სივრცე მრავალჯერ აღემატება დედამიწას!

მზე მილიონობით წლების მანძილზე განსაკუთრებული სიუხვით შეუსუსტებლად გამოფრქვევს 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

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

მზე, მთელი თავისი ოჯახით—პლანეტებით გარემოცული, განმხოლოებული სამყაროს სივრცეში. სინათლის სხივი, რომელსაც შეუძლია ერთ წამში გაირბინოს დედამიწის თითქმის მ-ჯერ აღებული გარშემოწერილობის სიგრძის ტოლი მანძილი, ერთ წამზე ცოტა მეტს ანლომებს 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 მანძი-



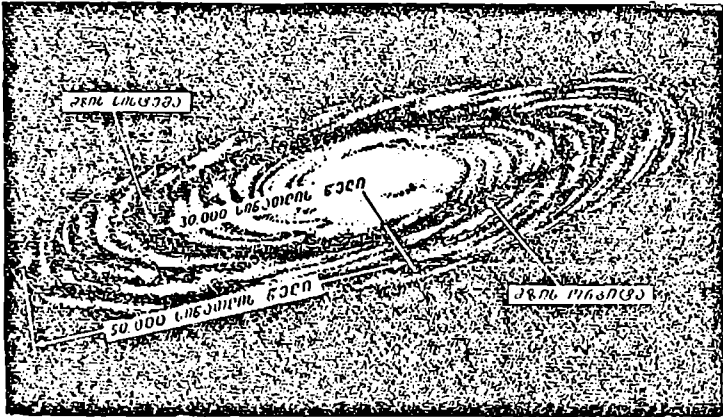
ნახ. 3.

ლებია 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. α ცენტავრისა) ჩვენამდე სივრცეს სხივი მხოლოდ 4 წელიწადსა და 4 თვეში „გადმოლახავს“. ამიტომ ამბობენ, რომ მანძილი უახლოეს ვარსკვლავამდე 4.3 სინათლის წელია. 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, ვეშხვრთ რა ვარსკვლავებით მოჰქვილ ცას, ზოგ ვარსკვლავს ისეთ მდგომარეობაში ვხედავთ, როგორც ასეული წლის წინ იყვნენ, ზოგს კი ისეთში, როგორც—ათასეული წლის წინ.

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 გარემოიკავს დიდი „სივრცე“, იმის იქით მაინც კვლავ გვხვდება ჩვენი გალაქტიკის მსგავსი ვარსკვლავთ კრებულები, რომელთაც გარეშე გალაქტიკებს ვუწოდებთ და, რომელნიც აურაცხელი რაოდენობით არიან გაფანტულნი ვეება სივრცეში, როგორც კუნძულები უნაპირო ოკეანეში. ამ ობიექტებიდან, რომელთა ზომები ჩვენი გალაქტიკის რიგისაა, სინათლის სხივი ჩვენამდე მილიონობით და ასეული მილიონობით წლის შემდეგ მოაღწევს. როცა დღეს რომელიმე შორეულ გალაქტიკაში რაიმე ცვლილებას ანუ



ნახ. 4.

პროცესის განვითარებას ვხედავთ და ვაკვირდებით, სინამდვილეში მოწმენი ვართ მოვლენისა, რომელიც მომხდარა მილიონობით წლის წინათ. შემდგომში დაერწმუნდებით, რომ ასტრონომიული კვლევის საგნების ასეთი თვისება, 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“ დაშორება 2000000 სინათლის წლამდეა.

მსოფლიოს ობსერვატორიებში ამჟამად მომუშავე უდიდესი ტელესკოპები სივრცეში შეაღწევენ 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, მეტაგალაქტიკურ სივრცეში, რამდენიმე ათეული მილიარდი გალაქტიკაა, რომელთაგან უდიდესნი ემსგავსებიან ჩვენს გალაქტიკას ან ჩვენს მეზობელ—ანდრომედას გალაქტიკას. თითოეული გალაქტიკა მოიცავს ასამდე მილიარდ ვარსკვლავს, რომელთაგან

ბევრი ჩვენს მზეზე 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 მინც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ამ სამყაროში „სიცარიელე“ მეტია!

ეს ძნელი წარმოსადგენია. თუ დავაკვირდებით ვარსკვლავთა სიმრავლეს. უმთავრო ლამეში შეუიარაღებელი, უბრალო თვალით, მთელ ცაზე (ნახევარსფეროზე) 3 000-მდე ვარსკვლავს გავარჩევთ. საკმარისია მოვიმარჯვოთ მცირე ზომის



ნახ. 5.

ჭოგრცი, რომ დაინახოთ ათეული ათასი ვარსკვლავი. ახლა თუ დიდ ფოტოგრაფიულ ტელესკოპს მივმართავთ, მგრძნობიარე ფოტოფირფიტებზე ვარსკვლავთა ისეთ აჯარება გამონასახებს მივიღებთ, რომ მათი ფოტოგრაფია, ცის ზოგიერთი უბნისათვის მინც, უფრო მეტად განუწყვეტელ ნათელ ფონს ემსგავსება, ვიდრე ცალკეული, განმზოლოებული მნათი წერტილების ერთობლიობას. ასეთსავე შთაბეჭდილებას ვღებულობთ, როცა შევეყურებთ ცაზე ირმის ნახტომის ზოლს ანუ ე. წ. რძიან გზას. ესეც ზომ მეტად „შემჭიდროებული“,

აურაცხელი ვარსკვლავების თავმოყრის ზოლია. მაგრამ ეს „შემქმნადობა“ შედარებითია. ამ ადგილებშიც კი ინდივიდუალური ვარსკვლავები ერთმანეთს დაშორებულნი არიან რამდენიმე სინათლის წლის მანძილებით. ზოგჯერ ვარსკვლავთა სიხშირეს სივრცეში ანუ მათ სივრცულ სიმკვრივეს ადარებენ ისეთი წვეთის სიხშირეს, რომელშიც თითოეული წვეთი დაშორებულია თავის მეზობელ წვეთს 60- მდე კმ-ით. საერთოდ, ვარსკვლავიერი ნივთიერების ყოველ ერთ კუბურ სანტიმეტრზე ერთ საშუალო გალაქტიკაში 10^{22} სმ³ „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} სმ³ 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 ბრწყინებულში 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 გალაქტიკაში მოქცეული ვარსკვლავების მთელი ნივთიერება, ხოლო მტერის 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 სმ³ მოცულობაში $3 \cdot 10^{19}$ მოლეკულაა. მიუხედავად ასეთი გაიშვიათებულობისა, ვარსკვლავთშორისეთის გაზის ატომები თავიანთ მოძრაობაში ერთმეორეს ეჯახებიან. რასაც გარკვეული ფიზიკური მოვლენები მოსდევს. რომლებიც დედამიწიდან დაიკვირვება. ამას ვერ ვიტყვით თვით ვარსკვლავებზე. მათთვის ერთი-მეორესთან დაჯახების ალბათობა უაღრესად მცირეა, თითქმის ნულის ტოლია.

მე-ნახაზზე წარმოდგენილია ვარსკვლავთშორისი ნივთიერების (გაზი და კოსმოსური მტვერი) „ღრუბელი“ 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 ჰემსპერტ ბრწყინვალეობაში. მზის მანძილზე რომ შეიძლებოდეს. მკრთალი ვარსკვლავების მოახლოება, აუარება მათგანი მზეს როდი ჩამოუეარდებოდა სიკაშკაშით, ბევრიც მრავალჯერ გადააქარბებდა.

მაგალითად, ვარსკვლავი სირიუსი თითქმის 20-ჯერ უფრო მეტად ბრწყინვალეა, ვიდრე მზე. რიგელი—კაშკაშა ვარსკვლავი ორიონის თანავარსკვლავედში—მზესთან შედარებით 20000-ჯერ უფრო მეტად ბრწყინვალეა. მეორე მხრივ, ისეთ:

ვარსკვლავებსაც ვიცნობთ, რომლებიც დიდად ჩამოუვარდებიან მზეს ბრწყინვალებით. მაგალითად, ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავი (მზის შემდეგ) ე. წ. პროქსიმა (ცენტავრის α-ს ერთ-ერთი მდგენელი) 10—15 ათასჯერ ნაკლებად ბრწყინვალეა, ვიდრე მზე. ხოლო ე. წ. „ვულფის 1055“-ის ჭერალი სისტემის ერთ-ერთი მდგენელი (თანამეზავრი) 600000-ჯერ ნაკლებ ბრწყინვალეა. ეს ვარსკვლავი ახლოა.



ნ.ხ. 6.

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 გავგინათებდა და მაშინ დღე მთვარიან ღამეს დაემსგავსებოდა. სითბოსაც იმაზე მეტს ვერ მივიღებდით, რამდენსაც გვაწოდის რამდენიმე კილომეტრით ჩვენგან დაშორებული ჩვეულებრივი ბუხრის ცეცხლი!

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

ვარსკვლავთა მასებიც სხვადასხვაა, თუმცა ბრწყინვალეობასა და მოცულობასთან შედარებით ეს სხვადასხვაობა უფრო მცირე ფარგლებშია. ყველაზე უფრო „შიშიმე“ 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 ეწეება ის ფიზიკური მახასიათებლები, რაც ვარსკვლავის კუთვნილებაა; შეიძლება იგი იყოს, ვთქვათ, ცთომილი. ჩვენი მზის სისტემის უდიდესი ცთომილი — იუპიტერის — მასა მზის მასის მხოლოდ ერთ მეათასედს შეადგენს. ჭერჯირობით 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 სხვადასხვნობა. მართლაც, ცნობილია ისეთი ე. წ. ზეგვიანტი ვარსკვლავები, რომელთა საშუალო სიმკვრივე ასეულ ათასჯერ ჩამოუვარდება მზისას, ე. ი. ნაკლებია, ვიდრე პავრის სიმკვრივე დედამიწის ზედაპირთან. მეორე მხრივ, სხვა ვარსკვლავები მზესთან შედარებით ერთობ დიდი სიმკვრივის მქონეა; ისინი, როგორც ამბობენ, ზემკვრივენი არიან. დღესდღეობით ჩვენს მიწიერ ფიზიკურ ლაბორატორიებში არ იქმნება ისე ზეგვიანთებული ვაკუუმი, როგორსაც, მაგალითად, ვარსკვლავის ცეფეუსის VV-ს საშუალო სიმკვრივე წარმოადგენს, და არც ისე ზემკვრივე ნივთიერება, როგორცაა, მაგალითად, ვარსკვლავის „ვოლფის 457“ წიაღი: მის 1 კმ სმ-ის მოცულობაში ტონობით ნივთიერებაა 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 გააღრმავოს, 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 სხეებისაგან 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 გადასაცვლებაში 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 შემო-
წერონ.

თვით გალაქტიკები არა მარტო ბრუნვის მოძრაობას ასრულებენ, არამედ
განუწყვეტლივ გადაინაცვლებენ კიდევ მეტაგალაქტიკურ სივრცეში სხვადასხვა
მიმართულებით და ამ გადანაცვლების სიჩქარე მრავალ შემთხვევაში წაშში ათი-
ათასეული კილომეტრებით განისაზღვრება.

მიუხედავად ასტრონომიული სამყაროს ობიექტებისა და მოვლენების დიდი
სხვადასხვაობისა, რაც უკვე არაერთხელ აღვნიშნეთ, ამ ვეება სამყაროს ყველა
ნაწილში ერთნაირად მეფობენ თანამედროვე ბუნებისმეტყველების ძირითადი კა-
ნონზომიერებანი და ბუნების უნივერსალური ძალები: მატერიის ერთიანობა, ნიუ-
თიერებისა და ენერჯიის შენახვის კანონი, ელექტრომაგნიტური ენერჯიის გამო-
სხივებისა და გავრცელების კანონები, მაგნიტური ძალები, გრავიტაციული ველი...
თუმცა ის, რაც გრავიტაციულ თეორიას წარმოადგენს, ჩაისახა და განვითარდა მზის
სისტემის სხეულების—ცთომილების მოძრაობათა საგულდაგულო შესწავლის ნია-
დაგზე, ბევრი არ დასკირებია იმის ცხადყოფას, რომ გრავიტაციული მოქმედების
კანონზომიერებები ვარსკვლავთ სამყაროზე და გალაქტიკების სამყაროზეც ვრცელ-
დება. ახლა თითქმის ყველა ასტრონომიული პრობლემა, რომლის ამოხსნა დაკავ-
შირებულია გრავიტაციული მოქმედების გათვალისწინებასთან, საესებით ამოიხს-
ნება ნიუტონის მიზიდულობის კანონით. მართალია, ვხვდებით ზოგიერთ გამო-
ნაკლისსაც, როგორცაა მზის უახლოესი პლანეტის—მერკურის—ორბიტის ელე-
მენტების ცვლილებები ან სინათლის სხივის გამრუდება დიდი მასის მქონე სხეუ-
ლების გრავიტაციულ ველში, 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 კემშიარი-
ტებასთან და, თუ ზემოთ ჩამოთვლილი ორი გამონაკლისის ასახსნელად მეცნიერება
მიმართავს ეინშტეინის თეორიას, ეს მხოლოდ იმას ნიშნავს, რომ ასტრონომიული
სამყაროს შესწავლის გაღრმავებასთან ერთად გადადგმულია კიდევ ერთი, კემში-
არიტებასთან 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 ენერჯიას, რომელიც
ცნობილია რენტგენისეული, ულტრაიისფერი, ინფრაწითელი, რადიო და სხვაგვარი
გამოსხივების სახით.

როგორც უნდა იყოს პირობები ვარსკვლავის წიაღში და მის ატმოსფე-
როში, ვარსკვლავი ყოველთვის მატარებელია მისი ძირითადი და უცილობელი
თვისებისა, რაც მის გამოსხივებაში მდგომარეობს. როგორც ვთქვით, ამ გამო-
სხივების მეშვეობით, მისი ფოტომეტრული, სპექტრული და მრავალნაირი სხვა
ანალიზით მივაკვლევთ ვარსკვლავის ბუნების საიდუმლოებებს, შევისწავლით კოს-
მოსური ნივთიერების თვისებებს.

ყველა კოსმოსური ობიექტი არ გამოასხივებს უთუოდ ხილულ სინათლეს,
ზოგი მხოლოდ რადიოგამოსხივების წყაროა. ასეთებია, როგორც ზემოთაც შევ-
ნიშნეთ, ვარსკვლავთშორისეთული ნივთიერების მასები და, შეიძლება, დიდი რაოდენობით
ვარსკვლავებიც, ბნელი ვარსკვლავები ან ისეთები, რომელნიც ინფრა-
წითელ სხივებს გამოაფრქვევენ. ასეთი ობიექტები არ დაინახება. მათი ფიქსირება

შეიძლება, თუ ისინი ეფარებიან მათ უკან მდებარე მნათობებს, ან თუ საკუთარი დიდი მასის გამო რაიმე შესამჩნევ გრავიტაციულ შემფოთებას იწყებენ სხვა ხილული მნათობების მოძრაობაში. ისიც უნდა შევნიშნოთ, რომ ვარსკვლავთა წრიული ორბიტები გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ საესებით აიხსნება ვარსკვლავზე მოქმედი იმ გრავიტაციული ძალით, რომელიც განპირობებულია გალაქტიკაში არსებული ყველა მნათი ვარსკვლავის, გაზისა და მტვრის ღრუბლების მასებით, როგორც ეს ამ დროისათვისაა შეფასებული.

ჩვენ მიერ შესწავლილი ასტრონომიული სამყაროს თავისებურებანი არ იქნება სრულად დახასიათებული, თუ არ შევაჩერებ 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 ბრწყინვალეების ცვლილება, რომელსაც აგრეთვე წუთებში ან წამებშიც კი შევნიშნავეთ. ამათ გვერდით და უფრო ხშირად ასტრონომიაში საქმე გვაქვს დროის ერთობ ხანგრძლივ მონაკვეთებთან.

როცა საკითხი შეეხება კაცობრიობის ისტორიას, ჩვეულებრივ მივმართავთ საუკუნეებს ან ათასწლებს; თუ ვლაპარაკობთ გეოლოგიურ პრობლემებზე, საქმე გვაქვს ასეულ მილიონ წლებთან, ხოლო თუ მსჯელობა ვარსკვლავთა ხნოვნებაზე 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 მემილიონედ ნაწილი: $1 : 10^{15}$ ანუ 10^{-15} (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 შევედგეთ ასტრონომიის მეთოდებისა და მონაცემების თანმიმდევრულ, სისტემატურ შესწავლას. უნდა ვალიაოთ, რომ თუ ცოდნისა და ცნობების ის ერთობლიობა, რომელიც დღეისათვის ასტრონომიულ მეცნიერებაში დაუგროვებიათ, სამყაროს აგებულების წარმატებულ სურათს გვიხატავს და ადამიანის გონების ყოვლისშემძლეობასაც მოწმობს, ის გზები, მეთოდები და საშუალებანი, რომლებმაც ამ მწვერვალებამდე მიიყვანა ადამიანი, ყოველთვის როდია ადვილსავალი, ასე მიმზიდველი და წარმატები. მაგრამ უტილობელია მათი შესწავლა მოთმინებითა და გულმოდგინებით.

წინასწარი და დამხმარე ცნობები

დიდი და მცირე რიცხვების ჩაწერის შესახებ. ასტრონომიის შესწავლისას გარდუვალად გვექნება საქმე ძალიან დიდ და ძალიან მცირე რიცხვებთან. მაგალითად, გალაქტიკის სისტემაში დაახლოებით 100000000000 ვარსკვლავია. მეორე მხრივ, წყალბადის ატომის მასა არის გრამის 0.00000000000000000000002 ნაწილი. ასეთი რიცხვების ჩვეულებრივი წესით სრულად წერა და ამოკითხვაც მოუხერხებელია. საქმეს ამარტივებს შემოკლებული სისტემა, რომელიც ემყარება 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 ადგილი 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 10^{11} ვარსკვლავია, წყალბადის ატომის მასა არის $2 \cdot 10^{-24}$ გრამი. ამოკითხვაც მარტივდება და რიცხვებიც ასე გამოითქმის, შესაბამისად: „ათი მეთერთმეტე ხარისხში ვარსკვლავია“, „ორჯერ ათი მინუს ოცდამეოთხე ხარისხში—გრამი“*.

მოვიყვანოთ ამ სისტემის გამოყენების რამდენიმე მაგალითი:

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

* გაიხსნეთ ახლა „შესავალში“ მოტანილი ცნობები: 1) ჰეტაგალაქტიკის აღებულ სივრცეში 10^{22} ვარსკვლავია (გვ. 21); 2) წყალბადის ატომში ელექტრონის მოქცევის პერიოდი 10^{-15} წამია.

შპის ღია მემბრანი 1390000 კმ-ია; წყალბადის ატომის ღია მემბრანი 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 (გაყოფოთ) დიდი რიცხვები, საკმარისია შევეკრიბოთ (გამოვაკლოთ) ხარისხის მაჩვენებლები. აი ამის მაგალითები:

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

$$3 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^3 = 1 \cdot 2 \cdot 10^4$$

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

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

თუ ჩავთვლით, რომ გალაქტიკაში $1.2 \cdot 10^{11}$ ვარსკვლავია, ხოლო თითოეული ვარსკვლავის საშუალო მასა $2 \cdot 10^{27}$ ტონაა, მაშინ შევაფასებთ გალაქტიკის საერთო მასას (ვარსკვლავთშორისეთის ნივთიერების გამორიცხვით); იგი იქნება $2.4 \cdot 10^{36}$ ტონა.

ძირითადი ერთეულები. ასტრონომიას, როგორც ყოველ ფიზიკურ მეცნიერებას, ზშირად საქმე აქვს ფიზიკური ობიექტების რაოდენობრივ გაზომვებთან, სიდიდეების შეფასებასთან. ასეთება 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 შეასდია 1 მეტრისა, რომელიც თავის მხრივ განსაზღვრულია როგორც მეათემილიონედი დედამიწის მერიდიანის რკალისა პოლუსიდან ეკვატორამდე. გრამად მიჩნეულია 1 კუბური სანტიმეტრის მოცულობის სუფთა წყლის მასა (წონა) ცელსიუსის სკალით 4° ტემპერატურაზე. 1000 გრამი 1 კილოგრამს შეადგენს. წამი არის 1900 წლის ეპოქის შესაბამისი ე. წ. ტრაპიკული წლის (იხ. ქვევით) შემდეგი ნაწილი:

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

ასტრონომიაში გვესაქიროება და მოსახერხებელია ვიხმართ სიგრძის ძალიან დიდი და ძალიან მცირე ერთეულები; პირველ შემთხვევაში, სახელობრ, — ასტრონომიული ერთეული ანუ საშუალო მანძილი დედამიწიდან მზემდე, რაც ეტოლება $1.49600 \cdot 10^{13}$ სმ-ს, ან სინათლის წელი ანუ მანძილი, რომელსაც სინათლის სხივი ერთ წელიწადში გაირბენს, რაც ტოლია $9.463 \cdot 10^{17}$ სმ; მეორე მხრივ, — ძალიან მცირე სიგრძეებისათვის, რომლებიც ელექტრომაგნიტურ (სინათლის) ტალღებს ახასიათებს — ანგსტრეში, ტოლია 10^{-8} სმ-ისა. მას აღნიშნავენ \AA 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 2π ასეთი რკალია. ამავე დროს გრადუსი ისეთი ცენტრალური კუთხეა, რომლის შესაბამისი რკალის სიგრძე წრეწირის $\frac{1}{360}$ -ს შეადგენს. ამიტომ 360° 2π 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 α° , α' , α'' ნიშნებით, ხოლო რადიანების რიცხვს α -თი, მაშინ

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

მაგალითად,

$$\frac{90^\circ}{57^\circ.29578} = 1.570796 \text{ რადიანი.}$$

180° , 90° , 60° , 45° , 30° -ის კუთხეები შეიცავს, შესაბამისად, π , $\frac{\pi}{2}$,

$\frac{\pi}{3}$, $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\pi}{6}$ 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° , ხოლო დუღილისა — $+100^\circ$. მაგრამ, ამასთან ერთად ძალიან ხშირად მიმართავენ აგრეთვე ე. წ. კელვინისეულ ანუ აბსოლუტურ ტემპერატურულ სკალას. ამ სკალის 0° მოთავსებულია 273° -ით უფრო დაბლა, ვიდრე წყლის გაყინვის ტემპერატურაა. მაშასადამე, წყლის გაყინვის ტემპერატურა ამ სკალით 273 -ია, ხოლო დუღილისა — 373° . თერმოდინამიკის კანონების მიხედვით კელვინის სკალით 0° 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 მტერის ტემპერატურა სულ რამდენიმე გრადუსით მეტია აბსოლუტურ ნულზე. ცელსიუსისა და კელვინის სკალების აღსანიშნავი სიმბოლოებია, შესაბამისად, C და K . შეგვიძლია ჩავწეროთ:

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

უპრადლება უნდა მივაქციოთ შემდეგსაც:

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

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

$$1 \text{ სმ} = 10 \text{ მმ.}$$

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

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

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

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

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

ხშირად საკიროა მანძილის გამოხატვა მნათობამდე დედამიწის რადიუსის მეშვეობით. მაგალითად, მანძილი მთვარემდე არის დაახლოებით 385 000 კმ. რაკი დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია, ჩავწეროთ: მანძილი მთვარემდე = $60R_{\oplus}$. რა თქმა უნდა, ეს დაახლოებითი შეფასებაა, მაგრამ სახელდახელო გამოთვლებში მოხერხებულად გამოიყენება. გ 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, დაგვირდა 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:

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

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

$$\text{ვარსკვლავის ზედაპირი} = 4\pi \cdot 7^2 \cdot 10^{26} \text{ სმ}^2 = 617 \cdot 10^{26} \text{ სმ}^2 = 6 \cdot 10^{28} \text{ სმ}^2.$$

მაგალითების სახით აქ მოყვანილი სავარჯიშოები ელემენტარულია, მაგრამ ასტრონომიაში პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად საჭიროა ასეთ ანგარიშში გაწაფვა.

სფეროს გეომეტრია. ასტრონომიულ ობიექტებსა და მოვლენებს ცაზე ვხედავთ; ცის თაღს ანუ ცამრავალს 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 დაგვიკირდება ცის სფეროზე წერტილების, მიმართულებების, მოძრაობების 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.

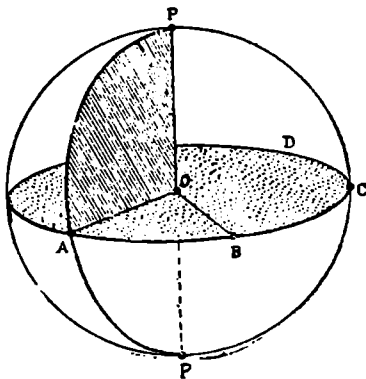
სფეროს ცენტრზე გამავალი ყოველი სიბრტყე გადაკვეთს სფეროს ზედაპირს წრეწირზე, რომლის ცენტრი სფეროს ცენტრს თანხვდება. ასეთ წრეწირს დიდ წრეწირს უწოდებენ.

მე-7 ნახაზზე ნაჩვენებია სფერო და მასზე 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.

აღნიშნოთ სფეროს რადიუსი R -ით ($OA = OB = R$), AB რკალის სიგრძე s -ით, ხოლო კუთხე O -თან, რომელიც მოიკიმება AB რკალით, θ -თი და ვიგულისხმობთ, 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 მოიკიმება 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 ზედა-



ნახ. 7.

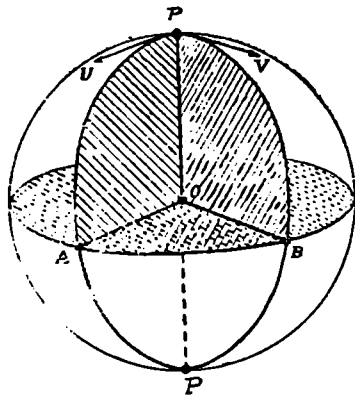
პირზე აღებული ორ წერტილს შორის მხოლოდ ერთადერთი დიდი წრეწირის გავლება შეიძლება, თუ ეს ორი წერტილი სფეროს ერთი დიამეტრის ბოლოებში არ მდებარეობს. ხოლო, თუ ასეა, მათზე გაივლება დიდი წრეწირების უსასრულო რიცხვი.

გავვლოთ ახლა სიბრტყე POP' დიამეტრზე ისე, რომ A წერტილზეც გადიოდეს. ეს სიბრტყე სფეროს ზედაპირს კვლავ დიდ წრეწირზე გადაკვეთს. ჩვენს ნახაზზე შესაბამის 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, $AP=90^\circ$ ანუ $AP=\frac{\pi}{2}$.

ამგვარად, დიდი წრეწირის პოლუსის კუთხური მანძილი ამ წრეწირის ნებისმიერ წერტილებამდე არის 90° .

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 სფერული კუთხე (წვეროთი P წერტილში) ორ PA და PB დიდ წრეწირს შორის.



ნახ. 8.

იმის ნახვაც ადვილია, რომ UPV და AOB ბრტყელი კუთხეები თანატოლია. ხოლო სფერული კუთხე P წერტილში ეკვივალენტურია (ანუ მას იგივე 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° -ზე ნაკლები უნდა იყოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, როგორც ნახაზზე ჩანს, სხვა რომელიმე ფართობიც შეიძლება შემოისაზღვრებოდეს სამი დიდი წრეწირის BC , AC და $BEPFA$ რკალით. მაგარამ ეს სფერული სამკუთხედი როდი იქნება, რამდენადაც $BEPFA$ რკალი 180° -ზე მეტია.

სფერული სამკუთხედი შემდეგი თვისებებისაა: 1) ყოველი კუთხე ნაკლებია, ვიდრე ორი მართი კუთხე; 2) სამივე კუთხის ჯამი მეტია ორ მართ კუთხეზე (მიაქციეთ ყურადღება ბრტყელი სამკუთხედის თვისებისაგან განსხვავებას) და ნაკლებია, ვიდრე ექვსი მართი კუთხე (540°);

3) რომელიმე ორი გვერდის ჯამი მეტია, ვიდრე მესამე გვერდი; 4) უდიდესი გვერდის პირდაპირ უდიდესა კუთხე ძვეს.

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

სფეროს მკვეთი სიბრტყე, რომელიც ცენტრზე არ გაივლის, მის ზედაპირთან გადაკვეთით მცირე წრეწირს მოგვეცემს. 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:

$$CD = r \cdot CO'D,$$

$$AB = R \cdot AOB.$$

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

$$\frac{CD}{AB} = \frac{r}{R}.$$

მაგრამ

$$\frac{r}{R} = \sin COO' = \sin CP,$$

მაშასადამე, $\frac{CD}{AB} = \sin CP = \cos AC$

და ამიტომ

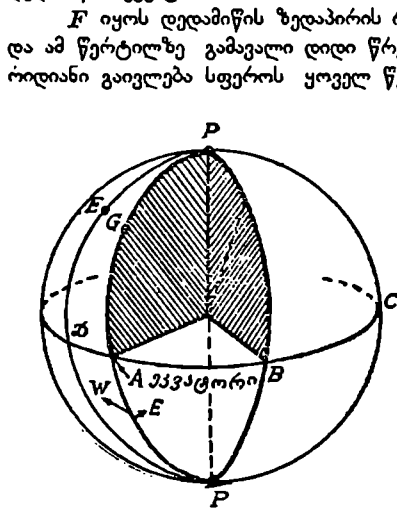
$$CD = AB \cos AC.$$

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.

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.



ნახ. 11.

$PFBP'$ მდებარეობას განსაზღვრავს ეკვატორული AB რკალი, რომელიც იგივეა, რაც ორივე მერიდიანს შორის პოლუსთან შედგენილი GPF სფერული კუთხე. ამ რკალს ან კუთხეს ვუწოდებთ F პუნქტის გრძედს. ჩვენს ნახაზზე ნაჩვენებია სხვა მერიდიანიც: $PEDP'$. მაგრამ ეს უკანასკნელი საწყისი მერიდიანის დასაველეთითაა, $PFBP'$ მერიდიანის საწინააღმდეგოდ, რომელიც აღმოსავლეთით მდებარეობს. საწყისი მერიდიანიდან აღმოსავლეთით მდებარე პუნქტების გრძედები აითვლება 0° -დან 180° -მდე და აღინიშნება E ასოთი (აღმოსავლეთი). დასავლეთით მდებარე პუნქტების გრძედები აითვლება იმავე რიცხვით ფარგლებში და აღინიშნება W ასოთი (დასავლეთი). მაგალითად, თბილისის გრძედია $44^\circ.8E$. პოლუსებსა და G წერტილზე გამავალი სიბრტყე ჰყოფს დედამიწის სფეროს ორ ნახევრად; ერთს ეწოდება აღმოსავლეთის ნახევარსფერო, მეორეს — დასავლეთისა.

როცა ვიცით რომელიმე F პუნქტის გრძედი, სრულიად გარკვეულია მისი მერიდიანი. მაგრამ F პუნქტის მერიდიანზე ფიქსირებისათვის საჭიროა კიდევ იმის დადგენა, თუ ეკვატორიდან როგორ კუთხურ დაშორებაზეა F . BF რკალი ეს კუთხური დაშორებაა. იგი ეკვივალენტურია BOF კუთხისა. მას ეწოდება F პუნქტის განედი. გრძელისა და განედის მნიშვნელობათა დადგენით საესებით განისაზღვრება წერტილის მდებარეობა სფეროს ზედაპირზე. ოღონდ უნდა გავი-

მებით, მერიდიანი, რომელიც ვადის 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 წარმოადგენდეს $PGAP'$. ხშირად, მეტადრე ზოგიერთ სპეციალურ ამოცანებში, საწყის მერიდიანად ითვლება სსრკ-ის ტერიტორიაზე, პულკოვოს ობსერვატორიაზე (ლენინგრადთან) გამავალი მერიდიანი.

საწყისი მერიდიანის მიმართ ყოველი სხვა მერიდიანის მდებარეობა ადვილად განისაზღვრება. ასე, მერიდიანის

თვალისწინით ისიც, რომ ეკვატორი ჰყოფს დედამიწის სფეროს ორ ნახევარსფეროდ: ჩრდილოეთის ნახევარსფეროდ (P პოლუსის მიმართულებით) და სამხრეთისა (P' პოლუსის მიმართულებით). განედები აითვლება ეკვატორიდან ჩრდილოეთით 0° -დან $+90^\circ$ -მდე და ეკვატორიდან სამხრეთით, 0° -დან -90° -მდე.

დასასიათებელ კოორდინატა სისტემაში (ე. წ. გეოგრაფიულ კოორდინატა სისტემაში) გეომეტრიულ საწყისებს წარმოადგენს მერიდიანი და ეკვატორი. მაგრამ მათ აგებას საფუძვლად უძვეს ერთგვარი ფიზიკური საწყისი: დედამიწის ბრუნვის ღერძი.

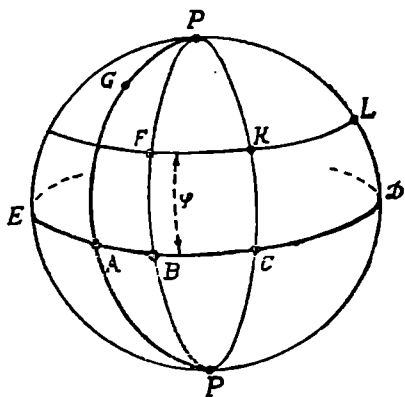
განვიხილოთ ახლა მე-12 ნახაზი. მცირე წრეწირი FK , რომლისთვისაც პოლუსს P წერტილი წარმოადგენს, წოდებულია განედის პარალელად. საწყისი მერიდიანი და ეკვატორი შესაბამისად არის: $PGAP'$ და $ABCDE$. F პუნქტის განედია $BF = \varphi$. ცხადია, FKL პარალელის ყველა წერტილის განედები თანატოლია და იგივეა, რაც φ . PF' არის აღებული პარალელის კუთხური რადიუსი და ეტოლება $(90^\circ - \varphi)$ -ს. ეკვატორული რკალი BC არის ორი პუნქტის (K და F') გრძედებს შორის განსხვავება; აღნიშნოთ იგი $\Delta\lambda$ -ით. ზემოთ განმარტებულის მიხედვით შეგვიძლია დაწვეროთ:

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

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.

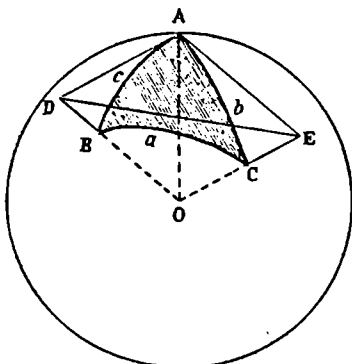
გამოვიყვანოთ სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულების რამდენიმე ჯგუფი.

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



ნახ. 12.

დავაკვირდეთ ნახაზს. A წერტილში გავლებულია c და s გვერდების AD და AE მხებები. A სფერული კუთხე არსებითად განისაზღვრება ამ მხებებს შორის მოქცეული DAE ბრტყელი კუთხით. OB და OC რადიუსები გაგრძელებულია სფეროს გარეთ, AD და AE მხებების 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).



ნახ. 13.

ნახაზზე შეგვიძლია შევნიშნოთ სხვა ბრტყელი სამკუთხედებიც, მაგალითად, ODE სამკუთხედი, რომელიც ნაწილობრივ სფეროს შიგნით, ნაწილობრივ მის ზეეითა და რომლის DOE კუთხე მოიქიმება დიდი წრეწირის BC რკალით და, მაშასადამე, გამოხატავს სფერული სამკუთხედის a გვერდს; OAD სამკუთხედი, რომლის კუთხე DAO 90° -ს ეტოლება, ხოლო DOA კუთხე, მოიქიმება 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 ფორმულას უწოდებენ. იგი გვაძლევს დამოკიდებულებას სამკუთხედის სამი გვერდისა და ერთი კუთხის ტრიგონომეტრიულ ფუნქციას შორის.

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

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

ამგვარად, სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულების ჩვენ ასე დაიწერება:

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

ამ ფორმულებს გამოიყენებთ იმ შემთხვევებში, თუ მოცემულია ორი გვერდისა 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 გარდაქმნებს მოვახდენთ, ადვილად მივიღებთ მნიშვნელოვანი ფორმულების კიდევ ერთ ჩვენს.

მართლაც, უკანასკნელი ტოლობა ავიყვანოთ კვადრატში, გამოვაკლოთ მისი ორივე ნაწილი 1-ს და მკირეოდენი გარდაქმნა შევასრულოთ:

$$\begin{aligned} 1 - \cos^2 A &= \sin^2 A = \frac{\sin^2 b \sin^2 c - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}, \\ \sin^2 A &= \frac{(1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}, \\ \sin^2 A &= \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2\cos a \cos b \cos c}{\sin^2 b \sin^2 c}. \end{aligned}$$

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, დაეწერთ:

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

და—ასეთსავე გამოსახულებას (1a) ჯგუფის შესამე სტრიქონიდან, ფარდობი-სათვის $\frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$.

ამ დამოკიდებულებებიდან შეგვიძლია დაეწეროთ:

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

ანუ

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

ეს გამოსახვეს დამოკიდებულებას სფერული სამკუთხედის გვერდებსა და მათ პირდაპირ მდებარე კუთხეების სინუსებს შორის. მას სინუსების ფორ-მულას უწოდებენ და, პირველი ძირითადი ფორმულის შგაგესად, ძალიან ხშირი გამოყენება აქვს. ფორმულები გამოყვანილია იმ ვარაუდით, რომ სამკუთხედის გვერდები და კუთხეები, თითოეული, 180° -ზე ნაკლებია.

ერთგვარი სიფრთხილვა საჭირო ამგვარი ფორმულების გამოყენებისას. მარ-თლაც, 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° -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. (1a) ჯგუფის შესამე ფორმულა ისე გადაეწეროთ, რომ მასში $\cos a$ -ს მნიშვნელობა შევიტანოთ იმავე ჯგუფის პირველი სტრიქონის მიხედვით; გვექნება:

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

გავსხნათ ფრჩხილები და გადავიტანოთ მარჯვენა ნაწილის პირველი წევრი მარცხენაში:

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

შევეცვოთ $\sin b$ -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:

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

ადვილად 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.

გამოყენების გარეშე დაეწეროთ ფორმულები, რომლებიც ერთგვარად ემსგავსება (1a) ჯგუფს, მაგრამ გამოსახავს დამოკიდებულებას სფერული სამკუთხედის სამ კუთხესა და ერთ გვერდს შორის:

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

დაბოლოს მოვიყვანთ კიდევ ერთ ფორმულას, რომელსაც უფრო ხშირი გამოყენება აქვს ელემენტარული პრაქტიკული ასტრონომიული ამოცანების ამოსახსნელად.

დავუშვათ, რომ (3a) 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 შევცვალოთ (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° -ის ტოლი კუთხეების ტრიგონომეტრიული ფუნქციების მნიშვნელობანი, მარტივია.

ასვე გამოიყენება და იხმარება ფორმულები მართგვერდა სფერული სამკუთხედებისათვის, რომლებშიც რომელიმე გვერდი წარმოადგენს 90° -ის ტოლ რკალს.

სფერულ ტრიგონომეტრიაში გამოიყენება სხვა მრავალი ფორმულაც, რომელთაც ამასთანავე სხვადასხვა სახე მიეცემა—არითმომეტრული გამოთვლისათვის თუ ლოგარითმულისათვის, ჩვეულებრივი შემთხვევისათვის თუ ერთობ მცირე კუთხეებისა და გვერდებისათვის, მართკუთხა თუ მართგვერდა სამკუთხედებისათვის და სხვ.

ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია. ასტრონომიულ დამზერაათა 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 ინტერპოლაცია წრფივია და სულ მარტივად ხორციელდება, კერძოდ, გრაფიკული წესითაც: ცხრილში მოცემული 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 მოექმნოთ შესაბამისი ორდინატი. ვნახავთ, რომ იგი 7-ის ტოლია.

შეიძლება ისეთი შემთხვევაც შეგვხდეს, როცა საჭიროა ვიცოდეთ ფუნქციის მნიშვნელობა არგუმენტის ისეთი მნიშვნელობისათვის, რომელიც ცხრილში არ თავსდება; ჩვენს მაგალითში ასეთი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს, ვთქვათ, 3.25.

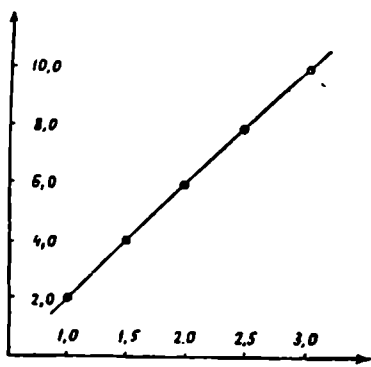
* იხ. ასტრონომიული კალენდარი (წელიწდეული).

** ცხრილის შესაბამე 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.

მაშინ, რაკი ფუნქციის სახე გარკვეულია და მარტივი, შეგვიძლია მისი გამომსახველი ხაზი გავაგრაძელოთ და მოვიძებნოთ სათანადო ორდინატი გაგრაძელებულ გრაფიკზე. ამ შემთხვევაში ვიტყვი, რომ მოვახდინეთ ფუნქციის ექსტრაპოლირება.

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 არამტუ ექსტრაპოლაცია კარგავს სანდობას, არამედ ინტერპოლაცია უსამჩნევად 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 (ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მესამე სვეტი). შევადგინოთ მეზობელ სხვაობათა შორის სხვაობები ანუ მეორე სხვაობები (ცხრილის მეოთხე სვეტი) და ასევე—მესამე და მეოთხე სხვაობები.



ნახ. 14.

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	$c(3 + \frac{1}{4})$	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 მთავსებული აღებული სხვაობა. $\frac{1}{2}$ ნიშნავი იმის მა-

ჩვენებელია. 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 $x + \theta$ მნიშვნელობისათვის (აქ x წარმოადგენს სტრიქონს, რომელშიც საძიებელი ფუნქციის შესაბამის არგუმენტის მნიშვნელობასთან ცხრილში მოცემული უახლოესი მნიშვნელობა იმყოფება, ხოლო θ 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:

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

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

1969 წლის ასტრონომიული კალენდრის 41-ე გვერდზე მოცემულია მზის დახრილობის მნიშვნელობები აპრილის თვის ყოველი რიცხვის 0 საათისათვის.

ვთქვათ, ჩვენი ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს მზის დახრილობის მნიშვნელობის ცოდნას 6 აპრილის 6 საათისათვის (ეს შეიძლება დაგვეჭიროდეს 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=b	a	b	c	d
1969 წ. აპრილის 4	5°32'29"				
5	5 55 20	22'51"	-5"	-2"	+3"
6	6 18 06	22 46	-7	+1	
7	6 40 45	22 39	-6		
8	7 03 18	22 33			

ჩვენს მაგალითში არგუმენტებს შორის ინტერვალი 24 საათია, საძიებელი მომენტი 6 საათისათვის ამ ინტერვალის $\frac{1}{4}$ -ს წარმოადგენს, მაშასადამე, $\theta = 0.25$.
 $y_1 = 6^{\circ}18'06''$.

$$a_i = \frac{22'46'' + 22'39''}{2} = 22'42''.5; \quad b_i = -7''; \quad c_i = -0''.5; \quad d_i = 3''.$$

$$y_{i+\theta} = 6^{\circ}18'06'' + 0.25(22'42''.5) + 0.031(-7'') - 0.039(-0''.5) - 0''.0023.$$

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

მაშასადამე:

$$y_{i+\theta} = 6^{\circ}18'06'' + 5'40'' \cdot 6 - 0'' \cdot 2 = 6^{\circ}23'46'' \cdot 4.$$

როგორც ვხედავთ, სტირლინგის ფორმულაში, ამ შემთხვევაში, მეოთხე და მეხუთე წევრები გამოყენებული აღარაა. საძიებელი მომენტისათვის (6 აპრილს, 6 სთ) შხის დახრილობა ტოლია $+6^{\circ}23'46'' \cdot 4$ -ისა.

ხშირად ინტერპოლაცია გვესაქიროება 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 მეხვები.

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

ცდომილებები შეიძლება იყოს სისტემატური, დაკავშირებული სათანადო იარაღის თავისებურებასთან და 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.

შემთხვევით ცდომილებათა თეორია გვასწავლის, რომ, თუ აღებული სიდიდის გაზომვა საკმაოდ დიდი რაოდენობით შევასრულეთ (სიდიდე n -ჯერ გავ-

ზომით), მაშინ ყველაზე უაღბათესი ანუ კვანძებისთან ყველაზე ახლო შედეგი ეტოლება ყველა ცალკეული გაზომვის შედეგების საშუალო არითმეტიკულს.

$$a_N = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum_1^n a_i}{n}$$

ეს შედეგი უაღბათესია, მაგრამ მაინც არა სრულიად ზუსტი, არამედ — დამძიმებული ცდომილებით; მისი სიზუსტე შეფასდება საშუალო ცდომილებით, რომელიც ეტოლება საშუალო მნიშვნელობიდან თითოეული გაზომვის გადახრის აბსოლუტური სიდიდეების საშუალო არითმეტიკულს:

$$\varepsilon = \frac{|a_N - a_1| + |a_N - a_2| + \dots + |a_N - a_n|}{n} = \frac{\sum_1^n |\Delta_i|}{n}$$

($|\Delta_i| = |a_N - a_i|$).

მაშასადამე, გაზომვის შედეგი ასე ჩაიწერება:

$$a_N \pm \varepsilon$$

მაგალითად, 10-ჯერ გავზომეთ ერთი და იგივე კუთხე და მივიღეთ მნიშვნელობები:

10°27"	10°23"
10 23	10 24
10 25	10 25
10 25	10 26
10 26	10 26

ადვილად გამოვიტვლით, რომ $a_N = 10°25'$.

$|\Delta_i|$ -ის მნიშვნელობებია: 2", 2", 0, 0, 1", 2", 1", 0, 1", 1"; ამიტომ $\varepsilon = 1''$.
მაშასადამე, კუთხის გაზომვის შედეგია: $10°25' \pm 1''$.

ზოგჯერ სიზუსტეს საშუალო კვადრატული ცდომილებით ახასიათებენ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n(n-1)}}$$

ε და σ დაკავშირებული არიან ერთმეორესთან:

$$\varepsilon = 0.798 \sigma,$$

$$\sigma = 1.253 \varepsilon.$$

შეიძლება შეფასდეს ცალკეული გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება =

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n}}$$

ან მისი ალბათი ცდომილება:

$$S_p = 0.675S.$$

გვხვდება შემთხვევები, როცა განმეორებითი გაზომვები ყველა ტოლფასი ანუ ტოლზუსტი როდია (მაგალითად, განმეორებითი გაზომვის პროცესში ერთი-ორი გაზომვის დროს სკალა იმდენად ცუდად იყო განათებული, რომ კუთხის მნიშვნელობა სარწმუნოდ ვერ ავითვალეთ); მაშინ თითოეულ გაზომვას უნდა მივანიჭოთ წონა, რომელიც რაიმე პირობითი სკალით გამოიხატება და რაც უფრო სანდოდ და ზუსტად მიგვაჩნია ცალკეული გაზომვა, რიცხობრივ მით უფრო დიდად ჩავთვლით მის წონას. შეიძლება, მაგალითად, 10 გაზომვაში ორი ნაკლებ სარწმუნოდ ჩავთვალოთ და ამიტომ ყველა დანარჩენი გაზომვის წონა 1-ის ტოლად მივიღოთ, ხოლო ამ ორისათვის $1/2$ -ის ტოლად.

საშუალო აწონილი არითმეტიკული ასე გამოიხატება:

$$a_N = \frac{\sum_1^n a_i p_i}{\sum p_i},$$

სადაც p_i ცალკეული გაზომვის წონაა.

ცალკეულ გაზომვათა საშუალო არითმეტიკულის თვისებაა ის, რომ ცალკეული გაზომვების საშუალო არითმეტიკულისაგან გადახრების კვადრატების ჯამს უმცირესი მნიშვნელობა აქვს. ეს იმას ნიშნავს, რომ, თუ გასაზომი სიდიდის ისეთ მნიშვნელობებს ავიღებთ, რომლებიც ვარაუდით ახლოა ამ სიდიდის უალბათეს მნიშვნელობასთან, და ყოველი მნიშვნელობისათვის ცალკეულ გაზომვათა გადახრების კვადრატების ჯამებს შევადგენთ, მაშინ უმცირესი ჯამი შეესაბამება გასაზომი სიდიდის საძიებელ უალბათეს მნიშვნელობას.

კორელაციის შესახებ. ზოგჯერ კავშირი ორ სიდიდეს შორის როდი გამოიხატება ზუსტი ფუნქციური დამოკიდებულებით: მათ შორის მხოლოდ მიახლოებითი, გარკვეული ალბათობით განხორციელებული დამოკიდებულებაა, რომელსაც კორელაციურ დამოკიდებულებას უწოდებენ. კორელაციის კოეფიციენტი უჩვენებს 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 σ_x და σ_y — x და y დისპერსიებს, რომელთათვის შემდეგი გამოსახულებები გვაქვს:

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

რის 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 σ_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 σ_r საკმაოდ მცირე (ანუ n —დიდი) უნდა იყოს. თუ $r < 0.3$, კორელაცია არ არსებობს.

ცბ. ცის სფერო. მთავარი წერტილები და წრეწირები ცის სფეროზე

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 დაიწყოთ 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.

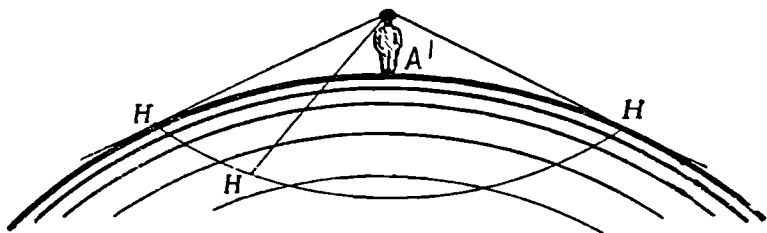
რას დავინახავთ? რა იქნება ის მთავარი, რასაც შევნიშნავთ? დედამიწის ზედაპირის ნაწილს, რომელსაც ჩვენს გარშემო შორ მანძილზე ვხედავთ, წრის მოყვანილობა აქვს; ყოველ მხარეს, ჩვენს ირგვლივ, ყველა მიმართულებით დედამიწის ზედაპირი ერთნაირად შორსაა გაკიმული. შორს ვხედავთ თითქოს მის ნაპირს ანუ კიდეს, წრეწირივით შემოვლებულს. 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 შემომსაზღვრელ 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 უწყდება 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 თვალიდან დედამიწის სფეროსადმი გავლებული მხების მონაკვეთია.

ცა. ცის სფერო. არც ცის საზღვარია აქ. ცა მთლიანად გარემოცავს დედამიწას. თუმცა იგი ისე გვესურათხატება, თითქოს რაღაც ნიეთიერი გუმბათიაო, სინამდვილეში უბრალოდ სივრცეა დედამიწის გარშემო. ეს სივრცე უსასრულოა; დედამიწის უშუალო მახლობლობაში იგი უკავია დედამიწის გარემომცველ ატმოს-



ნახ. 15.

ფეროს, რომელიც დღისით მოწმენდილ ცას მისთვის დამახასიათებელ მტრედისფერს ანიჭებს; ჰაერის მოლეკულებზე მზის სინათლის გაბნევის ფიზიკური კანონზომიერება განსაზღვრავს ამ ფერს. ლამით მოწმენდილი ცა ბნელია, თითქმის „შავია“ და მიუხედავად ამისა, მოკიანე ვარსკვლავებით მოქცეული ცაც ტოვებს ნახევარსფეროს შთაბეჭდილებას. ცის გუმბათს ხშირად ცის თაღს ან ცამრგვალს უწოდებენ. რადგანაც დედამიწის გარშემო უსასრულო სივრცეში ყველა მიმართულებით თითქმის ერთნაირ მანძილზე ვხედავთ მზეს, მთვარეს, ვარსკვლავებს და, საერთოდ, ყველა მნათობს, სურათი თავისთავად ისე წარმოგვიდგება, თითქოს მნათობები ერთი სფეროს შიგა ზედაპირზე მდებარეობენ, ხოლო ჩვენ (დამკვირვებლის თვალი) ამ სფეროს ცენტრში ვიმყოფებით. ცას აღვიქვამთ როგორც სფეროს შიგა ზედაპირს.

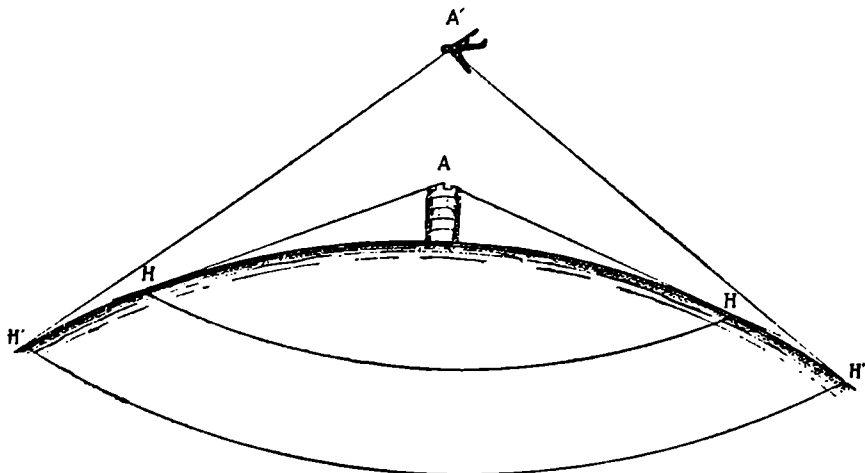
ნებისმიერი რადიუსის მქონე წარმოსახვით სფეროს,—ცენტრით სივრცის რომელიმე წერტილში,—რომლის ზედაპირზე მნათობები აღნიშნულია ისე, როგორც ისინი ცენტრიდან ჩანან დროის რომელიმე მომენტში, ეწოდება ცის სფერო.

ცის სფეროს ზედაპირამდე „მანძილი“ განუსაზღვრელია და არ გამოიხატება სიგრძის ერთეულის გარკვეული რიცხვით. ამიტომ ცის სფეროს რადიუსი შეგვიძლია ჩავთვალოთ 1-ის ტოლად. მაშასადამე, ცას განვიხილავთ როგორც ერთეულიანი რადიუსის მქონე სფეროს. ასეთი წარმოდგენა გაგვიადვილებს როგორც მოვლენების გეომეტრიულ ინტერპრეტაციას, ისე გამოთვლებს.

ჰორიზონტის სიშორე. კვლავ ჰორიზონტს დავაკვირდეთ. თუ მინდორში 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 ავალთ, მაგალითად, მაღალი ნაგებობის თავზე ან ტრიალ მინდორში ამართულ ბორცვზე, დედამიწის ზედაპირი, მისი სიმრუდის გამო, უფრო შორს დაინახება; ჩვენი დაკვირვების ჰორიზონტი გაფართოვდება; ჰორიზონტის სიშორე მოიმატებს.

მე-16 ნახაზზე გამოხატულია ორი შემთხვევა; პირველი,—როცა დამკვირვებელი, 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.

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

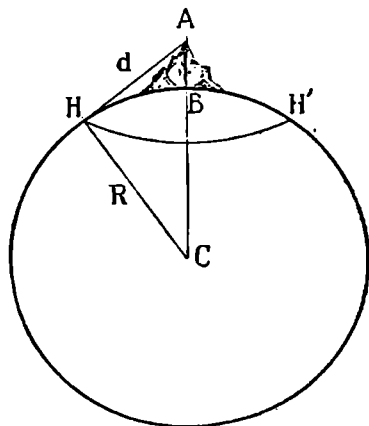
$$d^2 = (R+h)^2 - R^2$$

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 პორიზონტის სიშორის გამოსათვლელად გვექნება უფრო მარტივი, მაგრამ მიახლოებითი ფორმულა:

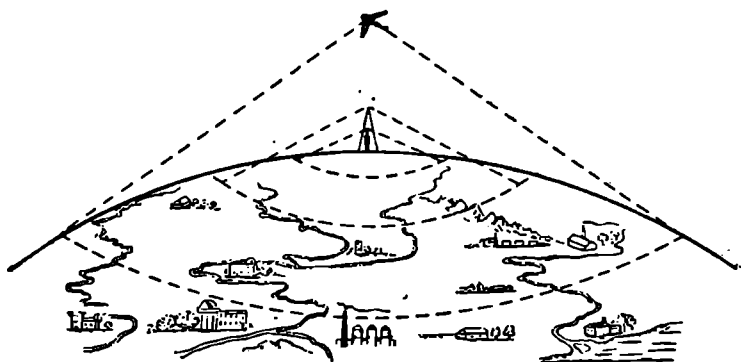
$$d = \sqrt{2Rh}$$

გამოვიყენოთ ეს ფორმულა იმისათვის, რომ გამოვითვალოთ პორიზონტის სიშორე საბჭოთა კოსმონავტების ვ. კომაროვის, კ. ფეოკტიტოვისა 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 პორიზონტის სიშორე კოსმოსური ხომალდიდან იყო დაახლოებით 2300 კმ, ე. ი. მათ შეეძლოთ თვალი მოეკლოთ გარშემო დედამიწის ზედაპირისათვის, რომლის ფართობია $\pi d^2 \approx 16.5$ მილიონი კმ².

როცა ადამიანი ტრიალ მინდორში უშუალოდ ნიადაგზე დგას, იგი, როგორც ვთქვით, მხოლოდ 4—5 კმ-მდე ხედავს; დედამიწის ზედაპირის მის გარშემო ხილული ნაწილი 70 კმ²-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 გადავუყურებთ 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



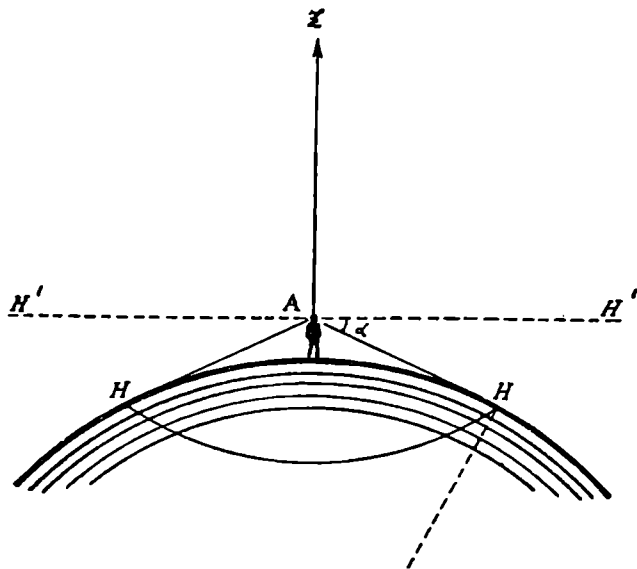
ნახ. 18.

HAC 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).

პორიზონტის დაწვევა. როგორც მე-19 ნახაზიდანაც ჩანს, მიმართულება ხილული პორიზონტის წრეწირის რომელიმე წერტილისაკენ როდი თანხვედება

კეშმარიტ პორიზონტულ მიმართულებას, რომელსაც ჩვენ „უძრავი წყლის ზედაპირის მიმართულებას“ ვუწოდებთ.

ახლა შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დიდი წრეწირი, რომელსაც ქმნის პორიზონტული სიბრტყის გადაკვეთა ცის სფეროსთან, არის კეშმარიტი ანუ მათემატიკური პორიზონტი. იგი განსხვავებულია ხილული ანუ ფიზიკური პორიზონტისაგან, რომლის ხაზი ცაზე წარმოადგენს საზღვარს, სადამდეც დამკვირვებლის თვალი წვდება დედამიწის ზედაპირს. მათემატიკური პორიზონტის სიშორე განუსაზღვრელია ისევე, როგორც ცის სფეროს რადიუსი. ფიზიკურ



ნახ. 19.

პორიზონტს კი, როგორც ზემოთაც დაერწმუნდით, გარკვეული სასრულო სიშორე ახასიათებს.

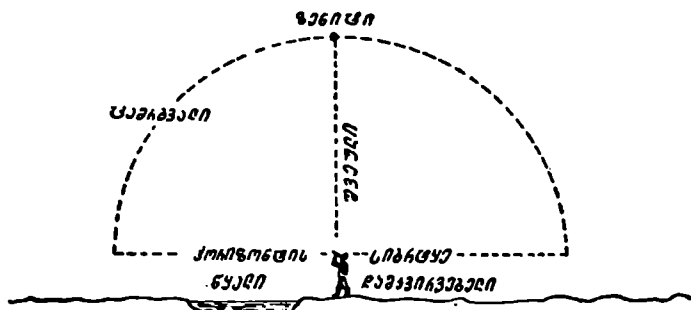
მე-19 ნახაზზე $H'H'$ კეშმარიტი პორიზონტის მიმართულებაა, ხოლო AH — ხილული პორიზონტისა. მათ შორის კუთხე აღნიშნულია α ასოთი. მას პორიზონტის დაწევა ვუწოდება.

ადვილი მისახვედრია, რომ, რაც უფრო მალა იმყოფება დამკვირვებელი ზღვის დონიდან, მით მეტია ეს კუთხე. დაწევის კუთხის გამოსათვლელი ფორმულა გამოპყავთ საზღვაოსნო ასტრონომიაში.

ზენიტი. კეშმარიტი პორიზონტის მართობული მიმართულება შეველი ანუ ვერტიკალური მიმართულებაა. დამკვირვებლის ადგილიდან (თვალიდან) გავლებული ვერტიკალური მიმართულების გადაკვეთა ცის სფეროსთან გვაძლევს Z წერტილს, რომელსაც ზენიტის წერტილი ან უბრალოდ — ზენიტი ვუწოდება (სიტყვა არაბული წარმოშობისაა). ზენიტი პირდაპირ დამკვირვებლის თავს ზემოთ არის მოთავსებული, რაც მე-20 ნახაზზე თვალნათლივია წარმოდგენილი.

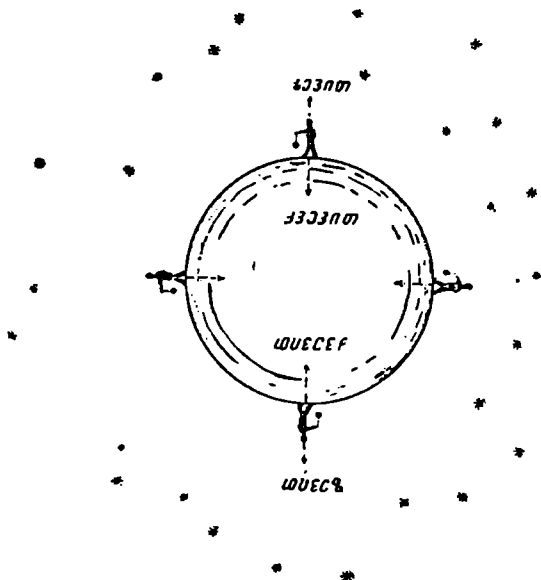
თუ ZA მიმართულებას „ქვევით“ გაგრძელებულად წარმოვიდგენთ, მისი

გადაკვეთით ცის სფეროსთან მივიღებთ წერტილს, რომელსაც ნადირის წერტილი ეწოდება.



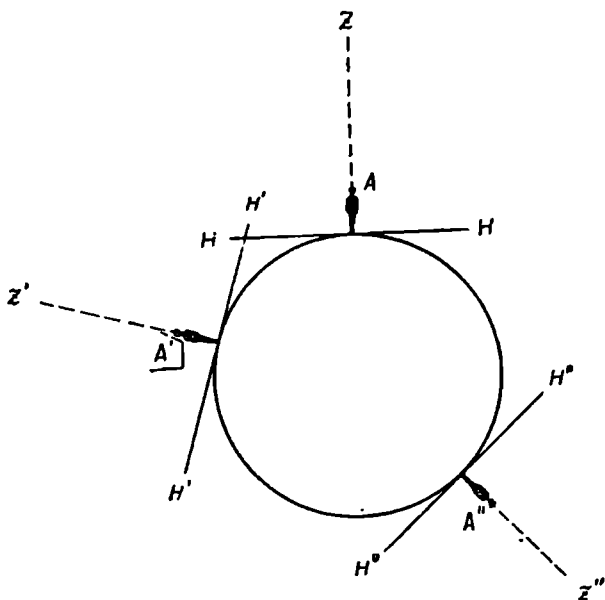
ნახ. 20.

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



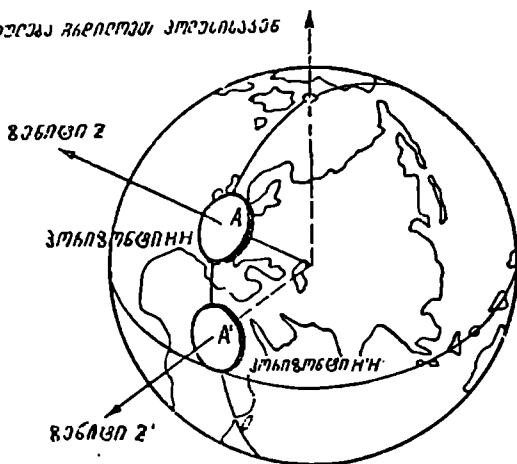
ნახ. 21.

ცხადია, რომ ზენიტი სხვადასხვა დამკვირვებლისათვის სხვადასხვა წერტილშია 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.

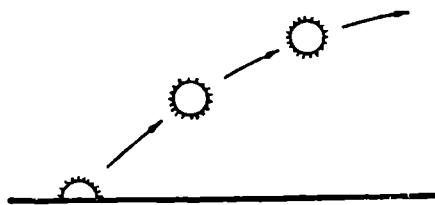
მიმართულია ჩვენი მოქმედება



ნახ. 23.

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

ნელა -მიცურავს“ ცის თაღზე; განუწყვეტლივ და თანდათან სულ ზევით და ზევით მიიწევს, მაგრამ ჰორიზონტს მართობული მიმართულებით კი არ შორდება, არამედ, თუ პირით აღმოსავლეთისაკენ ვდგავართ, ჩვენს მიმართ მარჯვნივაც გადაინაცვლებს. ასე რომ, მისი გზა დახრილია ჰორიზონტის მიმართ, როგორც ეს 24-ე ნახაზზეა ნაჩვენები, სადაც სქელი ჰორიზონტული ხაზი შეესაბამება ხილული



ა.ო.ი.ზ.ონ.ტ.ის აღმოსავლეთი ვაკეა

ნახ. 24.

ჰორიზონტის აღმოსავლეთ მხარეს; აღნიშნულია მზის სამი თანმიმდევრული მდებარეობა ამოსვლისა და მომდევნო მომენტებში. ისრები გვიჩვენებს მზის გადაინაცვლების მიმართულებას.

აქვე შეგვიძლია მოვიყვანოთ უფრო ნატურალური სურათი (ნახ. 25). უძრავი ფოტოაპარატით ერთსა და იმავე ფოტოფირფიტაზე გადაღებულია მზე რამდენჯერმე, ყო-

ველი ოც-ოცი 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 მხარეზე,



ნახ. 25

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 ვდგავართ (ნახ. 26).

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

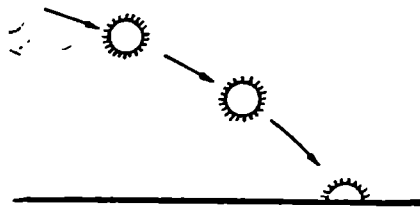
ამოვა პორიზონტზე მის აღმოსავლეთ მხარეზე თითქმის სწორედ იქ, სადაც წინა დღეს ამოვიდა. ამგვარად, მზე თითქოს გარშემო უკლის დედამიწას. სანამ მზე ჩვენთვის პორიზონტის ქვეშაა, მისი სხივები არ ეფინება ჩვენს არე-მარეს და ამიტომ ჩვენს გარშემო ღამეა. სამაგიეროდ ამ დროს მზე ანათებს იმ ადგილებს, სადაც ჩვენი ანტიპოდებია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

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 მოქვილია აურაცხელი ვარსკვლავით. ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან სიკაშკაშით და ფერითაც. ამასთანავე მათი განლაგება ცაზე როდია მწყობრი; ისინი არათანაბრად, თითქოს ცალცალკე ჯგუფებად გაერთიანებულან, ერთგვარი კრებულების სახით. ამგვარ კრებულებს ან ჯგუფებს თანავარსკვლავედები ეწოდება. 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. დიდი დათვის თანავარსკვლავედი, რომელიც ცის ჩრდილოეთ მხარეზე მოჩანს, ძირითადად, შვიდი შედარებით კაშკაშა ვარსკვლავის სახით. თუმცა მისი მოყვანილობა დიდად რბილი მოგვაგონებს მინცდამინც დათვის ფიგურას, მაგრამ ცრურწმენით შეპყრობილი ძველი დროის ადამიანის ფანტაზიას მიუხედავებია იგი დათვისათვის (ნახ. 27). თანავარსკვლავედების მოხაზულობასა და სახელწოდებებს ამჟამადაც ხმარობენ ვარსკვლავიერ ცაზე ორიენტაციისათვის.

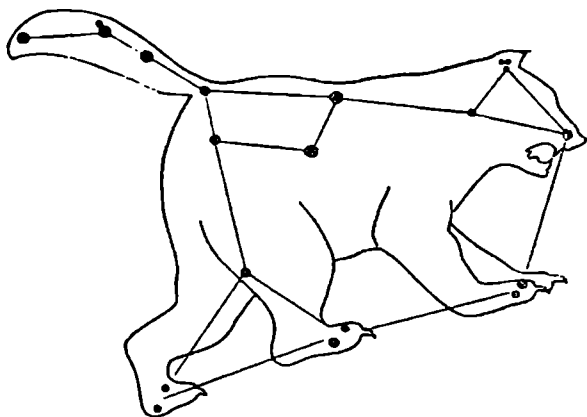
მოწმენდილ უმთვარო ღამით გამოვიდეთ გარეთ, გაშლილ ადგილას, დავდგეთ პირით ჩრდილოეთისაკენ და დავაკვირდეთ ცას. ჩრდილოეთ მხარეზე, როგორც უკვე ვთქვით, ადვილად გამოვარჩევთ შვიდი კაშკაშა ვარსკვლავის ჯგუფს—დიდი დათვის თანავარსკვლავედს. დავაკვირდეთ მას ხანგრძლივად. ერთი-ორი საათის შემდეგ აშკარად დავრწმუნდებით,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



კოიზონტის დასავლეთი მხარე

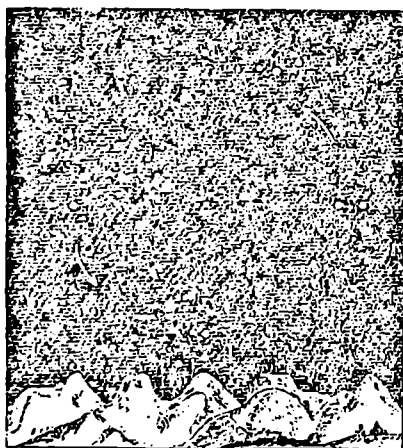
ნახ. 26.

შეიდი ვარსკვლავის ურთიერთგანლაგება არ შეცვლილა და ისინი კვლავ იმავე ფიგურას ქმნიან, მიუხედავად ამისა, მთლიანი ჯგუფის ადგილმდებარეობა ცაზე განსხვავებულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ თანავარსკვლავედმა გადაინაცვლა; იგი



ნახ. 27.

შებრუნდა ცაზე საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. 28-ე ნახაზზე გამოხატულია დიდი დათვის თანავარსკვლავედის ოთხი თანმიმდევრობითი მდებარეობა ცაზე; ისარი გადაადგილების მიმართულებას უჩვენებს.



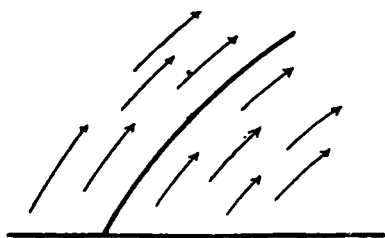
ნახ. 28.

ცაზე ვარსკვლავების ზილული მოძრაობის ეს სურათი განსხვავდება იმისგან, რაც შუის მიმართ შეენიშნეთ და ან იმ ვარსკვლავებზეც შეენიშნათ, რომლებიც პორიზონტის 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 პორიზონტის დასავლეთ მონაკვეთზე, სადაც ვარსკვლავები უახლოვდებიან ზევიდან პორიზონტს და ჩადიან მის

ქვემოთ (ნახ. 30).

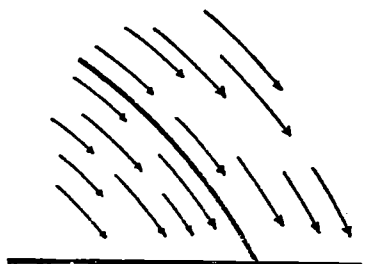
უკეთეს წარმოდგენას გვაძლევს ნახ. 31-ე. ფოტოაპარატი უძრავად იყო მიმართული მოწმენდილი ღამის ცაზე რამდენიმე საათის განმავლობაში დასავლეთისაკენ. ფოტოფირფიტაზე აღიბეჭდა პორიზონტის დასავლეთით ჩამავალ ვარსკვლავთა კვალი.

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



ქორიზონტის ალოსაპლეთი მხარე

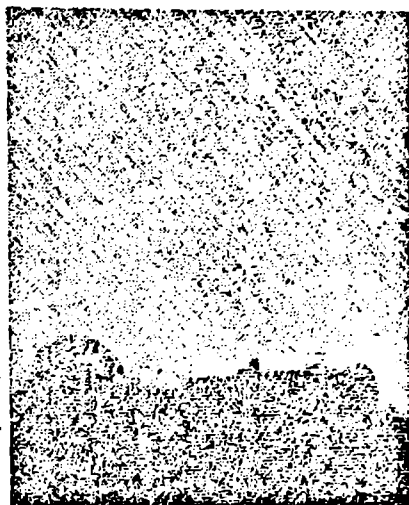
ნახ. 29.



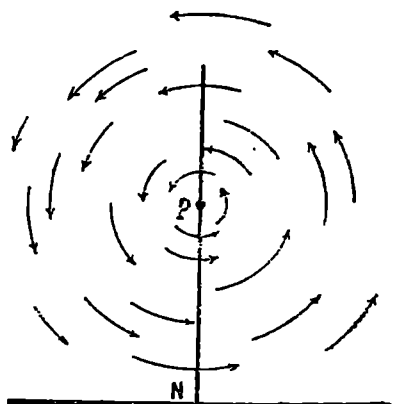
ქორიზონტის დასაპლეთი მხარე

ნახ. 30.

ლოეთ მხარეზე მოძრავ ვარსკვლავებს (ნახ. 28). აქ, ჩრდილოეთ მხარეზე თანავარსკვლავედების მთელი წგუფისათვის ამოსვლა-ჩასვლა არ ხდება. ისანი გარშემო-



ნახ. 31.



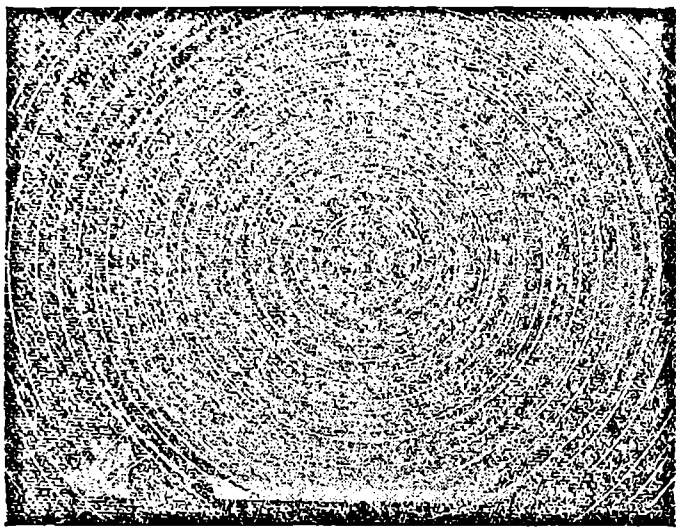
ქორიზონტის ჩრდილოეთი მხარე

ნახ. 32.

უვლიან რომელიღაც წერტილს და ჰორიზონტს არ გადაკვეთენ, მაშასადამე, ჩაუსვლელნი არიან და მუდამ ჰორიზონტის ზევით იმყოფებიან (ნახ. 32).

აქაც მიემართოთ 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, მკრთალებსა—წვრილი რკალების სიგრძე წრეწირის მუქქესეულია. მაშასადამე, ცის ჩრდილოეთი მხარის გადაღება უძრავი ფოტოაპარატით ოთხი საათის განმავლობაში მიმდინარეობდა. ჰორიზონტთან მოჩანს ხის წვერო, რომელიც შემთხვევით მოხვდა ფოტოაპარატის ობიექტივის ველში.

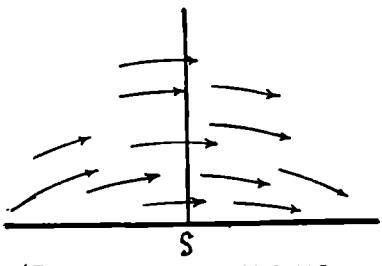
დავდგეთ პირით სამხრეთისაკენ და დავაკვირდეთ ჰორიზონტის სამხრეთის წერტილთან ახლო მოძრავ ვარსკვლავებს. ვნახავთ, რომ აქ ვარსკვლავების „კვალი“



ნახ. 33.

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

მაშასადამე, ცაზე ვარსკვლავების დღელამური ხილული მოძრაობის საერთო სურათი ასეთია: ვარსკვლავები ისე მოძრაობენ, რომ ერთიმეორის მიმართ მან-



ქორიზონტის სამხრეთი მხარე

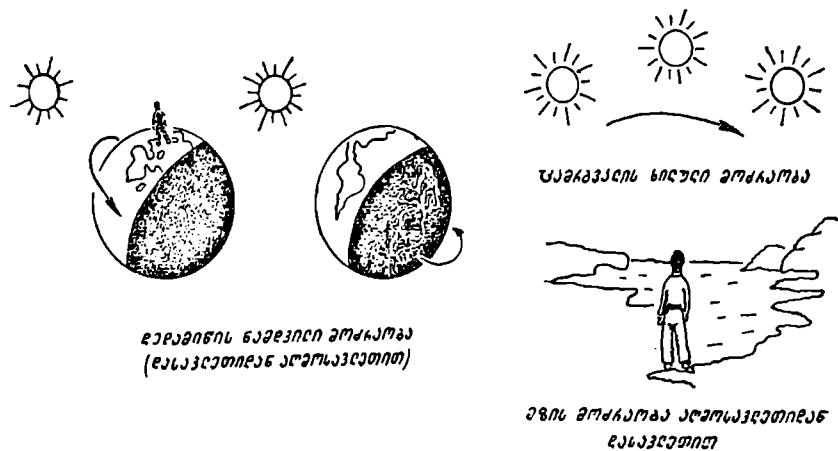
ნახ. 34.

ძილსა და მდებარეობას არ იცვლიან; თითქოს ცამრგვალი, როგორც ერთიანი მყარი სფერო, მასზე „მიჭედლილი“ ვარსკვლავებითურთ, ბრუნავს ჩვენს გარშემო; ბრუნავს ნელი და უცვლელი, თანაბარი სიჩქარით აღმოსავლეთიდან დასავლეთით. ერთი დღე-ღამის განმავლობაში იგი ერთხელ შემობრუნდება სრულად. იქმნება ისეთი შთაბეჭდილება თითქოს ცის სფერო ბრუნავს ღერძის გარშემო, რომელიც გავლებულია ცის სფეროს ცენტრში ანუ იქ, სადაც ჩვენ (დამკვირვებელი) ვიმყოფებით.

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

დოდა. ეს ღერძი ჩვენი პორიზონტის სიბრტყეში რომ ყოფილიყო მოთავსებული, მაშინ ყველა ვარსკვლავი მართობულად ამოვიდოდა პორიზონტიდან 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 პორიზონტისადმი დაახრით აიხსნება. ეს ღერძი ისეა დახრილი, რომ მისი „ბოლო“ ჩრდილოეთ ცას ეხებინება“ წერტილში (ნახ. 32), სადაც პორიზონტსა და ზენიტს შუა. მისი მეორე, მოპირდაპირე ბოლო სამხრეთითაა, მაგრამ პორიზონტის ქვეშ და ჩვენთვის უჩინარია.

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

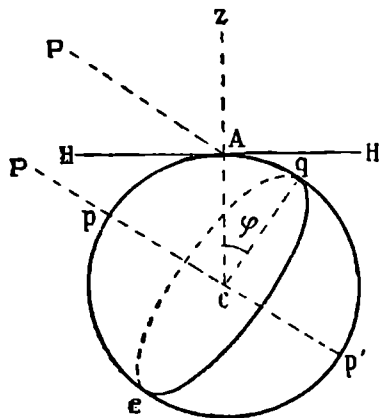


ნახ. 35.

ვები უფლიან ირგვლივ დედამიწას, არამედ თვით დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით (ნახ. 35). ეს ფაქტი იწვევს მზისა და ვარსკვლავების ამოსვლა-ჩასვლის და, საერთოდ, მთელი ცის სფეროს ბრუნვის მოჩვენებით მოვლენებს. მაგრამ, რატომაა ბრუნვის ღერძი ასე დახრილად ორიენტირებული ჩვენი პორიზონტის მიმართ? ყველგან ასეა ეს? ამგვარი დახრა განპირობებულია ჩვენი რეალური მდებარეობით — დედამიწის ეკვატორსა და პოლუსს შუა, ზომიერ სარტყელში. დახედოთ 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 პორიზონტის მიმართულებაა. სინამდვილეში დედამიწა ბრუნავს pp' -ის ირგვლივ, მაგრამ დამკვირვებელს, რომელიც A წერტილში იმყოფება, ისე ეჩვენება, თითქოს ცის სფერო ბრუნავს დედამიწის ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით PCp' -ის პარალელური AP წრფე ხაზის ირგვლივ. რადგანაც

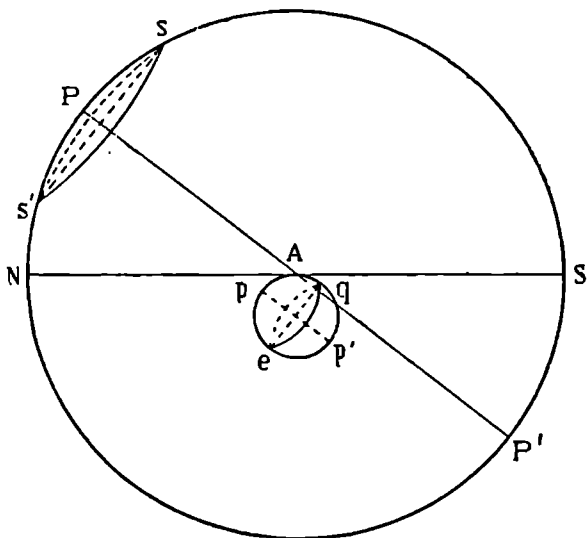
დედამიწის რადიუსი უმნიშვნელოდ მცირედ შეგვიძლია მივიჩნიოთ ცის სფეროს რადიუსთან შედარებით, PCp' შეგვიძლია „გადავიტანოთ“ თავის პარალელურად A წერტილში, სადაც იგი AP მიმართულებას თანხვდება.



ნახ. 36.

37-ე ნახაზზე დედამიწას პატარა, შიგა წრე გამოხატავს, ხოლო ცის სფეროს—გარე, დიდი. დედამიწის ზედაპირის A წერტილი, სადაც დამკვირვებელი იმყოფება, ამავე დროს ცის სფეროს ცენტრად შეგვიძლია მივიჩნიოთ. A დამკვირვებლისათვის NAS პორიზონტის მიმართულებაა, eq —დედამიწის გეკატორი, pp' —დედამიწის ბრუნვის ღერძი, ხოლო PP' ცის სფეროს ის დიამეტრი, რომლის გარშემოც ბრუნავს იგი. მნათობების ხილული დღელამური გზა ცაზე გამოიხატება PP' ღერძის მართობული წრეწირებით, რომელთა ცენტრები ამავე ღერძზე მდებარეობენ. 37-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ერთი ამგვარი წრეწირი ჩრდი-

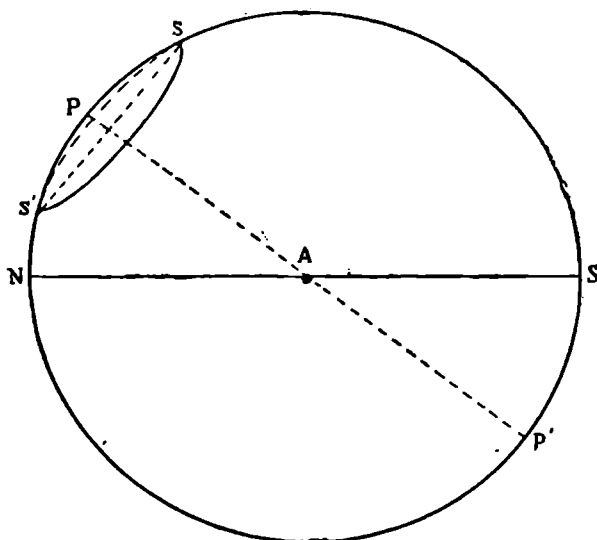
ლოეთი პოლუსის ახლო მყოფი ვარსკვლავისათვის— SS' (იხ. ქვევით: დღელამური პარალელები).



ნახ. 37.

ენიდან დედამიწის რადიუსი, როგორც უკვე ვთქვით, უმნიშვნელო სიდილეს წარმოადგენს ცის სფეროს რადიუსთან შედარებით, პრაქტიკულად შეგვიძლია

მთელი დედამიწა ერთი წერტილის სახით განვიხილოთ, რომელიც ცის სფეროს ცენტრში იქნება მოქცეული. ამავე წერტილში წარმოვიდგება დამკვირვებელიც. ამიტომ pp' დაემთხვევა PP' და, მაშასადამე, დედამიწის ბრუნვის ღერძი და ცის სფეროს ბრუნვის ღერძი ერთი და იგივე იქნება. ეს გამონახატულია 38-ე ნახაზზე, სადაც A წერტილში უნდა წარმოვიდგინოთ „წერტილში შეკუმშული“



ნახ. 38.

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).

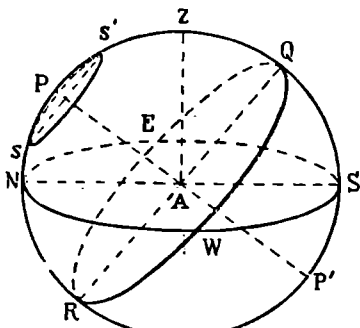
სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსს მივაგნებთ ცაზე, თუ პირით ჩრდილოეთი-საყენ დაედგებით და ხანგრძლივად,—2—3 საათის განმავლობაში,—დავაკვირდებით ვარსკვლავების ნელ გადაადგილებას. ისინი ისე შემოწვრიან რკალებს ცაზე, რომ დაისახება ამ „ნაკვალევი“ რკალების საერთო ცენტრი.

გავიხსენოთ, რომ დედამიწის ცენტრზე გამავალსა და ბრუნვის ღერძის მართობულ სიბრტყეს დედამიწის ეკვატორული სიბრტყე ეწოდება. 36-ე და 37-ე ნახაზებზე ეკვატორის დიდი წრეწირი აღნიშნულია eq -თი. დედამიწის ეკვატორის 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.

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

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

მასზე წარმოდგენილია ერთ A წერტილში—სფეროს ცენტრში. უკეთესია ვთქვათ, რომ A წერტილში იგულისხმება დამკვირვებლის თვალი. AZ მიმართულებაა დამკვირვებლიდან მის ზენიტზე ანუ შვეულია, დაკვირვების წერტილზე გამავალი. NWS პორიზონტის წრეწირია; N, E, S, W , შესაბამისად, გამოხატავენ ჩრდილოეთის, აღმოსავლეთის, სამხრეთისა და დასავლეთის წერტილებს. ამ მიმდევარ წერტილებს შორის რეალური მანძილები 90° -ია.

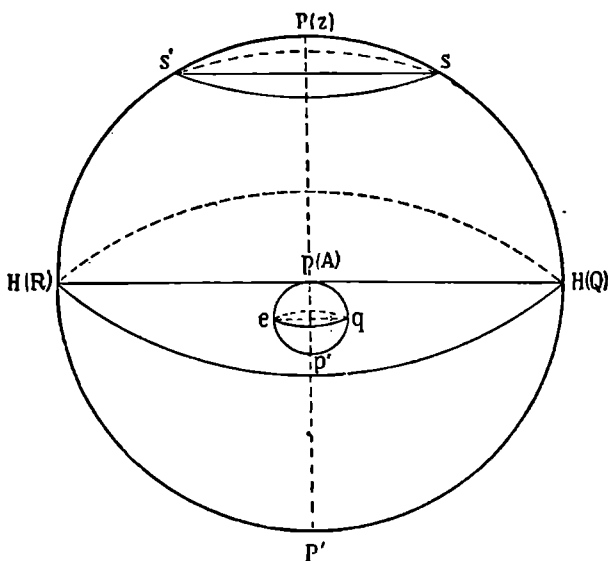


ნახ. 39.

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

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

პორიზონტი—ცის ეკვატორს (მიაქციეთ ყურადღება აღნიშვნებს: $P(Z), H(R), H(Q), p(A)$). ცნებებს: „აღმოსავლეთი“, „დასავლეთი“ აქ აღარ აქვს ჩვეულებრივი

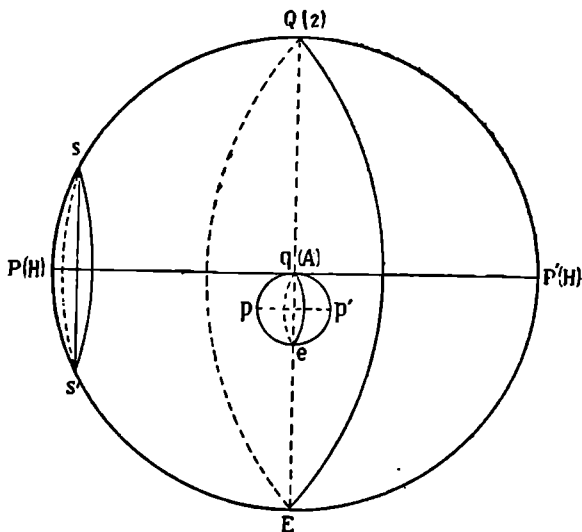


ნახ. 40.

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

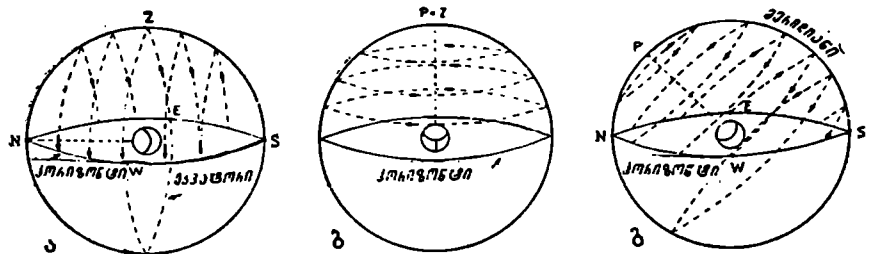
ეკვატორზე მცხოვრები დამკვირვებლისათვის სურათი მიიღებდა 41-ე ნახაზის სახეს. ადვილი წარმოსადგენია, როგორ იქნებოდა ამ შემთხვევაში ორიენტირე-

ბული დამკვირვებლის პორიზონტის მიმართ სამყაროს ღერძი, სამყაროს პოლუსები და მნათობთა დღელამური მოძრაობის „ვეალი“ 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.

პოლუსის ვარსკვლავი. ზემოთ ვნახეთ, როგორ მივაგნოთ სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსს. იგი ადვილი მოსაძებნია და საცნობია ცაზე იმის გამოც, რომ მის ახლო არის საკმარისად კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელიც უბრალო თვალთ ჩანს და მარტივადაც მიიგნება. დიდი დათვის თანავარსკვლავედს, როგორც ვიცით, შეიძლება 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 α და β ასოებითაა აღნიშნული, წარმოდგენაში წარფე ხაზით შევეერთებთ და მას განვა-

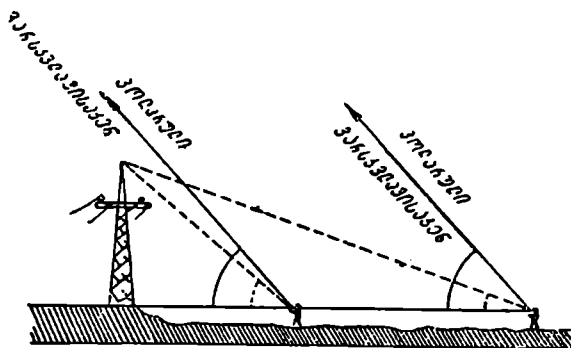
გრძობთ პ-დან ჟ-ს მიმართულებით დაახლოებით ჯა მონაკვეთის ხუთ ტოლ მანძილზე. ცაზე შეგვხვდება საკმარისად კაშკაშა ვარსკვლავი, რომელიც იმდენად ახლოა ჰემსპარტი პოლუსის წერტილთან, რომ მის მაჩვენებლად ჩაითვლება. ამიტომ ამ ვარსკვლავს პოლუსის ანუ პოლარული ვარსკვლავი ეწოდება.

☆ პოლარული
პარასელიჰი



N
ნახ. 43.

თუ ძალიან შორეულ მოგზაურობას არ ვეწვევით ჩრდილოეთისაკენ ან სამხრეთისაკენ, მიმართულება პოლუსის ვარსკვლავისაკენ ანუ მისი სიმაღლე ჩვენი პორიზონტის 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 ზომისაა. მას მცირე დათეს უწოდებენ.

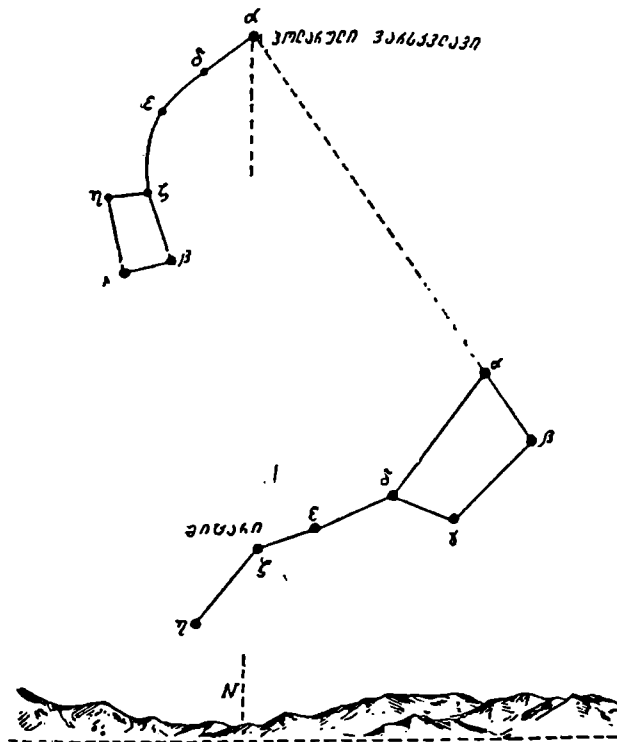
დიდი დათვის წ ვარსკვლავი აღნიშნულია საკუთარი სახელით: მიცარი; იგი საინტერესო ჯერად ვარსკვლავს წარმოადგენს (იხ. ქვემოთ).

როგორც 28-ე და 45-ე ნახაზებზე ჩანს, როცა არ უნდა შევხედოთ მოწმენდილ ღამის ცას, სადაც არ უნდა მდებარეობდეს მოცემულ მომენტში დიდი

დათვის თანავარსკვლავედი, მიმართულება სამყაროს ჩრდილოეთ პოლუსზე უცვლელი იქნება და ყოველთვის ერთი და იმავე წესით მოიძებნება.

თუ პოლუსის ვარსკვლავიდან, წარმოდგენაში, შვეულს დაეუშვებთ ჰორიზონტზე, მათი გადაკვეთა ჰორიზონტის ჩრდილოეთ წერტილს მოგვცემს (*N*, ნახ. 32).

რაკი ჩრდილოეთი წერტილი ანუ ჩრდილოეთი მხარე გვეცოდინება, შემდეგ აღვილი იქნება ჰორიზონტის დანარჩენი მხარეების მოძებნაც: დავდგეთ პირით ჩრდილოეთისაკენ (პოლუსის ვარსკვლავისაკენ), მაშინ მარჯვნივ აღმოსავლეთი



ნახ. 45.

იქნება, მარცხნივ—დასავლეთი, ხოლო ჩვენს უკან—სამხრეთი, ჰორიზონტის შესაბამისი წერტილები იქნება: *E*, *W*, *S* (ნახ. 39).

დღელამური პარალელი. 37-ე ნახაზზე პოლუსის ახლო ვხედავთ მცირე წრეწირს—*ss'*. იგი, როგორც 38-ე და 39-ე ნახაზებზე, ვარსკვლავის ხილულ დღელამურ გზას გამოსახავს ცაზე და მართობულია სამყაროს *PP'* ღერძისა, მაშასადამე, ეკვატორის პარალელურია. ამის გამო მას დღელამური პარალელი ეწოდება. ასეთი პარალელი ცაზე იმდენი უნდა წარმოვიდგინოთ, რამდენი ვარსკვლავიც მოჩანს (ნახ. 42).

იმ მნათობებისათვის, რომელნიც ეკვატორზე მდებარეობენ, დღელამური პარალელი თვით ეკვატორს წარმოადგენს. ეკვატორისაგან განსხვავებით, სხვა დღელამური პარალელები, საერთოდ, მცირე წრეწირები ია. 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 შევინშნავთ, 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.

შუადღის ხაზი. ჰორიზონტის N და S წერტილების შემეართებელ 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 შეეული საგნის (მაგალითად, სარის, სვეტის, ანძის) ჩრდილს. დილის საათებში 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. შევინშნავთ, რომ ჩრდილი ჯერ განუწყვეტლივ მოკლდება და რალაც 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 გადაინარება 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 ამალღებულია ჰორიზონტის ზევით. ასე განისაზღვრება მზის საშუალო სიმაღლე.

ცის შერიდანი. გავავლოთ სიბრტყე ისე, რომ იგი გადიოდეს ერთდროულად დამკვირვებლის თვალზე, ზენიტსა და პოლუსზე. ასეთი სიბრტყე ჰორიზონტის სიბრტყის მართობული იქნება: რამდენადაც იგი გავლებულია დამკვირვებლის.

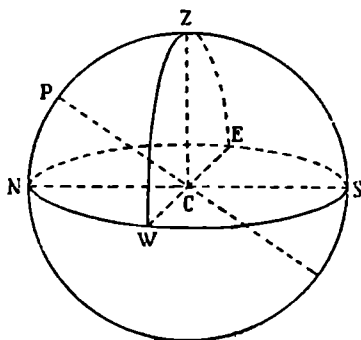
თვალსა და ზენიტზე—მასში მდებარეობს შევეული მიმართულება. ეს სიბრტყე პორიზონტის სიბრტყესთან გადაკვეთება შუადღის ხაზზე, რადგანაც იგი, როგორც აღენიშნეთ, გადის პოლუსზე და, მასასადაჟე,—ჩრდილოეთ და სამხრეთ წერტილებზეც. მზე ამ სიბრტყეს შუადღის მომენტში გადაკვეთს, რადგანაც ეს სიბრტყე ზენიტზე და სამხრეთ წერტილზე გაივლის და მზე შუადღისას სამხრეთის მხარეზეა. ცის სფეროს დიდ წრეს, რომლის სიბრტყე გადის დამკვირვებლის თვალზე, ზენიტსა და პოლუსზე ცის მერიდიანი ეწოდება. მერიდიანი შუაზე ჰყოფს მზის ხილულ გზას ცაზე მისი ამოსვლიდან ჩასვლამდე. 39-ე ნახაზზე მერიდიანი გამოხატება $NPZQSP'R$ წრეწირით. 32-ე და 34-ე ნახაზებზე პორიზონტის მართობული სქელი ხაზები სწორედ მერიდიანის წრეწირის იმ რკალების გეგმილებს გამოხატავს, რომლებიც, შესაბამისად, ჩრდილოეთისა და სამხრეთის წერტილების ახლოა. სხვა სიტყვებით, ეს ხაზები მერიდიანის გეგმილება, გადატანილი სიბრტყეზე. თუ 37-ე ნახაზს დავებრუნდებით და დავაკვირდებით, მივხვდებით, რომ დამკვირვებლის ცის მერიდიანის სიბრტყე $NPSP'$ თანხვედა მისი ადგილის გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყეს— $pApp'$. სხვა სიტყვებით, ცის მერიდიანის წრეწირი ადგილის მერიდიანის ასახვაა ცის სფეროზე. როგორც დედამიწის ეკვატორი და ცის ეკვატორი ერთ სიბრტყეშია თანხვედნილი, ასევე, ადგილის მერიდიანი და შესაბამისი ცის მერიდიანი თანხვედნილია ერთს, ეკვატორის მართობულ სიბრტყეში.

პირველი ვერტიკალი. როგორც ვნახეთ, ცის მერიდიანი პორიზონტის მართობული სიბრტყეა. პორიზონტის 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 წრეს, რომლის სიბრტყე გადის ზენიტზე, აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებზე, პირველი ვერტიკალი ეწოდება. იგი გამოსახულია 46-ე ნახაზზე; დიდი წრეწირის EZW რკალთ შემოხაზულია მხოლოდ მისი ის ნახევარი, რომელიც პორიზონტის ზევითაა.

პირველი ვერტიკალის გადაკვეთა პორიზონტთან აღმოსავლეთ-დასავლეთის წერტილების შემართებული ხაზია: ECW . ეს ხაზი შუადღის ხაზის მართობულია, რამდენადაც E და W 90° -ით არიან დაშორებულნი N და S წერტილებიდან. ცხადია, რომ მერიდიანისა და პირველი ვერტიკალის სიბრტყეები ერთმეორეს მართობულად ჰკვეთენ.

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



ნახ. 46.

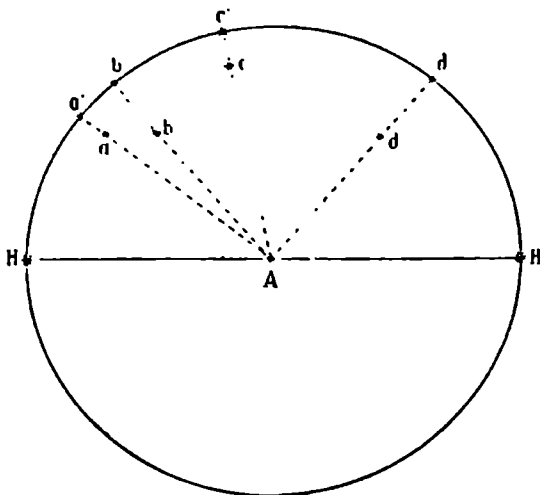
ასტრონომიული კოორდინატები

დამკვირვებელი და ცის სფერო | ყველა ასტრონომიულ დაკვირვებას დამკვირვებელი მოძრავი დედამიწიდან აწარმოებს. დედამიწის მოძრაობა ძირითადად ორგვარია: დღელამური ბრუნვა ღერძის ირგვლივ და წლიური სრბოლა მზის გარშემო | ჯერჯერობით მარტო ის მოვლენები განვიხილოთ, რომლებიც დაკავშირებულია პირველი გვარის მოძრაობასთან—დღელამურ ბრუნვასთან. დედამიწის ბრუნვას საკუთარი ღერძის ირგვლივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით უშუალოდ ვერ აღვიქვამთ, რამდენადაც იგი მუდმივი და თანაბარია; დედამიწასთან ერთად ასევე თანაბრად და მუდმივად მოძრაობს მთელი ჩვენი მიწიერი გარემო, თვითონ ჩვენც. სამაგიეროდ, ადვილად შეიძლება ცის მნათობების მოჩვენებითი მოძრაობა ცამრგვალზე ჩვენს გარშემო, მოპირდაპირე მიმართულებით,—აღმოსავლეთიდან დასავლეთით. ასე იქმნება ცის დღელამური 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 დაგვემილებული წარმოუდგენია მისგან ერთნაირად დაშორებულ 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 უნდა რჩებოდნენ ჩვენს მიმართ, რამდენადაც დაფუძავშირეთ ჩვენს ჰორიზონტს, შვეულ მიმართულებას და სხვ. რაკი ჩვენი თავი (დამკვირვებელი) უძრავად მივიჩნით ცის სფეროს ცენტრში, უძრავად ჩაითვლება ჰორიზონტიცა და შვეული მიმართულებაც.

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



ნახ. 49.

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 სიბრტყიდან (ჰორიზონტი, მერიდიანი, ეკვატორი) მისი ხილული დაშორების განსაზღვრას.

მაგრამ ცაზე ხილულ დაშორებას ანუ მანძილს, რა თქმა უნდა, ვერ გავზომავთ რაიმე ხაზოვანი საზომი ერთეულით. ამ შემთხვევაში გავზომავენ კუთხეს. რომელსაც ქმნის დამკვირვებლის თვალიდან მნათობზე მიმართული თვალთახედვის ხაზი მეორე ასეთსავე ხაზთან, რომელიც მიმართული იქნება რომელიმე აღნიშნული სიბრტყის (ჰორიზონტი, ეკვატორი) გასწვრივ ან საყრდენი წერტილისაკენ (ზენიტი, პოლუსი) და. ან კიდევ, — რომელიმე მეორე მნათობზე, თუ მოითხოვება კუთხური დაშორების განსაზღვრა მეორე მნათობიდან.

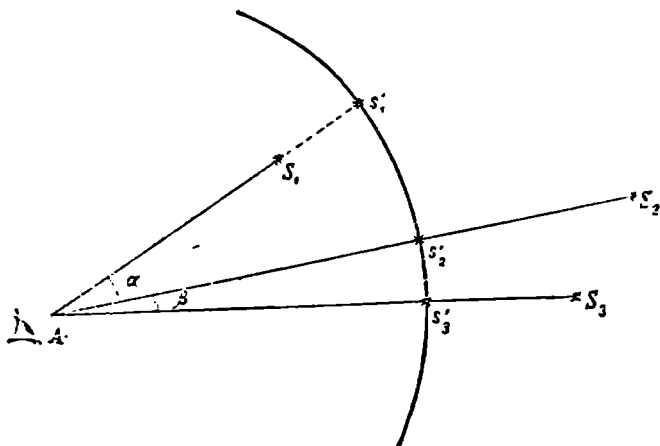
ამგვარად, საქმე გვექნება კუთხურ მანძილებთან. ადვილი მისახვედრია, რომ კუთხე, რომელიც ასე აიკება, თავისი წვეროთი დამკვირვებლის თვალშია, ხოლო მისი სიდიდე ვაიზომება დიდი წრეწირის რკალით. რომელიც ცის სფეროზე შემოიხაზება მნათობიდან მნათობამდე ან საყრდენი წერტილიდან მნათობამდე.)

A წერტილიდან. სადაც მოთავსებულია დამკვირვებლის თვალი (ნახ. 49), ეკვირდებით S_1 , S_2 და S_3 ვარსკვლავებს. ამ შემთხვევაში არა გვაქვს უშუალო მონაცემები იმისათვის, რომ შევფასოთ ან ერთმანეთისაგან განვასხვავოთ რეალური AS_1 , AS_2 და AS_3 მანძილები, ან კიდევ — ვანვსაზღვროთ კემპარტი მანძილები ვარსკვლავებს შორის: S_1S_2 , S_1S_3 და S_2S_3 . სამაგიეროდ, შეგვიძლია შევადაროთ ერთმანეთს კუთხეები, რომელსაც 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 ადრეული არიან A ცენტრის ვარსკვლავი ერთეულიანი რადიუსით

შემოწერილ წრეწირზე. ეს რკალები მხოლოდ ხილულ კუთხურ მანძილებს გამოხატავენ.

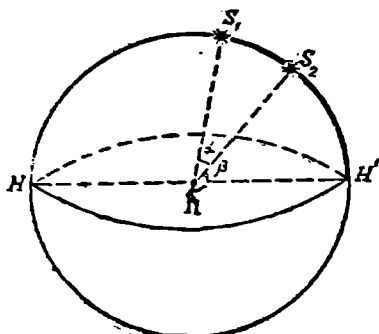
თუ დავუშვებთ, რომ AS'_1 რაიმე საყრდენი მიმართულებაა (მსგავსად მიმართულებისა ზენიტზე ან პორიზონტში), მაშინ α კუთხე წარმოადგენს S_1 -ის



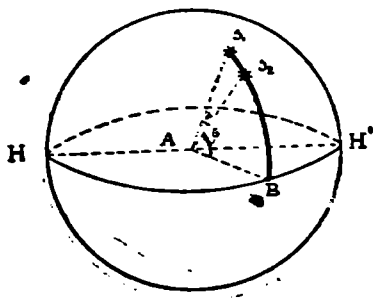
ნახ. 49.

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

50-ე ნახაზზე დამკვირვებელი უყურებს ცაზე S_1 და S_2 ვარსკვლავებს. მის თვალთანედვის ხაზები დამკვირვებლის თვალში ქმნიან α კუთხეს. ეს კუთხე შეესაბამება ცის სფეროზე აღებულ რკალურ მანძილს— S_1S_2 . დიდი წრეწირის რკალი



ნახ. 50.

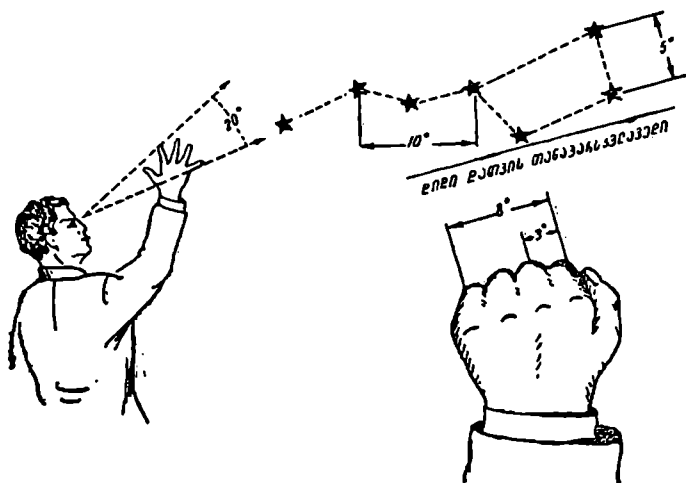


ნახ. 51.

$H'S_2$ შეესაბამება β კუთხეს და გამოხატავს S_2 ვარსკვლავის ხილულ მდებარეობას პორიზონტის მიმართ, მას ხილულ დაშორებას პორიზონტადან.

ანალოგიური სურათია 51-ე ნახაზზე იმ ვანახავეებით, რომ ამ ვარსკვლავები აღვიღის პერილიანის სიბრტყეში არ მდებარეობენ, როგორც ეს 50-ე ნახაზზეა ნაჩვენებო.

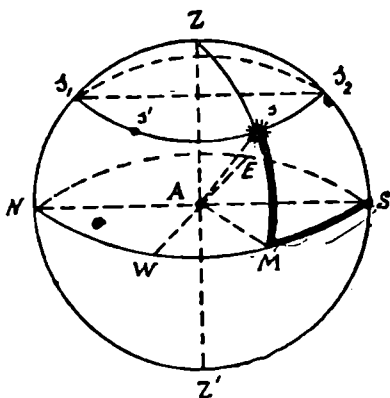
სასარგებლოა, დაახლოებით მინც შეგვეძლოს ცაზე კუთხური მანძილების შეფასება თვლით. ამისათვის დავიხსომოთ, რომ კუთხური მანძილი დიდი დათვის α და β ვარსკვლავებს შორის დაახლოებით 5° -ია; δ და κ -ს შორის კი— 10° ; საცხე მთვარის ბადროს განივი ნახევარი გრადუსია. ცაზე კუთხური მანძილების



ნახ. 52.

შესაფასებლად უხეში სახელდახელო წესიც არსებობს (წინ გაშვერილი ხელი გაშლილი თითებით ან მუშტით), იგი გამოხატულია 52-ე ნახაზზე.

(**პორიზონტული კოორდინატები.** სიმაღლე და აზიმუტი. ზენიტური მანძილი. განვიხილოთ 53-ე ნახაზი. $NWSE$ გამოსახავს პორიზონტს, NZS —ცის მერიდიანს, AZ —შვეულის მიმართულებას. მივაქციოთ ყურადღება აგრეთვე შუადღის ხაზს— SN და აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებას— EW . s გამოხატავდეს რომელიმე მნათობს, რომლის მდებარეობის განსაზღვრა გესურს ცის სფეროზე.



ნახ. 53.

დავეშვათ ზენიტიდან ვერტიკალური დიდი წრეწირის ZM რკალი ისე, რომ მან s მნათობზე გაიაროს. M აღნიშნავს ვერტიკალური წრეწირის გადაკვეთას პორიზონტის სიბრტყესთან ანუ ე. წ. ვერტიკალის ფუძეს. რკალი Ms გაზომავს კუთხეს, რომელიც იქმნება

დამკვირვებლის თვალში— A წერტილში, s ვარსკვლავზე მიმართული თვალთახედვის ხაზსა და პორიზონტის სიბრტყეს შორის. ეს რკალი ერთგვარად განსაზღვრ-

რაც მნათობის ხილულ დაშორებას, ამაღლებას ჰორიზონტიდან. ამიტომ შეგვიძლია ვუწოდოთ მას სიმაღლე, ე. ი. მნათობის სიმაღლე ეწოდება ვერტიკალური წრის M_s რკალს ჰორიზონტიდან მნათობამდე ან ცენტრალურ MAs კუთხეს ჰორიზონტის სიბრტყესა და s ვარსკვლავზე მიმართულებას შორის.

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

ცხადია, რომ სიმაღლე ერთგვარ მითითებას გვაძლევს იმის შესახებ, თუ სად, რა ადგილას, ჰორიზონტიდან ახლო თუ შორს მდებარეობს ცაზე მნათობი. მაგრამ მისი რიცხვითი მნიშვნელობის ცოდნა არაა საკმარისი იმისათვის, რომ მნათობის მდებარეობა გარკვეულად და სრულად განისაზღვროს ცაზე, რამდენადაც ჰორიზონტის 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 ჰორიზონტიდან, როგორც s . s და s' მდებარეობენ ჰორიზონტის პარალელურ მცირე წრეწირზე. ისეთ მცირე წრეწირს, რომელიც ჰორიზონტის პარალელურია, მნათობის ალმუტკანტარატი ეწოდება.

მაშასადამე, აუცილებელია შემოვიღოთ კიდევ სხვა, მეორე სიდიდე, რომელიც საესებით განისაზღვრავს, სიმაღლესთან ერთად, მნათობის მდებარეობას ცის სფეროზე. საამისოდ განვიხილოთ ჰორიზონტის რკალი SM , რომელიც გაზომავს დამკვირვებლის თვალში აგებულ ბრტყელ SAM კუთხეს; ეს უკანასკნელი წარმოადგენს კუთხეს მერიდიანსა და s მნათობზე გაველებულ ვერტიკალს შორის. ამ კუთხის ანუ შესაბამისი დიდი წრეწირის რკალის ცოდნა, სიმაღლის ცოდნასთან ერთად, უკვე საესებით საკმარისია იმისათვის, რომ მნათობის ანუ რაიმე წერტილის მდებარეობა ცის თაღზე მოცემულ მომენტში საბოლოოდ და ცალსახად განისაზღვროს. თუ მარტო M_s 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.

(ჰორიზონტის SM რკალს სამხრეთის წერტილიდან მნათობის ვერტიკალის ფუხემდე ან ზენიტთან შედგენილ სფერულ SZM კუთხეს მერიდიანსა და მნათობის ვერტიკალს შორის, მნათობის აზიმუტი ეწოდება.)

აზიმუტი აითვლება სამხრეთის წერტილიდან S ჰორიზონტის გასწვრივ ორივე მიმართულებით: დასავლეთით აითვლება დადებითად, 0 -დან 180° -მდე, ხოლო აღმოსავლეთით—უარყოფითად, 0 -დან— 180° -მდე. ცხადია, რომ აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილების აზიმუტი მინუს და პლუს 90° -ია, შესაბამისად; კიდევ მეტიც: ყველა იმ ვარსკვლავის აზიმუტი, რომლებიც პირველ ვერტიკალზე მდებარეობს, პლუს ან მინუს 90° -ია. ჩრდილოეთის წერტილის აზიმუტი

180°-ია, მერიდიანზე მდებარე ვარსკვლავების აზიმუტი—0° ან 180°-ი; თუ ვარსკვლავი მერიდიანის სამხრეთ ნაწილში (*ZS* რკალი) მდებარეობს, აზიმუტი 0°-ია, ხოლო თუ ჩრდილოეთ ნაწილში (*ZN* რკალი)—180°.

ზოგჯერ აზიმუტი ათვლება სამხრეთის წერტილიდან დასავლეთის (საათის ისრის მიმართულებით) 0-დან 360°-მდე. ათვლის ასეთ სისტემაში, მაგალითად, აღმოსავლეთის წერტილის აზიმუტი 270° იქნება.

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

საბოლოოდ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სიმალღე მიგვიითებს 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—სიმალღეს და აზიმუტს,—როგორც ცის სფეროს ზედაპირზე მნათობის (წერტილის) განსაზღვრულ სიდიდეებს,—ასტრონომიული კოორდინატები ეწოდება. იმასთან დაკავშირებით, რომ განხილულ შემთხვევაში პირველი კოორდინატის საყრდენ ანუ საწყის სიბრტყეს ჰორიზონტი წარმოადგენს, ხოლო მეორე კოორდინატი იმავე ჰორიზონტის გასწვრივ ათვლება, კოორდინატთა ამ სისტემას ჰორიზონტული კოორდინატების სისტემა ეწოდება.)

ჰორიზონტული სისტემის პირველ კოორდინატს—სიმალღეს—აღნიშნავენ *h*. ასოთი, ხოლო მეორეს—აზიმუტს—*A* ასოთი.

ხშირად სიმალღის ნაცვლად ხმარობენ ე. წ. ზენიტურ მანძილს, რაც იმავე 53-ე ნახაზზე გამოიხატება *Zs* რკალით და წარმოადგენს სიმალღის *Ms* რკალის დამატებას 90°-მდე. ამიტომ, თუ ზენიტურ მანძილს აღნიშნავთ *x* ასოთი (ასეთია საერთოდ მიღებული მისი აღნიშვნა), დავწერთ ტოლობას:

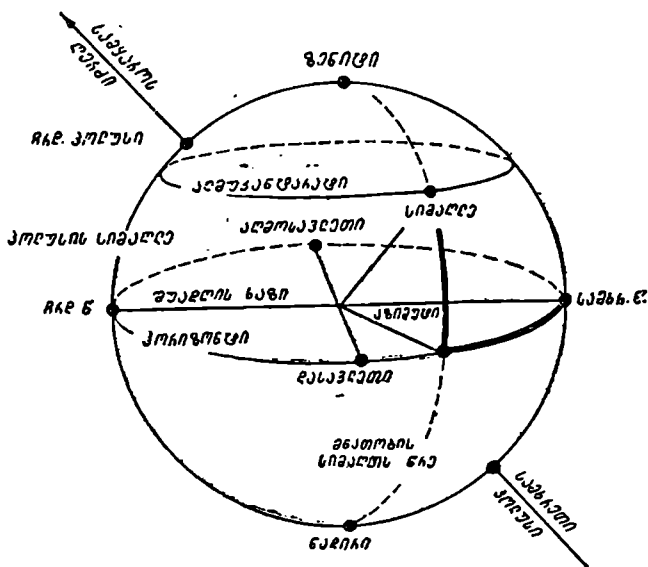
$$h + x = 90^\circ.$$

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

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—სიმალღისა 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 აეწიოთ თავი ზევით იმდენად, რამდენადაც ეს შეესაბამება მნათობის სიმალღის მოცემულ მნიშვნელობას, ე. ი. ავიხედოთ ზევით ისე, რომ თვალთახედვის ხაზმა ჰორიზონტთან დაახლოებით იმდენ გრადუსიანი კუთხე

შედგინოს, რამდენიც მნათობის სიმაღლეს გამოხატავს. ამის შემდგომ, თუ მნათობს დასაველეთი აზიმუტი აქვს, შემოვტრიალდეთ დასაველეთისაკენ (მარჯვნივ) იმდენი გრადუსით, რამდენიც ეს აზიმუტის მოცემულ მნიშვნელობას შეესაბამება. როდონდ ამ შემოვტრიალებისას არ შეეცვალოთ თვალთახედვის ხაზის უკვე ფიქსი-



ნახ. 54.

რებული ამალევა პორიზონტიდან. მაშინ ჩვენი თვალთახედვის ხაზი პირდაპირ მნათობისკენ 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 პორიზონტში,—ჯერ დასაველეთისაკენ 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 პორიზონტული კოორდინატები. როგორ მოვიქცეთ? დაუშვათ ჩვენი თვალთახედვის ხაზი მნათობიდან პორიზონტის 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 პორიზონტული კოორდინატების მიახლოებითი განსაზღვრის პროცედურა.

პორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხმზომი იარაღით. თავისთავად იგულისხმება, როცა საქმე ეხება ზუსტ ასტრონომიულ დაკვირვებას და ზუსტ განსაზღვრებს, ასე უბრალოდ კი ვერ მოვიქცევით, მაშინ მივმართავთ

უძრავად დამაგრებულია ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში ϵ მაჩვენებელი. როცა საჭერეტი მილი ჰორიზონტის პარალელურ მდებარეობაშია, წრის დანაყოფი O მოდის მაჩვენებლის პირდაპირ და ეს იმას გამოხატავს, რომ სიმაღლე $h = 0^\circ$. თუ გვსურს გავზომოთ მნათობის სიმაღლე, საჭერეტი მილი—მისი ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან, ე. ი. ანათვილიდან O° —უნდა შემოვებრუნოთ h' ლერძის ირგვლივ იმდენად, რომ მასში განსახილველი მნათობი დაინახოთ. მაშინ ვერტიკალური წრეც იმდენად შემობრუნდება, რომ ϵ მაჩვენებლის პირდაპირ გაჩერდება მნათობის სიმაღლის გამომხატველი ანათვალი.

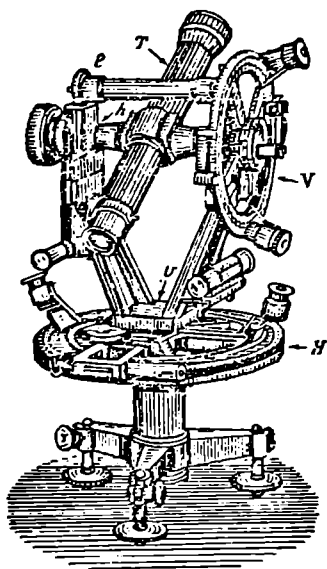
T მილს, h' ლერძითურთ და V წრი-
თურთ, შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური v ლერ-
ძის გარს და ამნაირად—მნათობის აზიმუტის
შესაბამისი კუთხით შემობრუნდება. ჰორიზონ-
ტული წრე H უნდა იყოს დამაგრებული v
ლერძზე, ხოლო i_h მაჩვენებელი—უძრავად მი-
მართული ჰორიზონტის სამხრეთი წერტილისა-
კენ— S . A აზიმუტის გაზომვის პროცედურა
ანალოგიურია h სიმაღლის გაზომვისა, მაგრამ
თავისთავად ცხადია, აქ იგი ჰორიზონტულ
სიბრტყეში, ჰორიზონტულ წრეზე ხდება.

კოორდინატების გაზომვის წინ იარაღი
უნდა დაეაყენოთ საწყის მდგომარეობაში, ე. ი.
ისე რომ, H წრე იყოს რაც შეიძლება მკაც-
რად ჰორიზონტალური (რისთვისაც საჭიროა მიე-
მართოთ სათანადო თარაზოებს), ხოლო i_h მაჩვე-
ნებელი—პირდაპირ S წერტილზე მიმართული.

ზემოთ მოყვანილი იყო კუთხმზომი იარა-
ღის გამარტივებული სქემა. სინამდვილეში ეს იარაღი უფრო რთულია, ზუსტი
იარაღების კატეგორიას ეკუთვნის. მთელი რიგი დანამატები: თარაზოები, წრეების
დანაყოფების ასათვლელად სახმარი ნონიუსები, ლუპები, გამნათებელი ნათურები,
დასამაგრებელი და ნელი შემობრუნების ზრახნები და სხვ. ართულებს მას და
დამკვირვებლისაგან მოითხოვს ერთობ ფაქიზ მოპყრობას. 56-ე ნახაზზე ნაჩვენებია
თვით იარაღი, რომელსაც ეწოდება თეოდოლიტი ან უნივერსალური
ინსტრუმენტი. ამ ნახაზზე აღნიშნული შეესაბამება 55-ე ნახაზზე მიღებულ
აღნიშვნებს. დამატებით აღნიშნულია ერთ-ერთი თარაზო (I) და ერთ-ერთი წრის
ასათვლელი ლუპა ანუ მიკროსკოპი (III).

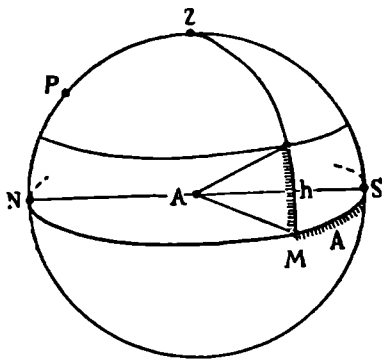
ამ პარაგრაფის დასასრულს მოვიყვანოთ კიდევ ორი ნახაზი, რომლებიც
მეტ სიცხადეს შეიტანს საკითხში. 57-ე ნახაზზე წარმოდგენილია კვლავ ცის სფერო
 A დამკვირვებლით მის ცენტრში. აქ აღნიშნულია ჰორიზონტი, ვერტიკალის
წრე, პოლუსისა და ზენიტის წერტილები და სხვ.

ჰორიზონტის რკალი S წერტილიდან განსახილველი მნათობის ვერტიკალის
ფუძემდებ „დაკბილულია“, რათა გამოყოფილ იქნეს ჰორიზონტის წრეწირის ის
ნაწილი, რომელიც იზომება თეოდოლიტით ან უნივერსალური ინსტრუმენტით.



ნახ. 56.

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. დავეუშვათ

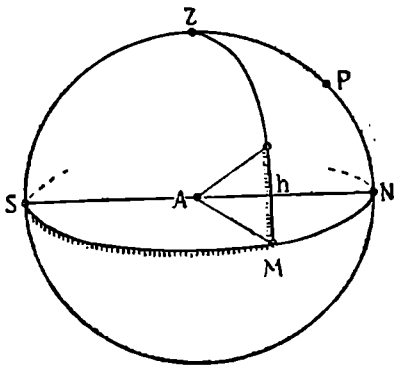


ნახ. 57.

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

ვხედავდეთ 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.

ჰორიზონტულ კოორდინატა სისტემის თავისებურება. ყურადღებაშისაქცევია ორი გარემოება. პირველი ისაა, რომ აღებული მნათობის პორიზონტული კოორდინატები განუწყვეტლივ იცვლება ცის ხილული დღეღამური ბრუნვის ანუ დედამიწის ნამდვილი, დღეღამური, ღერძის ირგვლივ ბრუნვის გამო. მნათობი ამოდის პორიზონტზე და ამ მომენტში მისი სიმაღლე ნულია; აზიმუტი კი, თუ მნათობი ზუსტად აღმოსავლეთის წერტილში ამოდის,— 90° -ია, თუ არა და, 90° -გან განსხვავებული სიდიდეა. ამოსვლის უმაღლეს მნათობის სიმაღლე თანდათან მატულობს, ხოლო აზიმუტის აბსოლუტური მნიშვნელობა კლებულობს. იმ მომენტში, როცა მნათობი პორიზონტის ზემოთ მერიდიანს გადაკვეთს, მისი სიმაღლე პორიზონტიდან უდიდესია, მაგრამ აზიმუტის მნიშვნელობა 0° -მდე დადის*. მზისადავის, მაგალითად, ეს დაახლოებით შუადღისას ხდება. ამის შემდგომ სიმაღლე იწყებს კლებას, ხოლო აზიმუტი—ზრდას დასავლეთის მიმართულებით და, როცა



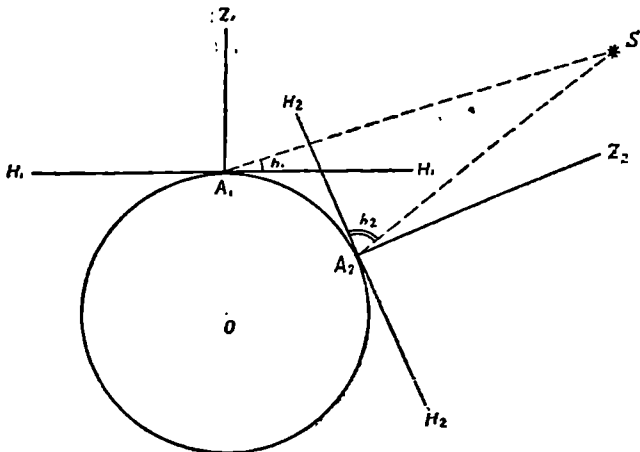
ნახ. 58.

* იგულისხმება, რომ კლმინაცია ხდება ზენიტიდან სამხრეთით (იხ. გვ. 89).

მნათობი კვლავ ჰორიზონტზე დადის ჩასასვლელად, მისი სიმაღლე ისევ ნულია, ხოლო აზიმუტი მაქსიმალური მნიშვნელობისა*.

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:



ნახ. 59.

ჰორიზონტული კოორდინატები აითვლება ადგილის ჰორიზონტისა 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 ამალღებულია მცირე კუთხით— H_1A_1s , ხოლო მეორე დამკვირვებლის ჰორიზონტიდან—უფრო დიდი კუთხით— H_2A_2s . მაშასადამე, ერთსა და იმავე მომენტში, ორი ერთიმეორისაგან 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 მომენტი-

* ზოგ სპეციალურ ამოცანაში მნათობის ჰორიზონტული კოორდინატები მაშინაც განიხილება, როცა მნათობი ჰორიზონტის ქვეშაა. ასეთ შემთხვევაში მნათობის ჩასვლის შემდეგ მისი სიმაღლე უარყოფით მნიშვნელობებს ღებულობს, ზენიტური მანძილი— 90° -ზე ნეტ მნიშვნელობებს, აზიმუტი განავრცობს ზრდას.

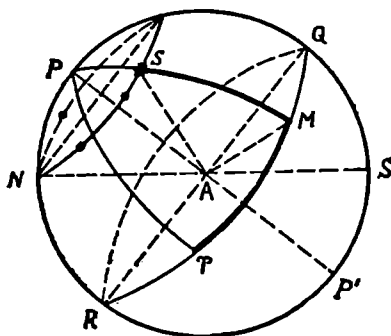
სათვის და ამავე დროს არაა მითითებული გეოგრაფიული პუნქტი, რომელსაც ეს კოორდინატები შეესაბამება, ვერ შევძლებთ მათი საშუალებით მნათობის მდებარეობის დადგენას ცაზე.

მნათობის (წერტილის) მდებარეობა ცაზე (სფეროს ზედაპირზე) საესებით უნდა განისაზღვრობოდეს ორი კოორდინატით (როგორც, მაგალითად, წერტილის მდებარეობა სიბრტყეზე ან ქალაქის მდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე). მაგრამ, როგორც ვნახეთ, ჰორიზონტულ სისტემაში მნათობის კოორდინატები ცვლებადია 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.

ეკვატორული კოორდინატები. დახრილობა და პირდაპირი აღვლენა. დეხედოთ მე-60 ნახაზს, რომელიც წარმოადგენს ცის სფეროს. აქ გავლებულია ეკვატორის წრე, ნაჩვენებია პოლუსები და შუადღის ხაზი (ჰორიზონტის წრე აქ ნაჩვენები არაა). მათთან ერთად გავლებულია ერთ-ერთი ვარსკვლავის დღეღამური პარალელი. განვიხილოთ მნათობის მდებარეობა ეკვატორის მიმართ. გავვლოთ P პოლუსიდან ეკვატორზე დიდი წრე ისე, რომ მან მნათობზე გაიაროს. ცის სფეროს დიდ წრეს, რომელიც P პოლუსსა და მნათობზე გადის, ეწოდება მნათობის დახრილობის ან საათის წრე. ეს წრე, ცხადია, ეკვატორის



ნახ. 60.

მართობულია. 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° -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 გადაკეთის წერტილით ეკვატორთან ან, როგორც ამბობენ, მნათობის დახრილობის რკალის ფუძით.

როგორც ვნახეთ, დახრილობა აითვლება ეკვატორიდან და ჩრდილოეთ პოლუსამდე მას შეუძლია მიიღოს სხვადასხვა დადებითი მნიშვნელობა 90° -მდე. მაგრამ ადვილი წარმოსადგენია ვარსკვლავი, რომელიც თავის დღელამურ პარალელს შემოწერს ეკვატორის სამხრეთით, ე. ი. განიხილება ცის სამხრეთ ნახევარსფეროში მდებარე ვარსკვლავი. ამ შემთხვევაში დახრილობას ვლავ ეკვატორიდან ავითვლით, მაგრამ სამხრეთ პოლუსისაკენ 0° -დან 90° -მდე და მას მივკუთვნებთ მინუს ნიშანს. ასე, სამხრეთ პოლუსის დახრილობა იქნება -90° .

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

მაშასადამე, იმისათვის, რომ შევძლოთ ერთ პარალელზე მდებარე ვარსკვლავებიდან საკუთრივ იმ ვარსკვლავის გამოჩევა, რომლის მდებარეობაც გვინტერესებს, საჭიროა შემოვიღოთ მეორე კოორდინატიც. ეკვატორის წრეწირზე ერთი მეტად მნიშვნელოვანი წერტილია (იგი მე-60 ნახაზზე აღნიშნულია γ ნიშნით), რომელშიც მზე ყოველწლიურად გაზაფხულის დღელამტოლობის დღეს იმყოფება. ამ მოვლენაზე ქვევით ვისაუბრებთ დაწვრილებით. ამ წერტილს ეწოდება გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი ანუ ვერძის წერტილი (ვერძის თანაგარსკვლავედის სახელწოდების მიხედვით)*; იგი მივიღოთ ვარსკვლავებს შორის ფიქსირებულ, 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 γ წერტილზე. მას დღელამტოლობის კოლური ეწოდება. განვიხილოთ ახლა ეკვატორის რკალი— γM , რომელიც გამოხატავს რკალურ მანძილს ვერძის წერტილიდან ε მნათობის დახრილობის წრის M ფუძემდე. ამ რკალს მეორე კოორდინატის მნიშვნელობა აქვს. მისი და დახრილობის საშუალებით გარკვეულად განისაზღვრება მნათობის მდებარეობა ცაზე. ცის ეკვატორის γM რკალს გაზაფხულის დღელამტოლობის γ წერტილიდან მნათობის დახრილობის წრის M ფუძემდე ან პოლუსთან შედგენილ სფერულ γPM კუთხეს დღელამტოლობის კოლურსა და მნათობის დახრილობის წრეს შორის პირდაპირი ადვლენა ეწოდება.

ამგვარად, პირდაპირი ადვლენა შეგვიძლია განვიხილოთ აგრეთვე როგორც ორწახნავა კუთხე დახრილობათა ორი წრის სიბრტყეთა შორის, რომელთაგან

* დღელამტოლობას აქვს მეორე, ძველი ქართული სახელწოდებაც: ბუნობა.

ერთი გადის მნათობზე, ხოლო მეორე— $P\gamma$ —გაზაფხულის დღელამტოლობის γ წერტილზე.

მე-60 ნახაზზე γ 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 იღვეს 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 მიგვაჩინა; უამისოდ ადვილად შეიძლება ჩავვარდეთ გაურკვევლობაში. მეითხველი 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° -მდე. გარკვეული მოსაზრების გამო, რომელსაც მაშინ გავეცნობდით, 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° შეუუტყარლოთ 24 საათს. ესე იგი, ამოსავლად ის ჩავთვალოთ, რომ ცა 24 საათის განმავლობაში (ერთ დღე-ღამეში) 360° -ით (ერთი სრული შემობრუნება) შემობრუნდება. მაშინ ყოველ 15° -ს შეესაბამება 1 საათი, 1° -ს—დროის 4 მინუტი (წუთი), რკალის 1 მინუტს—დროის 4 სექუნდი (წამი).

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

დახრილობას აღნიშნავენ ბერძნული δ ასოთი (დელტა), ხოლო პირდაპირ აღვლენას—ბერძნული α ასოთი (ალფა). ეს ორი სიდიდე სახეებით 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 μ ასოთი. იგი აითვლება ჩრდილოეთ პოლუსიდან სამხრეთ პოლუსისაკენ და იცვლება $0 \leq \mu \leq 180^\circ$ საზღვრებში. ერთი და იმავე მნათობისათვის ყოველთვის სამართლიანია შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\mu + \delta = 90^\circ.$$

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

ადვილი შესამჩნევია, რომ ეკვატორული კოორდინატები შემოღებულია.

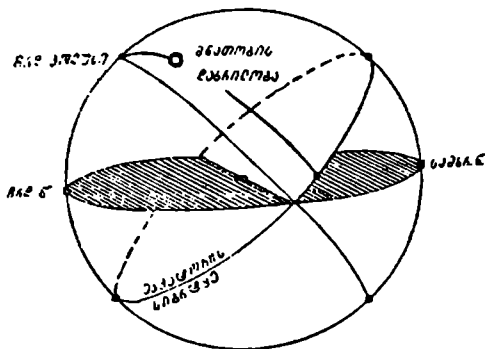
პორიზონტული კოორდინატების მსგავსად. განსხვავება იმაშია, რომ საყრდენად ანუ საწყისად ერთ შემთხვევაში აღებულია ეკვატორი და პოლუსი, მეორეში— პორიზონტი და ზენიტი. თუმცა, ეს ორი სისტემა ერთიმეორისაგან კიდევ ერთი სხვა ნიშნითაც განსხვავდება.

ზემოთ ვნახეთ, რომ აღებული მნათობის პორიზონტული კოორდინატები იცვლება როგორც დროში, ისე დამკვირვებლის ადგილის გამოცვლასთან ერთად. ეკვატორულ სისტემაში მოცემულ კოორდინატებზე იგივე არ ითქმის. დავაკვირდეთ კვლავ იმავე მე-60 ნახაზზე α მნათობის მდებარეობას და მის გადაინაცვლებას ცაზე. ცის ხილული დღელამური ბრუნვის გამო მნათობმა უნდა იმოძრაოს ცაზე, მაგრამ უნდა იმოძრაოს თავისი დღელამური პარალელის გასწვრივ. ამ შემთხვევაში პარალელზე აღნიშნული ოთხი ვარსკვლავი შეგვიძლია α მნათობის ოთხ თანმიმდევნო მდებარეობად მივიჩნიოთ. მნათობი თავის დღელამურ 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 პორიზონტს ცვლის, ხოლო დახრილობა პორიზონტზე 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 დღელამური მოძრაობის გამო α 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 γ -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 γ წერტილი, როგორც მკვიდრი, ვარსკვლავებს შორის ფიქსირებული, მათ მიმართ უცვლელი წერტილი, თვითონაც მონაწილეობს ვარსკვლავებთან ერთად ცის დღელამურ ბრუნვაში, გადაინაცვლებს რა ცაზე იმავე მიმართულებით და იმავე კუთხური სიჩქარით როგორც ვარსკვლავები. ამიტომ γM 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.

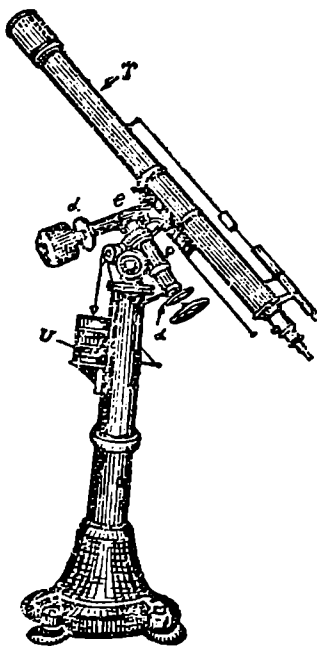
ეკვატორიალი. ზემოთ ვნახეთ როგორ ხდება პორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხმზომი იარაღით. ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრისათვისაც შეგვიძლია ვინმართ საამისოდ განკუთვნილი იარაღი. მის ძირითად ნაწილებსაც კვლავ ორი ღერძის გარშემო მბრუნავი საჭკრეტი მილი და ორი ურთიერთმართობული წრე წარმოადგენს, მაგრამ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

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

აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოებაც. პორიზონტული კოორდინატების ათვლამდე, როგორც შევნიშნეთ, საჭიროა უნივერსალური ინსტრუმენტის საწყის მდგომარეობაში მოყვანა. ეს იმას ნიშნავს, რომ პორიზონტული წრე ზუსტად პორიზონტალურ მდგომარეობაში მოვიყვანოთ, მისი მაჩვენებელი პორიზონტის სამხრეთ წერტილზე მიემართოს და წრის სკალის ნულოვანი წერტილი ამ მაჩვენებელს შევეუთავსოთ, როცა საჭკრეტი მილი მერიდიანშია. ანალოგიურად საჭიროა ეკვატორული კოორდინატების ასათვლელი იარაღის საწყის მდგომარეობაში მოყვანა. ასეთ მდგომარეობას შეესაბამება შემდეგი პირობების დაცვა: ეკვატორის პარალელური წრე ზუსტად პარალელური უნდა იყოს სამყაროს ეკვატორისა; ამ წრის მართობული ღერძი ზუსტად სამყაროს ღერძის პარალელური უნდა იყოს; დახრილობის ასათვლელ წრეზე მაჩვენებელი და წრის ნული შეთავსებული უნდა იყოს, როცა საჭკრეტი მილი ეკვატორის სიბრტყეშია.

მაგრამ იმისთვის, რომ ავითვალოთ პირდაპირი აღვლენა, ეკვატორის პარალელურ წრეზე მაჩვენებლის ნულოვანი მდებარეობა უნდა შევეუთავსოთ γ წერტილის მიმართულებას. ეს უქანასკნელი კი უძრავი არაა ჩვენს მიმართ და მონაწილეობს ცის დღელამურ ბრუნვაში. როგორ უნდა მოვიქცეთ? როგორც ჩანს,

უნდა ვახეზებდეთ ნებისმიერ მომენტში, ან ყოველ შემთხვევაში—პირდაპირი აღვლენის ათვლის წინ, γ წერტილის ცაზე ფიქსირებას და საკვრეტი მილის ჯერ მასზე დამიზნებას და შემდგომ—აღებულ ვარსკვლავზე. მაგრამ ასეთი გზა არ გამოგვედგება; ადვილი როდია ნებისმიერ მომენტში ცაზე გაზაფხულის დღელამ-ტოლობის წერტილის მოძებნა; ამასთანავე ეს წერტილი ყოველთვის როდია პორიზონტის ზემოთ. გამოსავალი ისაა, რომ ეკვატორული წრის ნულის მდებარეობა შევუთავსოთ ადგილის მერიდიანს, ე. ი. მაჩვენებელი კვლავ სამხრეთ მხარეზე მივმართოთ, და აღებულ მნათობზე ამის შემდეგ დამიზნებული საკვრეტი 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.

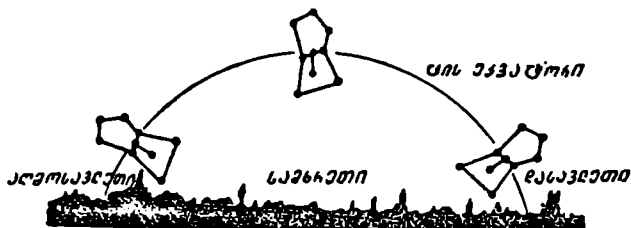
იარაღს, რომელსაც ხმარობენ ეკვატორული კოორდინატების ასათვლელად, ეკვატორიული ეწოდება. თუმცა ამ სახელწოდებით ცნობილია აგრეთვე საერთოდ ყოველი დასაშვარი ტელესკოპი, რომლის ღერძები სამყაროს ღერძსა და მის მართობულ მიმართულებას თანხვედება და აღჭურვილია წრეებით.

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 საკვრეტი 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. ადგილზე დადგმულია ისე, რომ e 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 e ღერძის ირგვლივ ვაბრუნებთ (ე. ი. p -ს ირგვლივ ვაბრუნებთ თვით e ღერძს, მასთან დაკავშირებული T მილითურთ), ცაზე „შემოვწერთ“ ერთ-ერთ დღელამურ პარალელს. კერძოდ, თუ T ეკვატორის

სიბრტყეში მოვაქციეთ და ისე ვაბრუნეთ იგი *p*-ს ირგვლივ, მაშინ ცაზე „შემოიწერება“ ეკვატორის წრე.

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

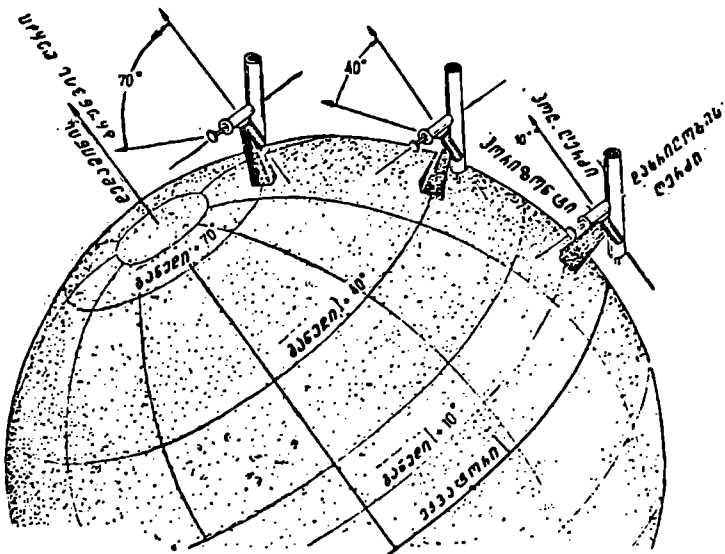
62-ე ნახაზზე ეკვატორიალის სვეტზე შევამჩნევთ ყუთს, რომელიც აღნიშნულია *U* ასოთი. ამ ყუთში მოთავსებულია ერთგვარი საათის მექანიზმი, რომლის დანიშნულებაა, საჭვრეტ მილს მიანიჭოს ცის დღელამური ბრუნვის შესაბამისი თანაბარი მოძრაობა ისე რომ, თუ უკანასკნელი ერთხელ იქნა დაყენებული რომელიმე აღებულ ვარსკვლავზე (რომელიც ამის შემდგომ ტელესკოპის მხედველობის ველში გამოჩნდება), საჭვრეტი მილი განუწყვეტლივ გააჩვენებდა ვარსკე-



ნახ. 63.

ლავის მოძრაობას ცაზე; ამგვარად, ვარსკვლავი არ გამოვა მხედველობის ველიდან ხანგრძლივი დაკვირვების განმავლობაში. დიდ ტელესკოპებს 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 ფოტოგამოსახულების მისაღებად აუცილებელია ხანგრძლივი ფოტოგრაფირება; მოძრავი ცის თალის 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 პრინციპულად უცვლელია, სადაც არ უნდა გამოიყენებოდეს იგი. მაგრამ იმ მოთხოვნის გამო, რომ მისი პოლარული ღერძი მიმართული იყოს ცის პოლუსისაკენ, ხოლო სხვადასხვა ადგილიდან პოლუსი სხვადასხვა სიმაღლეზე მოჩანს პორიზონტიდან, კონსტრუქცია უნდა ითვალისწინებდეს პოლარული ღერძის ეკვატორიალის სვეტის მიმართ დახრის შესაძლებლობას. თუ ეკვატორიალი გამოიყენება ეკვატორზე მდებარე ობსერვატორიაში, მისი პოლარული ღერძი პორიზონტს ემთხვევა, მეორე ღერძი—შვეულს და ეკვატორიალის სკემა გარეგნულად არ განსხვავდება უნივერსალური ინსტრუმენტის სკემისაგან. 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.

ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილის სიმაღლე პორიზონტიდან და დამკვირვებლის ადგილის განედი. დაეუბრუნდეთ 36-ე ნახაზს და ყურადღება მიექციეთ იმას, რომ pAq' არის A წერტილში მყოფი დამკვირვებლის მერიდიანი დედამიწის ზედაპირზე; q არის მერიდიანის გადაკვეთის წერტილი დედამიწის ეკვატორთან. აშკარაა, რომ qA რკალი ზომავს qCA კუთხეს ანუ დამკვირვებლის ადგილის ფ განედს. რადგანაც pC და Cq ურთიერთმართობულია, ამიტომ pCA კუთხე არის 90° — φ ანუ განედის დამატება 90° -მდე. PAZ კუთხე ეტოლება pCA კუთხეს, რამდენადაც AP და Cp ერთმეორის პარალელებია. ამიტომ PAZ კუთხეც არის განედის დამატება 90° -მდე ანუ იგივე 90° - φ . მაშასადამე, კუთხე ზენიტზე მიმართულებასა და ცის ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილზე მიმართულებას შორის არის 90° - φ . ახლა აშკარაა, რომ HAP კუთხე ეტოლება φ -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:

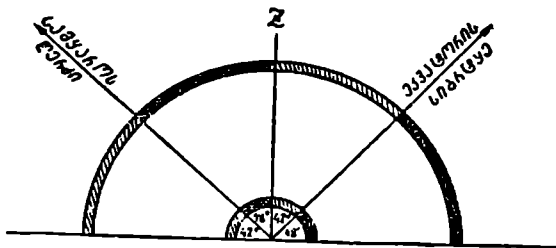
$$h_p = \varphi A.$$

აქედან კვლავ შეგვიძლია დავრწმუნდეთ იმაში, რაც ზემოთაც აღნიშნეთ: 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 წერტილს თანხვდება ($h_p = 90^\circ$).

65-ე ნახაზი შეესაბამება დამკვირვებლის მდებარეობას საქართველოს ტერიტორიაზე, სადაც საშუალო განედი 42° -ს ეტოლება.

ახლა კიდევ ერთხელ დავხედოთ 64-ე ნახაზს.

მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში. ადგილის გეოგრაფიული განედის განსაზღვრა. ადელია მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში, სახელდობრ, იმ მომენტში, როცა მნათობი მერიდიანშია-



ნახ. 65.

მართლაც, განვიხილოთ 66-ე ნახაზი. φ მნათობისათვის, რომელიც მერიდიანში იმყოფება, $Q\varphi$ რკალი წარმოადგენს δ დახრილობას, ხოლო $Z\varphi$ —მის ზენიტურ მანძილს— z . ამ ორივე რკალის ჯამი არის QZ რკალი. მაგრამ, QZ , როგორც ადვილად შეგვიძლია დავრწმუნდეთ, არის ადგილის განედის— φ -ს ტოლი.

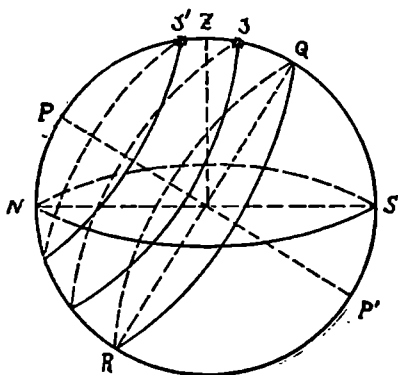
მაშასადამე,

$$\delta + z = \varphi$$

და

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

ეს დამოკიდებულება ცოტათი განსხვავებულ სახეს მიიღებს იმ შემთხვევაში, თუ მნათობის დახრილობა იმდენად დიდია, რომ მისი დღელამური პარალელი მერიდიანს ზენიტის ჩრდილოეთით გადაკვეთს (φ' მნათობი); მაშინ გვექნება: $\delta = \varphi + z$.



ნახ. 66.

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

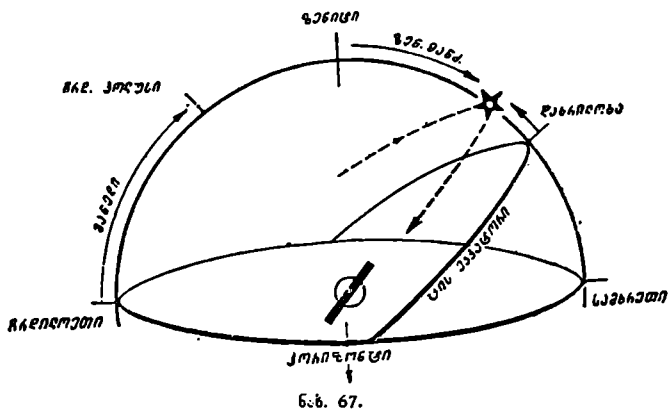
მეორე მხრივ, თუ გამოსარკვევია ადგილის განედი, დავაკვირდებით მნათობს ცნობილი დახრილობით და გაეზომავთ მის ზენიტურ მანძილს იმ მომენტში, როცა იგი

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 გაზომ-

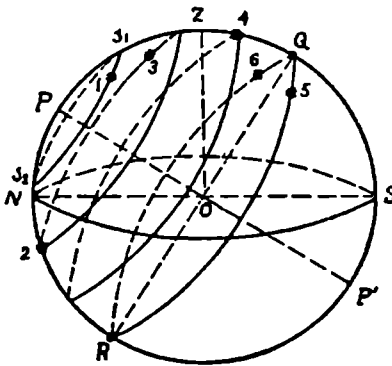
ვით, რამდენადაც ვიცით, რომ პოლუსის სიმაღლე ადგილის განედის ტოლია. დასასრულს დაეხედოთ 67-ე ნახაზსაც.



ნახ. 67.

მნათობის კულმინაცია. მნათობის დღელამური პარალელი, ისევე როგორც ეკვატორი, ორ წერტილში გადაკვეთს მერიდიანს. ეს კარგად მოჩანს 68-ე ნახაზზე, სადაც R და Q ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილებია, ხოლო s_1 და s_2 ერთ-ერთი პარალელისა—იმვე მერიდიანთან.

იმ მომენტს, როცა მნათობი თავისი პარალელის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილში იმყოფება, ე. ი., როცა იგი მერიდიანს გადაკვეთს, კულმინაციის მომენტი ანუ მოკლედ „კულმინაცია“ ეწოდება.



ნახ. 68.

68-ე ნახაზზე კულმინაციაშია „2“ და „4“ ვარსკვლავი, მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ უკანასკნელი მერიდიანს გადაკვეთს მის ზედა— $PZQS$ —მონაკვეთზე, ხოლო პირველი—მის ქვედა მონაკვეთზე— $PNRP'$. ამის მიხედვით ითქმის, რომ „4“ ვარსკვლავი ზედა კულმინაციაშია, ხოლო „2“ ვარსკვლავი—ქვედა კულმინაციაში. კერძოდ, მზე შუადღისას ზედა კულმინაციაშია, შუალამისას—ქვედა კულმინაციაში.

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

ადგილი წარმოსადგენია, რომ დედამიწის ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებელი

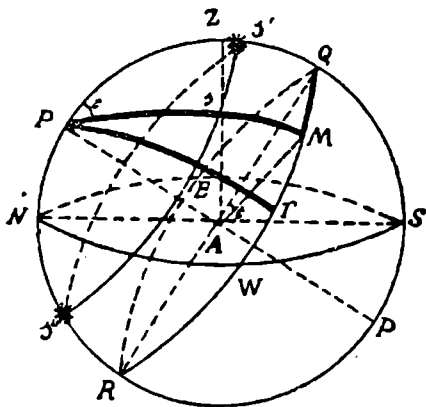
ქვედა კულმინაციაში ვერც ერთ მნათობს ვერ დაინახავს, რამდენადაც მისთვის უკვე აღდგენილი პარალელი ერთი ნახევრით პორიზონტის ქვეშაა.

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

სასარგებლოა დაეუბრუნდეთ 34-ე ნახაზს, რომელზეც პორიზონტის 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 პორიზონტის 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 „3“ ვარსკვლავმა უკვე გაიარა ზედა კულმინაცია და მერიდიანიდან დასავლეთით იმყოფება. „3“ და „6“ ვარსკვლავს კი ჯერ არ მიუღწევია ზედა კულმინაციაზე და აღმოსავლეთითაა.

საათ-კუთხე. განვიხილოთ 69-ე ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია ცის სფერო, მის ზედაპირზე გავლებული ძირითადი წრეწირებით. ყურადღება მივაქციოთ $QPM = z$ კუთხეს, რომელსაც აღდგენს 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.



ნახ. 69.

ამჟაარა, რომ მნათობის დღე-ღამური მოძრაობისას ცაზე z კუთხის სიდიდე იცვლება. როცა მნათობი ზედა კულმინაციაშია ($z' = 0$), რამდენადაც ამ მომენტში მნათობის დახრილობის წრე მერიდიანს ემთხვევა. შემდგომ, მოძრაობს რა მნათობი თავის პარალელზე

დასავლეთით, z კუთხე თანდათან მატულობს და ქვედა კულმინაციაში იგი 180° -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 ფუძემდებ 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 გამონატვა უფრო ხელსაყრელია დროის ერთეულებში მსგავსად პირდაპირი აღვლენისა. ამგვარი ანგარიშის საფუძველს ის წარმოადგენს, რომ დედამიწის დღელამური ბრუნვის დრო 24 საათია და ეს შეესაბამება ერთ სრულ შემობრუნებას ანუ 360° -ს.

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

24 საათი შეესაბამება 360° -ს, 360° შეესაბამება 24 საათს,					
1	„	15° -ს,	1 ^o	„	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 აღებოთად, 0 საათიდან 12 საათამდე (180° -მდე), ხოლო მერიდიანიდან აღმოსავლეთით — უარყოფითად, 0 საათიდან 12 საათამდე (-180° -მდე).

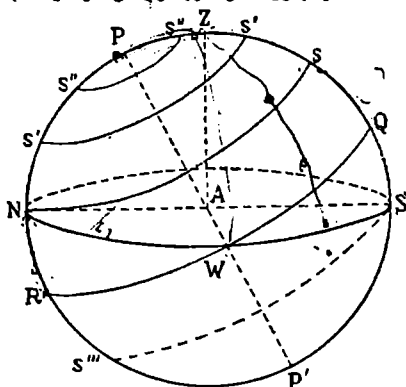
როცა მნათობის საათ-კუთხე 0 და 12 საათს შორისაა, მნათობი ცის სფეროს დასავლეთ მხარეზე მდებარეობს, ე. ი. მისი აზიმუტი დადებითია. თუ მნათობი ცის აღმოსავლეთ მხარეზეა, ე. ი. მისი აზიმუტი უარყოფითია, მაშინ შესაბამის საათ-კუთხე 0 და -12 საათს შორისაა. ცხადია, IV დასავლეთის წერტილის საათ-კუთხე ეტოლება 6 საათს (90°), ხოლო E აღმოსავლეთ წერტილის საათ-კუთხე — 6 საათს (-90°). 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 δ , α კოორდინატებისა შეიძლება გამოიყენოთ δ , t კოორდინატები. განსხვავება ისაა, რომ, მსგავსად კოორდინატებისა პორიზონტულ სისტემაში, მოცემული მნათობის t კოორდინატი ანუ საათ-კუთხე იცვლება დროში, დამოკიდებულია დროზე და ამიტომ მარტო δ -ს და t -ს რიცხვითი მნიშვნელობის ცოდნა არაა სავსებით საკმარისი მნათობის მდებარეობის ცალსახად დასადგენად. ასე, მაგალითად, ვერძის წერტილის კოორდინატები δ , α სისტემაში არის: $\delta = 0^{\circ}$, $\alpha = 0^h$. მაგრამ იმავე წერტილის კოორდინატები δ , t სისტემაში გარკვეულად იგივეა დახრილობისათვის და სხვადასხვა t -თვის, სხვადასხვა დროს. მაგალითად, როცა γ წერტილი კულმინაციაშია, $t = 0$ ან 12 საათს; როცა იგი პორიზონტზეა, მაშინ $t = \pm 6$ საათს.

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

ჩაუსვლელი და ამოუსვლელი ვარსკვლავები. ვარსკვლავებს, რომლებიც ყოველთვის (ე. ი. მათი საათ-კუთხის ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის) პორიზონტის ზევითაა, ჩაუსვლელი ვარსკვლავები ეწოდებათ. 70-ე ნახაზზე მცირე წრეწირი N -ს წარმოადგენს დღელამურ 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



ნახ. 70.

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

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

დღემიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ზოგი ვარსკვლავი სრულიად არ ამოდის პორიზონტის 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 დღელამური პარალელები ეკვატორის სამხრეთითაა. 70-ე ნახაზზე პარალელი Ns''' და ყველა სხვა პარალელი, რომელიც უფრო ახლოა სამხრეთ პოლუსთან— P' , ასეთ ამოუსვლელ ვარსკვლავებს ეკუთვნის. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ვარსკვლავი პორიზონტს ზევით ამოუსვლელი რომ დარჩეს, საჭიროა Qs რკალი ანუ დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით მეტი ან ტოლი იყოს, ვიდრე $90^\circ - \varphi$.

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

თბილისში, სადაც გეოგრაფიული განედი დაახლოებით 42° -ია, არ გამოჩნდება სამხრეთის ცის ის ვარსკვლავები, რომელთა დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით 48° -ზე მეტია. ხოლო ლენინგრადში, რომელიც თბილისთან შედარებით უფრო ჩრდილოეთით მდებარეობს და, რომლის განედი დაახლოებით 60° -ია, არ გამოჩნდება სამხრეთ ნახევარსფეროს ყველა ის ვარსკვლავი, რომელთა დახრილობა აბსოლუტური სიდიდით 30° -ზე მეტია. მაშასადამე, აშკარად, ცის დამკვირ-

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

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

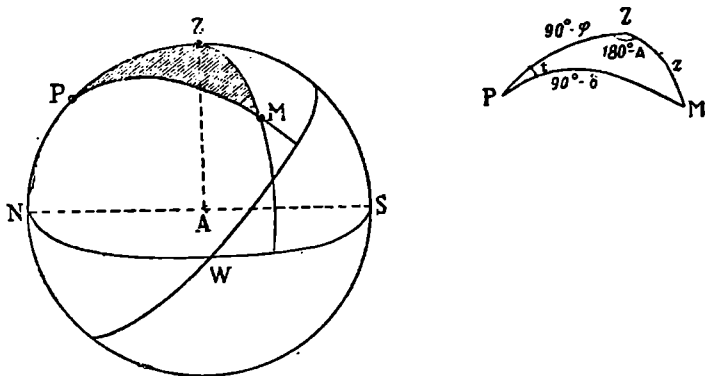
ასე, თუ რომელიმე ქალაქის განედი 30° -ია, ყველა ვარსკვლავი, რომელთა დახრილობა 60° -ია ან მას აღემატება, ჩაუსვლელი იქნება ამ აღმოსავლეთის.

ამავე ნახაზიდანაც ჩანს, რომ პოლუსის ახლო ვარსკვლავის ზედა

ელებელი ლენინგრადში უარეს მდგომარეობაში იქნება, ვიდრე თბილისში, რადგანაც მისთვის ნაკლები რაოდენობის ვარსკვლავებია დაკვირვებისათვის მისაწვდომი.

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

თუ ვარსკვლავისათვის ცნობილია რაიმე მომენტისათვის პორიზონტული კოორდინატები A და h ან A და $z=90^\circ-h$ (რაც უშუალო დაკვირვებიდან მიიღება), ხოლო გვესაჭიროება შესაბამისი ეკვატორული კოორდინატების δ და t -ს ან δ და α -ს ცოდნა, რომელთა უშუალო გაზომვა უფრო რთულია. მაშინ



ნახ. 71.

ასეთი შემთხვევისათვის შეგვიძლია წინასწარ გამოვიყვანოთ ფორმულები, რომელთა საშუალებით ერთი სისტემის კოორდინატები— A , h გარდაიქმნება მეორე სისტემაში— δ , t ან δ , α .

განვიხილოთ 71-ე ნახაზი, რომელზეც წარმოდგენილია ჩვენთვის უკვე კარგად ცნობილი ციური სფერო თავისი ძირითადი წერტილებითა და წრეებით. ეს ნახაზი შეესაბამება დამკვირვებლის პორიზონტს, რომელიც მოცემულ φ 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 პორიზონტულ და ეკვატორულ სისტემათა კოორდინატებისა და ადგილის განედის საშუალებით (კუთხე $PZM=180^\circ-A$). თუ რაიმე მომენტისათვის მოცემულია A და z და საძიებელია δ 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) განესაზღვროთ ორი ელემენტი (ერთი კუთხე და ერთი გვერდი).

ამ მიზნისათვის გავიხსენოთ სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულა (იხ. გვ. 37):

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

და გამოვიყენოთ იგი $P\widehat{M}Z$ სამკუთხედისათვის:

$$\cos \widehat{P\hat{M}} = \cos \widehat{P\hat{Z}} \cos \widehat{Z\hat{M}} + \sin \widehat{P\hat{Z}} \sin \widehat{Z\hat{M}} \cos \widehat{P\hat{Z}\hat{M}}$$

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 δ -ს მნიშვნელობა.

t -ს მნიშვნელობის გამოსათვლელად $Z\widehat{M}$ -თვის დაწერილი ანალოგიური ფორმულიდან გამოვალთ

$$\cos \widehat{Z\hat{M}} = \cos \widehat{P\hat{Z}} \cos \widehat{P\hat{M}} + \sin \widehat{P\hat{Z}} \sin \widehat{P\hat{M}} \cos \widehat{Z\hat{P}\hat{M}}$$

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 δ 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 გვეჩვენეს შემთხვევა, როცა მოცემულია და ცნობილი δ და t კოორდინატები (ახლაც იგულისხმება, რომ φ 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 დაწერება 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 პოარიზონტული სისტემის მეორე კოორდინატიც— A .

აქაც კუთხის გამოთვლილ რიცხვით მნიშვნელობას ორი ნიშანი შეესაბამება და ერთი მათგანის არჩევა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განპირობებულია სათანადო მოსაზრებებით, რომლებმაც უნდა გვიკარნახოს; რომელ კვადრანტშია მნათობი.

აქ ვცდილობდით მკითხველის ყურადღება მიგვექცია ამოცანის პრინციპული მხარისა და თვალსაჩინოებისათვის. ამოცანის მკაცრი გადაწყვეტა, რაც სფერული ასტრონომიის კომპეტენციაშია, მოითხოვს მსჯელობის მეტ სისრულეს.

სრული სახით კოორდინატთა გარდაქმნის ფორმულების გამოსაყვანად სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულების სხვა ჯგუფებიც გამოიყენება, რაც ერთად შემდეგ გამოსახულებებს მოგვცემს:

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

$$\cos \delta \sin t = \sin z \sin A.$$

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

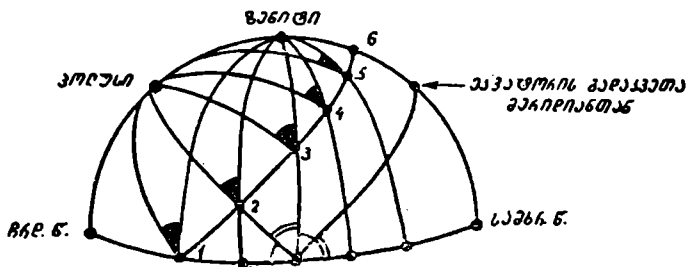
$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t,$$

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

პარალაქსური სამკუთხედი. პარალაქსური კუთხე. წინა პარაგრაფში განხილულ PZM სამკუთხედს, ე. ი. სამკუთხედს, რომლის წვეროებს ქმნის: პოლუსის წერტილი, ზენიტი და მნათობი, ხოლო გვერდებს: ადგილის მერიდიანის, მნათობის ვერტიკალისა და მნათობის საათ-კუთხის (დახრილობის) წრეწირის რკალები, უწოდებენ პარალაქსურ სამკუთხედს. მის ამოხსნამდე დაიყვანება პრაქტიკული ასტრონომიის არაერთი ამოცანა.

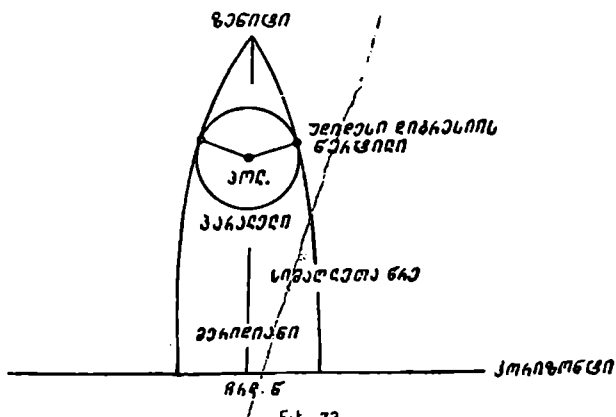
როგორც ვნახეთ, პარალაქსური სამკუთხედის ორი კუთხე წარმოადგენს საათ-კუთხესა და აზიმუტის დამატებას 180° -მდე, ხოლო მესამე კუთხე, რომლის



ნახ. 72.

წვეროში მნათობი მდებარეობს, წოდებულია პარალაქსური კუთხედ. მას შემოსაზღვრავს დახრილობისა (საათ-კუთხისა) და სიმაღლეთა წრეწირები. როცა მნათობი მერიდიანზე მდებარეობს, ეს ორი წრეწირი ერთიმეორეს თანხვდება, პარალაქსური კუთხე ნულად იქცევა და, საერთოდ, სამკუთხედთანაც აღარ გვექნება საქმე. მნათობის სხვა მდებარეობებში კი პარალაქსური კუთხე სხვადასხვა მნიშვნელობას ღებულობს. იგი მაქსიმალურია იმ შემთხვევისათვის, როცა მნათობი იმყოფება მისი პარალელის პირველ ვერტიკალთან გადაკვეთის წერტილებში. ასეთი წერტილი ორია: აღმოსავლეთით და დასავლეთით, 72-ე ნახაზზე პარალაქსური კუთხეები „გაშავებულია“. ციფრი 6 შეესაბამება მნათობის მდებარეობას მერიდიანზე (კუთხე 0°), ხოლო 3 (კუთხის მაქსიმალური მნიშვნელობა)—პირველი ვერტიკალის მდებარეობას დასავლეთ ნახევარზე.

პოლუსისახლო ვარსკვლავის დიგრესია. 73-ე ნახ. წარმოადგენს ერთგვარ პროექციას ცის სფეროს ჩრდილო ნაწილზე, ზენიტიდან ჰორიზონტამდე. პოლუსის ირგვლივ ვხედავთ პოლუსისახლო ვარსკვლავის დღელამური პარალელს. ეს პარალელი მოქცეულია ორა სიმაღლის წრეწირის ანუ ვერტიკალს შორის, რომლებიც ზენიტიდან ჰორიზონტზეა დაშვებული ვერტიკალურად და გადის მნათობზე იმ პირობებში, როცა ვრთხელ მნათობი პოლუსის მარჯვნივ (აღმოსავლეთით) იმყოფება თავისი პარალელის ისეთ 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 დღელამური 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; პარალაქსური სამკუთხედი (ზენიტი, პოლუსი, მნათობი) მართკუთხოვანია.

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

დროის ბაზომმა

ვარსკვლავთმხიერი და მზისმხიერი 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 დაწერილებით გავარჩევთ, სხვადასხვაა წელიწადის სხვადასხვა დროს. ამიტომ უმჯობესია, დღე-ღამის დასაწყისი ვიანგარიშოთ მზის ცენტრის ზედა ან ქვედა კულმინაციის მომენტიდან მომდევნო ამგვარივე მომენტამდე, ე. ი. ან შუაღლიდან შუაღლემდე, ან შუალამიდან შუალამამდე. მართლაც, დროის შუალედი მზის დისკოს ცენტრის ორ თანმიმდევნო კულმინაციას შორის წელიწადის განმავლობაში თითქმის უცვლელად შეიძლება ჩაითვალოს.

დღე-ღამის დასაწყისს მაინც ანგარიშობენ შუალამიდან და არა შუაღლიდან. ვასაგებია, რატომ ამჯობინებენ ასე. დღის რიცხვის, თარიღის გამოცვლა უმჯობესია ხლებოდეს ღამით, როცა ერთი სამუშაო დღე უკვე დამთავრებულია და მეორე ჯერ არ დაწყებულია. მზის კულმინაციების შესაბამისად ვამუშავებთ ჩვენს საათებსაც: შუალამეზე დღეღამის 0 საათია, შუაღლეზე — 12 საათი. შეიძლება ითქვას, რომ დრო, რომელსაც ვეყარდნობით ჩვენს საქმიანობაში, ანუ დროის გაზომვანგარიშის ის სისტემა, რომელსაც პრაქტიკაში ვხმარობთ, ცაზე მზის ხილულ დღელამურ მოძრაობას ემყარება ანუ მზისმიერია.

მაგრამ ასტრონომიულ ობსერვატორიებში სამეცნიერო მიზნებისათვის გამოიყენება ე. წ. ვარსკვლავთმხიერი 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. დაწინაშით საათის მიხედვით ის მომენტი, როცა ვარსკვლავი მოეფარება რომელიმე ხეს ან შენობის ყურეს. დავაკვირდეთ ამავე ვარსკვლავს მეორე საღამოს, იმავე ადგილიდან. ვნახავთ, რომ, როცა იგივე ვარსკვლავი ევლავ მოეფარება იმავე ხეს ან შენობის ყურეს, ჩვენი საათი თითქმის 4 წუთით ნაკლებს გვიჩვენებს, ვიდრე წინა დღეს. შესაბამე დღეს ვარსკვლავის მოფარების მომენტი კიდევ 4 წუთით უფრო ადრე დადგება და ასე შემდეგ. ასე მოხდება, რომელ ვარსკვლავსაც არ

უნდა დაეკვირდეთ. რა თქმა უნდა, იგულისხმება, რომ ჩვენი საათი სწორად მუშაობს.

ციხის ხილული სრული შემობრუნების დრო, განპირობებული დედამიწის ბრუნვით თავისი ღერძის ირგვლივ, ერთი და იგივეა. ცა, როგორც ერთი მთლიანი, ბრუნავს თანაბარი და უცვლელი სიჩქარით. ციხის თალის სრული შემობრუნება გამოიხატება რომელიმე ვარსკვლავის სრული შემობრუნებით—ზედა (ქვედა) კულმინაციიდან მომდევნო ზედა (ქვედა) კულმინაციამდე და წარმოადგენს დროის საზომ ერთეულს. მას ვარსკვლავთმომიერი 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 თანხედებოდეს მერიდიანის სიბრტყეს. შეგვიძლია სავანებო იარაღიც ვიხმაროთ, რომელშიც საჭერეტი მილი მერიდიანში 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—ვარსკვლავთმომიერი 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 მზისმომიერი დღე-ღამე ვუწოდებთ.

როგორც ვხედავთ, მზისმომიერი დღე-ღამე განსხვავდება ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამისაგან. ზემოთ ვნახეთ, რომ ეს განსხვავება 4 წუთს ეტოლება და ამასთანავე ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე უფრო მოკლეა, ვიდრე მზისმომიერი დღე-ღამე, რამდენადაც ვარსკვლავის ყოველი მომდევნო ზედა კულმინაცია დაახლოებით 4 წუთით ადრე ხდება ჩვენი—მზისმომიერი საათის მიხედვით.

ვენახოთ ახლა, რატომ ხდება ასე, თუკი, როგორც აღვნიშნეთ, ყველა მნათობი ცაზე ერთნაირი კუთხოური სიჩქარით ბრუნავს, თითქოს მთელი ცა ბრუნავდეს მასზე „მიქედილი“ მნათობებითურთ. გვანსაოვდეს, 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 ციხის დღეღამური ბრუნვაში, მზე საკუთარი მოძრაობით თვით გადაინაცვლებს რამდენადმე ვარსკვლავებს შორის. ამის მიზეზს ქვემოთ გამოვარკვევთ. ჭერჭერობით კი ის დავიხსნომოთ, 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 ადრე ხდებოდა, როცა დროს მზის მიხედვით მომუშავე საათით ვზომავდით.

მაშასადამე, დროის შუალედი მზის ორ მომდევნო ზედა კულმინაციას შორის უფრო ხანგრძლივია, ვიდრე შუალედი ვარსკვლავის ორ მომდევნო ზედა კულმინაციას შორის.

ვარსკვლავებიან ცაზე მზის საკუთარ ხილულ გადაადგილებას ვარსკვლავების მიმართ თვლნათლივ 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, ჰორიზონტის ქვეშაა.

მზესა და ვარსკვლავებს ერთდროულად ხედავს ცაზე მხოლოდ კოსმონავტი, დედამიწის ატმოსფეროს გარეთ—კოსმოსის სივრცეში მსარბოლავი კოსმოსური ხომალდიდან, რადგანაც იქ იგი არაა გარემოცული ატმოსფეროთი, რომელიც განაბნევს სინათლეს; ცა კოსმონავტისათვის ბნელად, „შავად“ 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 გვევნება 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).

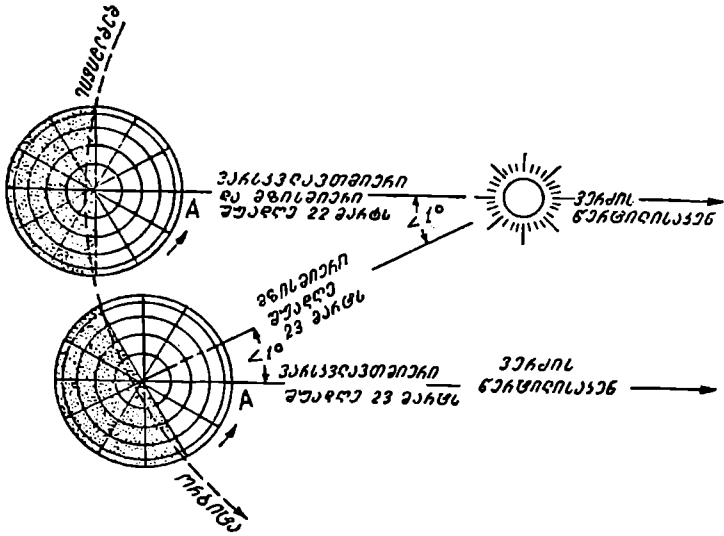
როგორც ზემოთ აღინიშნა, მზისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად მზის ქვედა კულმინაციის მომენტს თვლიან, რაც შუალამეს შეესაბამება. მაგრამ, რა მომენტი ჩავთვალოთ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისად? დღე-ღამე ხომ დროის შუალედი რომელიმე ვარსკვლავის ორ ზედა (ან ქვედა) მომდევნო კულმინაციათა შორის, ხოლო ვარსკვლავები უამრავია 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 დღე-ღამტოლობის წერტილის ანუ ვერძის წერტილის (γ) (იხ. ზემოთ) ზედა კულმინაციის მომენტი არის მიჩნეული. 74-ე ნახაზის განხილვა მეტ სიცხადეს შეიტანს ზემოთ გადმოცემულში.

ვარსკვლავთმიერი დრო. ვერძის წერტილის (γ) 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.

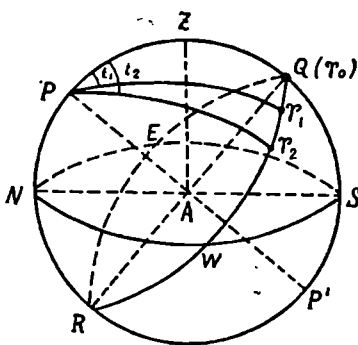
დავაკვირდეთ 75-ე ნახაზს. ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისში ვერძის წერტილი სწორედ ეკვატორისა და მერიდიანის გადაკვეთის Q წერტილშია, რადგანაც, ჯერ ერთი, იგი ეკვატორზე მდებარეობს და მეორეც, რაკი დღე-ღამის დასაწყისია, ე. ი. კულმინაციაა,—მერიდიანზეც იმყოფება ამ მომენტში. ეს წერტილი პირობით აღნიშნულია Q(γ)-ით.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

და დოკავენს γ_1 მდებარეობას. თუ გავიხსენებთ, რომ ცის 360° -ით შემობრუნებას მთელი დღე-ღამე შეესაბამება, ხოლო 15° წარმოადგენს 360° -ის მეოცდაოთხედ

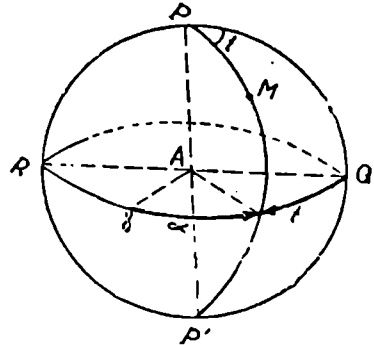


ნახ. 74.

ნაწილს, ჩავთვლით, რომ ეს შუაღედი 1 საათია. ამასთანავე იგი ვარსკვლავთ-მიერი 1 საათია. ვერძის წერტილის γ_1 მდებარეობას შეესაბამება საათ-კუთხე



ნახ. 75.



ნახ. 76.

t_1 , რომელიც 15° -ის ტოლია, ისევე როგორც ეკვატორის რკალი, მოთავსებული $Q(\gamma_0)$ და γ_1 -ს შორის. კიდევ ერთი საათის გავლის შემდგომ ვერძის წერტილი იმავე სიდიდით— 15° -ის რკალური მანძილით—გადინაცვლებს დასავლეთით და მივა γ_2 მდებარეობაში. ამ დროს ვერძის წერტილის საათ-კუთხე t_2 -ია და ვარსკვლავთ-მიერი დღე-ღამის დასაწყისიდან გასულია 2 საათი.

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

თუ ვარსკვლავთმძიერ დროს აღვნიშნავთ s ასოთი, მაშინ დავწერთ, რომ

$$s = t_1,$$

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

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

$$t_1 = \tau Q = \alpha + t,$$

მაგრამ განსაზღვრის თანახმად,

$$s = t_1$$

და, მაშასადამე,

$$s = \alpha + t,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ მომენტში ვარსკვლავთმძიერი დრო რომელიმე აღებული ვარსკვლავის საათ-კუთხისა და მისივე პირდაპირი ალვლენის ჯამს ეტოლება.

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

$$s = \alpha,$$

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

ადვილი მისახვედრია, რომ, თუ ვარსკვლავი ქვედა კულმინაციაშია, მაშინ

$$s = \alpha - 12 \text{ სთ.}$$

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

მზისმძიერი დრო. ჩვეულებრივი მიზნებისათვის, ყოველდღიურ ცხოვრებაში ვარსკვლავთმძიერ დროის გამოყენება მოუხერხებელია, რადგანაც იგი არაა თანხმობაში მზის მოძრაობასთან, რომელიც ბუნებრივად და თვალნათლივ ჰყოფს დღე-ღამეს მის ნაწილებად: დღედ და ღამედ. ამიტომ, სამოქალაქო, პრაქტიკული მიზნებით იყენებენ მზისმძიერ დროს, რომელიც დაკავშირებულია მზის ხილულ მოძრაობასთან ცაზე.

თუ γ -ს საათ-კუთხის ნაცვლად მზის საათ-კუთხის ზრდას დავაკვირდებით და მის სიდიდეს გავზომავთ, მაშინ β კეპლერის მზისმიერ დროს განვსაზღვრავთ. თუ ჩვენი საათი ნაშუადღევის შემდგომ, მაგალითად, 2 საათს გვიჩვენებს, ეს იმას ნიშნავს, რომ მზის საათ-კუთხე 30° -ია, ე. ი. 2 საათია, ე. ი. შუადღის მომენტიდან იმდენი დრო გასულა ანუ მზე იმდენად დაშორებია მერიდიანს, რომ მისი დახრილობის წრე მერიდიანთან 30° -იან კუთხეს ქმნის.

საერთოდ, თუ მზისმიერ დროს აღვნიშნავთ T_{\odot} -ით, ხოლო მის საათ-კუთხეს t_{\odot} -ით, დაიწერება:

$$T_{\odot} = 12 \text{ სთ} + t_{\odot}$$

(იგულისხმება, რომ მზისმიერი დღე-ღამე შუალამისას ანუ მზის ქვედა კულმინაციის მომენტში იწყება).

სხვადასხვა მიზეზის გამო, რომელთაც ქვემოთ აღვწერთ, ცის თაღზე მზის ერთი შემობრუნების ხანგრძლივობა იცვლება წლის განმავლობაში. მაშასადამე, იცვლება მზისმიერი დღე-ღამისა და მისი ნაწილების (საათის, წუთის) ხანგრძლივობაც. ისეთი მექანიკური საათის მოწყობა კი, რომელიც ყოველდღიურად ზუსტად მზის 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 მზისმიერი დღე-ღამე, რომლის ხანგრძლივობა უცვლელი იქნებოდა წლის განმავლობაში, ე. ი. წარმოვიდგინოთ მზე, რომელიც ყოველთვის, მთელი წლის მანძილზე თანაბარი სიჩქარით გადაადგილდება ვარსკვლავებს შორის. ასეთ მზეს საშუალო მზეს უწოდებენ და მისმიერ დროს — საშუალო მზისმიერ დროს, განსხვავებით მასთან დაკავშირებული, ზემოთ განხილული კეპლერის მზისმიერი დროისაგან, რომელიც ცის თაღზე კეპლერის მზის ხილული გადაადგილების ნამდვილ სურათს ემყარება. სათანადოდ განისაზღვრება საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე და მისი დასაწყისიც.

დროის განტოლება. შეიძლება ითქვას, რომ საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე კეპლერის მზისმიერი დღე-ღამეების საშუალო ხანგრძლივობაა.

საშუალო მზისმიერი დრო უნდა წარმოვიდგინოთ არა როგორც საათ-კუთხე კეპლერის მზისა, არამედ ისეთი წარმოსახვითი წერტილისა, რომელიც ცაზე მზესთან ახლოა და ცამრგვალზე მოძრაობს ისეთი სიჩქარით, რომელსაც კეპლერის მზის მოძრაობის ცვალებადი სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ ამ წარმოსახვითი წერტილის (ანუ წარმოსახვითი მზის) კულმინაცია ხდება ხან უფრო ადრე, ხან უფრო გვიან, ვიდრე კეპლერის მზისა. სხვაობა კეპლერის და საშუალო მზის ცენტრების კულმინაციების მომენტებს შორის არაა დიდი: მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 16 მიწუტია. წელიწადში ოთხჯერ იგი ნულია და, მაშასადამე, ამ ოთხ დღეს კეპლერის და საშუალო დრო ერთიგვარად თანხვედება.

კეპლერის მზისმიერ და საშუალო მზისმიერ დროთა შორის სხვაობას აღებულ მომენტში დროის განტოლება ეწოდება. ეს შეგვიძლია ასე ჩავეწეროთ:

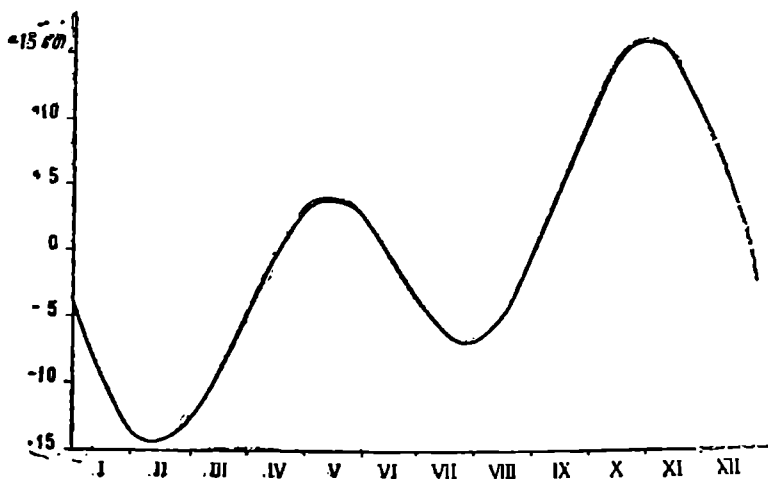
$$T_{\text{კე}} - T_{\text{საშ}} = y,$$

სადაც y -ით აღნიშნულია დროის განტოლება.

ჩენი საათების მუშაობა შეესაბამება საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეს. აღნიშნული სხვაობის არსებობის გამო კეშმარიტი შუადღე (ე. ი. მზის ზედა კულმინაციის მომენტი) ყოველთვის როდი თანხვდება იმ მომენტს, როცა ჩენი საათი 12 საათს გვიჩვენებს. საშუალო მუშმ შეიძლება კეშმარიტ მზეზე ხან უფრო ადრე, ხან უფრო გვიან გაიაროს მერიდიანზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ საშუალო დრო შეიძლება კეშმარიტზე წინ ან უკან იყოს.

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

ამ მრუდზე ყოველი დღისათვის შეგვიძლია ავთავალოთ დროის განტოლების მნიშვნელობა. მრუდი შედგენილია ისე, რომ ათვლილი მნიშვნელობა უნდა გამოაკლდეს კეშმარიტ დროს, რათა მივიღოთ საშუალო დრო.



ნახ. 77.

ასე, მაგალითად, ვნახოთ რას ეტოლება საშუალო დრო 28 სექტემბერს, როცა კეშმარიტი 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 კეშმარიტი მზისმიერი დრო საშუალოს მიხედვით. ვთქვათ, საშუალო დრო 1 აპრილს გვიჩვენებს 13 სთ 40 წუთს. ამ დღეს დროის განტოლების მნიშვნელობა არის—5 წუთი. კეშმარიტი 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, კეშმარიტი 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. ამჟამად, რომ დროის განტოლების მნიშვნელობათა წარმოდგენა შესაძლებელია ცხრილების სახითაც, რომლებშიც არგუმენტად აღე-

ბულია წელიწადის დღეების გარკვეული მომენტები, მაგალითად, საშუალო მზის-
მიერი შუალაშე. ამ ცხრილებს ასტრონომიულ ყოველწლიურებში ათავსებენ.

თუ გავიხსენებთ, რომ

$$T_{\odot} = 12 \text{ სთ} + t_{\odot},$$

შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$T_{3a} = 12 \text{ სთ} + t_{3a},$$

$$T_{1a} = 12 \text{ სთ} + t_{1a}.$$

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:

$$y = T_{3a} - T_{1a} = t_{3a} - t_{1a} = \alpha_{3a} - \alpha_{1a}.$$

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

$$s = \alpha_{3a} + t_{3a} = \alpha_{1a} + t_{1a}.$$

დროის გასაზომის პრობლემა. ყოველგვარი სიდიდის საზომი ერთეული უნდა
წარმოადგენდეს ამ სიდიდის რაიმე ისეთ ზომას, რომელიც სრულიად გარკვეულია.
და უცვლელი. საზომი ერთეულები თვით ბუნებაში ან ბუნების მოვლენებში მოიპო-
ვება. მაგალითად, სიგრძის საზომი ერთეული—მეტრი თავდაპირველად წარმოად-
გენდა პარიზზე გაშვებული მერიდიანული სრული წრეწირის ერთ მეორეოცედილიონედ-
ნაწილს. ახლა მას უფრო ზუსტად და მოხერხებულად განსაზღვრავენ, როგორც
კრიპტონის გამოსხივების ერთ-ერთი ცენტრალური ხაზის ტალღის სიგრძეს გამარა-
ვლებულს 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, ვარს-
კვლავთმიერი დღე-ღამეა. დროის გასაზომად სხვა ერთეულებიც იხმარება:
ხანგრძლივი შუალედებისათვის—კვირა (7 დღე-ღამე), წელიწადი (365 დღე-ღამე),
საუკუნე; მოკლე შუალედებისათვის—საათი, წუთი, წამი.

ვარსკვლავთმიერი (და არა მზისმიერი) დღე-ღამე დროის საზომი ძირითა-
დი ერთეულია; იგი ბუნებრივი და უცვლელი საზომი ერთეულია, განსაზღვრული
დედამიწის ერთი სრული შემობრუნების დროით საკუთარი ღერძის გარშემო*.

ამიტომ, დროის აღრიცხვის მიზნით თვალყური უნდა ვადევნოთ დედამიწის
ბრუნვას ღერძის გარშემო, რათა შევნიშნოთ მისი შემობრუნება, აღვნიშნოთ მისი
ერთი შემობრუნების დასაწყისი და დასასრული. მაგრამ დედამიწის ბრუნვის
მოძრაობას უშუალოდ ვერ ვამჩნევთ, რამდენადაც დედამიწასთან ერთად ჩვენცა
და მთელი ჩვენი მიწიერი გარემოც მოძრაობს, ერთიანად ვმონაწილეობთ დედა-
მიწის თანაბარსა და მუდმივ მოძრაობაში. ამიტომ, დედამიწის ბრუნვას თვალ-
ყური უნდა ვადევნოთ ცის სხეულების დაკვირვების გზით; სახელ-

* დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ცვლილებებზე იხ. ქვევით.

დობრ,—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 ვადმოცემა ზუსტად მომუშავე საათებიდან ანუ ქრონომეტრებიდან, რომლებიც მოსკოვის ასტრონომიული ინსტიტუტის დროის ლაბორატორიაშია დაყენებული. ამ საათების ჩვენებას კი ასწორებენ ცაზე წარმოებულა სპეციალური ასტრონომიული დაკვირვებებით.

ადგილობრივი დრო. როგორც ვთქვით, დროის გასაზომად საჭიროა თვალის ვადევნოთ დედამიწის ბრუნვას მნათობების დაკვირვების გზით, სახელდობრ, — ვარსკვლავის კულმინაციების მომენტების აღნიშვნით. კულმინაციის მომენტი 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 მომენტებში ხდება.

ამგვარად, იმ ცხად დასკვნამდე მივდივართ, რომ დღე-ღამე, — იქნება ეს ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე თუ მზისმიერი, ქვემარტივ 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.

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

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

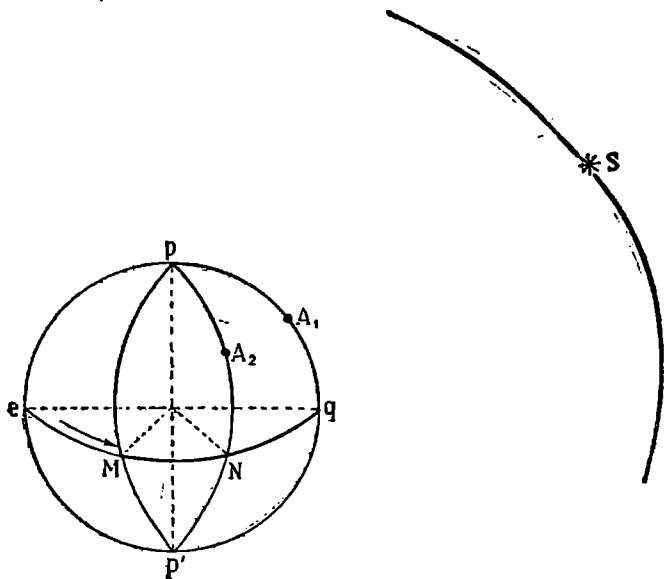
A_2 დამკვირვებლის გეოგრაფიული გრძედი გამოიხატება სფერული $M p A_2$ კუთხით ანუ $M N$ რკალით; A_1 დამკვირვებლისა კი — $M p A_1$ კუთხით ანუ $M q$ რკალით. ეს უკანასკნელი $N q$ რკალით აღემატება A_2 -ის გრძელს.

ვთქვათ, ჩვენს მაგალითში s მნათობი იმყოფება ქალაქის ფურცლის სიბრტყეში, დიდი წრეწირის რკალზე, რომელიც ცის სფეროს ზედაპირზე უნდა წარმოვიდგინოთ. ამავე სიბრტყეშია A_1 დამკვირვებელი და მისი ადგილის (ადგი-

ლობრივი) მერიდიანის — pA_1q . 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 ადრე იყო, ახლა კი მზე A_2 დამკვირვებლის მერიდიანზე აღმოჩნდა, — შუა-



ნახ. 78.

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

ენახთ 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 ირგლივ 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.

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 შემდგომში 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 დასაუღეთით $7\frac{1}{2}^{\circ}$ -ზე მდებარეობს. მაშასადამე, ზოლების შემოსაზღვრელი მერიდიანები ერთმეორეს 15° -ით არიან დაშორებულნი. ზოლი, რომლის ცენტრალური მერიდიანი გრინვიჩზე გადის, ითვლება ნულოვან 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.

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° -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,



ნახ. 80.

დროის ერთეულებში გამოხატული, 1 საათია, ამიტომ მის შიგნით მდებარე რომელიმე პუნქტის ზოლური დრო ადგილობრივი დროისაგან შეიძლება განსხვავდებოდეს 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 წავეწიოთ; ხოლო დასავლეთით მდებარე ზოლში გადასვლისას — უკან. ყველა ზოლში ერთსა და იმავე ფიზიკურ მომენტში წუთების ისრების ჩვენება საათებზე 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, შემდეგ — მეორე ზოლს და ა. შ.

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

$$T_n = T_0 + n.$$

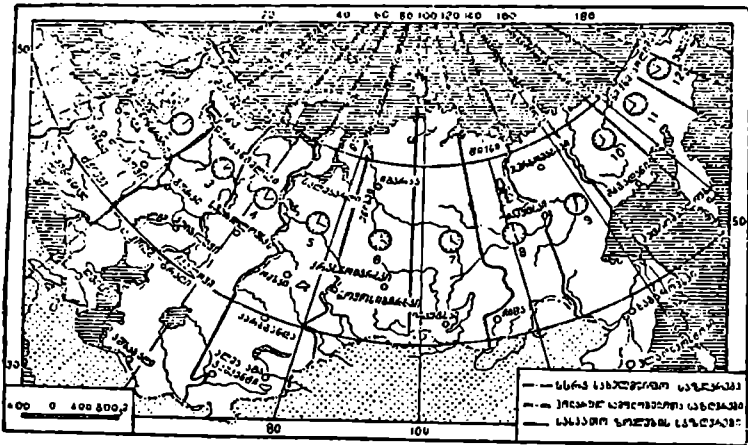
აქ T_n და T_0 გამოხატავენ, შესაბამისად, ზოლურ და მსოფლიო დროს, ხოლო n — ზოლის ნომერს.

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 ზეობებს 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 დაეშორათ 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 ნაპირს. ამ ზოლის დროს ეწოდება „აღმოსავლეთ ევროპის დრო“ იგი ორი საათით განსხვავდება მსოფლიო დროისაგან და ამასთანავე მოსკოვის ზოლის დროს

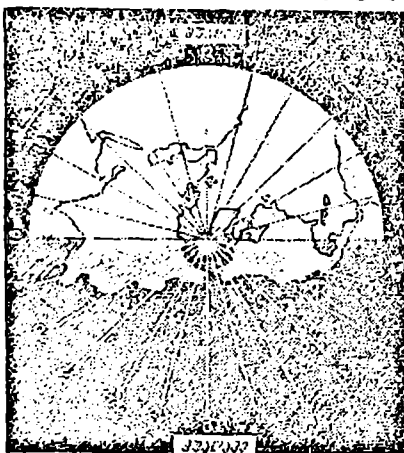
თანხლება (იხ. ნახ. 81). საბჭოთა სახელმწიფოში ზოლური დრო 1919 წლის 1 ივლისიდან იქნა შემოღებული მთავრობის დეკრეტით, ხოლო 1956 წლის 1 დეკემბრიდან ჩვენი სახელმწიფოს მომცველი ზოლების საზღვრები რამდენადმე



ნახ. 81.

შეცვლილი და დაზუსტებულ იქნა ქვეყნის ეკონომიური და სახელმწიფოებრივი განვითარების შესაბამისად.

თბილისი, საქართველოს რესპუბლიკა და ამიერკავკასიის სხვა რესპუბლიკები



ნახ. 82.

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 მივმგზავრებით, ჩვენი საათის ისარი ერთი საათით უკან დასაწევი გვაქვს.

დავხედოთ 82-ე ნახაზს, რომელზეც ღეღამიწა წარმოდგენილია მის ეკვატორულ პროექციაში. ისარები ღეღამიწის დღეღამური 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 გრძელებს აღნიშნავს, ხოლო შიგნით მოთავსებული რიცხვები გამოხატავს შესაქ-

რებს, რომელიც უნდა მივეუბნოთ მსოფლიო დროს იმისათვის, რომ შესაბამისი ადგილის ზოლური დრო მივიღოთ.

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

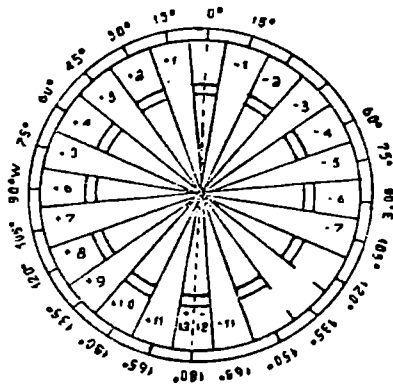
$$T_1 = T_n + \lambda - n.$$

აქ T_1 ადგილობრივ დროს აღნიშნავს. მართლაც, $T_n - n$, როგორც ზემოთ ვნახეთ, მსოფლიო დროს (T_0) ნიშნავს. მაშასადამე,

$$T_1 = T_0 + \lambda,$$

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

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



ნახ. 63.

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 დაიფაროს. მხოლოდ ამ შემთხვევაში იქნება საათის ჩვენება საკმარისად შეთანხმებული მზის მდებარეობასთან ადგილის ჰორიზონტის 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 ჩაეთვალა.

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

თუ მგზავრობის მიმართულება შებრუნებული იქნებოდა — აღმოსავლეთიდან
დასავლეთით, მაშინ საათის ისარს ამღენჯერვე და ისევე თანმიმდევრულად თითო
საათით უკან დაწევა 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 აღ-
მოსავლეთით—მგზავრი ერთ ზედმეტ სრულ ბრუნვას ასრულებს დედამიწის ღერ-
ძის ირგვლივ და მისთვის მზე 1-ით მეტჯერ ამოვა (თუ მგზავრობის ხანგრძლივო-
ბა 1,24,30 დღე-ღამეა, მზე ამოვა, შესაბამისად, 2-ჯერ, 25-ჯერ, 31-ჯერ), დედამიწის
ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით მგზავრობისას, პირიქით, ერთი სრული შე-
მობრუნებით ნაკლებს შეასრულებს მგზავრი.

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

იმისათვის, რომ შორეულ მგზავრობაში დღეების თვლაში აცდნო იქნეს
ამგვარი უხერხულობა, შემოღებულია ე. წ. თარიღის გამოცვლის ხაზი. ეს
ხაზი ვადის გრინვიჩიდან 180°-ზე მდებარე მერიდიანის თითქმის გასწვრივ, შემო-
უვლის აღმოსავლეთიდან აზიის კონტინენტს, სპრის ბერინგის სრუტეს, წყნარ
ოკეანეს, დასავლეთით ტოვებს ახალ ზელანდიას და მიემართება სამხრეთი პოლუ-
სისაკენ. გემზე, რომელიც გადაკვეთს ამ ხაზს დასავლეთიდან აღმოსავლეთით
მოძრაობისას, ერთსა და იმავე დღეს იანვარიშებენ ორჯერ. თუ, მაგალითად, ეს
გადაკვეთა მოხდა 1 იანვარს, მაშინ მეორე დღესაც ჩათვლიან 1 იანვარად. საწი-
ნააღმდეგო მიმართულებით გადაკვეთისას, პირიქით, თუ გადაკვეთა 1 იანვარს
ხდება, მეორე დღე 3 იანვარად უნდა ჩათვალოს, 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 ვადის ხმელეთზე და, მაშასადამე, დასახ-
ლებულ პუნქტებზე. თავისთავად ცხადია ხაზის ასე შერჩევის მოხერხებულობა.
ახალი წელი პირველად ამ ხაზზე მდებარე პუნქტებში დგება.

დეკრეტული დრო. ამ ოთხი ათეული წლის წინათ სსრ კავშირის სახალხო
კომისართა საბჭოს დეკრეტით ზოლური დრო საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტო-
რიაზე ერთი საათით წინ იქნა გადაწეული. ასე რომ, თუმცა თბილისი მე-3 ზოლ-
შია 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 უუწოდებთ ახლა მოსკოვის დროს, რომლის მიხედვით
საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტორიაზე რეინიგზა და ავიაცია მუშაობს.

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

ველი იყო ეკონომიური მოსაზრებებით. ასეთი ღონისძიების გატარება მიზანშეწონილია მეტადრე ზაფხულის თვეებში, როცა ადრე თენდება; საათის წინ წაწვეის შედეგად მოსახლეობა უფრო მეტად გამოიყენებს დღის საათებში მზის სინათლეს და, მაშასადამე, უფრო ეკონომიურად და თანაბრად დახარჯავს ელექტროენერგიას დღე-ღამის განმავლობაში. ევროპის სხვა ქვეყნებშიც არის მიღებული საათის ისრის წაწვეის ამგვარი წესი. მაგრამ იქ მხოლოდ ზაფხულის თვეებისათვის აწყოვენ ავას და ამიტომ ამ დროს საზაფხულო დროს უწოდებენ. კიდევ მეტიც, ზოგ ქვეყანაში ადრე გაზაფხულზე შემოაქვთ ზოლურ დროსთან შედარებით 1 საათით წინწაწვეული საზაფხულო დრო, ხოლო უფრო გვიან — შუა ზაფხულისათვის — კიდევ 1 საათით სწევნ 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.

მაგრამ ყოველი ზაფხულის დასაწყისში საათის ისრის წინ წაწვეა და შემოდგომისათვის მისი უკან დაბრუნება მოუხერხებელია და ერთგვარი არეგ-დარევა შეაქვს სამეურნეო ცხოვრებაში. ამიტომ საბჭოთა კავშირში, თუმცა პირველ ხანებში აგრეთვე მხოლოდ საზაფხულოდ ატარებდნენ ამ ღონისძიებას, შემდგომში ამკობინეს დაეტოვებიათ დრო მთელი წლისათვის ერთი საათით წინწაწვეული.

ამგვარად, სსრ კავშირის ყოველი დასახლებული პუნქტის მოსახლეობა ცხოვრობს არა იმ ზოლის დროით, რომელშიც აღებული პუნქტი მდებარეობს, არამედ მეზობელი, აღმოსავლეთით მდებარე ზოლის დროით.

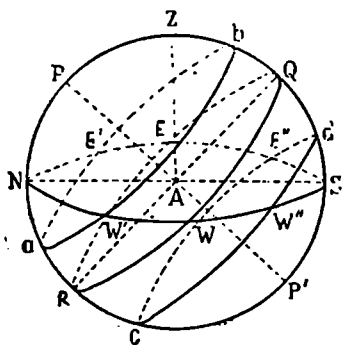
რაკი ეს ასეა, შეგვიძლია ახლა შევნიშნოთ, რომ როცა დღისით საათი 12-ს გვიჩვენებს, სინამდვილეში შუაღელე ჯერ არ დამდგარა. იგი მხოლოდ 1 საათით გვიან დადგება, ე. ი. მზე 1 საათის შემდგომ მიიღწევს ზედა კულმინაციას, — როცა საათი ნაშუაღლევის 1-ს გვიჩვენებს. მაგრამ ესეც მხოლოდ მიახლოებითი ანგარიშია. უფრო სრულად საკითხი შემდეგ მაგალითზე განვიხილოთ: ჩვენი საათი გვიჩვენებს 12 სთ 30 წთ. ეს დეკრეტული დროა. ზოლური დრო იქნება 11 სთ 30 წთ. ადგილობრივი დროს მივიღებთ, თუ ამ მომენტს დავეუბნებთ ჩვენი ადგილის გრძედსა და ჩვენი ზოლის შუა მერიდიანის გრძედს შორის დროით გამოხატულ სხვაობას. თბილისისათვის, რომლის გეოგრაფიული გრძედი 44°49'-ია, ეს იქნება — 44 წამი და, მაშასადამე, ადგილობრივი დრო იქნება: 11 სთ 29 წთ 16 წმ. მაგრამ ეს ადგილობრივი საშუალო დროა. კემმარიტი დროის მისაღებად ამ უკანასკნელ მომენტს უნდა დავეუბნოთ დროის განტოლების მნიშვნელობა აღებული დღისათვის. თუ ეს, ვთქვათ, 15 მისია და დროის განტოლება ამ დღეს (იხ. გრაფიკი 77-ე ნახაზზე) ტოლია 4 წთ-სა, კემმარიტი მზისმიერი დრო ყოფილა 11 სთ 33 წთ 16 წმ. მაშასადამე, კემმარიტი შუაღელემდე ანუ კემმარიტი მზის კულმინაციამდე ჯერ კიდევ 26 წთ და 44 წმ-ია, ე. ი. კემმარიტი შუაღლე ჩვენი საათის ჩვენებით იქნება 12 სთ 56 წთ 44 წმ.

უეკველია, რომ დეკრეტული დრო, როგორც დროებით ღონისძიებასთან დაკავშირებული, ხელოვნურად შემოღებული დრო, სამუდამოდ არ დარჩება ხმარებაში და კვლავ დაეუბრუნდებათ საყოველთაო ზოლურ დროს, როგორც მოხერხებულ სისტემას; იგი ამასთანავე კარგ თანხმობაშია იმ ბუნებრივ მოვლენებთან, რომლებიც დროის აღრიცხვის ლოგიკურ საფუძველს ქმნის.

მზის სილულის ფლიური გადაადგილება ცაზე ვარსკვლავებს შორის

მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადაადგილება პორიზონტზე წლის განმავლობაში. ზევით უკვე აღენიშნეთ, რომ მზე მთლიანად როდი ემორჩილება ცის დღელამური ბრუნვითი მოძრაობის კანონზომიერებებს; ვარსკვლავებთან შედარებით იგი გამონაკლისს 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



ნახ. 84.

ამოდის და მის დასავლეთ მხარეზე ჩადის, მაგრამ აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილების მიმართ მისი ამოსვლა-ჩასვლის ადგილი პორიზონტზე გადაინაცვლებს თითქმის განუწყვეტლივ, მთელი წლის განმავლობაში.

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

ამის შემდგომ, ე. ი. 21 მარტიდან მზის ამოსვლის წერტილი თანდათან გადაინაცვლებს პორიზონტის ხაზის გასწვრივ ჩრდილოეთის წერტილის (N) მიმართულებით. ჩრდილოეთის წერტილის იგივე მიმართულებით, თუმცა E' წერტილის მიმართ საკმარისად დაშორდება და 22 ივნისისათვის მივა E' წერტილში, რომელიც სადაც პორიზონტზე ჩრდილო-აღმოსავლეთით მდებარეობს. მზის ჩასვლის წერტილი შესაბამისად W წერტილიდან N -კენ გადაინაცვლებს და 22 ივნისის იგი მოექცევა პორიზონტის ჩრდილო-დასავლეთ მხარეზე, W' წერტილში.

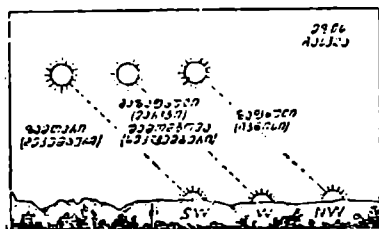
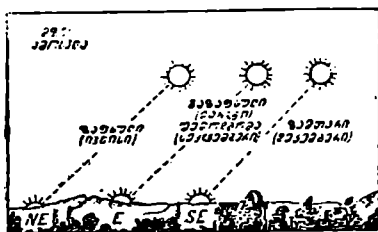
ამგვარად, 22 ივნისის მახლობლობაში მზის დღელამური გზა ცაზე ანუ მისი დღელამური პარალელი გამოიხატება მცირე $E'SW'a$ წრეწირით. ამის შემდგომ მზის ამოსვლისა და ჩასვლის წერტილები უკან დაიწეებს გადანაცვლებას და შემოდგომაზე, 23 სექტემბრისათვის კვლავ E და W წერტილებს მიიღწევს, შესაბამისად, და ამ დღეს მზის დღელამური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

ნახევარი წლის განმავლობაში—21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე—მზის ყოველდღიური დღელამური 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 მიიღწევენ, შესაბამისად, E' და W' წერტილებს, რომლებიც ჰორიზონტის სამხრეთ-აღმოსავლეთ და სამხრეთ-დასავლეთ მხარეზე მდებარეობენ. მზის დღელამური 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 დღელამური 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.

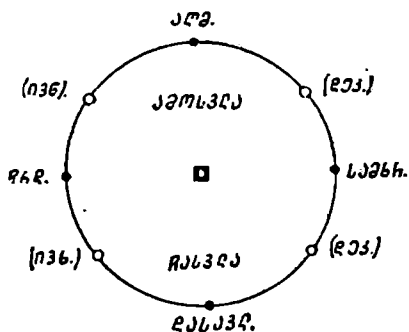
წარმოდგენის სიცხადისათვის სასარგებლოა დაეხედოთ აგრეთვე 86-ე ნახაზს, რომელიც გამოხატავს ჰორიზონტს, მასზე აღნიშნული მხარეებითა და მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილებით ივნისსა და დეკემბერში. ცენტრში ივლისისმება დამკვირვებელი.

დღისა და ღამის ხანგრძლივობის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში. მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ ეკვატორის ჩრდილოეთით მდებარე მზის დღელამური პარალელები მეტი ნაწილით ჰორიზონტის ზემოთ მდებარეობენ (ნახ. 68 და 84). ხოლო, რადგანაც მზის მოძრაობის სიჩქარე მის პარალელზე თითქმის თანაბარია, ამიტომ ჩვენთან მზე ჰორიზონტის ზემოთ უფრო ხანგრძლივად და, ვიდრე ჰორიზონტის ქვემოთ. მაშასადამე, დღე ღამეზე უფრო გრძელია და

ასეთი მდგომარეობა 21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე გრძელდება, დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს დამკვირვებლისათვის.

22 ივნისს მზის დღელამურ 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 დღელამურ პარალელსაც ეკვატორი გამოხატავს. ეკვატორს კი, როგორც დიდ წრეწირს, პორიზონტი ორ თანატოლ ნაწილად ჰყოფს. მაშასადამე, მზის ხილული გზა ცაზე პორიზონტის ზემოთ იმავე სიგრძისაა, რაც მისი გზა პორიზონტის



ნახ. 86.

ქვეშ. ამიტომ დღე და ღამე ყველგან თანატოლი ხანგრძლივობისაა. ამის გამო წელიწადის ამ ორ დღეს დღელამტოლობის დღეებს უწოდებენ. ერთი მათგანი გაზაფხულის დღელამტოლობაა (21 მარტი), მეორე — შემოდგომის დღელამტოლობა (23 სექტემბერს).

84-ე ნახაზზე ადვილად შევნიშნავთ, რომ 23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე მზის ყოველდღიური პარალელები მეტი ნაწილით პორიზონტის ქვეშაა და ამიტომ

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

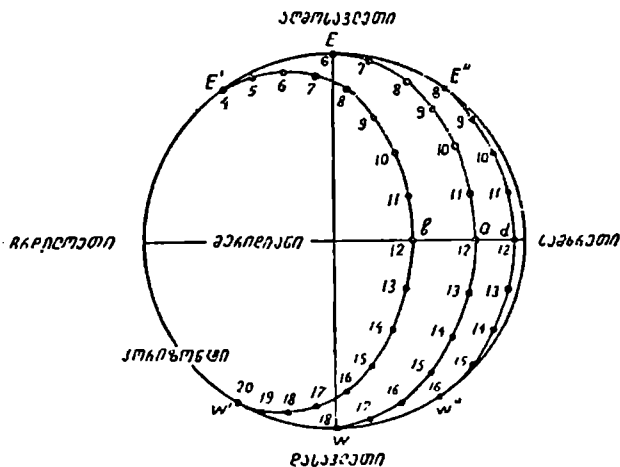
მზის საშუალოდ სიმაღლის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში. იმავე 84-ე ნახაზზე იმასაც ადვილად შევნიშნავთ, რომ მზის საშუალოდ სიმაღლე წელიწადის განმავლობაში იცვლება. ამ სიმაღლეს განსაზღვრავს მზის დღელამური პარალელის გადაკვეთა მერიდიანთან ანუ ზედა კულმინაციის შესაბამისი წერტილის მდებარეობა. როგორც ვხედავთ, 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 პორიზონტიდან.

ნახაზზე, მზის დღელამურ *აბ* პარალელზე, რომელიც 22 ივნისს შეესაბამება, მზის საშუალოდ მდებარეობა ცაზე *ბ* წერტილით გამოიხატება. მეორე მხრივ, 22 დეკემბერს, ეს მდებარეობა *მ* წერტილშია, რომელიც *ემ* პარალელისა და მერიდიანის გადაკვეთას წარმოადგენს. პირველ შემთხვევაში მზის საშუალოდ სიმაღლე პორიზონტიდან *სბ* რკალით გამოიხატება, მეორეში — *სმ* რკალით, რომელიც პირველზე შესამჩნევად უფრო მცირეა.

ამ მოვლენებს ყოველდღიური გამოცდილებიდან ვიცნობთ; ყველას შემჩნეული აქვს, რომ წელიწადის განმავლობაში იცვლება მზის საშუალოდ სიმაღლე, ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები და დღისა და ღამის ხანგრძლივობაც. ნახაზზე 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 დღელამური პარალელები იენისსა ($E'S'W'$) და დეკემბერში ($E''dW''$), მათთან ერთად—ეკვატორიც (EQW). ციფრები გამოხატავს იმ საათებს, რომლებზეც მზე იმყოფება სათანადო წერტილებში. ვხვდებით, რომ იენისის 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 შეადღეზე იგი ყოველ სეზონში მერიდიანს ჰკვეთს. რა თქმა უნდა, ეს სურათი სქემატურია, შეესაბამება გარკვეულ ზომიერ განედს და ამასთანავე ჰემისფერული მზის მოძრაობის თავისებურებანი, ე. ი. დროის განტოლება 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 იენისისა და დეკემბრის პარალელებისა და ცის ეკვატორის პროექციები წრფეებით გამოიხატება და საათების მიმდევრობაც ყველა შემთხვევაში 6-დან 18-მდე იქნება.

მზის გადაადგილება ცაზე, ვარსკვლავების ფონზე. წინასწარ, აქვე ის აღვნიშნოთ, რომ აღწერილი მოვლენები: ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადაინაცვლება 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.

უკვე ორი მოწმობა გვაქვს იმ ფაქტისა, რომ მზე, გარდა ცის დღელამურ ხილულ ბრუნვაში მონაწილეობისა, ამავე დროს ვარსკვლავების მიმართ გადაინაცვლებს. მაგრამ ამავე ვარემოების მოწმობა იყო ის დაკვირვებაც, რომელიც ვაწარმოეთ შერჩეული ვარსკვლავის ზედა კულმინაციაზე დროის აღრიცხვის მიზნით და, როცა შევნიშნეთ მზის ჩამორჩენა ვარსკვლავების მიმართ. დაუბრუნდეთ ამ დაკვირვებას და ცოტა უფრო სხვაგვარად ჩაეატაროთ იგი.

ერთ-ერთი ღამის დასაწყისში დავდგეთ პირით სამხრეთისაკენ, დავაკვირდეთ ცას, მის სამხრეთ, დასავლეთ და აღმოსავლეთ მხარეებს და კარგად დავიხსოვოთ თანავარსკვლავედთა განლაგება ცის თალზე. შემდგომ, 1 ან 2 თვით გვიან, გავიმეორეთ ასეთი დაკვირვება იმავე საათებში (მზისმიერი დროით). ადვილად 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 მოახლოებულან 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 პორიზონტის ახლო, ჩასულან და პორიზონტს მოფარებიან. შეიძლება ითქვას, ისინი თითქმის მზესთან ერთად ჩასულან ახლა, თუმცა 1—2 თვით ადრე კიდევ მოჩანდნენ პორიზონტის ზევით საღამო ჟამს, მზის ჩასვლის შემდეგ. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მზე 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 საღამოდან სრული წელიწადი გაივლის, პირვანდელი სურათი განმეორდება, ე. ი. საღამოს ვარსკვლავებიან ცაზე თანავარსკვლავედები პორიზონტის მიმართ ისევე იქნება განლაგებული, როგორც ეს ერთი წლის წინათ იყო.

გავიხსენოთ, რომ ჩვენი დაკვირვება ისე ვაწარმოეთ, რომ პირით სამხრეთისაკენ ვიდგეით. ეს პირობა შემთხვევით როდი შემოვიტანეთ. მართლაც, თუ ჩრდილოეთის ცაზე, ჩრდილოეთ პოლუსის ახლომდებარე თანავარსკვლავედებს დავაკვირდებოდით, მათ ყოველთვის, მთელი წლის მანძილზე ვიხილავდით პორიზონტის 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 საღამოს, რომელიც ვარკვეულ 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.

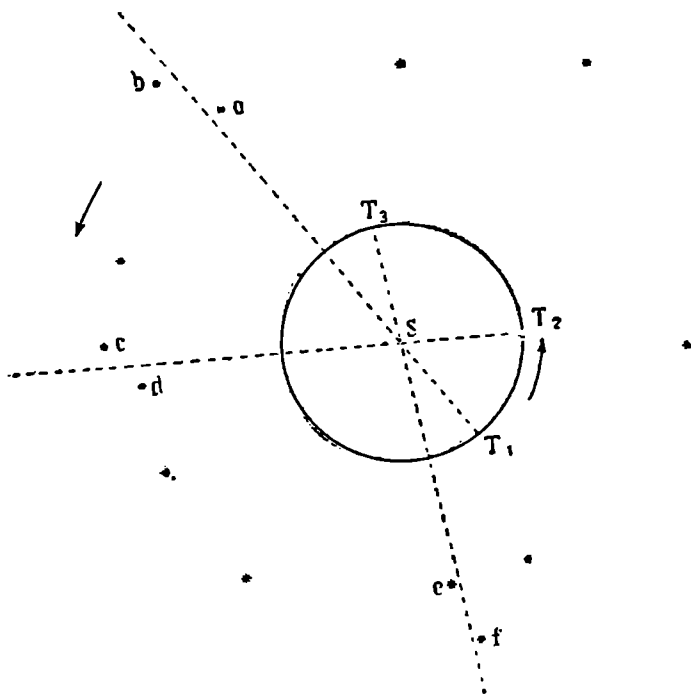
რადგანაც ერთი სრული წლის გავლის შემდგომ, როგორც ზემოთ ვთქვით, სურათი მეორდება, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ერთი წლის განმავლობაში მზე

სრულ წრიულ გზას ასრულებს ცაზე ვარსკვლავების ფონზე და წლის დამლევეს 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 დღღამური ბრუნვა დედამიწის გარშემო მხოლოდ ხილული, მოჩვენებითი მოვლენაა, ღერძის ირგვლივ დედამიწის ნამდვილი ბრუნვით გამოწვეული, ასევე, მზის წლიური ბრუნვაც 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 წერტილ-



ნახ. 88.

ლი). 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, დაგვემიღებულს ცაზე, სადაღაც a და b ვარსკვლავებს შორის. შემდგომ, გადაინაცვლებს რა დედამიწა აღმოსავლეთით T_2 წერტილში, მზე გამოჩნდება T_2S მიმართულებით, ე. ი. გამოჩნდება a, b ვარსკვლავები-

დან 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 შემობრუნებს მზის ირგვლივ და კვლავ T_1 მდებარეობაში მივა, მზეც დაასრულებს თავის ხილულ გზას ცაზე ვარსკვლავებს შორის და კვლავ a და b ვარსკვლავების მახლობლად დაინახება.

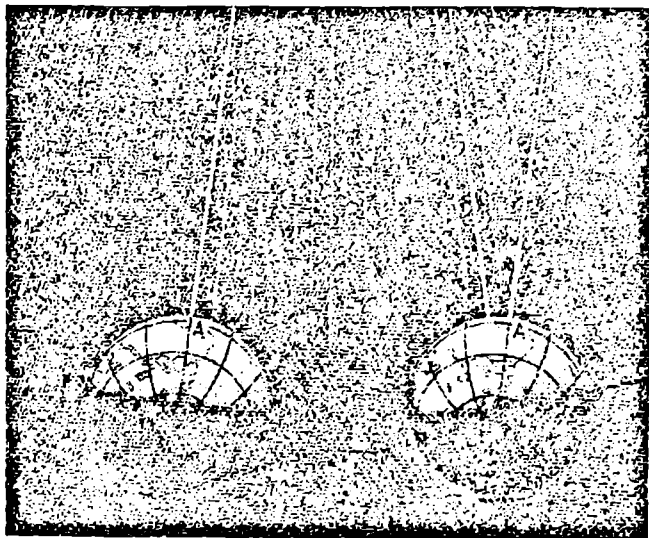
აქ აღწერილთან დაკავშირებით გავიხსენოთ, რომ ვარსკვლავთმიერი დღელამის ხანგრძლივობა მზისმიერისაგან განსხვავებულია. ეს განსხვავება სწორედ ვარსკვლავების მიმართ მზის ამგვარი გადაადგილებით არის განპირობებული. ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამე უფრო მოკლეა, ვიდრე მზისმიერი. მზის გადაადგილება რომ საწინააღმდეგო მიმართულებით ყოფილიყო—აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, მაშინ მზისმიერი დღე-ღამე იქნებოდა უფრო მოკლე. სიდიდით ეს განსხვავება დაახლოებით 4 წუთითა 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° -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 ვაგვემილებდით 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 აღვებუდით პრაქტიკულად მზის მდებარეობა ცაზე და როგორ მივაყოლოთ თვალი მის გადაადგილებას ვარსკვლავების ფონზე? ამისათვის საჭიროა დავაკვირდეთ შუალამისას მერიდიანში მყოფ ვარსკვლავებს. რაკი შუალამეა, 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 განანაცვლება ვარსკვლავებს შორის და ამის მიხედვით მზის წლიური გადაადგილებაც დავადგინოთ და შევინსწავლოთ ისე, თითქოს ვხედავდით კიდევ 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 შავი 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. დღე-

მიწის ეს „დამატებითი“ შემობრუნება 4 წუთს მოითხოვს. მზე 4 წუთით „ჩამორჩება“ ვარსკვლავებს დღე-ღამეში. ეს გამოხატავს ვარსკვლავთმძიერი და მზისმძიერი 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.



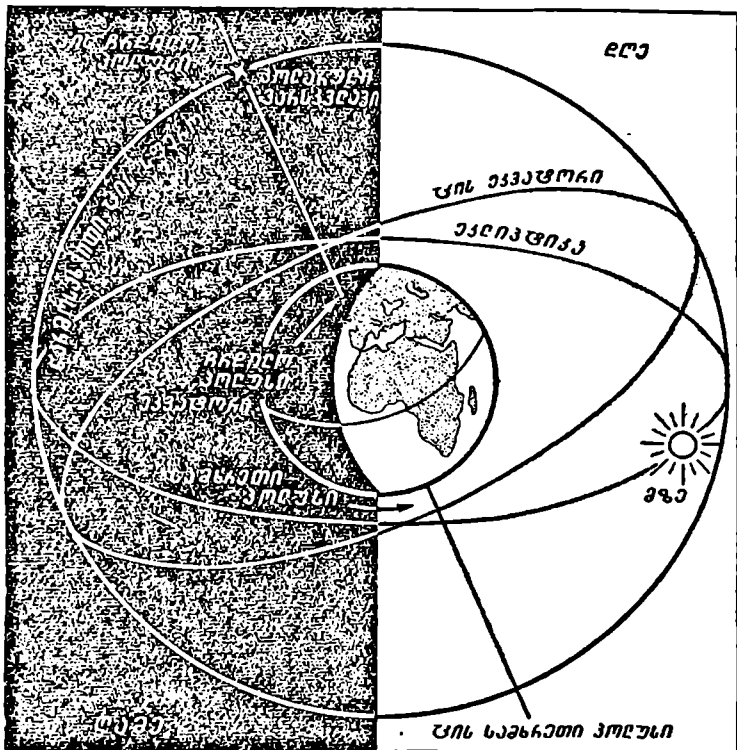
ნახ. 89.

ეკლიპტიკა. დედამიწა ნამდვილად ურბენს მზეს გარშემო: მზე ამის გამო შემოწირს ცაზე ვარსკვლავებს შორის ხილულ ანუ მოჩვენებით წრეწირს. ეს, როგორც ადვილად გასაგებია, დიდი წრეწირია. მას ეკლიპტიკას უწოდებენ. მაშასადამე, ცის სფეროს დიდ წრეწირს, რომელზეც წარმოებენ ვარსკვლავებს შორის მზის ხილული წლიური მოძრაობა, ეკლიპტიკა ეწოდება. როგორც ნახაზის განხილვა უჩვენებს, ეკლიპტიკა იმავე სიბრტყეში ძევს, რა სიბრტყეშიც მდებარეობს მზის გარშემო დედამიწის გარემოცვის 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 ბერძნულიდან *εκλειπτική*, რაც დაბნელებას ნიშნავს. ძველთაგანვე ცნობილია, რომ მზისა და მთვარის დაბნელებები მაშინ ხდება, როცა მთვარე დედამიწის ორბიტის სიბრტყის—ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლობაშია (იხ. ქვევით).

გაზაფხულისა და შემოდგომის დღელამტოლობის წერტილები. ეკლიპტიკა ორ დიამეტრულად მოპირდაპირე წერტილში გადაკვეთს ეკვატორს. ეს ნაჩვენებია როგორც 90-ე, ისე 91-ე ნახაზებზე. ამ უკანასკნელზე ეკვატორი RQ და ეკლიპტიკა KL -ით არის აღნიშნული. გადაკვეთის წერტილები აღნიშნულია Υ და --- ნიშნებით. პირველ ნიშანს ვიცნობთ უკვე, ეს ე. წ. ვერძის წერტილია ანუ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი. მოძრაობს რა მზე წლის განმავლობაში ეკლიპტიკის გასწვრივ, ამ წერტილს იგი 21 მარტს გაივლის. დღელამტოლობაც იმიტომ არის ამ დროს, რომ მზე ერთდროულად ეკლიპტიკაზეც



ნახ. 50.

იმყოფება და ეკვატორზეც, მაშასადამე, მის დღელამტორ პარალელს ეკვატორი წარმოადგენს.

ამ გამოხატავს სასწორის ნიშანს და შემოდგეულია იმიტომ, რომ სათანადო წერტილი დაკავშირებულია „სასწორის“ თანავარსკვლავედთან. ამ წერტილში, რომელიც Υ -დან 180° -ითაა დაშორებული, მზე იმყოფება ექვსი თვის შემდგომ— 23 სექტემბერს. ამ დღეს შემოდგომის დღელამტოლობაა.

დღელამტოლობას ბუნობასაც უწოდებენ და, მაშასადამე, Υ და --- -ს გაზაფხულისა და შემოდგომის ბუნობის წერტილები შეგვიძლია ვუწოდოთ.

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 დღელამური პარალელი მაქსიმალურადაა დაშორებული ეკვატორს ჩრდილოეთიდან და ამის შემდეგ იგი კვლავ ეკვატორთან მიახლოებას იწყებს. 22 ივნისამდე მზის საშუალო სიმაღლე სულ მატულობდა, ამ დღისათვის მზე თითქოს შერჩერდა, შედგა ანუ „დაიბუდა“, და მერე კვლავ კლება იწყო. ამიტომ უწოდებენ ამ დროს მზედგომას ანუ მზებუდობას და, სახელობრ, ზაფხულის მზებუდობას. ანალოგიური მზედგომა 22 დეკემბერს—ე. წ. ზამთრის მზებუდობა. ამ დროს მზე ეკლიპტიკის K წერტილშია; მისი დღელამური პარალელი კვლავ მაქსიმალურადაა დაშორებული ეკვატორს, ოღონდ მის სამხრეთით, და მზის საშუალო სიმაღლე პორიზონტიდან უმცირესია.

თავის ადგილას ჩვენ გავეცანით დღელამტოლობის კოლურის ცნებას. ახლა დავუმართოთ, რომ დიდი წრეწირი, რომელიც გადის სამყაროს პოლუსებსა და მზებუდობის წერტილებზე, წოდებულია მზებუდობათა კოლურად. K და L წერტილებს ვუწოდებთ მზებუდობათა წერტილებს, მზებუდობათა წერტილებზე გამავალ პარალელებს—მობრუნების წრეებს.

მზის პირდაპირი აღვლენისა და დახრილობის ცვლილება წელიწადის განმავლობაში. თუ 21 მარტს მზის პირდაპირი აღვლენა O საათია, 22 ივნისს (L წერტილი) იგი 6 საათი იქნება (90°), 23 სექტემბერს (\sphericalangle წერტილში)—12 საათი (180°), ხოლო 22 დეკემბერს (K წერტილში)—18 საათი (270°).

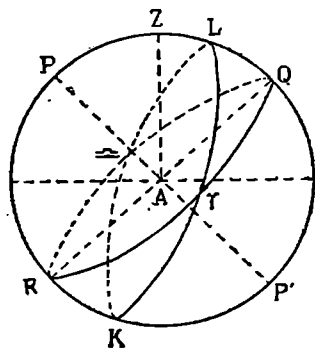
წლის განმავლობაში მზის დახრილობაც იცვლება. ეს უკვე იქიდანაც ჩანს, რომ, როგორც ვიცით, იცვლება მზის საშუალო სიმაღლე პორიზონტიდან ანუ მისი ზენიტური მანძილი. გაეისხნოთ ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება დამკვირვებლის ადგილის განედსა, მნათობის ზენიტურ მანძილსა და დახრილობას შორის:

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

აქედან პირდაპირ გამომდინარეობს, რომ მზის დახრილობა იცვლება წლის განმავლობაში.

არსებითად ეს იმ ფაქტიდანაც ჩანს, რომ ეკლიპტიკა დახრილია 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 $L'Q$) ეტოლება $23\frac{1}{2}^\circ$ -ს.



ნახ. 91.

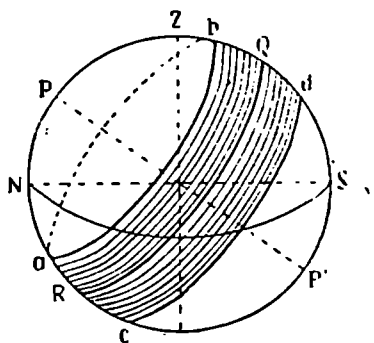
ახლა ადვილი მისახვედრია, რომ მზის დახრილობის ცვალებადობის ფარგლები $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ და $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და სამხრეთით).

21 მარტს, როცა მზე ეკვატორზეა, მისი დახრილობა 0° -ია, შემდგომ მატულობს 22 ივნისამდე, როცა $23\frac{1}{2}^{\circ}$ გახდება. ამის შემდეგ იგი კლებულობს, 23 სექტემბერს კვლავ 0° -ს უტოლდება, ეკვატორის გადაკვეთისას, და 22 დეკემბრისათვის — $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ხდება. ამის შემდგომ კვლავ მატულობს შემდეგი წლის 22 ივნისამდე და ა. შ.

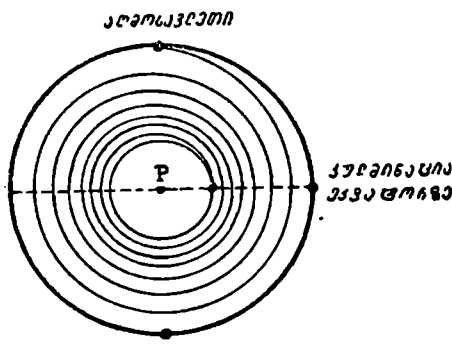
ახლა ვნახოთ, როგორ უნდა წარმოვიდგინოთ შეთავსებულად ცის სფეროს გამომსახველ ნახაზზე მზის ორგვარი მოძრაობა — დღელამური და წლიური, მისი ორივე ეკვატორული კოორდინატის ერთდროული და განუწყვეტელი ცვლილების გათვალისწინებით.

მზე ყოველდღე წრეწირს (დღელამურ პარალელს) შემოწირს დამკვირვებლის გარშემო; ამავე დროს ყოველდღიურად იგი ეკლიპტიკის გასწვრივაც გადაადგილდება დაახლოებით 1° -ით და ყოველ მეორე დღეს მისი დღელამური პარალელი აღარ თანხვდება წინდღის პარალელს; თითქოს მზე ხვიასებრ მოძრაობას ასრულებდეს ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და შემდგომ — უკან, ეკვატორზე გავლით, სამხრეთით და მერე კვლავ ეკვატორისაკენ.

თუ მოვიწოდებთ ამ სურათის ნახაზზე წარმოდგენას, უნდა მოვიყვანოთ შემდეგი 92-ე ნახაზი, სადაც 365 დღელამური პარალელი უნდა შემოვხაზოთ წელიწადის 365 დღე-ღამის შესაბამისად, მაგრამ ნახაზზე ეს მოუხერხებელია და პრაქტიკულად შეუძლებელიცაა, რის გამო მხოლოდ 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 ხვიასებრ ანუ სპირალურ მოძრაობას შეესაბამება.



ნახ. 92.



ნახ. 93.

შეტი სიცხადისათვის სხვა მხრივაც შევხედოთ მოვლენას. წარმოვიდგინოთ ცის ჩრდილოეთი ნახევარსფერო ეკვატორის სიბრტყეზე დაგვემიღებულად (ნახ. 93). მაშინ ნახაზის შუა წერტილი P პოლუსს შეესაბამება, გადამკვეთი ხაზი მერიდიან-

ნის პროექცია, ხოლო გარე სქელი ხაზი—თვით ეკვატორი. შიგა წრეწირი ზაფხულის მზებუდობის შესაბამისი დღელამური პარალელია.

შედარებით წერილი ხეია ხაზით გამოხატულია მზის წლიური ხეია გზა ცაზე, უფრო სწორად—მისი გეგმილი ეკვატორის სიბრტყეში, ოღონდ, რა თქმა უნდა, გამარტივების აუცილებლობის გამო, ხეიას მხოლოდ რამდენიმე შტოა აქ წარმოდგენილი. სქელი წერტილები მერიდიანის გეგმულზე წარმოადგენს მზის ზედა კულმინაციის ადგილებს დღელამტოლობისა და ზაფხულის მზედგომის დღეებში.

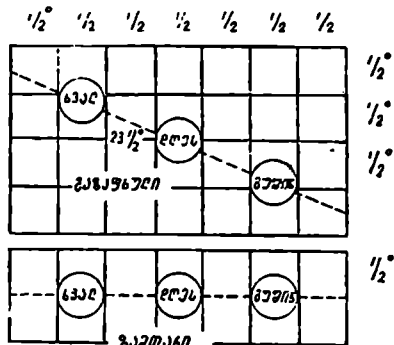
ხეიას ერთი ტოტის მეორე ტოტისაგან დაშორებას ანუ, სხვა სიტყვებით, პარალელის პარალელისაგან დაშორებას მზის დახრილობათა განსხვავება განაპირობებს. რადგანაც მზის დახრილობის ყოველდღიური ცვლილება 22 ივნისისა და 22 დეკემბრის ახლო ერთობ მცირეა, ამიტომ ამ დღეების შესაბამისი პარალელები უფრო მეტად თავმოყრილი და, მაშასადამე, ნაკლებადაა დაშორებული ერთმანეთისაგან. მზის საშუალოდ სიმაღლეც ნაკლებად იცვლება და სწორედ ეს აპირობებს მზებუდობას ანუ მზედგომას.

აქ სასარგებლო იქნება განვიხილოთ შემდგომი 94-ე ნახაზი.

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 დღელამურ გადაადგილებას შეესაბამება ეკლიპტიკის გასწვრივ!

პოლარული დღე და პოლარული ღამე. თავის ადგილზე ვნახეთ, როგორ გამოიყურება ცის დღელამური ბრუნვა დედამიწის ეკვატორზე და პოლუსზე მყოფ დამკვირვებლისათვის. დაუბრუნდეთ კვლავ ამ საკითხს, მაგრამ განსაკუთრებული ყურადღება მზის დღელამურსა და წლიურ მოძრაობას მიექცით.

ვთქვათ, დედამიწის ეკვატორზე ვიმყოფებით (ნახ. 42-ა). აქ ყოველი დღელამური 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.

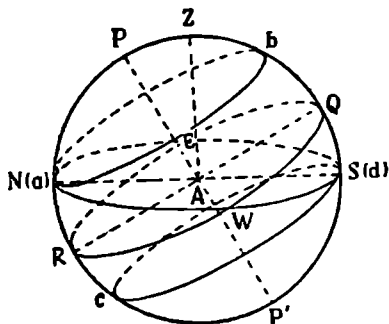


ნახ. 94.

მაშასადამე, დღისა და ღამის ხანგრძლივობის წლიური ცვლებადობა, რაც აღწერილი 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. მის შემდგომ, რაც ის ეკვატორის ჩრდილოეთით მდებარე პარალელებზე გადავა, სულ მუდამ პორიზონტის ზემოთ იქნება სექტემბრამდე (ნახ. 42-ბ). მართალია, მისი სიმაღლე პორიზონტიდან შედარებით მცირეა და $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ -ს არ აღემატება (საშუაღღო სიმაღლის ამ მნიშვნელობას მზე 22 ივნისს მიაღწევს), მაგრამ 23 სექტემბრამდე სულ პორიზონტის ზემოთ იქნება და დამკვირვებელს ყოველდღიურად გარშემოუვლის ვერტიკალური ღერძის გარშემო, თითქმის პორიზონტის პარალელურად. თითქმის იმიტომ, რომ, უფრო მკაცრად თუ ვიტყვით, მზის ხილული წლიური მოძრაობა ხეიასებრი მოძრაობაა, როგორც ეს ზემოთ აღწერეთ; მოძრაობს რა დღე-ღამის განმავლობაში საერთოდ პორიზონტის პარალელურად (პოლუსზე მყოფი დამკვირვებლისათვის), ამავე დროს პორიზონტიდან სიმაღლესაც იცვლის (იზრდება მისი დახრილობა — 22 ივნისამდე, — ე. ი. იზრდება მისი დაშორება ეკვატორიდან, რომელიც პორიზონტს თანხვდება). ამგვარად, 21 მარტიდან 22 ივნისამდე მზის სიმაღლე პორიზონტიდან მატულობს; შემდგომ—23 სექტემბრამდე—კლებულობს.

23 სექტემბრიდან მზე პორიზონტის ქვეშ ჩაეშვება და შემდგომი წლის 21 მარტამდე არ გამოჩნდება. ამიტომ პოლუსზე ექვსი თვე დღეა (პოლარული დღე) და 6 თვე—ღამე (პოლარული ღამე)°.



ნახ. 95.

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 პორიზონტიდან იგივე $66 \frac{1}{2}^{\circ}$ იქნება. 95-ე ნახაზზე ZQ რკალი ასევე $66 \frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. ხოლო მზის დღელამური პარალელები,

რომლებიც შეესაბამება ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობებს ($N(a)b$) და ($S(d)c$), როგორც ეს ადვილად გასაგებია, ეხება პორიზონტს, პირველი — ზემოდან N

* რეფრაქციის გამო (იხ. ქვემოთ) მზე თავისი ბადროს ზედა კილით უკვე 19 მარტს გამოჩნდება პორიზონტზე, ხოლო 36 საათის შემდეგ ქვედა კილითაც აშოვა. მაშასადამე, დღე-ღამე ნახევრის განმავლობაში იგი პორიზონტის ხაზზე იქნება.

წერტილში, ხოლო მეორე—ქვემოლან S წერტილში (ამიტომ აღვნიშნეთ ეს წერტილები $N(a)$ და $S(d)$ -ით).

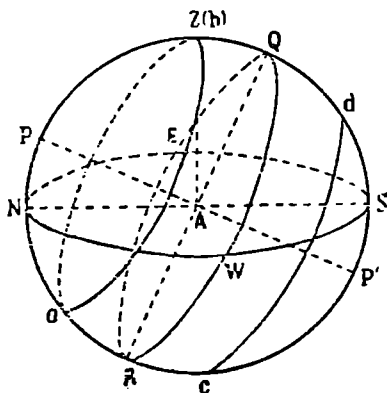
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ამ განვლზე ზაფხულში ერთი დღე-ღამე მაინც არის ისეთი, როდესაც მზე მთელი 24 საათის განმავლობაში არ ჩადის პორიზონტის ქვეშ. ხოლო ზამთარში ერთი დღე-ღამე მაინც მოიპოვება ისეთი, რომ მზე მთელი 24 საათის განმავლობაში არ ამოდის პორიზონტის ზევით.

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 6 თვეს 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, ვნახეთ, რომ მზის დღეღამური ყველა პარალელი (დახრილობის $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ და $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს შორის მდებარე) პორიზონტთან გადაიკვეთება. მაშასადამე, დღე-ღამის რაღაც გარკვეული ნაწილის განმავლობაში მზე პორიზონტის 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.

ახლა ვთქვათ, რომ იმ ადგილას ვიმყოფებით, სადაც გეოგრაფიული განედი $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. აქ პოლუსის სიმალვეც პორიზონტიდან (NP) და ZQ რკალიც ტოლი იქნება $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ისა (ნახ. 96). ზაფხულის მზებუდობის შესაბამისი მზის დღეღამური პარალელი, რომელიც $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით არის დაშორებული ეკვატორს (რკალი $aZ(b)$), ზენიტზე გადის. მაშასადამე, ამ ადგილას წელიწადში ერთხელ მაინც, შუადღისას, მზე იმდენად მაღლაა პორიზონტიდან, რომ ზენიტს აღწევს.



ნახ. 96.

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 შუა მომენტებს შორის, როცა მზის დახრილობა მატულობს 0° -დან $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -მდე, და მეორედ — ზაფხულსა და შემოდგომას შორის, როცა იგი კვლავ 0° -მდე კლებულობს.

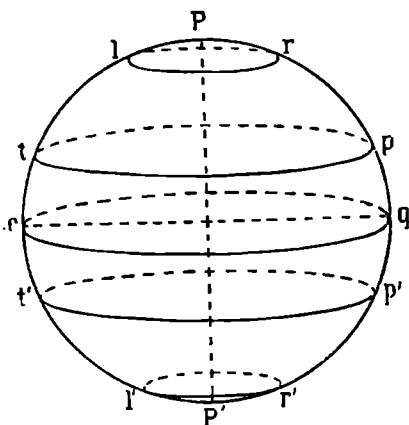
დედამიწის პარალელს, რომლის გეოგრაფიული განედი $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია, ეწოდება ტროპიკი. მას კირჩხიბის ტროპიკსაც უწოდებენ, რამდენადაც კირჩხიბის

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 ნახაზზე გამოხატული.

დედამიწის ზედაპირის იმ ნაწილს, რომელიც პოლარულ წრესა და პოლუსს შორისაა მოთავსებული, ცივი სარტყელი ეწოდება. როგორც ნახაზზე ვხედავთ, ცივი სარტყელი ორია—ჩრდილოეთისა და სამხრეთის.



ნახ. 97.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს $t\ p$ 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.

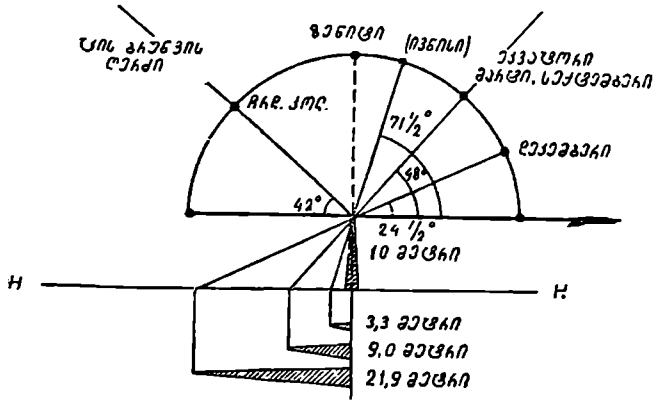
როგორც ვნახეთ, ცივი სარტყელის ასტრონომიული ნიშანი ანუ მახასიათებელი ისაა, რომ იქ არის დღეები, როცა მზე სრულიად არ ჩადის ან სრულიად არ ამოდის ჰორიზონტიდან. ცხელ სარტყელში არის დღეები, როცა მზე ზენიტზე გაივლის. ზომიერი სარტყელი კი მით ხასიათდება, რომ იქ მზე ყოველდღე ამოდის და ჩადის, მაგრამ ზენიტს არასდროს 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 $+41.1^{\circ}$ და $+43.6^{\circ}$ განედებს შორის.

ჩრდილის სიგრძე შუადღისას. 98-ე ნახაზზე გამოხატულია პორიზონტულ ზედაპირზე HH ამართული ანძა (სვეტი, სარი). ცალკეა, თუმცა იმავე ნახაზზე, გამოხატული მისი ჩრდილი შუადღისას, მზებუდობისა და დღეამტოლობის დღეებში. ილუსტრაცია შეეხება დამკვირვებლის ადგილს, რომლის განედი 42° -ია. ნახაზზე აღნიშნული ჩრდილის სიგრძეები შეესაბამება 10 მეტრის სიმაღლის

სვეტს. მკითხველს შეუძლია თვითონ გამოითვალოს და შეამოწმოს მათი მნიშვნელობები. ამ ნახაზის დაწერილობითი გარჩევა სასარგებლო საეარჯიშო იქნება.



ნახ. 98.

დილისა და საღამოს ხანგრძლივობათა შესახებ. დროის ხანგრძლივობა ვარსკვლავის ამოსვლიდან მის მიერ მერიდიანის გადაკვეთამდე ანუ ზედა კულმინაციამდე უნდა ეტოლებოდეს ხანგრძლივობას ზედა კულმინაციიდან ჩასვლის მომენტამდე (ამოსვლა და ჩასვლა იგულისხმება ქვემარტივი პორიზონტის მიმართ). ეს იმ გარემოებითაა განპირობებული, რომ ვარსკვლავიერი ცამრგვალის დღეღამური ბრუნვა (ანუ დედამიწის ღერძული ბრუნვა) თანაბარი სიჩქარისაა და, ამასთანავე, მერიდიანის 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 ნაშუადღევის საათებში. მეორეც, მზის დახრილობა იცვლება, განსაკუთრებით შესამჩნევად — გაზაფხულსა და შემოდგომაზე, რის გამოც, მაგალითად, დახრილობის ზრდის შემთხვევაში, მზემ შეიძლება რამდენადმე დააგვიანოს ჩასვლა და მით საღამო გახანგრძლივდეს.

მაგრამ, თუ ამ ეფექტებს სულაც უგულებელვყოფთ, როგორც ძალიან მკირესა და ჩვეულებრივ პირობებში შეუმჩნეველთ, მინც 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.

9 ე. სარაძე

საშუალო შუადღე დეკრეტული დროით, როგორც ვიცით, 13 საათია. მაშინ:

13 სთ— $r = r' =$ დროის შუალედი მზის ამოსვლიდან საშუალო შუადღემდე. თუ აღებულ პერიოდში საშუალო შუადღე ჩამორჩენილია კეშმარიტს, მაშინ:

13 სთ— $r - y = r' - y =$ დროის შუალედი მზის ამოსვლიდან კეშმარიტ შუადღემდე.

ასევე,

$s - 13$ სთ $= s' =$ დროის შუალედი საშუალო შუადღიდან მზის ჩასვლამდე.

$s - 13$ სთ $+ y = s' + y =$ დროის შუალედი კეშმარიტი შუადღიდან მზის ჩასვლამდე. ცხადია, რომ $r' - y = s' + y$, რამდენადაც ეს შუალედები კეშმარიტი 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 ერთმეორისაგან განსხვავებულია $2y$ -ით. მხოლოდ ოთხჯერაა წელიწადში, როცა $y = 0$, ეს ორი შუალედი ერთმეორის 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 აღამიანი აშკარად ატყობს და უკვირს კიდევ, რომ, მაგალითად, დეკემბრის ბოლოს და იანვრის პირველი ნახევრის განმავლობაში, როცა, როგორც მან იცის, დღე მატულობს, მაინც გვიან თენდება. შეიძლება შეგვიმჩნევია კიდევ და ადვილია ანალოგიური მსჯელობით ისიც ვნახოთ, რომ ზაფხულის მზებუდობის ანუ 21 ივნისის შემდგომ ორიოდ კვირის განმავლობაში დღის ხანგრძლივობის შემცირება დღის შუალედის ხარჯზე ხდება.

დედამიწის სრბოლა მზის ბარჩემო

დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო. ზემოთ ვნახეთ, როგორ იცვლება დღისა და ღამის ხანგრძლივობა დედამიწის სწვდასხვა 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 $-23\frac{1}{2}^{\circ}$. დასასრულ ისიც ვნახეთ, რომ არსებობს ასტრონომიული ნიშნები, რომელთა მიხედვით შეგვიძლია დედამიწის სფეროს ზედაპირი ერთგვარ თერმულ ანუ კლიმატურ სარტყელებად დავეყოთ. ყურადღებას იქცევს ის გარემოება, რომ ამ სარტყელებს შემოსასაზღვრავენ დედამიწის პარალელები, რომელთა განულებია $23\frac{1}{2}^{\circ}$ და $66\frac{1}{2}^{\circ}$ ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის დამატება 90° -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.

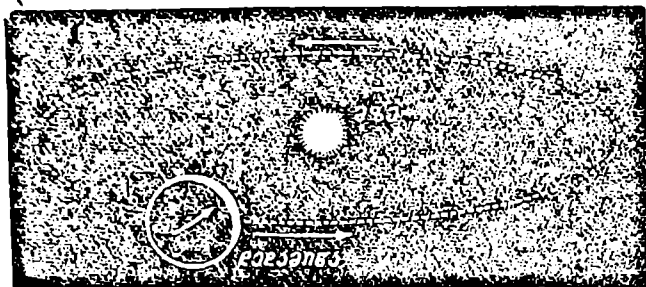
მეორე მოძრაობა იმაში გამოიხატება, რომ დედამიწა მზის გარშემო სრბოლავს ანუ მზის გარშემო მოიქცევა. დაახლოებით 150 მილიონი კილომეტრით მზეს დაშორებული დედამიწა მზის გარშემო თითქმის წრიულ გზას შემოწერს. ამ გარემოქცევის სიჩქარე ისეთია, რომ დედამიწა ერთ სრულ წრეწირს ერთი წელიწადის (დაახლოებით 365 დღე-ღამის) განმავლობაში ასრულებს. მაშასადამე, ყოველ წაშში იგი 30 კილომეტრამდე მანძილს გადის.

ერთი სიტყვით, ბრუნავს რა თავისი ღერძის ირგვლივ, დედამიწა შემობრუნდეს 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 ვადანაკლებებში გამოიხატება ცაზე. ვარსკვლავების ფონზე, რომელიც დაწვრილებით დავასურათით ზემოთ 88-ე ნახაზით.

დედამიწის ორი ნამდვილი მოძრაობის (საკუთარი ღერძის ირგვლივ და მზის გარშემო) ილუსტრაციას წარმოადგენს 99-ე ნახაზი.

შავრამ. თუ საკითხს მკაცრად და უფრო ზუსტად განვიხილავთ, ვერ ვიტყვით. რომ (დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო) ზუსტად წრიულია; იგი ერთ-



ნახ. 99.

გვარად გაწეულია, სინამდვილეში (ელიფსური). 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 146880000 კმ-ია; უდიდესი მანძილი კი 151 მილიონ 890 ათას კმ-ს უახლოვდება.)

ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწის სრბოლის ელიფსი არაა დიდად გაწეული, ე. ი. მისი ექსცენტრისიტეტი მცირეა.

დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი. იმისათვის, რომ სრული პასუხი გავცეთ წინა პარაგრაფში დასმულ კითხვებს, უნდა განვმარტოთ მეორე მოვლენა, რომელიც დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრასა და სიერცემში მის მდებარეობას შეეხება.

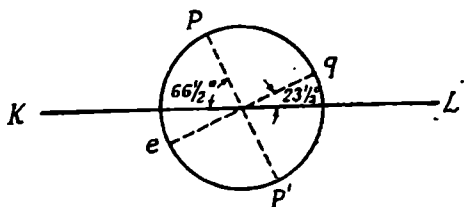
დედამიწის ბრუნვის ღერძი დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი და ამ დახრის კუთხე ყოველთვის ერთი და იგივეა; არ იცვლება არც მისი სიდიდე ($66\frac{1}{2}^{\circ}$) და არც ღერძის მიმართულება*.

მე-100 ნახაზზე *KL* წრფეწირი ეკლიპტიკის სიბრტყეს გამოსახავს. ამავე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწა, რომლის ბრუნვის ღერძი *ყყ'* $66\frac{1}{2}^{\circ}$ -იან კუთხეს ადგენს *KL*-თან. მაშასადამე, კუთხე დედამიწის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას

* სინამდვილეში იცვლება, ოღონდ ერთობ ნელა, დროის ძალიან დიდ მონაკვეთებზე შედგინებულ (იხ. ქვემოთ).

შორის $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია. რამდენადაც ცის ეკვატორი წარმოადგენს დედამიწის ეკვატორის სიბრტყის გაგრძელების გადაკვეთას ცის სფეროსთან. ვასკენით, რომ ცის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთხეც $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია.

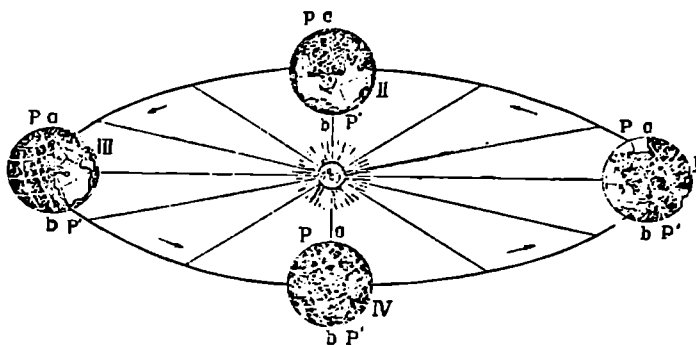
არსებითად მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი მუდმივია და უცვლელადაა მიმართული, სადაც არ უნდა



ნახ. 100.

მდებარეობდეს დედამიწა თავის წლიურ გზაზე მზის გარშემო, ე. ი. წლების მანძილზე ღერძი pp' მუდამ ერთნაირად არის მიმართული და მუდამ თავისი თავის პარალელური რჩება.)

უფრო ნათლად ეს დასურათებულია 101-ე ნახაზზე, სადაც დედამიწის გზა-



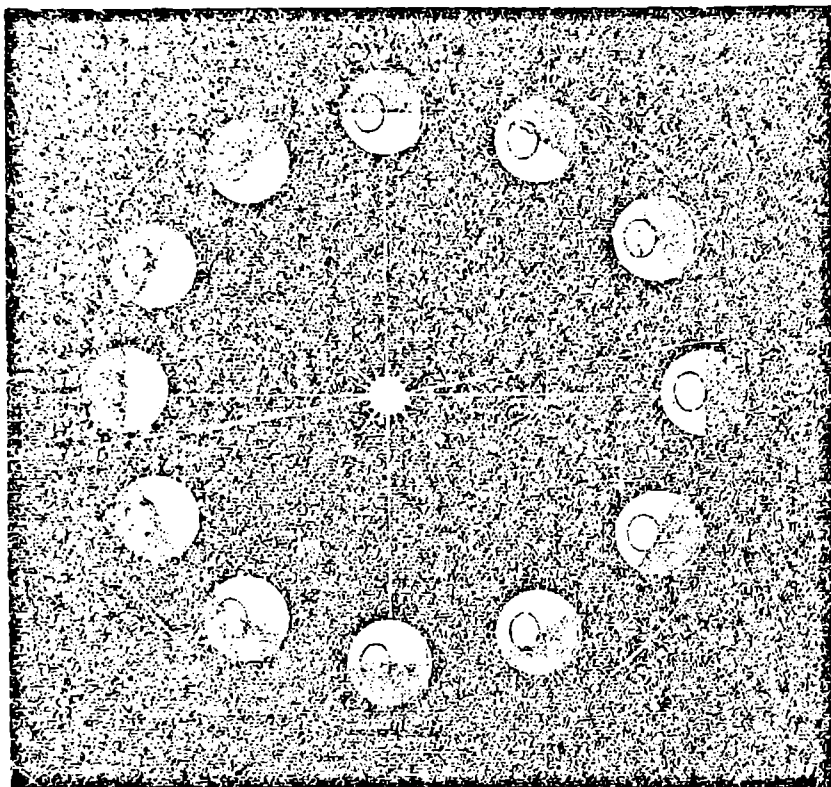
ნახ. 101.

ზე მზის გარშემო დედამიწა აღნიშნულია მის ოთხ (I, II, III, IV) მდებარეობაში და ეკვლავან pp' ღერძის მიმართულება ერთი და იგივეა.

ახლა სასარგებლოა, დავეხდეთ შემდეგ 102-ე ნახაზსაც და ზემოთ მოყვანილთან ერთად აღვიქვათ იგი.

როგორც ვიცი, ღერძი pp' ამავე დროს სამყაროს ღერძის მიმართულება-საც 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.)

წელიწადის დრონი (სეზონები). მიღებარეობაში. რომელიც 101-ე ნახაზზე აღნიშნულია 1-ით. დედამიწა იმყოფება 22 იენისს. ამ დროს წრეწირი, რომელიც დედამიწის განათებულსა და ვაუნათებულ ნახევარსფეროების მიჯნას წარმოადგენს (11მ). ისე მდებარეობს. რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძის ჩრდილოეთი ნახევარი განათებული ნახევარსფეროს მხარეზეა და ჩრდილოეთი პოლუსი γ მზისაკენ



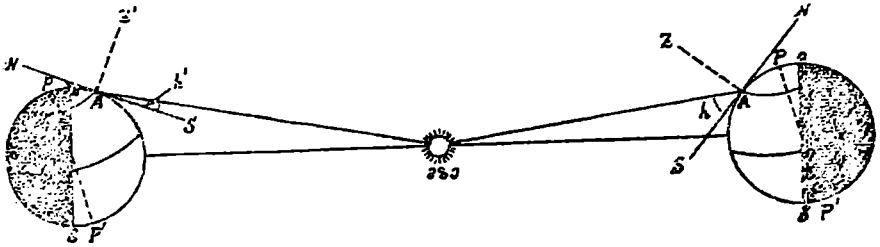
ნახ. 102.

არის გადახრილი $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით (ა) რკალი $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ს ეტოლება). ამიტომ ჩრდილოეთ პოლარულ წრეში მზე სრულიად არ ჩადის პორიზონტის ქვეშ: დედამიწა თავისი ღერძის ირგვლივ თუნდაც მთლიანად შემობრუნდეს (ე. ი. განვლის 24 საათმა), ღერძის აღნიშნული დახრის გამო ეს სარტყელი მზით განათებული რჩება.

რაც შეეხება ჩვენი ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზომიერ სარტყელს, აქ მზე შუაღლისას საკმაოდ მაღლაა პორიზონტიდან. ეს 101-ე ნახაზზე ჩანს, მაგრამ მეტი თვალსაჩინოებისათვის მოყვანილია 103-ე ნახაზიც, სადაც დედამიწის I მდებარეობა უფრო დაწერილებით განეხილოთ. აქ A დამკვირვებლისათვის გავლებულია პორიზონტი NS (როგორც დედამიწის სფეროს მხები A წერტილში) და

შეული მიმართულება AZ . A წერტილის გეოგრაფიული განედი საკმაოდ მაღალია— 60° -მდე. A ეკვატორსა და პოლუსს შორისა.

A დამკვირვებლის მერიდიანს წარმოადგენს pAp' წრეწირი. მის სიბრტყეში იმყოფება ამ დროს მზე. მაშასადამე, სურათი შეესაბამება A -სათვის შუადღის მომენტს. მზის სიმაღლე პორიზონტიდან გამოიხატება h კუთხით, რომელიც საკმარისად დიდია და სწორი კუთხის თითქმის $2/3$ -ს შეადგენს. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ამ დროს მზე პორიზონტიდან ძალიან მაღლაა და ცხელა. დღე უფრო გრძელია, ვიდრე ღამე. ეს იქიდან ჩანს, რომ დედამიწის ჩრდილოეთ ნა-



ნახ. 103.

ხევარსფეროს პარალელები მათი მეტი ნაწილით განათებულ ნახევარსფეროში იმყოფება (ნახაზზე— ab -ს მარცხნივ).

სამხრეთ ნახევარსფეროში, პირიქით, პოლარული სარტყელი და მასთან ერთად სამხრეთი პოლუსი (p') გაუნათებულ 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), სამხრეთისა კი—მზისაკენ არის მიქცეული იმავე სიდიდით. ამის გამო ჩრდილოეთ პოლარულ სარტყელში მზე სრულიად არ ამოდის პორიზონტის 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° -იან განედზეა. მზის სიმაღლე პორიზონტიდან 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 დიდი ნაწილით გაუნათებულ ნახევარსფეროშია.

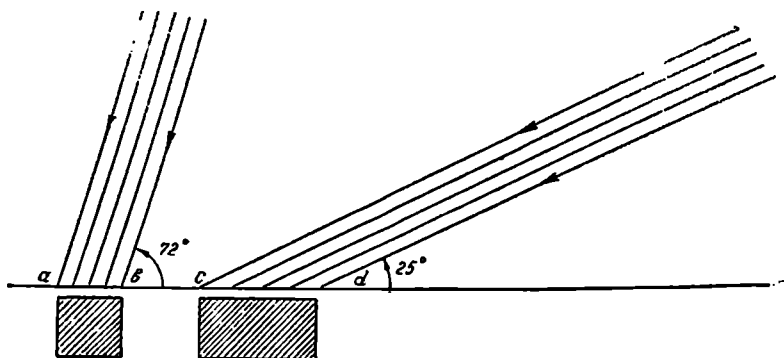
სამხრეთ ნახევარსფეროში, პირიქით,—პოლარული სარტყელი და სამხრეთი პოლუსი განათებულ ნახევარსფეროშია. ამიტომ იქ მზე არ ჩადის პორიზონტის ქვეშ ამ დროს და, მაშასადამე, დღეა.

დედამიწის III მდებარეობა შეესაბამება წელიწადის იმ დროს, როცა ჩრდი-

ლოეთ ნახევარსფეროში (ჩვენთან) ზამთარია, 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.

ყურადღებამისაკცევი 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? სითბოზე, რომელსაც



ნახ. 104.

მზისგან ვლენულობთ, 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 დაბლა და ეს იმიტომ, რომ გადახრილია მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით დედამიწის ბრუნვის ღერძის ჩრდილოეთი ნახევარი. ამ დროს მზის სხივები ჩვენს ზომიერ სარტყელს შვეულად როდი ეფინება, არცთუ ახლოა ამ სხივების მიმართულება შვეულთან, არამედ შესამჩნევად დახრილია და, ამის შედეგად, გათიბება ნაკლებია, ცივა, ზამთარია.

ძოვივანათ 104-ე ნახაზი, რომელიც თვალნათლივ გვიჩვენებს ჰორიზონტიდან მზის სიმაღლის ცვლილების ტემპერატურულ ეფექტს.

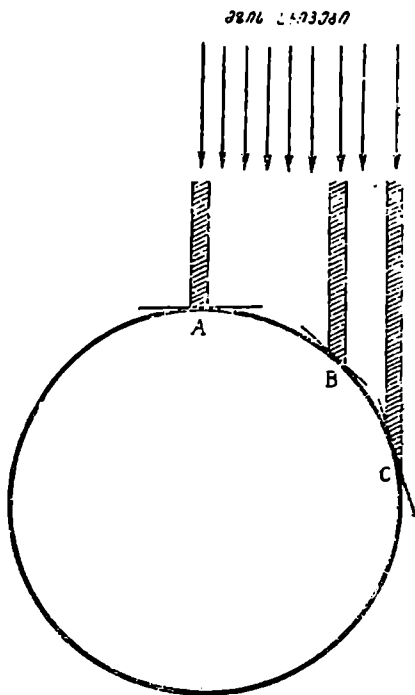
როცა „მზე მაღალია“ ($\lambda = 72^\circ$), მისი სხივთკონა, რომელიც, მაგალითად, ერთი კვადრატული მეტრის განივსაა, ნიადაგზე ერთ კვადრატულ მეტრზე ოდნავ მეტ ფართობს ეფინება და მისი სითბო ამ ფართობზე იყრის თავს. მეორე შემთხვევაში, როცა „მზე დაბალია“ ($\lambda = 25^\circ$), იმავე განივის სხივთკონა დაახლოებით ხუთ კვ მეტრის ფართობზე ვრცელდება და მისი სითბო ამ უფრო დიდ ფართობზე ნაწილდება, მაშასადამე, ფართის თითო ელემენტზე ნაკლები სითბო მოდის. ჩვენს მაგალითში სხივთკონის დახრის კუთხეები (72° და 25°) შეესაბამება საქართველოს ტერიტორიაზე მზის უდიდეს (22 ივნისს) და უმცირეს (22 დეკემბერს) საშუალო 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 შენდგომი 105-ე და 106-ე ნახაზები წარმოადგენენ. დამატებით განმარტებას ისინი არ საჭიროებენ.

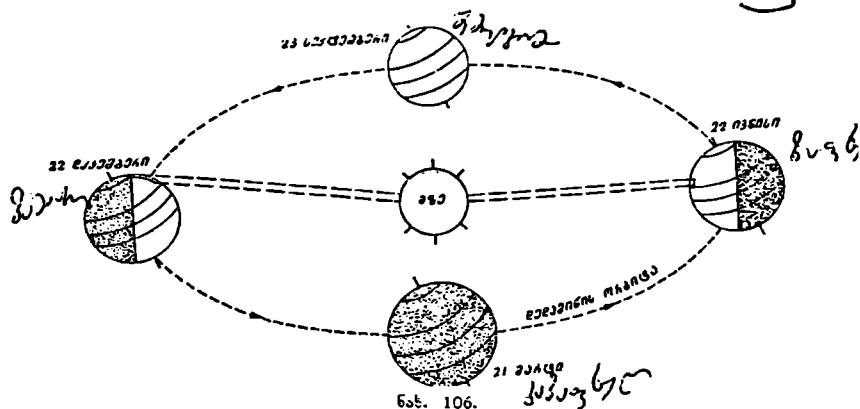
II მდებარეობაში დედამიწა 23 სექტემბერს იმყოფება. ამ დროს მზე ეკვატორის მცხოვრებისათვის შუადღეზე ზუსტად ზენიტში გადადის. წრეწირი, რომელიც დედამიწის განათებულ და გაუნათებელ ნახევარსფეროებს ჰყოფს, სწორედ ორივე პოლუსზე გადაის. 101-ე ნახაზზე ეს წრეწირი თვით ნახაზის სიბრტყეში უნდა წარმოვიდგინოთ, დედამიწის 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 ეკვატორზეა. ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის მზე ზენიტში გადადის შუადღის მომენტში. კვლავ თანატოლია დღე და ღამე მთელ დედამიწაზე. ეს გაზაფხულის დღეობამტლობაა. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გაზაფხულის დასაწყისია და სამხრეთ ნახევარსფეროში — შემოდგომისა.



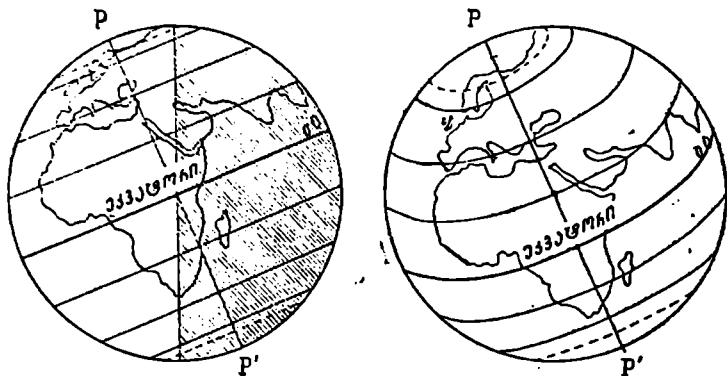
ნახ. 105.



ნახ. 106.

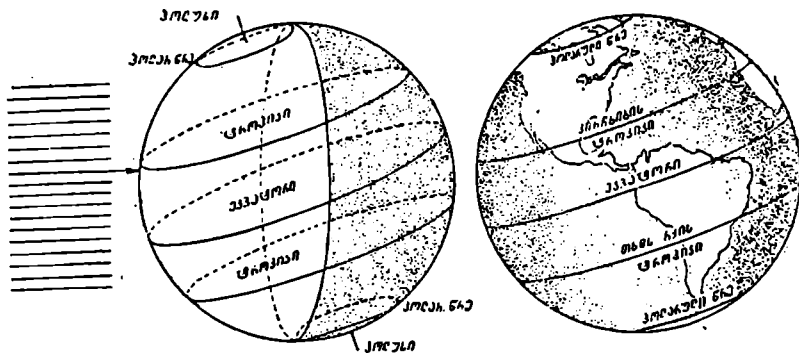
მოციყვნით 107-ე ნახაზი, სადაც გამოხატულია, თუ როგორ არის განათებული მზით დედამიწა ზაფხულის მზებუდობისა (მარცხნივ) და გაზაფხულის ან შემოდგომის დღელამტოლობის დროს (მარჯვნივ; დღისა და ღამის გამყოფი წრე-წილი ვადის ორივე პოლუსზე).

ვაზბოლოს, დაეხედეთ თვალსაჩინოებისათვის 108-ე ნახაზსაც, ყურადღება-



მისაქცევია ის, რომ ამ სურათის შესაბამ დღეს მზე ზენიტში გადადის ჩრდილოეთის ტროპიკზე. წელიწადის რა დღეა ეს?

შეფარად, მზის დახრილობის ცვლილება, დღისა და ღამის ხანგრძლივობა, წელიწადის დროთა (სეზონების) ცვლა, და ბოლოს, დედამიწის ზედაპირზე კლი-



ნახ. 108.

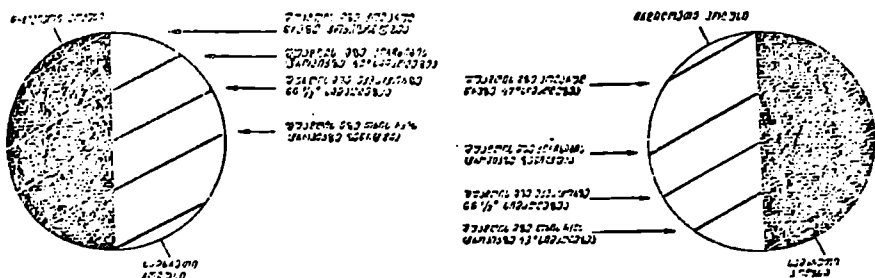
მატური სარტყელების განლაგებაც განპირობებულია მით, რომ დედამიწა თავისი ღერძის ირგვლივ ბრუნავს, მზის გარშემო სრბოლავს და ამასთანავე მისი საკუთარი ბრუნვის ღერძი სულ ერთი, უცვლელი მიმართულებითა და ეკლიპტიკისადმი უცვლელი კუთხით არის დახრილი. ღერძის დახრის კუთხე რომ სხვა სიდიდის ყოფილიყო, სხვა იქნებოდა კლიმატური პირობების განაწილებაც დედამიწაზე.

იმისათვის, რომ გასამეორებლად მოვავლოთ თვალი განვილოდ მასალას და

განვამტკიცოთ შეძენილი წარმოდგენები, სასარგებლოა ყურადღებით განვიხილოთ შემდეგი ნახაზები.

109-ე ნახაზის მარცხენა ნაწილი შეესაბამება ჩრდილოეთ ნახევარსფეროსათვის ზამთარს, ხოლო მარჯვენა—ზაფხულს. ნახაზი არ მოითხოვს დამატებით განმარტებას.

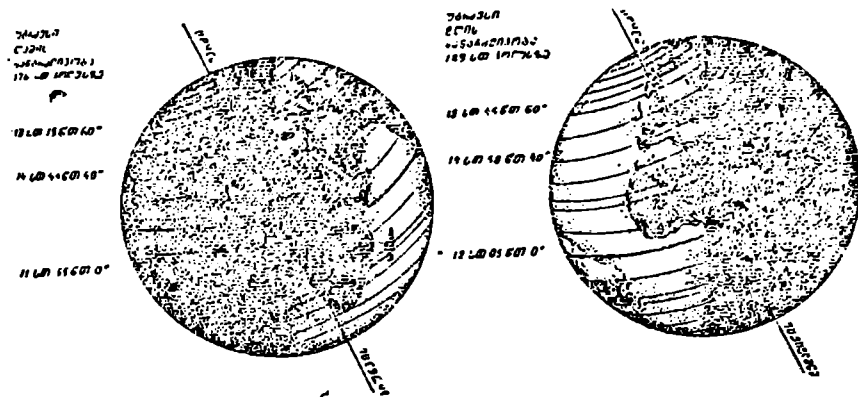
110-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ზამთრისა და ზაფხულისათვის უგრძესი ლა-



ნახ. 109.

მისა და უგრძესი ღლის ხანგრძლივობანი დედამიწის ჩრდილოეთ პოლუსის, ეკვატორისა და 60° და 40° განედებისათვის, შესაბამისად.

მკითხველმა თვითონ ახსნას, აქ რატომ განსხვავდება ერთიმეორისაგან უგრძესი ღამისა და უგრძესი ღლის ხანგრძლივობანი ან რატომ განსხვავდება ღლის და



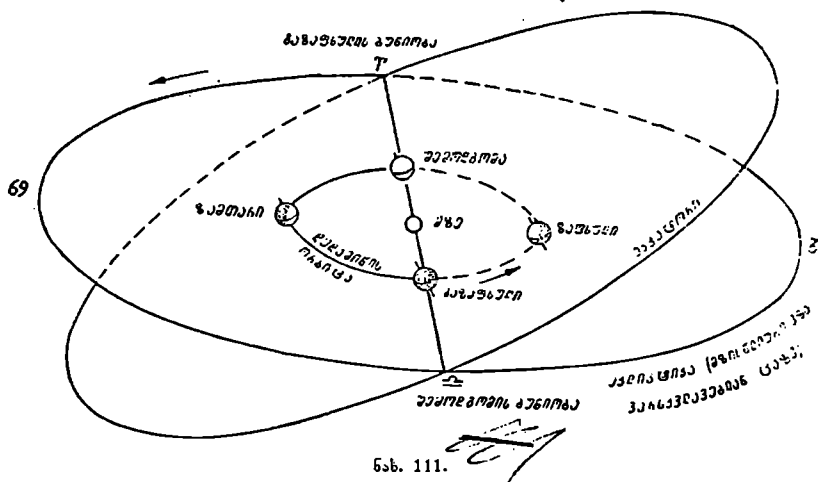
ნახ. 110.

ღამის ხანგრძლივობა ეკვატორზე 12 საათისაგან (ამ უკანასკნელ კითხვას მკითხველი უპასუხებს მას შემდეგ, რაც რეფრაქციის მოვლენას გაეცნობა).

მზის თანმიმდევრული მდებარეობანი ეკლიპტიკაზე. ზოდიაქოს თანავარსკვლავედები. 111-ე ნახაზზე წარმოდგენილი გვაქვს ეკლიპტიკისა და ცის ეკვატორის სიბრტყეები. ეკლიპტიკის სიბრტყეში, ეკლიპტიკის წრეწირის შიგნით შემოხაზულია დედამიწის ორბიტა, აღნიშნულია დედამიწის 4 სეზონური მდებარეობა.

პა, ნაჩვენებია 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 და კირჩხიბის თანავარსკვლავედში (☿): შუალამის მახლობლობაში, კულმინაციაშია მშვილდოსნის და თხისრქის თანავარსკვლავედი (♄). ნახაზზე იმასაც ადვილად გავარჩევთ, რომ ეკლიპტიკა ეკვატორზე



უფრო დაბლა, სამხრეთით მდებარეობს. ზამთარში, პირიქით, მზე დაიძვინტება მშვილდოსნის მიმართულებით, ხოლო ღამით კულმინაციაშია მარჩბივის თანავარსკვლავედი და ეკლიპტიკა ეკვატორზე უფრო მაღლაა. წარმოდგენილ სურათზეც ყურადღებაამისაკცევია ის, რომ მზე, მას შემდეგ რაც ვერძის წერტილს (♈) გაივლის, ეკლიპტიკის წრეწირის იმ ნაწილზე მსვლელობს, რომელიც ეკვატორის „ზემოდან“ ანუ ჩრდილოეთ მხარეზე მდებარეობს. შემოდგომის ბუნიობის წერტილში (♎) მზე ჩრდილოეთიდან სამხრეთ ნახევარსფეროში გადადის. როგორც დედამიწის ნამდვილი მოძრაობა, ისე მზის პერსპექტიული გადაადგილება ცაზე, წლის განმავლობაში, საათის ისრის მიმართულების წინააღმდეგ ხდება, თუ ჩრდილოეთიდან ვუყურებთ, ანუ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით.

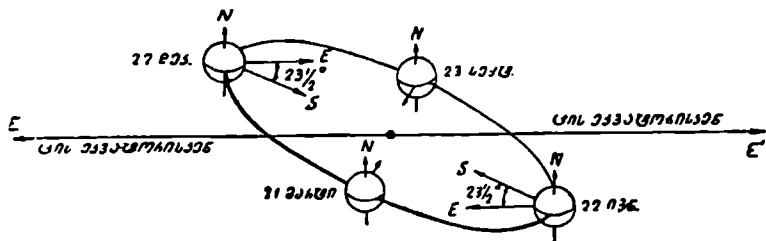
ცოტა სხვაგვარად არის წარმოდგენილი თითქმის იგივე სურათი 112-ე ნახაზზე. თუ მასაც დავეკვირდებით და ყურადღებას მივაქცივთ იმ დეტალებს, რომლებიც ამ ნახაზს წინასაგან განასხვავებს, კიდევ უფრო მტკიცე ვახლება ჩვენი წარმოდგენა განხილულ საკითხზე.

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 ახლოს.

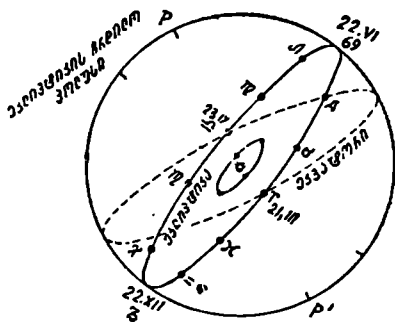
ეკლიპტიკის გასწვრივ მოცემულია 12 სხვადასხვა სახის პირობითი ნიშანი-აღნიშვნა იმ თანავარსკვლავედებისა, რომლებშიც მზე წელიწადის სხვადასხვა



ნახ. 112.

ღროს მდებარეობს. ცხადია, რომ ეს თანავარსკვლავედები განლაგებულია ეკლიპტიკის გაყოლებით. ვარსკვლავებიანი ცის ცალკეულ თანავარსკვლავედებზე დაყოფის მიხედვით, რომელიც უძველესი დროიდან მოდის. აქ მოთავეებულია 12 თანავარსკვლავედი, რომლებიც უმთავრესად ცხოველების ფიგურებს ემსგავსება და ცხოველებისვე სახელებს ატარებს.

ამიტომ, იმ წრიულ ზოლს, რომელშიც მოთავეებულია ეს თანავარსკვლავედები, ზოდი აქოს უწოდებენ, რაც „ცხოველთა წრეს“ ნიშნავს ბერძნ. სიტყვა ჯამ: αἰθήρ). ნახაზზე ზოგან აღნიშნულია ის თარიღებიც, რომლებშიც მზე იმყოფება შესაბამის თანავარსკვლავედში.



ნახ. 113.

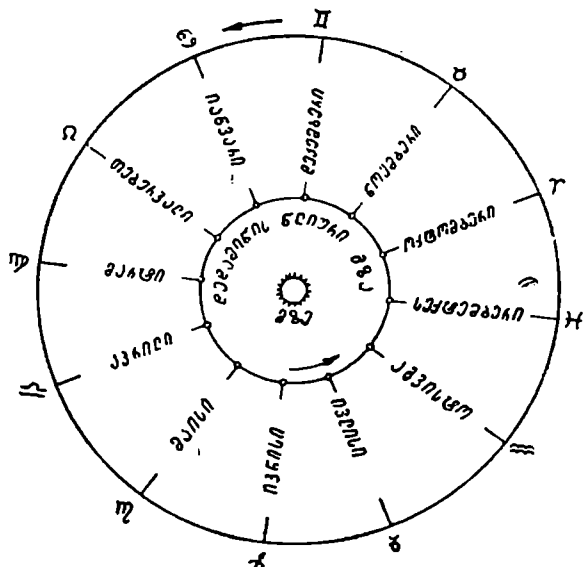
ეს თანავარსკვლავედები და მათი შესაბამისი აღნიშვნები შემდეგია:

თევზები ♉	მარჩბივი ♋	ქალწული ♍	მშვილდოსანი ♎
ევრიძი ♌	კირჩხიბი ♍	სასწორი ♎	თხისრქა ♏
კურობი ♍	ლომი ♐	ღრიანკალი ♑	მერწყული ♒

თითოეულ თანავარსკვლავედს, ზოდი აქოს ზოლის გასწვრივ, დაახლოებით 30° უკავია. მაშასადამე, მზე, რომელმაც მთელი ზოდი აქოს სარტყელი 12 თვეში უნდა გაიაროს, დაახლოებით თითო თვეს იმყოფება თითოეულ თანავარსკვლავედში. ამიტომ ძველად ყოველ თვეს ზოდი აქოს სათანადო ნიშნით აღნიშნავდნენ, მაგალითად, გაზაფხულის თვეს მარტს—ევრიძის 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 ლომს—ზაფხულისას; ქალწულს, სასწოროსა და ღრიანკალს—შემოდგომისას; მშვილდოსანს, თხისრქასა და მერწყულს—ზამთრისას.

ცხადია, რომ ის თანავარსკვლავედი, რომელშიც მოცემულ დროს მზე იმყოფება დაკვირვებისათვის ამ დროს მიუწვდომელია, სამაგიეროდ, ამ მხრივ სიუკეთესო პირობებშია მის მოპირდაპირე მხარეზე მდებარე თანავარსკვლავედი. ასე. მაგალითად, ზაფხულის თვეში—ივნისში, მზე მარჩბივის თანავარსკვლავედშია და



ნახ. 114.

ეს უკანასკნელი ვერ დაიკვირვება—დღისითა ცაზე. სამაგიეროდ, მშვილდოსანი, რომელიც ივნისში ზედა კულმინაციაში შუალამის მახლობლობაშია, დაკვირვებისათვის ხელსაყრელ პირობებშია. ამ თანავარსკვლავედს მზე დეკემბერში მიიღწევს: მაშასადამე, ეს ზამთრის მზებულობის თანავარსკვლავედია, და, ცხადია, დეკემბერში იგი არ გამოჩნდება; სამაგიეროდ კი მარჩბივი კარგ პირობებში დაინახება.

ახლა შეგვიძლია მოვისაზროთ, რატომ მდებარეობს ეკლიპტიკის წრეწირი დაბლა პორიზონტის მიმართ ზაფხულის ღამეებში და რატომაა იგი მაღლა ზამთრის ღამეებში.

დასასრულ განვიხილოთ 114-ე ნახ., რომელზეც, ეკლიპტიკის სიბრტყეში, მოცემულია სქემატური სურათი მზისა, დედამიწის ორბიტიტურთ, და ეკლიპტიკისა ცაზე. აღნიშნულია დედამიწის მდებარეობანი მის ორბიტაზე წელიწადის სხვადასხვა თვეში და, სათანადოდ,—მზის მდებარეობანი ზოდიაქოს თანავარსკვლავედებში. ამ სურათის მიხედვით ყოველთვის გავარკვევთ, რა თვეში სადაა 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 წათ შორის, რომლის გამო ერთი შეხედვით მკითხველს მოეჩვენება, რომ თითქოს 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 დღეამტოლობის მომენტში ანუ ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის წერტილში. ეს ნიშანი გეომეტრიული წერტილის აღნიშვნელი. რეალურად ეს წერტილი პრეცესიის გამო, როგორც ზემოთ ვთქვივთ. გადაინაცვლებულია და ახლა თვეზების თანაფარსკვლავებში იმყოფება; რაც შეეხება ვერძის თანაფარსკვლავებს, მზე იქ 20 აპრილის შემდეგ აღმოჩნდება.

ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის განსაზღვრა მზის საშუალოდ სიმაღლეზე დაკვირვების საფუძველზე. ზემოთ აღნიშნეთ, რომ ეკლიპტიკის სიბრტყის ეკვატორთან დახრის კუთხე დაახლოებით $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია და ამაში იმითაც დაერწმუნდით, რომ მზის დახრილობა იცვლება $\pm 23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის ფარგლებში ან, რომ მზებულობის დროს მზის საშუალოდ მდებარეობა დაშორებულია ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილს $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ით. ამ განსაზღვრას საფუძვლად უძვეეს შემდეგი დაკვირვება, წარმოებული ზაფხულსა და ზამთარში.

გავზომოთ ზაფხულის მზებულობის დროს მზის ცენტრის საშუალოდ სიმაღლე პორიზონტიდან. ეს მაქსიმალური სიმაღლე იქნება და მისი მაქსიმუმის დადგენა შესაძლებელია მთელი რიგი განსაზღვრების საფუძველზე, რომლებსაც ვაწარმოებთ რამდენიმე დღის ან კვირის განმავლობაში მზებულობის ახლო პერიოდში. ეს სიმაღლე აღვნიშნოთ z_1 -ით, ხოლო სათანადო ზენიტური მანძილი (ეს კი მინიმალური იქნება)— z_1 -ით. მაშინ შეგიძლია დაეწერათ: (იხ. გვ. 88): $z_1 = \varphi - \varepsilon$, სადაც ε რეალური სიდიდეა, რომლითაც მზე დაშორებულია ეკვატორის მერიდიანთან გადაკვეთის წერტილს.

რ თვის შემდგომ კვლავ გავზომოთ მზის ცენტრის საშუალოდ სიმაღლე პორიზონტიდან ზამთრის მზებულობის დროს. ეს მინიმალური სიმაღლე იქნება და მინიმუმის დადგენა ამ შემთხვევაშიც რიგი თანმიმდევრული განსაზღვრების საფუძველზე შეიძლება. აღვნიშნოთ ეს სიმაღლე z_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.

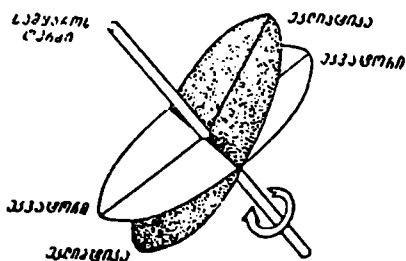
ასეთი მეთოდით ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის კუთხე ჯერ კიდევ უძველეს დროში განუსაზღვრავთ.

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 შვის ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობათა პარალელუბით. ამავე დროს ეკლიპტიკის პოლუსი შემოწერს სამყაროს პოლუსის ირგვლივ წრეწირს. რომლის რადიუსი $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -ია.

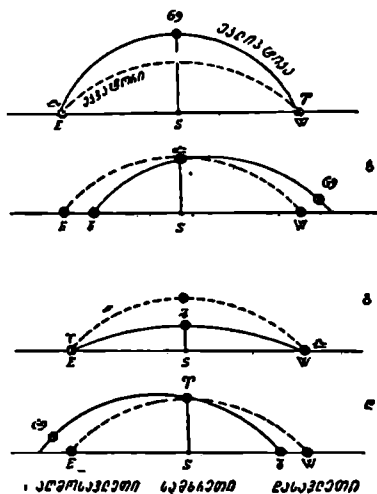
115-ე ნახაზის განხილვა საკითხს უფრო ნათლად წარმოგვიდგენს. ღერძის ირგვლივ ცის ბრუნვაში ეკვატორის სიბრტყე თავისავე სიბრტყეში რჩება ანუ სიბრტყეში უცვლელი მიმართულება აქვს, ეკლიპტიკის სიბრტყე კი (დაშტრიხულია), მართლაც, სფერულ ფენას შემოწერს.

ასეთ ვითარებაში ეკლიპტიკის დახრა დაკვირვების ადგილის პორიზონტისადმი თავისებურად იცვლება. რა თქმა უნდა, ამავე დროს ეკლიპტიკა, როგორც ღიბი წრეწირი. ერთი ნახევრით პორიზონტის ზევითაა, მეორეთი—მის ქვევით. ოღონდ მისი ორიენტაცია პორიზონტის საყრდენი წერტილების (ქვეყნის მხარეების) მიმართ ცვლებადია.

116-ე ნახაზზე სქემატურადაა წარმოდგენილი ეკლიპტიკის ოთხი ძირითადი



ნახ. 115.



ნახ. 116.

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 დაგვემჩილებული). „ა“ შეესაბამება ვარსკვლავთმთიერი დროის 6 საათს, როცა გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის (γ) საათ-კუთხე 90° -ია და, მაშასადამე, γ იმყოფება დასავლეთის წერტილში. შემოდგომის დღელამტოლობის წერტილი (♄) აღმოსავლეთის წერტილშია და კირჩხიბი (♊)—ზედა კულმინაციაში, ეკვატორიდან „ზევით“, ჩრდილოეთით.

6 საათით გვიან ანუ ვარსკვლავთმიერი დროით 12 საათზე („ბ“) ზედა კულმინაციაში მოვა —, ხოლო 69 დასავლეთით მოექცევა, მაგრამ არა დასავლეთის წერტილში; ეკლიპტიკა გადაკვეთს ჰორიზონტს სადღაც ჩრდილო-დასავლეთით (მოაქციეთ ამას ყურადღება! გაიხსენეთ, რომ ეკლიპტიკა თავის სიბრტყეში კი არ ბრუნავს, როგორც ეკვატორი).

ვარსკვლავთმიერი დროის 18 საათზე („გ“) ო ადმოსავლეთის, ხოლო — დასავლეთის წერტილში მოექცევა. ზედა კულმინაციაში იქნება 69-ის მოპირდაპირე წერტილი ა. (თხისრქა), მაგრამ ეკვატორის „ქვევიდან“ მოქცეული, მის სამხრეთით.

„დ“ ასურათებს ეკლიპტიკის მდებარეობას ჰორიზონტის ზევით 24 ანუ 0 საათზე, როცა ო ზედა კულმინაციაშია.

როგორც ვნახეთ, ეკლიპტიკის ორიენტირება ჰორიზონტის მიმართ ო-ს ნდებარეობასთან არის დაკავშირებული. ამის გამო ეს ორიენტირება იცვლება ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის განმავლობაში. მაგრამ, რამდენადაც მზისმიერ დღე-ღამეს ვარსკვლავთმიერისაგან განსხვავებული სვლა აქვს, ამიტომ წლის განმავლობაში ო-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, ეთქვათ, „ა“ სურათი ვარსკვლავთმიერი დროის 6 საათს შეესაბამება. ამ დროს ეკლიპტიკა ეკვატორის ზევით მდებარეობს, „მაღალია“, მეტადრე, მერიდიანში. მაგრამ ვარსკვლავთმიერი დროით 6 საათს შეესაბამება მზისმიერი დროით შუალამე დეკემბერში*, როცა მზის პირდაპირი აღლენა 18 საათია. მაშასადამე, ზამთარში, ღამით, ცაზე სამხრეთის ეკლიპტიკა მალაა. ეს ზემოთაც აღვნიშნეთ და 111-ე ნახაზზე ვნახეთ. ვარსკვლავთმიერი დროით 12 საათს (შემთხვევა „ბ“) შეესაბამება მზისმიერი დროით შუალამე მარტში. როგორც 116-ე ნახაზზე ვხედავთ, ამ დროს ეკლიპტიკა შედარებით „მაღალია“ მხოლოდ დასავლეთის ცაზე. ზაფხულში, ივნისში, როცა შუალამეზე ვარსკვლავთმიერი დროით 18 საათია, ეკლიპტიკა ეკვატორის წრეწირისა და ჰორიზონტის სამხრეთ წერტილს შორის ძვეს („ბ“) და, მაშასადამე, „დაბალია“. სექტემბერში ეკლიპტიკა ადმოსავლეთ მხარეზეა ამაღლებული. ამის მიხედვით შეარჩევენ ხოლმე დასაკვირვებლად წელიწადის დროს, როცა ესაკიროებათ ეკლიპტიკაში მდებარე ობიექტების გამოკვლევა (ცის სხეულების დაკვირვება უფრო ხელსაყრელია, როცა ისინი ჰორიზონტიდან დიდ სიმაღლეზე იმყოფებიან).

ეკლიპტიკის ორიენტაცია ჰორიზონტის 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 რა დროს, საღამოს და დილას, შუალამესა და შუადღეს, მდებარეობს ეკლიპტიკა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 116-ე ნახაზზე და შეესაბამება 6, 12, 18 და 24 საათს ვარსკვლავთმიერი დროით.

* აქ და ქვევით დროს ვანგარიშობთ მიანლოებით და ამიტომ თვის დღეებს აღარ ვუჩვენებთ.

ვარსკვლავთმიერი დრო	სალამო	შუალამე	დილა	შუაღღე
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, სალამოობით, დასავლეთის ცაზე; მოვიძებნოთ ტაბულაში ის სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება ნახაზზე ეკლიპტიკის მაღალ მდებარეობას სალამოთი, დასავლეთით; ეს ნახაზზე 12 საათს შეესაბამება; მაშინ 12 საათის სტრიქონში, სვეტში „სალამოს“ ვნახავთ, რომ ეს ზაფხულშია. თუ სხვა შემთხვევაში გვინტერესებს დაკვირვება აღმოსავლეთით, მაშინ მოვიძებნოთ ტაბულაში ის სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება ეკლიპტიკის მაღალ მდებარეობას აღმოსავლეთის ცაზე (ეს 24 საათის შესაბამია) და ვნახავთ, რომ ასეთი სურათი გვაქვს ზამთარში სალამოს, შემოდგომაზე შუალამეს და ზაფხულში—დილით. შუადღის სვეტი მოყვანილია ტაბულაში სისრულისათვის, ხოლო პრაქტიკულად იგი არ გვესაჭიროება, რადგანაც შუაღღეზე ეკლიპტიკაში მდებარე ობიექტებს ვერ დავაკვირდებით, თუ ეს თვით მზე არაა (თუმცა, ზოგ შემთხვევაში კაშკაშა ვენერასაც აკვირდებიან დღისით, ხოლო ვენერა როგორც პლანეტა ყოველთვის ახლოა ეკლიპტიკასთან (იხ. ქვემოთ).

წელთაღრიცხვა. კალენდარი

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 ცაზე მზის მდებარეობათა 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 (γ) 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 მზისმიერ დღე-ღამეს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ხილულ დღე-ღამურ 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 მეთოხედით. მაგრამ ვარსკვლავები და აგრეთვე გაზაფხულის დღედამტოლობის γ წერტილი ასრულებს ზუსტად ერთი შემობრუნებით მეტს (გავიხსენოთ ვარსკვლავთმძიერი და მზისმძიერი დღე-ღამის ცნებებთან დაკავშირებული მოვლენების აღწერა); მზე მოძრაობს ცის სფეროს დღეღამური ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით; ყოველდღიურად მისი

კულმინაცია დაახლოებით 4 წუთით ჩამორჩება ორწერტილის კულმინაციას. სხვა სიტყვებით, როცა ვარსკვლავი 360°-ს შემოწერს დედამიწის ირგვლივ. მზე მხოლოდ 359°-ს შემოწერს, ან კიდევ, მზე თუ 360°-ს შეასრულებს, ვარსკვლავი 361°-ს შემოწერს. ერთი წლის მანძილზე ასე თითო გრადუსით ჩამორჩენაში, რაც დროში ყოველდღიურად 4 წუთით გამოიხატება, მზე „კარგავს“ ერთ დღელამურ შემობრუნებას (დაახლოებით 4 წთ გამრავლებული 365-ზე. იქნება 24 საათი, რაც 360°-ს შესაბამეა).

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— ვახუშტელის დღელამტოლობის მომენტით; ჩვენი ყოველდღიურად სახმარი კალენდარი 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 შეიძლება ჩაგვეთვალოს 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 1971 წლის ქართულ ასტრონომიულ კალენდარში (წელიწდეულში). 33-ე გვერდზე, მზის ცხრილში ვიპოვი 1 იანვრისათვის მზის პირდაპირი აღვლენის მნიშვნელობას: 18 სთ 43 წთ 08 წმ.

დამოკიდებულება საშუალო მზისმიერ დროსა და ვარსკვლავთმიერ დროს შორის. როგორც ვიცით, ვახუშტელის დღელამტოლობის მომენტში (21 მარტს) მზე ე. წ. ვერძის ორწერტილში იმყოფება. ვთქვათ, ამ დღის შუაღამეს ვიწყებთ მზისმიერი და ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამეების თვლას.

წლის განმავლობაში მზისა და ორწერტილის ურთიერთმდებარეობა უწყვეტ-ლივ იცვლება (მზე, გადაინაცვლებს რა ეკლიპტიკის გასწვრივ, შორდება ორწერტილს). ამიტომ მზის ზედა კულმინაცია ანუ შუაღამე როდის მოდის ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის სულ მუდამ ერთსა და იმავე მომენტზე. მაშასადამე, მზისმიერი და ვარსკვლავთმიერი დრო ურთიმეორისაგან განსხვავებულია. თუ ჩავთვლით, რომ ვარსკვლავთმიერი დღე-ღამის დასაწყისი ორწერტილის 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, შემოტვლის რა მთელს ეკლიპტიკას, კვლავ ორწერტილში მოვა, და თუ 21

მარტიდან მომდევნო 21 მარტამდე 365 მზისმიერი დღე-ღამე გადაითვალა, ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამეები ერთით მეტი ანუ 366 გადაითვლებოდა.

მაშასადამე, როგორც ზემოთაც ვნახეთ, ერთი ტროპიკული წელიწადი უდრის 365.2422 მზისმიერ დღე-ღამეს ან 366.2422 ვარსკვლავთმომიერ დღე-ღამეს.

ზემოთ მოყვანილი ანგარიშით (4 წთ წინსწრება ყოველდღიურად) უბრალოდ გამოვითვლით დაახლოებით ვარსკვლავთმომიერ დროს ნებისმიერი დღისათვის, ოღონდ გასათვალისწინებელია ის, რომ მზისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად შუაღამე (მზის ქვედა კულმინაცია) არის მიჩნეული, ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამის დასაწყისად კი—შუადღე (γ წერტილის ზედა კულმინაცია). ამიტომ 21 მარტს, შუაღამეს მზისმიერი დრო 0 სთ-ია, ხოლო ვარსკვლავთმომიერი დრო—12 სთ. 23 სექტემბერს, შუაღამეს, როცა მზე, ⊖ წერტილთან ერთად, ქვედა კულმინაციაშია, γ ზედა კულმინაციაშია (⊖ და γ წერტილები ცის სფეროზე დიამეტრულად მოპირდაპირედ მდებარეობენ) და ვარსკვლავთმომიერი დროით 0 საათია. აქ მოყვანილ ცხრილში მოცემულია საშუალო (მზისმიერი) შუაღამის შესაბამისი ვარსკვლავთმომიერი დროის მნიშვნელობა დღეღამეობის, 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 დამარგვალეულია და მხოლოდ სახელდახელო, მიახლოებითი ანგარიშისათვის გამოიყენება.

რა დრო იქნება ვარსკვლავთმომიერი ანგარიშით 22 ივნისს საშუალო დროის 9 საათზე? ამ დღეს, შუაღამეს ვარსკვლავთმომიერი დროით 18 საათია. დავუმატოთ ამას შუაღამიდან განვლილი 9 სთ, გვექნება 27 ანუ 3 სთ შემდგომი დღისა. მაგრამ ეს ანგარიში მიახლოებითია. საკმე ისაა, რომ რაკი პასუხს ვარსკვლავთმომიერი დროით ვეძებთ, ის 9 საათიც, რომელმაც შუაღამის შემდგომ განვლო, აგრეთვე, ვარსკვლავთმომიერ ერთეულებში უნდა გამოვხატოთ. თუ მზისმიერი დროის 24 სთ ვარსკვლავთმომიერი დროით 24 სთ და 4 წთ-ია, მზისმიერი 9 სთ იქნება ვარსკვლავთმომიერი 9 სთ 1 წთ 30 წმ.

უფრო ზუსტი ანგარიშისათვის კი შემდგომ ფარდობებს უნდა მივმართოთ:

365.2422 საშ. მზისმ. დღ-ღ. = 366.2422 ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს

$$1 \text{ საშ. მზისმ. დღე-ღამე} = \frac{366.2422}{365.2422} \text{ ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს} = 1.002738$$

ვარსკვლავთმ. დღე-ღამეს.

$$1 \text{ ვარსკვლავთმ. დღე-ღამე} = \frac{365.2422}{366.2422} \text{ საშ. მზისმ. დღე-ღამეს} = 0.997270 \text{ მზისმ. დღე-ღამეს.}$$

რიცხვი 1.002738 გამოიყენება როგორც მამრავლი მზისმიერი დროის შუალედების ვარსკვლავთმომიერ საათებში, წუთებსა და წამებში გადასაყვანად, ხოლო

რიცხვი 0.997270—ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედებისა საშუალო მზისმძიერ საათებში, წუთებსა და წამებში გადასაყვანად.

ამგვარად, თუ საშუალო მზისმძიერ ერთეულებში გამოხატული დროის შუალედი $\Delta T'$ -ით აღვნიშნეთ, ხოლო ვარსკვლავთმძიერ ერთეულებში გამოხატული ΔS -ით, მაშინ

$$\Delta S = 1.002738 \Delta T'$$

$$\Delta T' = 0.997270 \Delta S.$$

აქედან შემდეგიც გამოდინარობს:

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 ვარსკვლავთმძიერ დროზე მიყვანისას, ხოლო შემბრუნებულ პროცესში ვარსკვლავთმძიერი შუალედის ყოველ 1 საათს 10 წამი (9.830 წმ) დავაკლოთ.

თუ აქამდე მზისმძიერ და ვარსკვლავთმძიერ დღე-ღამეთა განსხვავებას მიახლოებითი ანგარიშისათვის 4 წუთად ვთვლიდით, ახლა შეგვიძლია უფრო ზუსტი მნიშვნელობა ვინებართ და ჩავთვალოთ ეს განსხვავება 3 წუთად და 56 წამად.

შესაძლებელია უფრო ზოგადი გამოსახულებების დაწერაც. ფარდობა

$$\frac{366.2422}{365.2422} \text{ წარმოედგინოთ ასე: } \frac{365.2422 + 1}{365.2422} = 1 + \frac{1}{365.2422}.$$

უკანასკნელი წილადი აღვნიშნოთ μ ასოთი. ანალოგიურად, ფარდობისათვის

$\frac{365.2422}{366.2422}$ გვექნება: $1 - \frac{1}{366.2422}$. აღვნიშნოთ წილადი ν ასოთი. მაშინ დაიწერება:

m შუალედი საშუალო დროისა ეტოლება $m(1 + \mu)$ ვარსკვლავთმძიერ შუალედს; n ვარსკვლავთმძიერი შუალედი დროისა ეტოლება $n(1 - \nu)$ საშუალო შუალედს.

ასე შეგვიძლია ნებისმიერი ერთეულის (შუალედის) ესა თუ ის რაოდენობა, გამოსახული ერთ ს.სტემაში (მაგალითად, საშუალო დროში), გადავიყვანოთ სხვა ერთეულებში (ვარსკვლავთმძიერში).

მაგალითად. 2 საშუალო დღე-ღამე ეტოლება $2 + 2\mu = 2 + \frac{2}{365.2422}$ ვარ-

სკვლავთმძიერ დღე-ღამეს. 1 საშუალო საათი ეტოლება $(1 + \mu)$ ვარსკვლავთმძიერ სა-

ათს. ამავე დროს შეენიშნოთ, რომ μ ეტოლება 3 წთ 56.56 წმ-ს დღე-ღამეში და 9.86 წმ-ს საათში. ასევე: ν ეტოლება 3 წთ 55.91 წმ-ს დღე-ღამეში, ხოლო 9.83 წმ-ს საათში. ეს იმაზეა დამოკიდებული, თუ დროის რა ერთეულს ვყოფთ 365.2422 ან 366.2422-ზე: დღე-ღამეს, საათს თუ სხვ. მართლაც, თუ 24 საათს გავყოფთ 365.2422-ზე (ანუ გავამრავლებთ μ -ზე), მივიღებთ 3 წთ 56.56 წმ-ს. თუ საათს გავყოფთ 366.2422-ზე (ანუ გავამრავლებთ ν -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 წელიწადეულებში, 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	შესაბამება	1 წთ	58.28 წმ
15 წუთს	„		2.46 წმ
30 წამს	„		0.08 წმ

სულ ემატება 2 წთ 00.82 წმ

შეღამეს $s_0 = 12$ სთ + (3 წთ 56.6 წმ) · d' , სადაც d' არის დღეღამეების რიკები 21 მარტიდან აღებულ დღემდე.

ე) ვარსკვლავთმძიერი დრო რომელიმე დღის საშუალო მზისმძიერ t მომენტში $s_t = 12$ სთ + (3 წთ 56.6 წმ) · $d' + t'$, სადაც t' არის ვარსკვლავთმძიერი ღროის ერთეულებით გამოხატული შუალედი შეღამიდან აღებულ t მომენტამდე.

3) თუ მოცემული გვაქვს რომელიმე დღისათვის რაიმე ვარსკვლავთმძიერი მომენტი, მის გამოსახატავად საშუალო მზისმძიერი დროით საჭიროა გავიგოთ, რას ეტოლება ვარსკვლავთმძიერი დრო ამ აღებული დღის საშუალო შეღამეზე: ამის შემდეგ ვიპოვოთ ინტერვალი შეღამის მომენტის ვარსკვლავთმძიერ ღროსა და მოცემულ ვარსკვლავთმძიერ მომენტს შორის; ეს ინტერვალი, გამოხატული მზისმძიერი დროის ერთეულებით, იქნება საძიებელი მზისმძიერი დრო.

ასტრონომიულ წელიწადელებსა და კალენდრებში მოცემულია წელიწადის ყოველი დღისათვის მსოფლიო დროის 0 საათის შესაბამისი ვარსკვლავთმძიერი დროის მნიშვნელობა; მისი გამოყენება აადვილებს ანგარიშს. ვთქვათ, გვჭირდება გავიგოთ ვარსკვლავთმძიერი დრო 1968 წლის 20 აპრილის 6 სთ 30 წთ გრინვიჩში ადგილობრივი დროით. 1968 წლის ასტრონომიულ კალენდარში 41-ე გვერდზე მოვნახავთ 20 აპრილის მსოფლიო დროს 0 სთ-ზე ვარსკვლავთმძიერი დროის მნიშვნელობას: 13 სთ 52 წთ 34 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:

$$\begin{array}{r} 13 \text{ სთ } 52 \text{ წთ } 34 \text{ წმ} \\ +6 \quad 31 \quad 4 \\ \hline 20 \text{ სთ } 23 \text{ წთ } 38 \text{ წმ} \end{array}$$

შეღარებით უფრო რთულია შემდეგი ამოცანა. განვსაზღვროთ ვარსკვლავთმძიერი დრო თბილისში 1970 წლის 20 აპრილს, დეკრეტული დროით 23 სთ 15 წთ მომენტისათვის.

თუ დეკრეტული დრო 23 სთ 15 წთ-ია, მსოფლიო დროს მივიღებთ შემდეგნაირად:

$$\begin{array}{r} 23 \text{ სთ } 15 \text{ წთ} \\ -4 \\ \hline 19 \quad 15 \\ \hline 3 \text{ 10 წმ} \text{ (შესწორება, საშუალო მზისმძიერი დროის შუალედის ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედში გადასაყვანად; იხ. ასტრ. კალენდარი, 1970, გვ. 138)} \\ \hline 19 \quad 18 \text{ 10} \text{ (გრინვიჩის საშუალო დროის შეღამიდან გასული ვარსკვლავთმძიერი დროის შუალედი)} \end{array}$$

19	18 10	
13	50 40	(ვარსკვლავთმეორი დრო 0 სთ-ზე მსოფლიო დროით; იხ. ასტრ. კალენდარი, 1970, გვ. 41)
<hr/>		
33	08 50	
-24		
<hr/>		
+9	08 50	(ვარსკვლავთმეორი დრო გრინვიჩში)
2	59 18	(თბილისის გრძედი)
<hr/>		
12 სთ 08 წთ 08 წმ		(ამოცანის პასუხი).

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 მიახლოებითია. უხერხულობა ისაა, რომ თუ ერთი წელიწადი დაიწყოთ შუალამისას, იგი ისევ შუალამისას კი არ დამთავრდება, არამედ—ნაშუალამევის 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 მეტრამეტად მოუხერხებელი და სამოქალაქო ცხოვრების პრაქტიკაში სრულიად მიუღებელი იქნებოდა.

ამიტომ თვლიან, რომ წელიწადი შეიცავს დღე-ღამეების მთელ რიცხვს. ასეთი. ერთგვარად პირობითი წელიწადი სამოქალაქო წელიწადია. მაგრამ სამოქალაქო წელიწადის ხანგრძლივობა საშუალოდ მაინც თუ არ იქნებოდა ტროპიკული წელიწადის ხანგრძლივობის ტოლი, წლების სამოქალაქო ანგარიში ანუ წელთაღრიცხვა იმდენად დაშორდებოდა იმ ბუნებრივი მოვლენის განმეორებას, რომელსაც უნდა ემყარებოდეს იგი, რომ აღრიცხვის საქმე ერთობ აირ-დაირეოდა.

როგორ დავუხალოთ და შევეუთავსოთ ერთმეორეს სამოქალაქო წელიწადი და ტროპიკული წელიწადი? ამ ორი ერთეულის დაახლოება კარგა ხანია წარმოადგენს კაცობრიობის საზრუნავს და ეს საქმე იქცა ისტორიულ პრობლემად, რომელიც დაკავშირებულია წელთაღრიცხვასთან ანუ კალენდართან (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, მიღებულია ერთი ძირითადი საზომი ერთეული (მეტრი, გრამი და სხვ.); უფრო დიდი მცირე ერთეულები ამ ძირითადისაგან წარმოსდგება უბრალო ჯერადობის წესით (მაგალითად, ათასჯერ მეტრი კილომეტრია, მეტრის მესამედი—სანტიმეტრი). დროის შემთხვევაში

ორი ძირითადი ერთეული მივიჩნევთ: 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 ზერხებით მეტ-ნაკლები ეფექტურობითა და მოხერხებულობით შეიძლება მისი მხოლოდ შემცირება.

სწორედ საკითხის ასე გადაწყვეტა წარმოადგენდა საზოგადოების საუკუნეობრივ საზრუნავს.

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 კეთილშობილი იყო, რომელმაც კალენდრის ეს რეფორმა იმდენად უხერხულად გაატარა ეგვიპტელი ასტრონომის სოზიგენის რჩევით. წელიწადის თვეებად დაყოფა და მათი სახელწოდებანი ძველრომაული კალენდრიდან მოდიოდა იულიუსისეულში.

გრიგორიუსისეული კალენდარი (ახალი სტილი). თუ 4 წელიწადის ან თუნდაც რამდენიმე ათეული წელიწადის მანძილზე ფაქტობრივი განსხვავება იულიუსისეულ საშუალოსა და ტროპიკულ წელიწადთან შორის უმნიშვნელოა (365 დღე 6 სთ—365 დღე 5 სთ 48 წთ 46 წმ=11 წთ 14 წმ წელიწადში), საუკუნეების მანძილზე იგი იმდენად შესამჩნევი ხდება, რომ მისი უზუღბელყოფა შეუძლებელია.

ასე. სახელდობრ, 400 წლის განმავლობაში ეს მცირე ყოველწლიური სხვაობა უკვე 3 დღე-ღამის ტოლ შესამჩნევ ცდომილებად გროვდება (11 წთ 14 წმ · 400 = 4493 წთ = 3 დღე 2 სთ 53 წთ). ამასთან დაკავშირებით დღელამტოლობისა და მზებუდობის დღეები თანდათან გადადის სულ უფრო აღრინდელ კალენდარულ რიცხვებზე. თუ, მაგალითად, IV საუკუნეში გაზაფხულის დღელამტოლობა 21 მარტზე მოდიოდა და, მაშასადამე, ამ დღეს იწყებოდა გაზაფხული, VIII საუკუნეში იგი 17 მარტზე, ხოლო XVI საუკუნის შუაწლებებისათვის 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 ჩათვალეს არა 5 ოქტომბრად, არამედ 15 ოქტომბრად. ამით მოიხსნა იულიუსისეული რეფორმის შემდგომ ვანჯილილი საუკუნეების მანძილზე დაგროვილი ცდომილება და შემდეგი წლის გაზაფხულს ბუნებრივი დასაწყისი (მზის გავლის დღე— γ წერტილზე) კვლავ 21 მარტს დაუბრუნდა. ამ ახალ წელთაღრიცხვას ახალი სტილი ეწოდება.

მაგრამ ამით როდი ამოწურულა გრიგორიუსისმიერი რეფორმა. საკირო 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. ოლონდ 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 ანგარიშრიდან მიიღება, მხოლოდ 3300 წლის შემდგომ შეიმჩნევა ერთი დღე-ღამის განსხვავების სახით (ძველი სტილით კი ასეთი შეცდომა გროვდება ყოველ 128 წელიწადში). ასევე, მზებუდობისა და დღელმეტოლობის დღეები გრიგორიუსისეულ კალენდარში მრავალი საუკუნის განმავლობაში არ განიცდის საგრძნობ გადანაცვლებას.

მაშასადამე, ახალი სტილი ერთგვარად აღუქმობეს წელთაღრიცხვას. მაგრამ საესებით 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 დიდი რევოლუციის შემდეგ გადაწყდა და 1918 წლის 26 იანვრის დეკრეტით დადგენილ იქნა იგი ჩვენს სახელმწიფოში. ამ დროისათვის იულიუსისეული კალენდრის ჩამორჩენა უკვე 13 დღე-ღამეს აღ-

წვეა. ამ ჩამორჩენის გამოსასწორებლად 1 თებერვალი 14 თებერვლად გამოცხადდა. ამნაირად, მოსპობილ იქნა ჩამორჩენა „ბუნებრივი წელთაღრიცხვის“ მიმართ და--განსხვავებაც ძველი რუსეთისა და სხვა სახელმწიფოების კალენდრებს შორის, რომელიც უკვე კარგა ხანია ართულებდა სახელმწიფოთა შორის ეკონომიურსა და კულტურულ ურთიერთობას.

ამისათვის, რომ ძველი სტილით მოცემული რომელიმე ისტორიული ფაქტის თარიღი ახალი სტილით წარმოვადგინოთ, საჭიროა ძველი სტილის თარიღს მივემართოთ იმდენი დღე, რამდენსაც იმ დროისათვის ახალსა და ძველ სტილს შორის სხვაობა წარმოადგენდა. ასე, დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუცია მოხდა 1917 წლის 25 ოქტომბერს ძველი სტილით და რადგან იმ დროს ძველი სტილი ახალს 13 დღით ჩამორჩებოდა, ეს თარიღი ახალი სტილით იმავე წლის 7 ნოემბერია. ამიტომ, რომ ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის დღეს ჩვენ ყოველწლიურად 7 ნოემბერს ვდღესასწაულობთ.

ჩვენ თავის ადგილას მოვიყვანეთ თარიღები 21 მარტი, 23 სექტემბერი და 22 ივნისი, 22 დეკემბერი როგორც დღელამტოლობათა და მზებულობათა დღეები, შესაბამისად. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ დღელამტოლობათა და მზებულობათა ნომენტები ერთჯერად ცვლილებებს განიცდის, გადაადგილდება, ე. ი. ხან ცოტა უფრო გვიან და ხან უფრო ადრე დგება და ზოგჯერ სხვა, დასაწვლელთაგან განსხვავებულ დღეზედაც მოდის. აი, მაგალითად, გაზაფხულის დღელამტოლობისა და ზამთრის მზებულობის ნომენტები რამდენიმე წლის მანძილზე:

1964 მარტის	20	14	სთ	10	წთ	დეკემბრის	21	19	სთ	50	წთ
: 1965	20	20		05			22	01		41	
1966	21	01		53			22	07		29	
: 1967	21	07		37			22	13		17	
: 1968	20	13		22			21	19		00	
1969	20	19		08			22	00		44	
1970	21	00		56			22	06		36	
: 1971	21	06		38			22	06		24	

ამის პირველი და მთავარი მიზეზი სწორედ ტროპიკული წელიწადის კალენდარული წელიწადისაგან განსხვავებულობაა, რომელიც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული. თუ ეს ნომენტები ყოველთვის ერთი მიმართულებით არ გადაინაცვლებს, 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 ნომენტები, 1964 წლის შემდეგ თანმიმდევრულად იზრდება და 1968 წელს (ნაკიანი წელიწადი!) უკან ბრუნდება.

კალენდართან დაკავშირებული სხვა საკითხები. თანამედროვე კალენდარი, 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, ზოგიც—31 დღისაგან; ზოლო თებერვალი 28 ან 29 დღისაგან), კვარტალთა სხვადასხვა ხან-

გარღვიობა (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 „დანომვრის“ საწყისი 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, პიპარჩე, 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: **Х. э.** და **до Х. 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 შუაღელზე. ასე ათვლილ დღეებს იულიუსისეულ დღეებს უწოდებენ*, თუმცა ამას არა აქვს რაიმე საერთო იულიუსის კალენდართან.

* ამ სისტემის საფუძვლის შესახებ იხ. „ასტრონომიული კალენდარი“ 1961 წლისათვის (I გამოცემა), 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

ეთქვათ, საჭიროა ვიცოდეთ რამდენმა დღემ განვლო 1961 წლის 15 თებერვლის მზის დაბნელებიდან 1962 წლის 31 ივლისის მზის დაბნელებამდე. თუ არ მოგვეპოვება სპეციალური ცხრილები, მივმართოთ ქართულ „ასტრონომიულ კალენდარს“ 1961 წლისა და 1962 წლისათვის. პირველში, მე-15 გვერდზე ვიპოვიოთ, რომ 15 თებერვალს იულიუსისეული დღის ნომერია 2437345.5; მეორეში კი (გვ. 47) 31 ივლისისათვის — 2437876.5. ცხადია, ამ ორ მოვლენას შორის განსხვავება დღეებში არის: $2437876.5 - 2437345.5 = 531$. თვის რიცხვი, მაგალითად, 2437876.5 იმას ნიშნავს, რომ 4713 წლის (ძვ. წ.) 1 იანვრიდან 1962 წლის 31 ივლისამდე განვლო 2 მილიონმა 437 ათასმა და 876 დღემ.

იმავე 1968 წლის ასტრონომიულ კალენდარში 47-ე გვერდზე ვიპოვიოთ, რომ 15 ივლისს 0 საათზე იულიუსისეული აღრიცხვის დღის ნომერია 2440052.5.

აქამდე საუბარი გვექონდა მზისმიერ კალენდარზე, რომელშიც წელთაღრიცხვის საფუძველს ცაზე მზის წლიური მოქცევა შეადგენს. ასტრონომიისა და კაცობრიობის ისტორიაში ცნობილია მზისმიერი კალენდრის მრავალი სახესხვაობა. ე. წ. ძველევგიპტური კალენდარი, რომელიც ჩვენს წელთაღრიცხვამდე IV ათასწლეულში ჩამოყალიბდა. შეიძლება ითქვას, ყველა შემდგომი მზისმიერი კალენდრის პირველსახეს წარმოადგენდა.

ცნობილია აგრეთვე მთვარისმიერი და მზემთვარისმიერი 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 მიუმართავთ როგორც დროის აღრიცხვის საშუალებებისათვის. მთვარისმიერი კალენდრის მაგალითს წარმოადგენს მუსლიმანური კალენდარი, ე. წ. ჰიჯრა. აზიის ზოგ ქვეყანაში მას ახლაც ხმარობენ, მისი დიდი მოუხერ-

ბუნდობის მიუხედავად, რაც იმაში გამოისატება. რომ იგი შეუთავსებელია წელიწადისა და დღე-ღამის ხანგრძლივობასთან და სხვა ნაკლიც აქვს.

ამასთან დაკავშირებით დაუშუშავებით წელთაღრიცხვის მზემთვარისეული სისტემებიც. მათში დროის აღრიცხვა მთვარის მიხედვით შეთანხმებულია აღრიცხვასთან მზის მიხედვით. მზე-მთვარისმიერი კალენდრის უძველეს მაგალითს წარმოადგენს ე. წ. ძველბაბილონური და ძველებრაული კალენდრები. როგორც ძველბაბილონური კალენდრის მემკვიდრეობამ, ჩვენამდე მოაღწია შვიდდღიანმა კვირამ. ზომვლსაც როდი აქვს ასტრონომიული წარმოშობა როგორც დღე-ღამეს (დედამიწის ბრუნვა). თვის (მთვარის მოქცევა დედამიწის გარშემო), წელიწადს (დედამიწის მოქცევა მზის ირგვლივ). თუმცა, კვირის დღეების ლათინური წარმოშობის სახელწოდებები პლანეტების, მთვარისა და მზის სახელებთან არის დაკავშირებული. დღესდღეობით ყველაზე პროგრესულ კალენდრად რჩება ის, რომელსაც ხმარობს საბჭოთა კავშირი და ყველა სხვა, ეკონომიური, კულტურული და ტექნიკური ცხოვრების განვითარების თვალსაზრისით მოწინავე სახელმწიფო.

პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები

პრაქტიკული ასტრონომია გეასწავლის 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 ანუ თეოდოლიტით, რომლის ხმარებას უკვე გავვეცანით. ქვემოთ გავვეცნობთ სხვა იარაღებს, რომლებიც მნათობთა ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

მნათობის კოორდინატების განსაზღვრა მერიდიანში დაკვირვებით. საათი-კოორდინატები, კერძოდ, ეკვატორულ სისტემაში. შედარებით მარტივად განისაზღვრება მნათობის მერიდიანში გავლის მომენტში ანუ კულმინაციის დროს და უფრო ხშირად—ზედა კულმინაციის მომენტში.

გავვეცნოთ ჯერ დახრილობის განსაზღვრის მეთოდს. წინათ გამოვიყვანეთ დამოკიდებულება:

$$\delta = \varphi - \varepsilon,$$

რომელიც სამართლიანია შემთხვევისათვის, როცა მნათობი მერიდიანზეა და ზედა კულმინაცია ხდება ზენიტსა და ეკვატორს შორის. აქედან პირდაპირ გამოდინარეობს, რომ, თუ გავზომავთ მნათობის სიმაღლეს (თეოდოლიტით) მისი ზედა კულმინაციის მომენტში, მარტივად გამოვივლით მის დახრილობას, ოღონდ ცნობილი უნდა იყოს დაკვირვების ადგილის გეოგრაფიული განედის მნიშვნელობა. ადგილის განედის განსაზღვრა შესაძლოა ისე, რომ არ დაგვეკირდეს მნათობის დახრილობის წინასწარი ცოდნა (პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლის გაზომვის საფუძველზე). ამგვარად, დახრილობის განსაზღვრის ამოცანა გადაწყვეტილია.

მნათობის პირდაპირი აღელენის განსაზღვრის პრინციპად ის გარემოება უნდა მივიღოთ, რომ, როგორც ვიცით, ვარსკვლავთმიერი დრო ტოლია ზედა კულმინაციაში მყოფი მნათობის პირდაპირი აღელენისა, მაშასადამე, საჭიროა ასტრონომიული საათით ზუსტად აღენიშნოთ ვარსკვლავთმიერ დროში გამოსახული ის მომენტი, როცა აღებული მნათობი მერიდიანს ჰკვეთს (ზედა კულმინაციაში). ამ

მოიწვევს მნიშვნელობა ამავე დროს მნათობის პირდაპირ აღვლენას შეესაბამება. ცხადია, ივლისსმება, რომ საათის ჩვენება სწორია. მაგრამ იმისათვის, რომ და-რწმუნებული ვიყოთ საათის ჩვენების სისწორეში, საათი თვითონ უნდა იქნეს შე-მოწმებული 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 განსხვავ-დება საათის ჩვენება ზუსტი დროისაგან ანუ როგორია ე. წ. საათის შესწორება.

მაგრამ თვით საათის შესწორებაც როდი რჩება მუდმივი; იგი იცვლება სა-ათის თვისებებზე დამოკიდებულებით და აგრეთვე გარემოს ტემპერატურის, ჰე-რის წნევის, სინოტივისა და სხვა ფაქტორების მოქმედებით. ამიტომ ობსერვატო-რებში 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 თვალსაზ-რისით—ცუდი ხარისხისაა.

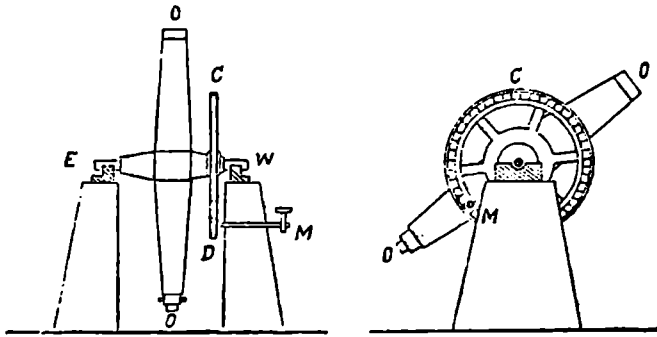
იმისათვის, რომ სახელმწიფოს ყველა დაწესებულებამ, რკინიგზამ, ყოველ-გვარმა სხვა ტრანსპორტმა, ქარხანამ, ექსპედიციამ და საერთოდ ყველა მცხოვ-რებმა იცოდეს და ხმარობდეს ზუსტ დროს, ზოგი ასტრონომიული ობსერვატო-რები, რომელთაც ეს ვვალებათ (კერძოდ, მოსკოვის შტერნბერგის სახელობის სახელმწიფო ასტრონომიული ინსტიტუტი), რადიოთი ყოველდღიურად გადასცე-მენ ზუსტი დროის ხმოვან ნიშნებს გარკვეულ საათებში. ეს ე. წ. დროის სამსა-სახურის ფუნქციაა.

როგორც ვხედავთ, თუ დახრილობის გასაზომად საჭიროა მნათობის სიმაღ-ლის ან ზენიტური მანძილის განსაზღვრა (თეოდოლიტით მერიდიანში), პირდაპირი აღვლენის გასაზომ იარაღს წარმოადგენს ვარსკვლავთმიერი დროით მომუშავე სა-ათი. თუმცა, მის გვერდით, ცხადია, ასტრონომიული სამზერი იარაღიც უნდა ვხმაროთ, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შევნიშნოთ მნათობის გავლა მე-რიდიანზე. ასეთი სამზერი მილი დაკვირვების დროს უძრავია, წინასწარ დაყენე-ბულია მერიდიანში; მისი მხედველობის ველში გაჭიმულია ძაფი, რომლის მიმარ-თელება მერიდიანისას თანხვედება. ველში მოძრაობს ვარსკვლავი (ცის დღე-ღამე-რი 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 განაზღვრას; ხოლო დრო განსაზღვრება ისეთი მნათობის მეშვეობით, რომლის პირდაპირი აღვლენა ცნობილია, მაშასადამე,—უკვე განსაზღვრულია. შეიძლება ახლა დაისვას საკითხი: როგორ მოვახერხებთ დროის დადგენა პირდაპირი აღვლენის ცოდნის გარეშე? ეს შესაძლებელი აღმოჩნდა სპეციალური მეთოდის გამოყენებით, როცა ვარსკვლავის პირდაპირი აღვლენა განსაზღვრება მზის პირ-დაპირი აღვლენის მეშვეობით, ხოლო ეს უკანასკნელი გამოითვლება ფორ-

მელით, რომლის სიდიდეებს შორის არაა მნათობის პირდაპირ ავლენაზე დამოკიდებული სიდიდე.

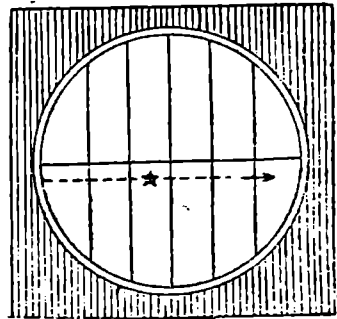
მერიდიანული წრე. მნათობთა ეკვატორული კოორდინატების ზუსტი განსაზღვრისათვის გამოიყენება ე. წ. მერიდიანული წრე—იარაღი, რომლის საკვრეტი მილი OO (ნახ. 117) ჩამოკმულია მის მართობულ WE ლერძზე. ეს



ნახ. 117.

ლერძი პორიზონტალურად ძვეს მყარ ქვესადგამებზე. მისი ერთი ბოლო მიმართულია აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო მეორე—დასავლეთისაკენ. WE ლერძის ბრუნვისას მილიც ბრუნავს და მისი ოპტიკური ლერძი, ადვილი მისახვედრია, შემოწერს მერიდიანს. ამიტომ მილში მხოლოდ იმ მნათობებს ვხედავთ, რომლებიც კულმინაციასაა.

ამ იარაღის მთავარი ნაწილი, რომელიც კოორდინატების გაზომვას უზრუნველყოფს, არის CD წრე. მას მერიდიანულ წრეს უწოდებენ, რადგანაც დამაგრებულია იმავე WE ლერძზე მილის ოპტიკური ლერძის პარალელურ სიბრტყეში და, ბრუნავს რა იმავე სიბრტყეში მილთან ერთად, მერიდიანის სიბრტყეში ძვეს. წრის კიდეების გაყოლებაზე მისი გარშემოწერილობა დიდი სიზუსტით დაყოფილია რკალის გრადუსებად ან მინუტებად (როგორც უნივერსალურ ინსტრუმენტსა და თეოდოლიტში, ოღონდ—უფრო წვრილ ნაწილებად). მილის ბრუნვისას უძრავად დამაგრებული M მაჩვენებლის პირდაპირ მიმდევრობით დგება წრის სხვადასხვა დანაყოფი (დანაყოფები დანომრილია 0° -დან 90° -მდე, 180° -მდე ან 360° -მდე). როცა მილი ისეა მობრუნებულია, რომ ცას ეკვატორის სიბრტყეში ძვეს და, მაშასადამე, თავისი მდებარეობით ეკვატორს მიუთითებს, მაჩვენებლის წინ წრის 0° უნდა იყოს, ე. ი. მაჩვენებელი ნულს უნდა უჩვენებდეს.



ნახ. 118.

მილის მხედველობის ველში მოჩანს ვერტიკალურად და პორიზონტალურად დალაგებული გაკეიმული წვრალი ძაფები—ძაფბადე ან ძაფჯვარი (ნახ. 118), რო-

მელიც პაწია ელექტრონათურით განათებულია დაკვირვების წარმოების დროს და, მაშასადამე, ოკულარში ერთდროულად ჩანს ვარსკვლავებთან ერთად. თუ იარაღი კარგად დაყენებულია პორიზონტსა (ამის შესამოწმებლად თარაზოებს ხმარობენ) და მერიდიანში, მაშინ ვერტიკალურ ძაფთა შორის შუა ძაფი მერიდიანს გამო-სახავს.

მერიდიანული წრის გამოყენების პრინციპი ისაა, რომ ზუსტად აღვნიშნოთ შუა ძაფზე ვარსკვლავის გავლის მომენტი. ამ მიზნით გამოიყენება ქრონომეტრი ან ქრონოგრაფი.

ქრონომეტრი საგანგებო სიზუსტით დამზადებული მოზრდილი ზამბარ-იანი საათია, კარგად შემოწმებული და მუშაობის მკაცრ რეჟიმში მოქცეული. მისი სკეუნდის ისარი ყოველ ნახევარწამში გადაადგილდება და კარგად ისმის მკვეთრი დარტყმები (ბგერები). დამკვირვებელი აკვირდება ქოვრის 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).

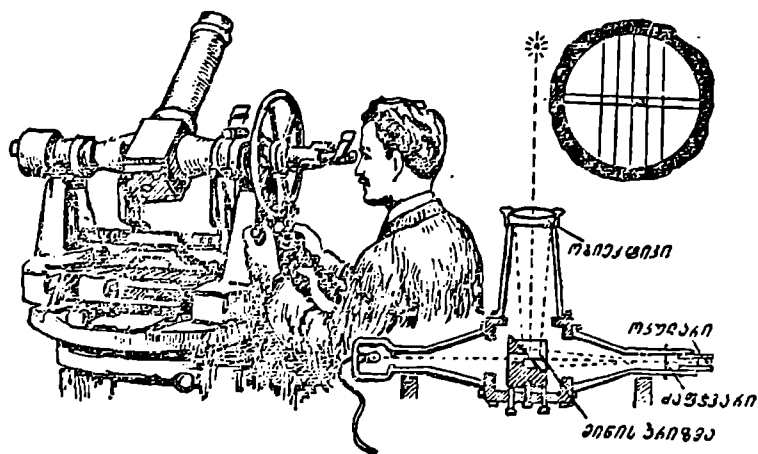
ქრონოგრაფი ხელსაწყოა, რომელიც განზორციელებს დროის მომენტების ელექტრულ რეგისტრაციას თანაბარი სიჩქარით მშვიდად მბრუნავ ქალაღის ლენტზე. საათი, რომელიც შეერთებულია მასთან დენის გამტარი ელექტრო-მავთულებით, ავტომატურად აღნიშნავს სკეუნდებს. დამკვირვებელს კი აქვს სა-შუალება ვარსკვლავის ცენტრალურ ძაფზე გავლის მომენტში ჩართოს მომენტა-ლურად მეორე კალამი და იმავე ლენტზე, დროის „სახაზავის“ გვერდით, ჩანიშნოს გავლის მომენტი.

საპასაჟო ინსტრუმენტი. საათის შესწორების განსაზღვრის, ე. ი. ზუსტი დროის განსაზღვრის მიზნით ხმარობენ ე. წ. საპასაჟო ინსტრუმენტს. სიტყვა „პასაჟი“ გავლას, ამ შემთხვევაში—მნათობის მერიდიანზე გავლას ნიშნავს და, მაშასადამე, ამ ინსტრუმენტზე დაკვირვების პრინციპიც ვარსკვლავის მერი-დიანზე გავლის მომენტის აღნიშვნას ემყარება. საპასაჟო ინსტრუმენტს, მერიდიან-ული წრის მსგავსად, მერიდიანში დგამენ, ე. ი. მისი სამზერი მილი, აღმოსავ-ლეთ-დასავლეთი მიმართულების ღერძზე მობრუნებისას, ცაზე მერიდიანს შემო-წერს. მერიდიანული წრისაგან იგი მით განსხვავდება, რომ არა აქვს ზუსტი და-ნაყოფებიანი წრე. ეს უკანასკნელი არ ესაჭიროება, რადგანაც მისი დანიშნულება ის კი არაა, რომ კუთხე (სიმაღლე პორიზონტიდან ან ზენიტური მანძილი) ვაზო-მოს, არამედ მხოლოდ მნათობის მერიდიანზე გავლის მომენტი აღნიშნოს (ნახ. 119).

გასაგებია, რომ საპასაჟო ინსტრუმენტის მხედველობის ველშიც უნდა იქნეს გაკვირვებული ძაფბადე და გამოყენებული—მომენტების ზუსტი რეგისტრაციის წესი, კარგ სიზუსტეს უზრუნველყოფს ე. წ. მარეგისტრირებელი მიკრომეტ-რი, რომელსაც აგრეთვე კონტაქტიან ან უპიროვნო მიკრომეტრსაც უწოდებენ.

ოკულარში ასეთ მიკრომეტრს წარმოადგენს ფოკალურ სიბრტყეში მოთავ-სებული მოძრავი ვერტიკალური ძაფი. მოძრაობაში იგი ხრახნით მოჰყავთ. ხრახნთან დაკავშირებულია დოლურა, რომელშიც ჩაყენებულია ერთიმეორისაგან გარკვეული მანძილებით დაშორებული და ელექტროდენის არაგამტარი მასალით იზოლირებული ლითონის თხელი ფირფიტები. დოლურას აწვება მსუბუქი ლითო-

ნის ზამბარა, რომელიც ელექტროდენის კონტაქტს უზრუნველყოფს. დაკვირვების წარმოების წუთებში, როცა ვარსკვლავის გამონასახი შემოვა ინსტრუმენტის მხედველობის ველში და მოთავსდება ძაფზე, დამკვირვებელი აამოძრავებს ხრახ-



ნახ. 119.

ნით 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 ბაღურა, რომელიც წარმოადგენს ლითონის ქვრიტებიან ფირფიტას; იგი ძაფჯვარის როლს ასრულებს. გაივლის რა სამზერი მილის ველს, ვარსკვლავის გამოსხივება თანმიმდევრობით ნაწყვეტ-ნაწყვეტად აღძრავს დენს. რეგისტრაცია ისეთივეა, როგორც კონტაქტებისა, კონტაქტიანი მიკრომეტრის ხმარებისას. ასეთი მეთოდი სრულიად ობიექტურია და მისი გამოყენების პირობებში გამოირჩეულია დამკვირვებლის პიროვნული ცდომილება.

ადგილის განედის განსაზღვრა. ადგილის გეოგრაფიული განედის მიახლოებითი განსაზღვრის უმარტივესი ხერხი ისაა, რომ განესაზღვროთ პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლე პორიზონტიდან. რომელიც, როგორც ვიცით, ადგილის განედის ტოლია: $k_p = \varphi$. თუმცა, პოლარული ვარსკვლავი არ იმყოფება ზუსტად პოლუსის წერტილში და ამ ხერხით სარგებლობისას ჩვენს განსაზღვრაში შეიძლება 1° -ის ცდომილება შემოვიდეს. მაგრამ, თუ პოლარულ ვარსკვლავს დავაკვირდებით მის ზედა ან ქვედა კულმინაციაში, მაშინ განედი უფრო ზუსტად განისაზღვ-

რება. არსებობს ადგილის განედის განსაზღვრის უფრო ზოგადი და ზუსტი მეთოდიც.

დავებრუნდეთ 71-ე ნახაზს. იგი წარმოადგენს ცის სფეროს; მასთან გამოყოფილია პარალაქსური PZM სამკუთხედი, რომლისთვისაც მიღებული გვექონდა ფორმულა:

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

z გაიზომება ვარსკვლავის დაკვირვების მომენტში, δ 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 აღება (როგორც საათის ჩვენება + სათანადო შესწორება: $s = T + u$). ამგვარად, მოყვანილ ფორმულაში მხოლოდ φ არის უცნობი და მისი მნიშვნელობის მოძებნა შესაძლებელია მარტივად.

განედის გამოსათვლელად დედამიწის მაღალგანედებიან პუნქტებში ხშირად მიმართავენ დაკვირვებას მზეზე ან მთვარეზე. კერძოდ, ეს ხდება პოლარული წრის შიგნით პოლარული დღის პერიოდში, როცა ცაზე არ ჩანს ვარსკვლავები. ასეთ შემთხვევაში საქმეს ართულებს ის, რომ მნათობი წერტილოვანი კი არაა, ბადროიანია; საჭიროა ამ ბადროს ცენტრის ზენიტური მანძილის (და მერიდიანზე გაელის მომენტის) პოვნა. ამისათვის უნდა გავზომოთ მზისა თუ მთვარის ბადროს ჭერ ზედა, შემდგომ—ქვედა კილის ზენიტური მანძილი (დასავლეთ და აღმოსავლეთ კილ.ს მერიდიანზე გაელის მომენტება). რამდენადაც ამასობაში მნათობი მოძრაობს და, მაშასადამე, მისი დახრილობაც იცვლება, მეტადრე—მთვარისათვის, ამგვარი განსაზღვრისათვის მზისა და მთვარის დაკვირვების გამოყენება ამოცანას ართულებს და განსაზღვრის სიზუსტესაც ამცირებს. ამიტომ ასეთი დაკვირვებების წარმოებას მოეთხოვება დიდი სიფრთხილე და გულმოდგინება.

ადგილის გრძედის განსაზღვრა. ზემოთ აღწერილი გვექონდა, რომ დედამიწაზე ორი პუნქტის გეოგრაფიულ გრძედთა სხვაობა ეტოლება ერთ რომელიმე ფიზიკურ მომენტში ამ პუნქტებში დროის ჩვენებათა სხვაობას. აქედან უშუალოდ დავასკვნით, რომ პუნქტის გეოგრაფიული გრძედის განსაზღვრის ამოცანა შეგვიძლია დაიყვანოთ ორ პუნქტს შორის ადგილობრივ დროთა სხვაობის განსაზღვრამდე და, თუ პუნქტებიდან ერთ-ერთის გრძედი ცნობილია, მეორისათვის მარტივად გამოიყენება იგი დროთა სხვაობის გამოთვლით.

ეთქვათ, λ_1 არის ცნობილი გრძედი, λ_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 გამოვარკვიოთ ერთსა და იმავე ფიზიკურ მომენტში რა ადგილობრივი დროა ორივე პუნქტში: პუნქტში, რომლის გრძედის განსაზღვრა განზრახული გვაქვს, და საწყის პუნქტში, რომლის გრძედი ცნობილია და ჩვენს გამოთვლებში დასაყრდენია.

წინათ პუნქტის გრძელის 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 გადასწვენდნენ, რათა საწყისი მერიდიანის მიხედვით მომუშავე ქრონომეტრზე შენარჩუნებული ყოფილიყო მისი შესაბამისი დროის სელა. თუ მეტე იპოვიდნენ ადგილობრივ დროს გამოსაკვლევ პუნქტში და შეადარებდნენ აღნიშნული ქრონომეტრის ჩვენებას, უბრალოდ განისაზღვრებოდა გრძელთა შორის სხვაობა.

სხვა საშუალება, რომელსაც ხშირად იყენებდნენ, შემდეგში მდგომარეობას 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, სახელობრ, გრინვიჩის დროით, მაშინ, განსაზღვრავს რა დამკვირვებელი მოცემულ პუნქტში მოვლენის მომენტს თავისი, ადგილობრივი დროით, პოულობს დროთა სხვაობას და, მაშასადამე, — გრინვიჩიდან გრძელსაც. აღწერილი მეთოდი მაინც მოუხერხებელია თუნდაც, იმიტომ, რომ მთვარის დაბნელება იშვიათად ხდება, ხოლო ისეთი მოვლენების დასაწყისისა და დასასრულის მომენტების ფიქსირება, როგორცაა დაბნელებები, პრაქტიკულად როდი ხერხდება სავსებით დამკმაყოფილებელი სიზუსტით გრძელების განსაზღვრადად.

ჯერ XIX საუკუნის პირველ ნახევარში, როცა გამოგონილ იქნა და ხმარებაში შემოვიდა ელექტროტელეგრაფი, მეტადრე კი 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 რადიომიმღებით აღქვრელი 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, გრძელის მნიშვნელობასაც გრინვიჩის მერიდიანთან შედარებით.

ასტრონომიის გამოყენება გეოდეზია-კარტოგრაფიაში, ზღვაოსნობაში, თვითმფრინავმფლობელობასა 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 (ჩინა-ბეტონის სვეტი, პირამიდა, პალო და სხვ.), რომლებიც დიდი დროით უძრავად — ოდნავი გადანაცვლების გარეშე — იქნება დაცული. ასეთი პუნქტები წარმოადგენს დედამიწის ზედაპირის ვრცელი ფართობე-

ბის კარტოგრაფიული ავეგმების, ზუსტი გეოგრაფიული რუკების შედგენის გამო-სავალ 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 შინაც არსებითად ცვლის ის თავისებურებები, რომლებიც ახლავს ზღვაოსნობასა და თვითმფრინავმძლოობას. 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 სათანადოდ შეცვლილ კუთხზომ იარაღებს, რომლებიც, სამწუხაროდ, შედარებით ნაკლებ სიზუსტეს უზრუნველყოფს. მეორე ისაა, რომ გემი და, მეტადრე, თვითმფრინავი ძალიან სწრაფად იცვლის თავის ადგილმდებარეობას.

თვით ამოცანა ადგილმდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრისა თავისებურად იმება 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 ღიძია დაკვირვებათა და გამოთვლათა მოცულობა. ზემოთ ძალიან მარტივად წარმოვადგინეთ განედისა და გრძედის განსაზღვრის მეთოდი, რადგანაც ვეცადეთ მხოლოდ პრინციპი და არსი ვაგვემარტა. სინამდვილეში საქმე ასე მარტივი როდია. ასეთ განსაზღვრებს, ჯერ ერთი, ამყარებენ არა ერთი მნათობის დაკვირვებაზე, არამედ—რამდენიმეზე. მერიდიანზე გავლისათვის აკვირდებიან არა ერთი ძაფის ვადაკეთას, არამედ რამდენიმეს, რომლებიც პარალელურად დალაგებულია სამზერი მილის ველში. მეორეც, თვით იარაღის მუშაობისა და ჩვენებათა შესამოწმებლად და შესასწორებლად საჭირო ხდება რიგი მანიპულაციების ჩატარება. მაგალითად, თუ საპასაჟო ინსტრუმენტით აკვირდებიან გავლის გაზომვებთან დაკავშირებულს ერთ ვარსკვლავზე, ერთი სერიის დაკვირვების შემდეგ მთელ ინსტრუმენტს შემობარუნებენ 180°-ით და იმეორებენ დაკვირვებას. ეს საჭიროა ცდომილების შესამცირებლად. ამის გარეშე შეუძლებელია განსაზღვრების აუცილებელი საიმედოება და სიზუსტის დაცვა. ასეთ რთულ დაკვირვებებთან დაკავშირებული გამოთვლებიც ღიძი მოცულობისა და გართულებული. საბოლოო შედეგის მიღებას შეიძლება საათი და მეტად დროც დასჭირდეს.

რა აზრი ექნებოდა ასე გვიან შესრულებულ გამოთვლებს მოძრავი თვითმფრინავიდან წარმოებული დაკვირვების შემთხვევაში, თუ დაკვირვების მიზანს აღებული მომენტში თვითმფრინავის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა წარმოადგენდა? აშკარაა, თვითმფრინავმძლოობაში ანუ, როგორც ამას უწოდებენ, აერონავი-

გაციაში ადგილსამყოფელის კოორდინატების განსაზღვრის მეთოდი, თუნდაც მარტო ამ მიზეზით, არსებითად შეცვლილი უნდა იყოს. თუმცა ჩვენს დროში სწრაფქმედი ელექტრონული სათვლელი მანქანების არსებობა და გამოყენება შესამჩნევად 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: საზღვაოსნო ასტრონომიასა და საავიაციო ასტრონომიაში დაწვრილებით განიხილავენ კოორდინატების განსაზღვრის სათანადო მეთოდებსა და ხელსაწყოებს. საავიაციო ასტრონომიის იარაღებმა და ხერხებმა, რომლებიც საბჭოთა კავშირში დამუშავდა, დიდა 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, მოითხოვა ე. წ. კოსმონავიგაციის ანუ კოსმოსურ, საპლანეტარო სივრცეში სხეულის, ხომალდის ან ადამიანის ადგილსამყოფელის გაგებისა და მოძრაობაში ორიენტირების მეთოდების დამუშავება.

ისეთი რთული კოსმოსური ექსპერიმენტების განხორციელებისას, როგორცაა, მაგალითად, მთვარის უკანა მხარის ფოტოგაღება, ხელოვნური კოსმოსური სხეულის მოძრაობის მართვა, კოსმოსური ხომალდის წინასწარგამოთვლილ ტრაექტორიაზე გაყვანა, სხვადასხვა მანევრების შესრულება კოსმოსურ სივრცეში და სხვ., აუცილებელია კოსმონავიგაციის მეთოდების გამოყენება.

ეს დარგი ახალია, მაგრამ იგი სწრაფად ვითარდება.

მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა. როგორც ადგილის კოორდინატების განსაზღვრასთან, ისე სხვა მიზნებთან დაკავშირებულია სხვადასხვა პრაქტიკული ასტრონომიული ამოცანის ამოხსნის აუცილებლობა. ერთერთი ასეთია მნათობის ამოსვლა-ჩასვლის მომენტების წინასწარგამოთვლა. ასეთ ამოცანასთან შეხვედრა თუნდაც მარტო იმიტომაა 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 განულსა და ეკვატორულ კოორდინატებს:

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

რამდენადაც საქმე შეეხება მნათობის ამოსვლასა და ჩასვლას, მნათობის მდებარეობა უნდა წარმოვიდგინოთ ჰორიზონტზე. ამ სიტუაციაში სათანადო პარალაქსური სამკუთხედის Δ კუთხის წვერო ძვეს ჰორიზონტზე და სამკუთხედის გვერდი x ეტოლება 90° -ს. მაშასადამე, აქ მოყვანილ ფორმულაში $z = 90^\circ$; $\cos z = 0$ და ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

ან განტოლებიდან t -ს პოვნით ვადაწყვეტება 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 ვარსკვლავთმთერი 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 აეხსნათ მაშინ ასეთი შემთხვევა? ცხადია, φ -ს და δ -ს მნიშვნელობანი ისეთი ყოფილა, რომ მნათობი საერთოდ ჩაუსვლელი ან ამოუსვლელია. მაშასადამე, მისთვის არ იქნება შეხება პორიზონტის ხაზთან; ამოსვლა-ჩასვლის მომენტის განსაზღვრას აზრი არა აქვს. ასეთ შემთხვევაში, როგორც უნდა გვახსოვდეს, დატყლია 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° -ზე (6 საათზე) მეტია. მნათობი ამოდის პორიზონტის აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის, ჩადის დასავლეთსა და ჩრდილოეთს შორის. თუ δ უარყოფითია, მაშინ $|t| < 90^\circ$ და ამოსვლისა და ჩასვლის ადგილები, შესაბამისად, აღმოსავლეთისა და დასავლეთის წერტილებიდან პორიზონტის სამხრეთი წერტილისაკენ არის გადანაცვლებული.

იმ შემთხვევაში კი, როცა მნათობი ეკვატორზე მდებარეობს, $\delta = 0$, $\operatorname{tg} \delta = 0$ 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 განედლიდან აკვირდება. თვით პოლუსიდან და ეკვატორიდან დაკვირვებისას სხვა სურათია.

აღვიღალ მიიღება ის ფორმულაც, რომლითაც მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის ადგილები გამოითვლება და დადგინდება. ამისათვის საჭიროა გამოთვლილ იქნეს ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების აზიმიუტები.

იმავე პარალაქსური სამკუთხედისათვის სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულა დაეწერათ ისე, რომ მასში შედიოდეს A კუთხე (აზიმუტი) ან მისი დამატება 180° -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 გვეჩვენება:

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

ანუ

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

ამ განტოლებას აზიმუტის ორი მნიშვნელობა აკმაყოფილებს: A და $360^\circ - A$. პირველი შესაბამება ჩასვლას, მეორე—ამოსვლას. ამ ფორმულის ანალიზი ისევე შეგვიძლია ჩავატაროთ, როგორც ამოსვლა-ჩასვლის მომენტების გამოსათვლელი ფორმულისა.

განვიხილოთ ახლა შემთხვევა, როცა ამოცანა მზეს შეეხება. მაშინ ξ -ს მნიშვნელობები წარმოადგენს ამოსვლა-ჩასვლის მომენტებს კემარტი 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 ბადრების ზედა კიდის პორიზონტთან შეხების მომენტისათვის, რადგანაც სწორედ ეს სიტუაცია ითვლება მზის ან მთვარის ამოსვლა-ჩასვლად. მაგრამ მათი ეკვატორული კოორდინატები მოიცემა ბადროს ცენტრისათვის. მაშასადამე, თუ გვსურს გაეთვალისწინოთ ეს გარემოება, ან უნდა ავაგოთ და გადავწყვიტოთ პარალაქსური სამკუთხედი იმ დაშვებით, რომ $\alpha = 90^\circ + R$, სადაც R მზის (მთვარის) ბადროს კუთხური რადიუსია, დაახლოებით $15-16'$, ან გამოვიდეთ ისევე პირობიდან $\alpha = 90^\circ$, მაგრამ, გამოვთვალოთ (ისევე კუთხური რადიუსის სიდიდის გათვალისწინებით) და გამოვიყენოთ ბადროს კიდეს პორიზონტთან შეხებები წერტილის ეკვატორული კოორდინატები. სხვა სიტუაციებით 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.

დროის შუალედის განსაზღვრა, რომლის განმავლობაში ბადროიანი მნათობი გადის მერიდიანს. ზედა კულმინაციაში მერიდიანზე გავლისას ბადროიანი მნათობი (მზე, მთვარე) ეხება მერიდიანს ჯერ თავისი დასავლეთი, შემდგომ—აღმოსავლეთი კიდიით. 120 -ე ნახაზზე PZ მერიდიანის პროექციას წარმოადგენს. M_2 არის მნათობის მდებარეობა მერიდიანის აღმოსავლეთით იმ მომენტში, როცა იგი ეხება მერიდიანს თავისი დასავლეთი კიდიით. 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 კიდიით, 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 რადიუსს ($2R$). კუთხეები M_2M_1P და M_1M_2P შეგვიძლია ჩავთვალოთ მართ კუთხეებად,

რამდენადაც t მეტად მცირეა (ბადროს სიმცირის გამო), და გამოვიყენოთ სფერული 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 შეგვიძლია 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

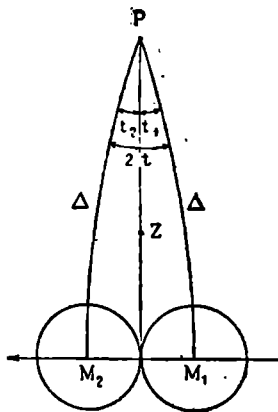
$$2t = \frac{2R}{\cos \delta}$$

$2R$ 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 უზულებელყოფა 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:



ნახ. 120.

$$2t = \frac{2R}{15 \cos \delta} \left(1 + \frac{\Delta \alpha}{3600} \right)$$

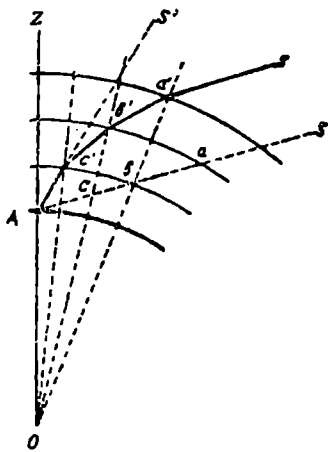
სადაც $\Delta \alpha$ წარმოადგენს მნათობის პირდაპირი აღვლენის საათიერ ცვლილებას, რომლის სიდიდეს ასტრონომიულ ყოველწლიურებში იძლევიან. რაკი $2t$ სეკუნდებში გამოისახება, $\Delta \alpha$ -ც ერთ სეკუნდზე მისაყვანია, ამიტომ ვყოფთ მას 3600-ზე (სეკუნდების რაოდენობა საათში).

ასტრონომიული რეფრაქცია. მნათობზე დაკვირვება, ცაზე მისი მდებარეობის ან მოძრაობის შესწავლის მიზნით, მოითხოვს დამკვირვებლიდან მნათობზე

მიმართულების დადგენას. იგულისხმება ის მიმართულება, რომელიც აქვს ჩვენს თვალთახედვის ხაზს, როცა მნათობს ვუყურებთ საკვრეტ მიღში, ე. ი. იგულისხმება მნათობიდან ჩვენთან მოსული სხივის მიმართულება. რაკი სხივი სწორხაზოვნად ვრცელდება, წრფე, რომელიც აკავშირებს დამკვირვებლს თვალს მნათობთან, გამოხატავს აღნიშნულ მიმართულებას. ეს მიმართულება ერთგვარად დადგინდება ამ წრფის მიერ პორიზონტთან შექმნილი კუთხით (მნათობის სიმაღლე პორიზონტიდან).

სინამდვილეში, მნათობის სინათლის სხივი სწორხაზოვნად მხოლოდ უპაერო სივრცეში ან ერთგვაროვან გარემოში ვრცელდება. მაგრამ სხივმა, ვიდრე ჩვენს თვალს მოაღწევდეს, ცხადია, უნდა გამოსჰლოს კოსმოსური სივრცეც და ატმოსფეროს გარსიც, რომლითაც გარემოცულია დედამიწა; დამკვირვებელი ხომ ამ ატმოსფერული გარსის ფსკერზე—დედამიწის ზედაპირზე იმყოფება. როცა სხივი ერთი სიმკვრივის მქონე გარემოდან მეორე, განსხვავებული სიმკვრივის მქონე გარემოში გადადის (მაგალითად, ჰაერიდან—წყალში, უპაერო სივრციდან—ჰერის ფენაში), ის გარდატეხას განიცდის, ე. ი. მეორე გარემოში განაგრძობს გავრცელებას სხვა, პირველისაგან განსხვავებული მიმართულებით. ასეთი მოვლენით გამოწვეულ ილუზიას ხშირად დავკვირვებთ, როცა, მაგალითად, დახრილად ჩავვიდგამს ჯოხი გაჩერებულ ანკარა წყალში, ან კოვზი—ჩაით საესე ჭიქაში და თითქოს „გადატეხილი“ დაგვინახავს. სულ უფრო და უფრო დაბალ ფენებში ატმოსფეროს სიმკვრივე თანდათან მატულობს, ამიტომ სხივი ფენიდან ფენაში გადასვლისას განიცდის მრავალ თანმიმდევრულ გარდატეხას. სინამდვილეში მკვეთრად გამოყოფილი, სხვადასხვა სიმკვრივის ფენები კი არ არის „დალაგებული“, არამედ სიმკვრივე თანდათან იცვლება, თითქმის უწყვეტად, ზღვის ღონიდან სიმაღლის ცვლასთან ერთად. გარდატეხაც თანდათანობითია და თითქმის უწყვეტი, რის გამოც მნათობის სხივი წარმოადგენს არა ტეხილ ხაზს, არამედ მრუდს.

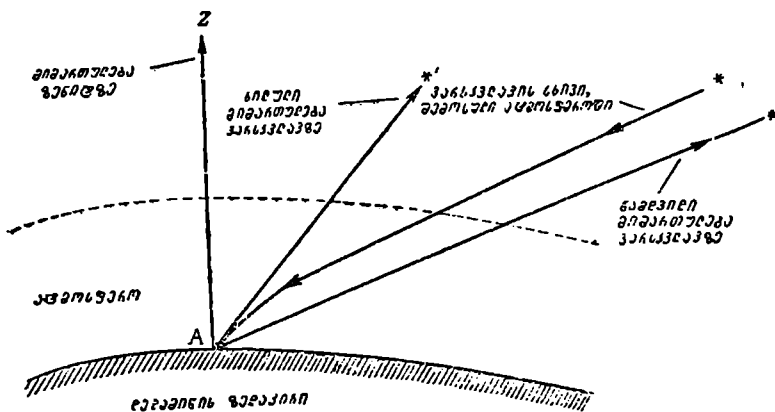
განვიხილოთ 121-ე ნახაზი, რომელზეც A წერტილში, დედამიწის ზედაპირზე, წარმოდგენილია დამკვირვებელი. O დედამიწის ცენტრს გამოხატავს. დედამიწის გარემომცველი ატმოსფეროს გარსი გამოხატულია რამდენიმე ფენით; იგულისხმება, რომ თანმიმდევრულ ფენებში a -დან e -მდე სიმკვრივე მატულობს. s მნათობიდან წამოსული SA' სხივი, შემოდის რა ატმოსფეროს a' წერტილში, თანახმად ცნობილი ფიზიკური 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 გარდატეხა. განაგრძობს რა გავრცელებას, სხივი ხვდება შემდეგ ფენას b' წერტილში და აქ კვლავ განიცდის გარდატეხას Ob' მართობისაკენ და იცვლის მიმართულებას $b'c'$ -კენ და ა. შ. ატმოსფეროს მთელ სისქეზე, A წერტილში მყოფ დამკვირვებლის თვალამდე, სხივის გზა თათქოს ტეხილი ხაზია და—იმდენჯერ



ნახ. 121.

„გადატეხილი“ რამდენი ფენაც ზედება სხვის. მაგრამ ასეთი სურათი მომეტებულად სქემატურია. სინამდვილეში, რაკი სიმკვრივე თითქმის უწყვეტად იცვლება ერთი საერთო კანონით—მატულობს სიმალლის 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 ამოხსნეილობა ზევითა მიმართული.

დამკვირვებელი დაინახავს მნათობს ტეხილი ხაზის უკანასკნელი ელემენტის Ae' -ის მიმართულებით, რადგანაც სხივი საჭერეტ მილში (ან უშუალოდ თვალში) თავისი გზის უკანასკნელ მონაკვეთზე სწორედ ამ მიმართულებით შემოვა. სხვა სიტყვებით, დამკვირვებელი მნათობს დაინახავს სხივის გზისადმი A წერტილში გაგლებული AS' მხების მიმართულებით. მაშასადამე, დამკვირვებელი ხედავს მნათობს S' -ში და არა S -ში—უფრო მაღლა პორიზონტიდან, ვიდრე იგი სინამდვილეშია. დედამიწის გარემომცველი ატმოსფერო რომ არ ყოფილიყო, მნათობი გამოჩნდებოდა AS მიმართულებით. სხვაობას მნათობის ნამდვილსა და ხილულ (მოჩენებით) მიმართულებათა შორის ასტრონომიულ რეფრაქციას 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. პორიზონტისადმი დახრილ სხივებს კი რეფრაქციის მოვლენა ამრუდებს და ეს გამრუდება მით მეტია, რაც უფრო დაბლა და ახლოა მნათობი პორიზონტთან. საერთოდ, რეფრაქციის კუთხე პორიზონტთანაც კი მცირეა და დაახლოებით მხოლოდ ნახევარ გრადუსს ეტოლება.

დავხედოთ 122-ე ნახაზსაც.

რეფრაქციის კუთხე ყოველთვის ვერტიკალურ სიბრტყეში იქმნება, რადგანაც, ერთ სიბრტყეშია დაკეპული და გარდატეხილი სხივი, დაკეპის წერტილში ზედაპირზე აღმართული ნორმალი და დამკვირვებელზე გამავალი ვერტიკალური ხაზი; მაშასადამე, სხივის მთელი გზა ატმოსფეროში ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში რჩება. აქედან გამომდინარეობს, რომ რეფრაქციის მოვლენა არ აზღვრს 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 ქვეშარიტი ზენიტური მანძილები, ხოლო r რეფრაქციის სიდიდე, მაშინ

$$z = z' + r,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ მნათობის ზენიტური მანძილის ქვეშარიტი მნიშვნელობის მისაღებად საჭიროა ხილულ (იარაღით გაზომილს) ზენიტურ მანძილს დაეუმატოთ რეფრაქცია.

ადვილი მისახვედრია, რომ

$$h' = h + r,$$

სადაც h' და h მნათობის ხილული და ქვეშარიტი სიმაღლეა პორიზონტიდან.

თუ მნათობი მერიდიანში არაა, მაშინ რეფრაქცია მის ორივე ეკვატორულ კოორდინატს ცვლის და არა მარტო დახრილობას (ანსენით—რატომ?).

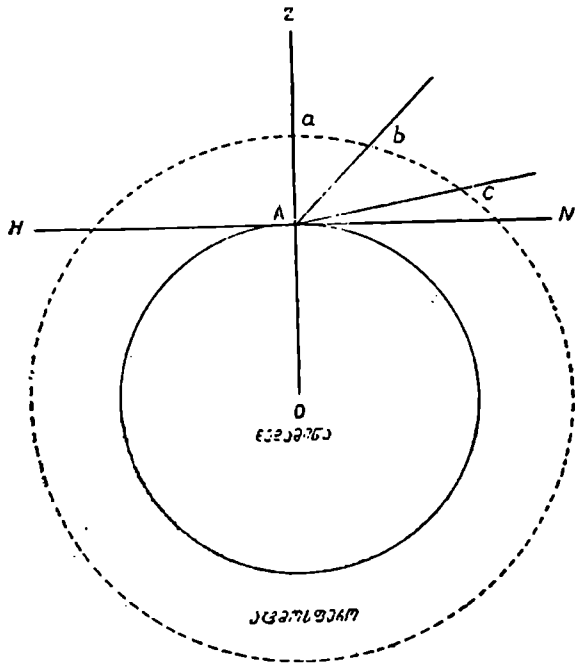
პორიზონტზე რეფრაქციის სიდიდე დაახლოებით 35'-ია. თითქმის იმავე სიდიდისაა შზის ბადროს დიამეტრი. ამიტომ, შეიძლება ითქვას, რომ რეფრაქციის გამო, ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტებში, მზე თავისი ბადროს დიამეტრის სიდიდით არის ამალღებული ქვეშარიტ მდებარეობასთან შედარებით. მაშასადამე, როცა ვხედავთ ახლადამოსულ მზეს, ე. ი. მისი ბადროს ქვედა კილის შეხებას პორიზონტთან, სინამდვილეში მაშინ მისი ბადროს ზედა კიდეც პორიზონტის ქვევითაა მოქცეული (ადვილად გასარჩევია ჩასვლის შემთხვევა). 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 (ანსენით—რატომ?).

რეფრაქციის სიდიდე, მნათობის ზენიტურ მანძილზე დამოკიდებულებით, გამოითვლება სპეციალური ფორმულებით, რომლებიც საკმაოდ რთულია. სირთულეს ის იწვევს, რომ ამოაჯავალ 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 პიპოთეზა 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 კიდევ 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 გამთავლილი 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° -დან 30° -მდე რეფრაქციის სიდიდე სულ $24''$ -ით შეიცვალა, მაშინ როდესაც დიდ ზენიტურ მანძილებზე, მაგალითად, 88° -დან 89° -მდე (სულ 1° -ზე), მისი ცვლილება $6'19''$ -ია.

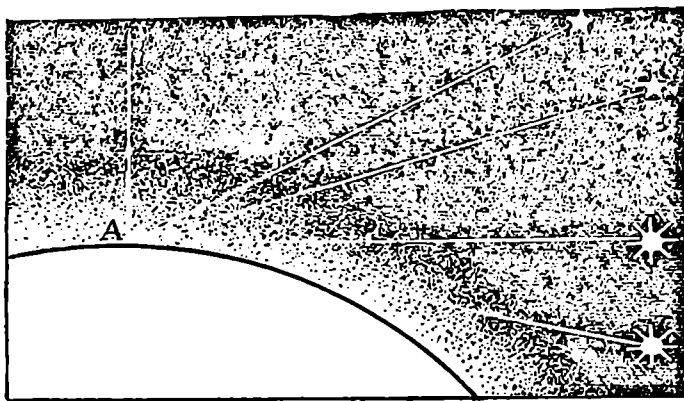
რეფრაქციის თეორიაში გამოიყენება აგრეთვე რეფრაქციის გამოსათვლელი გამარტივებული მიახლოებითი ფორმულა, რომელიც მხოლოდ 70° -ზე ნაკლები ზენიტური მანძილებისათვისაა გამოსადეგი; იგი ასე გამოისახება:

$$r = 58'' \cdot 2 \operatorname{tg} z',$$

სადაც კოეფიციენტი $58'' \cdot 2$ ეწოდება რეფრაქციის მუდმივა. რადგანაც პრაქტიკულად ყოველთვის ერიდებიან აწარმოონ დაკვირვება უფრო ნაკლებ სიმაღლეებზე პორიზონტიდან, ვიდრე 20° -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 ქვემარტ მდებარეობას) ჯერ კიდევ პორიზონტის ქვეშაა (124 -ე ნახ.), სახელდობრ, $51'$ -ით (რეფრაქცია + ბადროს რადიუსი $= 35' + 16' = 51'$). ასეთი შემთხვევისათვის ამოსვლა-ჩასვლის მომენტი გამოითვლება იმავე ზემომოყვანილი ფორმულით

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



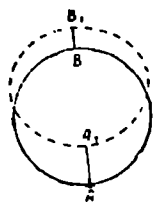
ნახ. 124.

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 ზემოთ

მოყვანილი ცხრილიდანაც ჩანს, რეფრაქცია მზის (მთვარის) ბადროს ქვედა კი-
 ლეს მეტად სწვეს ზევით, ვიდრე ზედას და ამიტომ მისი ვერტიკალური დიამეტ-
 რი დაახლოებით 1/5-ით მოკლდება მაშინ, როდესაც პორიზონტალურ დიამეტრზე.
 რეფრაქცია გაელუნას არ ახდენს და არ ცვლის მას. ამასთანავე მნათობის ბად-

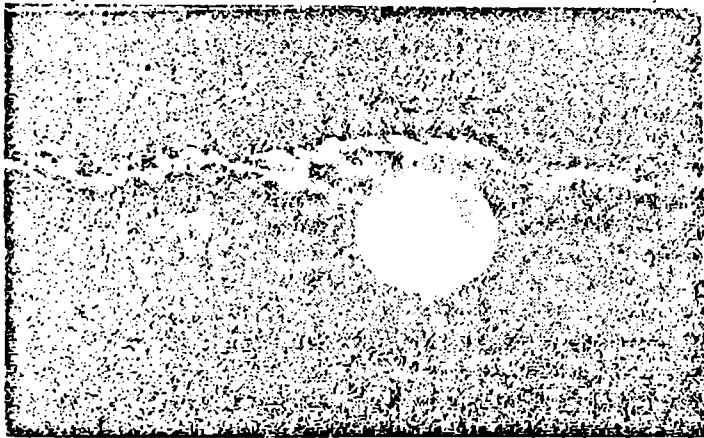


ნახ. 125.

როს ვერტიკალური კორდებიც მოკლდება მათი ბოლოების
 ზენიტური მანძილების სხვაობების შესაბამისად. საბოლოო
 შედეგი ისაა, რომ მზე (მთვარე) პორიზონტის ახლო ერთ-
 გვარად შებრტყელებული, ოვალური წარმოგვიდგება, ხო-
 ლო ადგილობრივი ტემპერატურისა და წნევის სწრაფი
 რყევის პირობებში—ბადროს ფორმაც სწრაფი ცვლილებებს.
 განიცდის, ფორმას კარგავს, უწყსო და ცვალებად სახეს
 ლეებულობს (ნახ. 125; აქ $AB > A_1B_1$. უწყვეტი ხაზით
 ნაჩვენებია მზის ნამდვილი წრე; წყვეტილით—მისი „და-
 მახინჯებული“ სახე, ზემოთ აწეულ მდებარეობაში).

ასეთი მოვლენა შეინიშნება, განსაკუთრებით, როცა ზღვისპირიდან ვაკვირ-
 დებით ჩამავალ მზეს (ნახ. 126).

პორიზონტის ახლო მზესა და მთვარეზე დაკვირვებისას სხვა მოვლენებსაც
 ვამჩნევთ; მაგალითად, ბადროს ხილული სიდიდის გადიდებას. რამდენჯერ მი-



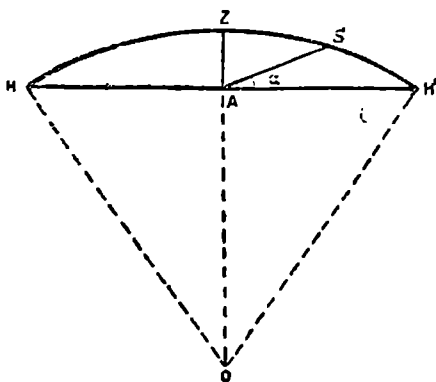
ნახ. 126.

გვიტყვია ყურადღება იმისათვის, რომ ამომავალი საცხე მთვარე რაოდენ გადიდე-
 ბულია და პორიზონტიდან მისი სიმაღლის ზრდასთან როგორ კლებულობს იგი.
 და უახლოვდება „ნორმალურს“. მაგრამ ეს მოვლენა როდია რეფრაქციით გამო-
 წვეული. ეს მხოლოდ წმინდა ოპტიკური ილუზიაა ანუ ყალბი წარმოდგენა, და-
 კავშირებული ჩვენს მხედველობითი აღქმის თვისებებთან. მას მომდევნო პარაგ-
 რაფში განვიხილავთ.

ცამრგვალის ილუზორული შებრტყელება. თუ ყურადღებით დავაკვირდებ-
 ნით ცამრგვალს, იგი ზუსტ ნახევარსფეროდ კი არ მოგვეჩვენება, არამედ შეენი-

შნავთ მის თითქოს შებრტყელებას ვერტიკალური მიმართულებით. ეს შებრტყელება მეტ-ნაკლებად მკაფიოა, ცის მდგომარეობასა და ამინდის ვითარებაზე დამოკიდებულებით. რა თქმა უნდა, შებრტყელება რომ შევინშნოთ, ყველა პირობაში აუცილებელია ერთდროულად ეხედავდეთ 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 პორიზონტი;



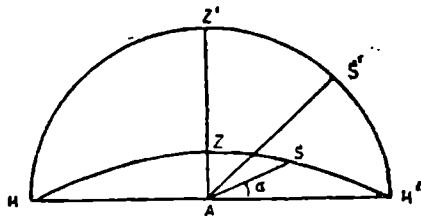
ნახ. 127.

$HZZH'$ ცამრგვალს შემოფარგლავს. მისი ფორმა შეგვიძლია ჩავთვალოთ სფერულ სეგმენტად, რომლის ცენტრი დედამიწის ცენტრშია.

შებრტყელების ხარისხი (სიდიდე) დამკვირვებელს შეუძლია შეაფასოს, თუ შეარჩევს თვალით ZH' რკალის შუაზე მდებარე S წერტილს. თუ მაშინ α კუთხე 45° -ის ტოლი იქნებოდა, ჩაითვლებოდა, რომ შებრტყელება პრაქტიკულად არ შეიმჩნევა. მაგრამ, ფაქტიურად, როცა ასეთ დამკვირვებას ვაწარმოებთ, α არასდროს არ იქნება 45° -ის ტოლი. რაც მეტია შებრტყელება, მით ნაკლებია ეს კუთხე-

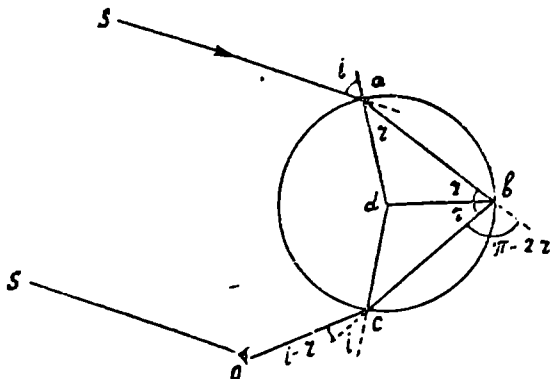
და იგი საშუალოდ 20° — 25° -ის ტოლად წარმოგვიდგება. თუ A -ს გარშემო შემოვხაზავთ AH' რადიუსიან წრეწირს, ენახავთ, რომ მასზე აღებულ ანალოგიურ S' წერტილში გავლებული რადიუსი პორიზონტთან 45° -იან კუთხეს შექმნის (ნახ. 128).

აღწერილი ფენომენის გამო, ცაზე ობიექტის სიმაღლეს პორიზონტიდან ჩვე ყოველთვის უფრო მეტ სიდიდეს ვანიჭებთ, ვიდრე იგი სინამდვილეშია. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ობიექტი, რომლის რეალური სიმაღლე 30° -ია, დღისით 55° სიმაღლეზე გვეჩვენება, ხოლო ღამით— 45° -ზე. შეიძლება მკითხველს შეუძინე ვია კიდევ, რომ შუადღისას, ზაფხულში, მზე თითქმის ზენიტში მოგჩვენება, თუმცა ჩვენს განედზე მისი სიმაღლე არ შეიძლება იყოს 72° -ზე მეტი. ამ მოვლენის გამო შესაძლოა არასწორად შევაფასოთ თვალით, მაგალითად, მთების სიმაღლე, რეალური პორიზონტის ამაღლება. მთა, რომლის ნამდვილი სიმაღლე 6° -ია, გვეჩვენება 16° -მდე სიმაღლისა, ე. ი. 10° -ით ილუზორულად ამაღლებული.



ნახ. 128.

ტის მიმართულებით ჩნდება ცის ნაწილის ან დედამიწაზე მდებარე საგნის ცრუ, მოჩვენებითი გამონასახი. უფრო ხშირად მირაჟი ჩნდება უდაბნოსა და ვრცელ ველებში, ცხელ დღეებში, როცა ნიადაგი მეტად ხურდება და მის ზემოთ წარმოიქმნება ცხელი ჰაერის მკვეთრად შემოფარგლული თხელი ფენა. სხივის გარდატეხის კანონზომიერებათა მიხედვით, პორიზონტს მოუარებული შორეული საგნები—აზისები, კუნძულები, გემები ზღვაში და სხვა საგნები გამოჩნდება დამკვირვებლის წინაშე ისე მკაფიოდ, რომ რეალური სიახლოვის სრული ილუზია იქმნება.



ნახ. 130.

საბჭოთა კავშირში, მისი ევროპული ნაწილის სამხრეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთის ველებზე და შუა აზიის უდაბურ სივრცეებზე ხშირად იქმნება სხვადასხვა სახის მირაჟები. პატარა-პატარა ტბების მაგვარ ილუზორულ გამონასახებს ხშირად ჩვენს წინ გაშლილ მოასფალტებულ გზატკეცილებზეც ვხვდავთ ცხელ დღეებში ავტომანქანით მგზავრობისას*.

სხვა ხასიათის ოპტიკური მოვლენაა ეგრეთ წოდებული ჰალო. გარეგნულად იგი იმაში გამოიხატება, რომ მზეს ან მთვარეს შორიხლოდან გარშემოვლებს ერთგვარი ნათელი წრე, ზოგჯერ მხები სხივებით, ზოგჯერ ცრუ მზისა და მთვარის მეორადი ბადროებით თანხლებულია. 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 ცის არტყელა? 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 შადრევანის შეხფებშიც შევამჩნევთ, თუ მოხერხებულად დავდგებით მასთან ისე, რომ მზე ზურგს უკან მოგვექცეს.

130-ე ნახაზზე გამოსახული წრე წარმოადგენს სფერული ფორმის წვიმის წვეთს. O-ში მოვითავსოთ დამკვირვებლის თვალი. SA იყოს მზის სხივი, რომე-

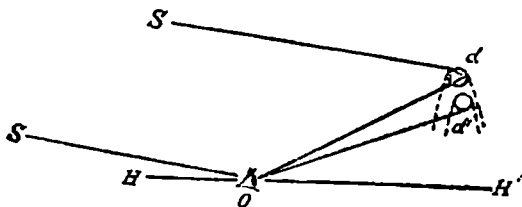
* მკითხველს ვურჩევთ წაიკითხოს ეტრანალ „Природа“-ში (1965 წ. № 9, გვ. 128) საინტერესო აღწერა მირაჟისა, რომელიც ბაიკალის ტბისპირას უნახავთ ღამით (!).

ლი წვეთს ეცემა α წერტილში i კუთხით. სინათლე ნაწილობრივ აირეკლება წვეთის ზედაპირიდან. ნაწილობრივ კი, გარდატეხილი შვეა წვეთში r კუთხით, დაეცემა წვეთის შიგა ზედაპირს b წერტილში, რის შემდეგ ნაწილობრივ გამოე წვეთიდან, ხოლო ნაწილობრივ აირეკლება შიგნით და c წერტილში კვლავ წვეთის შიგა ზედაპირს დაეცემა. აქ კვლავ მოხდება აირეკლა წვეთის შიგნით, ხოლო ნაწილი სინათლისა გამოვა წვეთიდან და eO მონაკვეთით დამკვირვებლის თვალს მოაღწევს.

ადვილია ნახვა, რომ სხივი პირვანდელი მიმართულების მიმართ მობრუნებულია კუთხით

$$p = i - r + \pi - 2r + i - r = \pi - 4r + 2i.$$

რეალურად, წვეთს ეცემა პარალელურ სხივთა ფართო კონა და სხივთა დაცემის კუთხეები სხვადასხვაა; მათთვის სხვადასხვა იქნება p -ს მნიშვნელობებიც. ამის შედეგად, წვეთიდან გამოსული სხივები როდი იქნება ერთმანეთის პარალელური, მაგრამ, სხივთა გარდატეხის გარკვეულ კანონზომიერებათა 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 სხივებისათვის p ეტოლება



ნახ. 131.

138° -ს. მათი მიმართულებით დაინახება ცაზე, მზის საწინააღმდეგო მხარეზე მზის ერთობ შესუსტებული გამონახაზი, 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 გამონახაზი, ერთიმეორის გვერდით დალაგებული. მაშასადამე, Od მიმართულებით დაინახავთ წითელ გამონახაზს, Od' მიმართულებით—ისფერს (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 რკალური 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 ისფერი სხივების გარდატეხათა კუთხეების სხვაობა. ერთი სიტყვით, ეს სიგანე $2\frac{1}{2}^\circ$ -ია, ცისარტყელას წითელი ზოლი გარედან ერთკემის მას, ხოლო ისფერი—შიგნიდან. რკალის უმაღლესი წერტილი 42° -ით არის ამალღებული პორიზონტიდან, თუ მზე პორიზონტზეა. მზის სიმალის ზრდასთან ერთად ცისარტყელა პორიზონტს უახლოვდება და, როცა მზის სიმალე 42° -ს მიაღწევს, ცისარტყელა პორიზონტთან 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.

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 მლელვარა და განუწყვეტლივ ხდება მასში მასების გადაადგილება, თავს იჩენს ნაკადები, რაც იწვევს მოცემულ სივრცეში ჰაერის სიმკვრივის მუდმივ უწყსრიგო ცვლილებებს; ასეთ პირობებში სინათლის სხივი განუწყვეტლივ და ასევე უწყსრიგოდ იცვლის გარდატეხის მაჩვენებელს და, მაშასადამე, მიმართულებასაც. თვალი ამას ამჩნევს 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, მნათ წერტილებს 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 „გამი“ თითქმის მუდმივი რჩება, პლანეტა თითქოს უფრო მშვიდად ანათებს. ერთი შეხედვით, სწორედ ნათების ამ სიმშვიდით გამოირჩევა პლანეტა ვარსკვლავებისაგან.

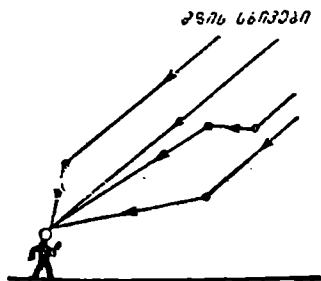
ციმციმი მით უფრო მეტად შეიმჩნევა, რაც უფრო ახლოა მნათობი პირი-ზონტთან. ციმციმს, რა თქმა უნდა, ვერ შეაჩნევს კომპონაეტი, როცა იგი დედამიწის ატმოსფეროს გარედან აკვირდება ვარსკვლავებს.

ცის ფერი. ზინდი. ზინდის 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 შემოდინა 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 არეკ-

ვლილი 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 დამითაც, როცა ვარსკვლავთ სინათლე განიბნევა, მაგრამ ეს სინათლე იმდენად სუსტია, მზესთან შედარებით იმდენად ნაკლებად ინტენსიური, რომ გაბნეული, იგი თითქმის სრულად აღარ აღიქვება ჩვენ მიერ. სამაგიეროდ, როცა ცაზე სავესე მთვარეა, 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?



ნახ. 132.

ღამით უფრო მეტად არეკლავენ და განაბნევენ ლურჯ სხივებს, ვიდრე წითელს, ეს განპირობებულია გამბნევეი 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 მოაღწია, გაბნეულია ატმოსფეროს ნაწილაკების მიერ და ჩვენთვის ხილვადია როგორც ლურჯი ცის სინათლე. სამაგიეროდ, მზე, მაგალითად, უფრო მოწითალოდ გვეჩვენება, ვიდრე იგი სინამდვილეშია, განსაკუთრებით, —პორიზონტის ახლო. ვარსკვლავებიც პორიზონტის ახლო უფრო მოწითალოდ გამოიყურებიან.

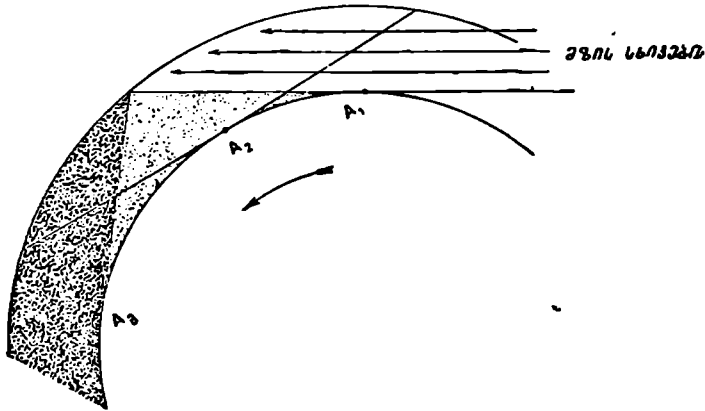
კოსმონავტიკისათვის, რომელიც დედამიწის ატმოსფეროს გარეთ, უპაერო ან თითქმის უპაერო სივრცეში მოძრაობს ხომალდით, ცა არაა ლურჯი, არც ღამით და არც დღისით. ცა ბნელია, თითქმის შავი, და მასზე კი აფიქსირებულია ვარსკვლავები.

კოსმონავტიკისათვის, რომელიც დედამიწის ატმოსფეროს გარეთ, უპაერო ან თითქმის უპაერო სივრცეში მოძრაობს ხომალდით, ცა არაა ლურჯი, არც ღამით და არც დღისით. ცა ბნელია, თითქმის შავი, და მასზე კი აფიქსირებულია ვარსკვლავები.

* თუ ნაწილაკების ზომა ისეთია, რომ დიამეტრი 10^{-5} სანტიმეტრზე ნაკლებია, მათ მიერ გაბნევა გამოსხივების ტალღის სიგრძის მეოთხე ხარისხის უკუპროპორციულია (λ^{-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 განაბნევენ, ვიდრე წითელს. მაშასადამე; სხივი მისი წითელი ნაწილით უფრო ინტენსიური მოაღწევს დამკვირვებლის თვალს დღი ზომა ნაწილაკები (დიამეტრში 10^{-4} სმ-ზე მეტი) ერთნაირად განაბნევენ ყველა ფერის სინათლეს. ატმოსფეროში შერეული ნაწილაკებისა და თვით პაერის მოლეკულების ზომები უმეტესად ისეთია, რომ გაბნევა ხდება, როგორც ამბობენ, (λ^{-4})—კანონზომიერებით.

დღისით და ღამით იგი ერთნაირად შავია, მაგრამ დღეს კოსმონავტი მით შენიშნავს, რომ შავ ცაზე ვარსკვლავებთან ერთად მის თვალწინ მზის კაშკაშა ბაღროც ბრწყინავს. რა თქმა უნდა, მაშინ მზე მის ხომალდსაც ანათებს.

ატმოსფეროში გაბნეული მტვერი სინათლის საერთო შესუსტებასაც იწვევს. ეს შესუსტებაც უფრო მეტად პორიზონტის მახლობლობაში შეიმჩნევა იმავე მიზეზით, რომ პორიზონტის მიმართულებით გამავალი სხივის გზა ატმოსფეროში უფრო გრძელია, ვიდრე ზენიტის მიმართულებით (იხ. 123-ე ნახ.). ზოგჯერ შესუსტება იმდენად შესამჩნევია, რომ კაშკაშა ვარსკვლავებიც კი თითქმის უჩინარდება პორიზონტთან 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, პორიზონტზეა; უნდა დაიწყოს ბინდი. A_2 -ის ადგილი, სადაც მზე დიდი ხნის ჩასული არაა, განათებულია ატმოსფეროს ზედა ფენებიდან არეკლილი სინათლით.

თუმცა სხივები უშუალოდ ვეღარ წვდება A_2 დამკვირვებელს, მაგრამ მიმართულია დამკვირვებლის ზემოდან განეცობილ ატმოსფეროს მაღალ ფენებზე, მათ მაინც ანათებს და მათგანვე აირეკლება. ამიტომ დამკვირვებლის ცა მეტ-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 ამრ ეკლავი ფენა, ჯერ ერთი, შორსაა და, მეორეც, უფრო გაიშვიათებულია და არეკვლის უნარი ნაკლები აქვს. პუნქტში, სადაც A_3 დამკვირვებელია და

დასაწყისი მომენტებში. $NN'SS'$ სარტყელი გამოხატავს იმ არეს, რომელშიც მოთავსებული უნდა იყოს მზე ბინდის განმავლობაში. სალამოს ბინდის ხანგრძლივობა განისაზღვრება დროის შუალედით, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ მზემ თავის დღელამურ პარალელზე გაიაროს $S_{\alpha}S'$ რკალი.

ბინდის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია როგორც ადგილის განედზე, ისე მზის დახრილობაზე. მისი გამოთვლა ადვილია, თუ ვისარგებლებთ პარალაქსური PZS' სამკუთხედით და გამოვიყენებთ სფერული ტრიგონომეტრიის პირველ ძირითად ფორმულას. გვექნება:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (\xi + \tau),$$

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; τ არის ბინდის ხანგრძლივობა. ამ ფორმულით განისაზღვრება მზის საათ-კუთხისა და ბინდის ხანგრძლივობის წამის $\xi + \tau$ -ის მნიშვნელობა; მაგრამ მზის საათ-კუთხე ξ შეგვიძლია ცალკე გამოვითვალოთ იმ შემთხვევისათვის, როცა მზე პორიზონტზეა (სალამოს ბინდის დასაწყისი) და მზის ზენიტური მანძილი $z = 90^\circ$. ამის შემდეგ τ -ს მნიშვნელობა ადვილად მიიღება. τ -ს ზუსტი მნიშვნელობის მისაღებად გასათვალისწინებელია რეფრაქცია.

შეითხველი ნახაზის მიხედვით ადვილად წარმოიდგენს, რომ, რაც უფრო მცირეა ადგილის განედი, მით ნაკლებია ბინდის ხანგრძლივობა (მაგალითად, ეკვატორზე მყოფი დამკვირვებლისათვის $S_{\alpha}S'$ რკალი უმოკლესი იქნება, რამდენადაც ამ შემთხვევაში იგი პორიზონტის მართობულია). ტრაპიკულ ქვეყნებში ბინდის ხანგრძლივობა და, მაშასადამე, სწრაფი ჩამოღამება მზის ჩასვლის შემდგომ, ან სწრაფი გათენება კარგადაა ცნობილი და ხშირად აღწერილია მხატვრულ ნაწარმოებებში. მეორე მხრივ, ერთობ ხანგრძლივია ბინდი პოლარულ ქვეყნებში.

ჩრდილოეთში, მაღალ განედებზე, მაგალითად, ქ. ლენინგრადში შეიძლება მოხდეს ისე, რომ სალამოს ბინდი გაგრძელდეს დღის 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 ლერძი პორიზონტთან დიდ კუთხეს ადგენს, მზის დღელამური პარალელის მდებარეობა ისეთია, რომ მისი ქვედა გადაკვეთა მერიდიანთან ანუ ქვედა კულმინაციის წერტილი მხოლოდ 6° -ზე მეტად არაა დაშორებული პორიზონტს. მის ქვემოთ. ცხადია, რომ ასეთ პირობებში ბინდი გაგრძელდება მთელ ღამეს.

პირობა იმისათვის, რომ მოცემულ ადგილას ბინდი მთელ ღამეს გრძელდებოდეს, გამოიხატება შემდეგი უტოლობით:

$$\delta \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ \quad (\text{სამოქალაქო ბინდისათვის}),$$

$$\delta \geq 90^\circ - \varphi - 18^\circ \quad (\text{ასტრონომიული ბინდისათვის}).$$

რადგანაც მზის შესაძლო მაქსიმალური დახრილობა $23\frac{1}{2}^\circ$ -ია, ამიტომ პირველი უტოლობა ღებულობს სახეს:

$$23\frac{1}{2}^\circ \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ,$$

$$\varphi \geq 60\frac{1}{2}^\circ.$$

მაშასადამე, უკვე განვიღიან 60 $\frac{1}{2}$ ° იქნება შესაძლებლობა თეთრი ღამეების 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°-დან +70°-მდე

განელი	0°		20°		40°		60°		70°	
	სამოქ.	ასტრონ.	სამოქ.	ასტრონ.	სამოქ.	ასტრონ.	სამოქ.	ასტრონ.	სამოქ.	ასტრონ.
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° და 70° გვაქვს რამდენიმე შემთხვევა, როცა ბინდის ხანგრძლივობა მოცემული არაა, მაგრამ ეს ისე უნდა გვესმოდეს, რომ ბინდი გრძელდება მთელ „ლაშქარს“—მზის ჩასვლიდან მზის ამოსვლამდე, ე. ი. საქმე გვაქვს თეთრ ღამეებთან. ეს ის შემთხვევაა, როცა საღამოს ბინდი ჯერ არ დამთავრებულა და უკვე დილის ბინდი იწყება.

თეთრი ღამის შემთხვევის წარმოდგენაც ადვილია ჩვენი ნახაზის განხილვისას. ამისათვის საჭიროა, ნახაზზე PO მიუთახლოთ 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 ღამე ყველა როდია ერთნაირად ნათელი. იგი მით უფრო ნათელია, რაც უფრო ნაკლებ ღრმად ჩადის მზე პორიზონტის ქვეშ. ხოლო მზის სიღრმე პორიზონტის ქვეშ მით ნაკლებია, საერთოდ, რაც უფრო ჩრდილოეთით იმყოფება დამკვირვებელი. ესეც ადვილად წარმოსადგენია ნახაზზე.

სამაგიეროდ, უფრო ძნელია აეხსნათ 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 მინც მოვინდომებთ ნახაზის განხილვას ამ თვალსაზრისით, ყურადღება უნდა მიექცეს იმ არსებით გარემოებას, რომ ბინდის სარტყელით შემოსაზღვრული, წელიწადის სხვადასხვა დროის შესაბამისი მზის დღეღამური პარალელების—როგორც მცირე წრეწირების—რვალები სხვადასხვა სიმრუდისაა. ამის გამო მზე, მაგალითად, ეკვატორის რკალის გავლას (ბუნობის დროს) ნაკლებ დროს მონადრდება, ვიდრე მზებუდობის შესაბამისი პარალელის რკალის გავლას. ამის

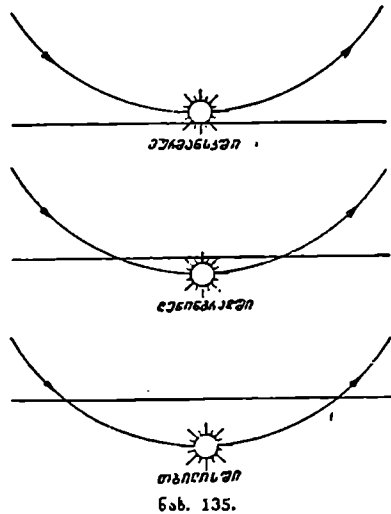
შედგება, დედამიწის ბინდის დროს ბინდი უფრო ხანმოკლეა, ვიდრე მზებუ-
ლობისას.

ჩვეულებრივ, ბინდის დროს ხერხდება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრე-
ბის დანახვა თვალით 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. და-
მითაც თანამგზავრს, თუ იგი დედამიწის ჩრდილშია და მას სრულიად არ უდგე-
ბა მზის სხივები, ვერ დავინახავთ. მხოლოდ ბინდის დროს, როცა შეღამებულია,
ატმოსფეროს გაიშვიათებული მაღალი ფენები ცუდად არეკლავენ, ე. ი. ცის ფო-
ნი მკრთალია, ხოლო ხელოვნური თანამგზავრის ვაკრიალეებული ზედაპირი კარ-
გად არეკლავს და იგი ვარსკვლავივით გამოიყურება.

ხშირად კი დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრს იმ დროსაც ვხედავთ, როცა
სალამოს ასტრონომიული ბინდი დამთავრებულია, ან დილის ბინდი ჯერ არ და-
წყებულა. როგორ ახსნათ ეს მოვლენა? იმ დროს თანამგზავრი იმდენად მაღლაა,
რომ მზის სხივები თუმცა წვდება მას და თანამგზავრის კორპუსი არეკლავს სი-
ნათლის სხივებს, მაგრამ ატმოსფეროს შესაბამისი ფენა მისი გაიშვიათებულობის
გამო პრაქტიკულად ვეღარ არეკ-
ლავს. მაშასადამე, საერთოდ, თანა-
მგზავრის ხილვადობის ხანგრძლი-
ვობა აღემატება ბინდისას.

ზოგჯერ თანამგზავრს ვხე-
დავთ მოძრავს მთელს ცაზე, დასაე-
ლეთის პორიზონტიდან აღმოსავლე-
თის პორიზონტამდე. ზოგჯერ კი
შეენიშნავთ, რომ მოძრავი თანა-
მგზავრი ჯერ კიდევ პორიზონტზე
დაშვებამდე, ზენიტის ახლო, უეც-
რად უჩინარდება. ეს იმას ნიშნავს,
რომ იგი შევიდა დედამიწის ჩრდილ-
ში და მზის სხივები მას სრულიად
ალარ წვდება.

პარაგრაფის დასასრულს მო-
ვიყვანოთ 135-ე ნახ., რომელიც
გვიჩვენებს, თუ როგორ შედარებით
სიღრმეებზეა პორიზონტის ქვეშ მზე
ზაფხულის მზებულობის დღის შუაღამეს, გეოგრაფიული განედებით განსხვავებულ
სხვადასხვა პუნქტში. პორიზონტული ხაზი ადგილის პორიზონტის ჩრდილო
მონაკვეთს წარმოადგენს.

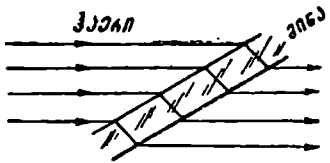


ტელესკოპი. ზემოთ აღწერილი ასტრონომიული დასამზერი იარაღები—
უნეივერსალური ინსტრუმენტი, თეოდოლიტი, მერიდიანული წრე, საპასაჟო ია-
რალი—უმსახურება ასტრონომიულ დაკვირვებას, მაგრამ მათი მთავარი დანიშნუ-
ლება საკმაოდ შეზღუდულია; ამ იარაღების საშუალებით უნდა დადგინდეს მი-

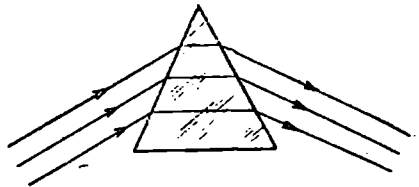
მართლები მნათობზე. რაიმე მოვლენის განვითარების დაკვირვებას, გამო-
სხივების ფიზიკურ ანალიზს და სხვა ამგვარს, დასახლებული იარაღებით ვერ
აწარმოებენ. ამ მიზნებით ანუ ცის სხეულების ფიზიკური თვისებების შესასწავლად
იზმარება ტელესკოპი, რომლის განხილვას ახლა შეუვლდებით.

წინასწარ გავიხსენოთ სინათლის ზოგიერთი თვისება. სინათლის გავრცელე-
ბის სიჩქარე სივარდილეში ანუ ვაკუუმში გამოიხატება შემდეგნაირად: $c = 3 \cdot 10^{10}$
სმ/წმ $= 3 \cdot 10^8$ კმ/წმ². რაიმე ფიზიკურ გარემოში სინათლე ვრცელდება ნაკლები
სიჩქარით და სხვადასხვა ტალღის სიგრძის გამოსხივებისათვის სიჩქარე სხვადა-
სხვაა. ფარღობა $\frac{c}{v}$, სადაც c წარმოადგენს სინათლის გავრცელების სიჩქარეს

ვაკუუმში, ხოლო v —ვაკუუმისაგან განსხვავებულს ფიზიკურ გარემოში, ყოველ-
თვის 1-ზე მეტია, დამოკიდებულია გარემოზე და გამოსხივების ტალღის სიგრძეზე.
მაგალითად, ჰერისათვის იგი არის 1.0003, წყლისათვის—1.335; ე. წ. ფლუო-



ნახ. 136.

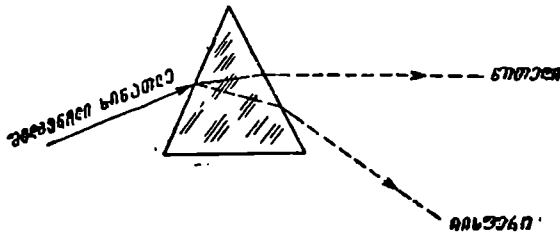


ნახ. 137.

რიტის 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 გა-
ვრცელების მიმართულებისადმი დახრილი ბრტყელ-პარალელური მინის ფირფიტა,



ნახ. 138.

სხივთკონა ჯერ მინაში შესვლისას გარდატყდება, ხოლო შემდგომ,—მინიდან გა-
მოსვლისას, ოღონდ საწინააღმდეგო მხარეზე, და განაგრძობს გავრცელებას სა-
წყისი მიმართულების პარალელურად, მცირედ გადაადგილებულად, როგორც ეს
გამოხატულია 136-ე ნახაზზე.

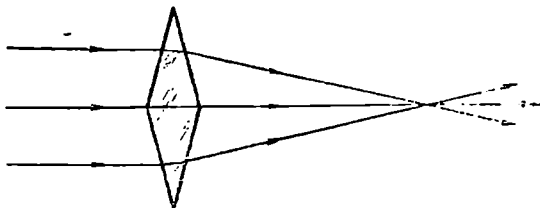
* უფრო ზუსტად $c = 299791.0 \pm 1$ კმ/წმ.

როცა სხივთკონის გზაზე მინის პრიზმა, 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 ფარდობას $\frac{c}{v}$, დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე. მივიღებთ

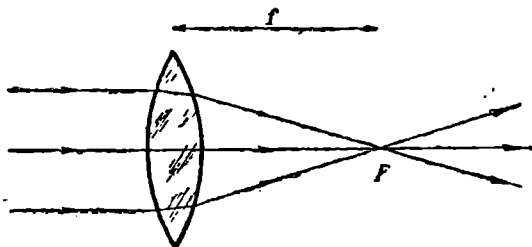
ისეთ სურათს, როგორიც გამოხატულია 138-ე ნახაზზე. რამდენადაც გავრცელების სიჩქარე იისფერი სხივებისათვის ნაკლებია, ვიდრე წითელისათვის, ამიტომ იისფერი სხივები მეტად გარდატეხება, ვიდრე წითელი, და პრიზმიდან გასული ორი—იისფერი და წითელი—სხივი ერთმანეთის პარალელური აღარ იქნება.



ნახ. 139.

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ საქმე გვაქვს ორ ერთნაირ პრიზმასთან, რომლებიც ერთიმეორესთან შეწებებულია 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 სხივთ-

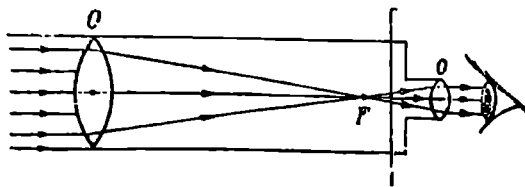


ნახ. 140.

კონის 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 სიძრულე, მით ნაკლებია ფოკუსის მანძილი (f). ლინზის

ზედაპირების სიძრულის ცენტრებზე გამავალ წრფეს ოპტიკური ღერძი ეწოდება. ჩვეულებრივ, ფოკუსის წერტილი ამ ღერძზე ძვეს.

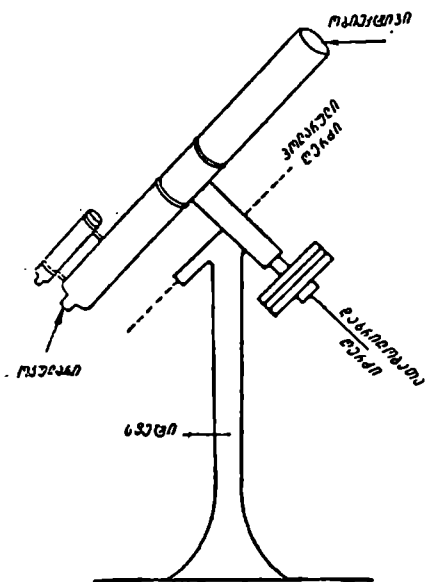
141-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მილი, რომლის ერთ-ერთ ბოლოში მოთავსებულია ორმხრივ ამოზნექილი O ლინზა. ეს ლინზა ანუ ე. წ. ობიექტივი მის



ნახ. 141.

ზედაპირზე ერთი მხრიდან ვარდნილ სხივთაგანს თავს უყრის მეორე მხარეზე—ფოკუსის F წერტილში. მილის ბოლოში ჩადგმულია სხვა, უფრო მცირე ზომისა და მცირე ფოკუსის მანძილის მქონე o ლინზა (ოკულარი), რომლის საშუალებით დამკვირვებელი უყურებს F

წერტილში მიღებულ გამონახახს. ასეთი მილი, არსებითად, წარმოადგენს საჭერეტ ანუ სამზერ მილს, რომელსაც ჰოგრსაც უწოდებენ. იგი ტელესკოპის ძირითადი ნაწილია. მაგრამ იმისათვის, რომ ასეთი ჰოგრი ადვილად მოვიმარჯვოთ, მნათობს დაეუმინოთ და დაკვირვებისათვის გამოვიყენოთ, უნდა მოვარგოთ იგი სათანადოდ მოწყობილ დანადგარს. ასეთია ე. წ. ეკვატორული დანადგარი, რომლის სტრუქტურა სურათი მოცემულია 142-ე ნახაზზე. დანადგარის ორი ღერძის (პოლარულისა და დახრილობის) ირგვლივ მოძრავე სამზერი მილი ცის ნებისმიერ წერტილში შეგვიძლია ადვილად მივმართოთ. აქ გავიხსენოთ ის, რაც ზემოთ ეკვატორიალის შესახებ გვქონდა აღწერილი. ეკვატორიალი ასეთივე



ნახ. 142.

ტელესკოპია, მაგრამ იქ ლაბარაკი იყო უმთავრესად მის გამოყენებაზე ეკვატორული კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით. ახლა კი მხედველობაში გვაქვს ტელესკოპი, რომელიც მნათობზე განვითარებული მოვლენების დასაკვირვებლად და მისი ფიზიკური თვისებების შესასწავლად იხმარება.

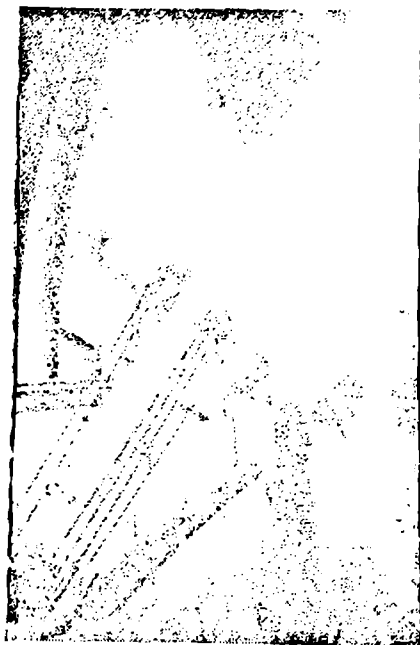
თანადროულ ობსერვატორიებში მომუშავე ტელესკოპები დიდი იარაღებია, რომელთა ობიექტივის დიამეტრი 1 მეტრამდე აღწევს. ასეთი ტელესკოპების მილის სიგრძე, რომელიც ძირითადად ობიექტივის ფოკუსის მანძილით განისაზღვრება:

შეიძლება 12—20 მეტრამდე იყოს. 143-ე ნახაზზე წარმოდგენილია საჭარბველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში მომუშავე ტელესკოპი, რომლის ობიექტივის დიამეტრი 40 სმ-ია, ხოლო ფოკუსის მანძილი ანუ მილის სიგრძე—თითქმის 7 მეტრი.

ტელესკოპის, როგორც ასტრონომიული იარაღის, ძირითადი დანიშნულებაა, რაც შეიძლება დიდი რაოდენობით შეკრიბოს მნათობიდან მოსული სინათლის სიგეები, სხვა სიტყვებით,—დაგვანახვოს მნათობები, რომლებიც შეუიარაღებელი თვალით მეტისმეტად მკრთალია ან სულაც უჩინარი. თავის ფოკუსში იგი თავს უყრის ობიექტივში გამოვლილ სხივებს. ადამიანის შეუიარაღებელი თვალიც ჰკრებს თვალის კაკლის სინათლისმკრძნობ ზედაპირზე სხივებს, მაგრამ მხოლოდ იმდენს, რამდენიც თვალის ჰაწია 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 შეღწევის 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:

$$\frac{\pi \left(\frac{400}{2} \right)^2}{\pi \left(\frac{5}{2} \right)^2} = \frac{400^2}{5^2} = \frac{160000}{25} = 6400.$$

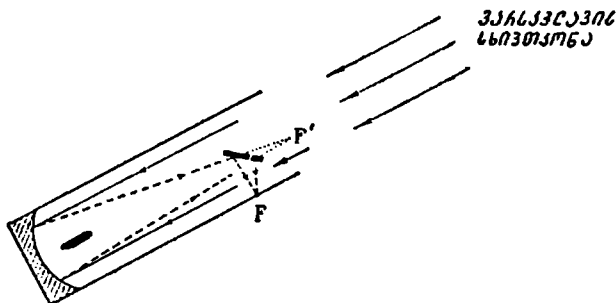


ნახ. 143.

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 სანთლიან—ნათურას, მაშინ აღნიშნულ ტელესკოპში 1 სანთლიანი ნათურა ისეთივე სიკაშკაშით გამოჩნდება, როგორც შეუიარაღებელი თვალით—6400 სანთლიანი 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 „გაპყოფს“ მკიდროდ მდებარე ჭერად ვარსკვლავებს და ცალ-ცალკე დავგანახებებს მათ.



ნახ. 144.

ტელესკოპის მესამე ძირითადი თვისებაა გამადიდებლობის უნარი ამის განსამარტავად უშუალოდ მაგალითს მივმართოთ. უბრალო თვალით მთვარე, მორჩანს დაახლოებით ნახევარგრადუსიანი კუთხით, ე. ი. მისი ხილული კუთხური დიამეტრი დაახლოებით ნახევარი გრადუსია. თუ ტელესკოპით შევხედავთ მას, გა-



ნახ. 145.

მონასახის კუთხოვანი ზომა გაცილებით მეტი იქნება. ფარდობა ტელესკოპში ხილული კუთხური დიამეტრისა უბრალო თვალით ხილულ დიამეტრთან განსაზღვრავს გამადიდებლობის უნარს. ეს უნარი დამოკიდებულია არა მარტო ობიექტივის ფოკუსის მანძილზე, არამედ ოკულარის ფოკუსის მანძილზეც. ერთსა და იმავე ტელესკოპში შეგვიძლია ვინმართ სხვადასხვა ფოკუსის მანძილის მქონე ოკულარები და ამის მიხედვით სხვადასხვა გამადიდებლობას მივმართოთ. 40-სმ ტელესკოპი, რომლის ფოკუსის მანძილი 6.8 მეტრია (6800 მმ) და რომელთანაც ვინმართ ოკულარს ფოკუსის მანძილით 25 მმ, გვაძლევს გადიდებას: $6800:25 = 272$ -ჯერ. პრაქტიკაში უფრო ხშირად მიმართავენ გამადიდებლობას 300—500-ჯერ და თითქმის არასდროს 1000-ზე მეტს, რად-

განაც ტელესკოპის ოპტიკისა და ატმოსფეროს თვისებები არ იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ ოკულარის შერჩევით განუსაზღვრებლად ვზარდოთ გამადიდებლობა.

აღწერილი ტელესკოპის მთავარ ოპტიკურ ელემენტს, რომელიც მნათობის გამონასახს იძლევა, ლინზა ანუ ობიექტივი წარმოადგენს. ისეთ ტელესკოპს, რო-

მელშიც გამოწასანი მიიღება ობიექტივში სხივების გარდატეხით, ეწოდება რეფრაქტორი (ლათინური refractus—გარდატეხილი).

მაგრამ შესაძლებელია მნათობიდან მოსულ სხივთკონას ტელესკოპის მილში შევაგებოთ არა ობიექტივი, არამედ პარაბოლოიდის ფორმის მქონე ჩაზნეკილი 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° -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.



ნახ. 146.

ისეთ ტელესკოპს, რომელშიც გამოწასანი შეიქმნება მნათობის სხივთკონის არეკვლით სარკის ზედაპირიდან და, მასმასადამე, მთავარ ოპტიკურ ელემენტს სარკე წარმოადგენს, ეწოდება რეფლექტორი (ლათინური reflecto—ვაბრუნებ უკან, ავირეკლავ).

თანამედროვე ობსერვატორიებში ხმარობენ დიდ ტელესკოპ-რეფლექტორებს, რომლებშიც მთავარი სარკის დიამეტრი 2-დან 5 მეტრამდეა. რეფლექტორები, ამგვარად, ოპტიკურად უფრო ძლიერი ტელესკოპებია, ვიდრე რეფრაქტორები. 145-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ყირიშის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის 2, 6-მეტრიანი რეფლექტორი (ე. ი. რეფლექტორი, რომლის მთავარი სარკის დიამეტრი 2, 6 მეტრია).

უკანასკნელ დროს ფართოდ გავრცელდა ისეთი ტელესკოპები, რომლებშიც ერთდროულად და კომბინაციაში გამოყენებულია როვორც სარკე, ისე ლინზა. ასეთ ლინზა-სარკოვან ტელესკოპებს თავისი უპირატესობა აქვთ. მათ უწოდებენ შმიდტიისეულ ტელესკოპებს. ცნობილია აგრეთვე ე. წ. მაქსუტო-

ვისეული ანუ მენისკური ტელესკოპები, რომლებშიც გამოწასახი მიიღება სხივების მსვლელობით მენისკური ლინზის შიგნით და სფერული სარკიდან არეკვლით საბჭოთა ოპტიკოსის დ. მაკუსტოვის 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 ფოტოგადაღებას (ფოტოფირფიტების შემდგომი დამუშავება-შესწავლით), ან ფოტოელემენტებს, რომლებშიც მნათობის გამოსხივება ელექტროდენს წარმოშობს და უკანასკნელის ინტენსივობისა და თვისებების მიხედვით მნათობის დახასიათებას ლეზულობენ. ხშირად ტელესკოპებთან კომბინაციაში გამოიყენება სპექტროგრაფები 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, სამაგიეროდ, მკვლევარ-ასტრონომს მრავალგვარ ცნობას აწვდის კოსმოსურ მოვლენებსა და მნათობთა თვისებებზე.

რადიოტელესკოპი. კოსმოსური ობიექტების თვისებებისა და ბუნების მახასიათებელი ცნობების მაუწყებელი არის ის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რომელიც ჩვენამდე მოაღწევს, მოდის რა ან უშუალოდ მათგან, როგორც გამომსხივებელი სხეულებისაგან (მზე, ვარსკვლავები), ან სხვა სხეულებიდან არეკვლის შემდგომ (მთვარე, ცთომილები). ელექტრომაგნიტური ტალღა, სახელდობრ, ის სინათლის სხივი, რომელიც ჩვენს თვალზე მოქმედებს და რის შედეგადაც ეხედავთ 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 რადიომიმღები მიიღება, როგორც „რადიოხმაური“. როგორც ჩვენს საუქუნეში 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.

კოსმოსური სხეულების რადიოგამოსხივების მიმღებ აპარატს უწოდებენ რადიოტელესკოპს. მასში ერთ-ერთ მთავარ ელემენტს წარმოადგენს ანტენა, 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 ტიპუ-

რი სახის რადიოტელესკოპთა წყვილი. მათი ანტენების დიამეტრი 25 მეტრზე მეტია; მიმღები აპარატურა შენობის შიგნით დგას.

რადიოტელესკოპის ანტენას ხშირად ამონტაჟებენ ორ ურთიერთმართობულ ღერძზე ისევე, როგორც ოპტიკურ ტელესკოპებში—სამზერ მიღებს. ასეთი ანტენა შეიძლება მიმართულ იქნეს ცის ნებისმიერ წერტილზე. თუ ორღერძი ორიენ-



ნახ. 147.

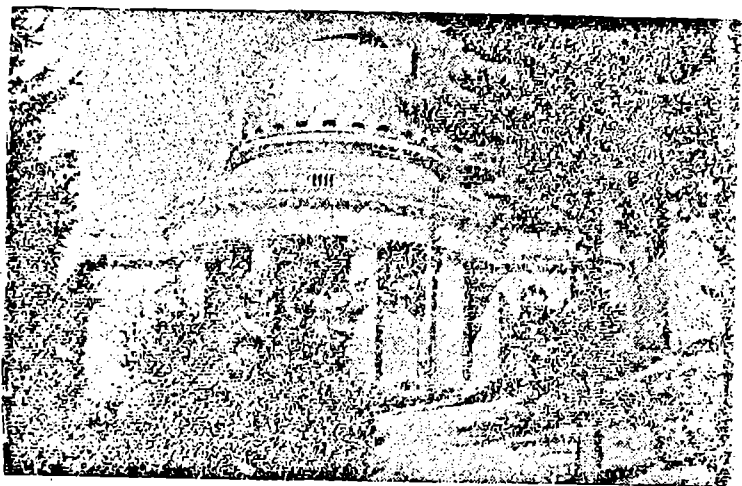
ტირებულია პოლარული ღერძისა და ეკვატორის მიხედვით, შეგვიძლია ანტენა მივაყოლოთ მძლავრი საათ-მექანიზმით კამრგვალის მოძრაობას. ასეთი ხერხით შეიძლება ხანგრძლივად „დავაკვირდეთ“ და შევისწავლოთ აღებული კოსმოსური ობიექტი.

ასტრონომიული ობსერვატორიები. სამეცნიერო-კვლევით დაწესებულებას, სადაც მიმდინარეობს ცის დაკვირვება და ასტრონომიული მოვლენების ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევა, ეწოდება ობსერვატორია. ეს სახელწოდება ლათინური წარმოშობისაა, დაკავშირებული სიტყვასთან „*observo*“—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 მოწინავე სახელმწიფოთა განვითარებამ მოითხოვა ზუსტ ასტრონომიულ დაკვირვებათა წარმოება ზღვაოსნობის, კარტოგრაფიისა თუ დროის აღრიცხვის ინტერესებისათვის. მაშინ დაიწყო სახელმწიფო ობსერვა-

ტორიების 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 (გრაინვიჩი), საფრანგეთში (პარაზი) 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 ფოტოგრაფიების მისაღები ტელესკოპებით), სპექტროგრაფებით, სამზეო ტელესკოპებით, რადიოტელესკოპებით, მერიდიანული წრებით, საპასაჟო ინსტრუმენტებითა და სხვ. თითოეული დიდი დასამზერი იარაღი დგას ცალკე შენობაში—მრგვალ კოშკში, რომელსაც ზემოდან მბრუნავი გუმბათი ფარავს. გუმბათზე მოწყობილია ერთგვარი საგდული, რომლის გახსნა საშუალებას იძლევა ტელესკოპი დიდი ცის უბნისაკენ მივმართოთ. გუმბათი მბრუნავია, რათა ღია საგდული მოვატრიალოთ ნებისმიერ მხარეს და, მაშასადამე, შესაძლებლობა გვქონდეს ტელესკოპით დაეკვირდეთ საჭირო მიმართულებით. ცხადია, ტელესკოპიც შეგვიძლია მოვაბრუნოთ ნებ ისმიერად. კოშკები და მათზე ამართული სფერული გუმბათები ობსერვატორიის გარეგნულ სახეს თავისებურ



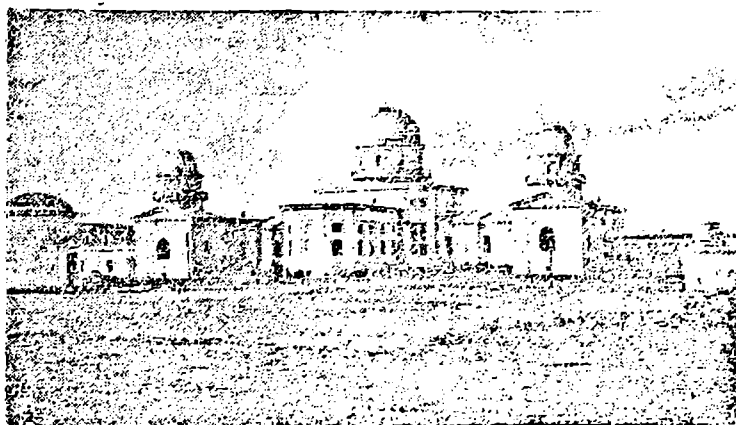
ნახ. 148.

ხასიათს აძლევს (148-ე ნახაზზე წარმოდგენილია აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის ერთ-ერთი კოშკი გუმბათიურთ, რომელშიც დგას ტელესკოპი; 149-ე ნახაზზე მოცემულია პულკოვოს ობსერვატორიის სურათი).

ასტრონომიული ობსერვატორიებით მოვწოდებულია მთელი დედამიწის ზურგი. ბევრი მათგანი სპეციალური ობსერვატორიაა, ე. ი. მუშაობს ერთი რომელიმე ობიექტის ან ობიექტთა ჯგუფის დაკვირვება-შესწავლაზე ან გამოიყენებს

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; ჭერ კიდევ რევოლუციამდე მას მსოფლიოში ერთი პირველთაგანი ადგილი ეკავა ვარსკვლავთ მდებარეობათა დაკვირვების სიზუსტითა და ვარსკვლავთ კატალოგების შედგენის საქმეში; ყირიმის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, რომელიც



ნახ. 149.

მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ მოეწყო, როგორც პირველხარისხიანი ტელესკოპებით აღჭურვილი უმსხვილესი ობსერვატორია. აქ დადგმულია საბჭოთა კავშირში უდიდესი და მსოფლიოში სიდიდით მეოთხე ტელესკოპი—2.6 მეტრიანი რეფლექტორი; ასევე შედარებით ახალი, სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ბიურაკანის ასტროფიზიკური ობსერვატორია ერევანთან; საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, რომელმაც 1937 წელს დაიწყო მუშაობა აბასთუმნის მახლობლად, ყანობილის მთაზე, როგორც პირველმა საბჭოთა კავშირში მთის ასტროფიზიკურმა ობსერვატორიამ.

სულ მალე კავკასიონის ჩრდილოეთ კალთებზე, ზელენჩუკის მიდამოებში, 2200 მეტრის სიმაღლეზე მოეწყობა ახალი ასტროფიზიკური ობსერვატორია, სადაც სხვა ტელესკოპებთან ერთად დაიდგება უდიდესი მსოფლიოში, 6-მეტრიანი სარკის მქონე ტელესკოპი.

საზღვარგარეთის ობსერვატორიებიდან პირველ რიგში აღსანიშნავია—უკვე დასახლებული გრინვიჩის ობსერვატორიის გარდა—მთის ასტროფიზიკური ობსერვატორიები კალიფორნიაში: პალომარის მთაზე, სადაც დგას მსოფლიოში ჯერჯერობით უდიდესი ტელესკოპი—5-მეტრიანი სარკის მქონე რეფლექტორი; უილ-

სონის მთასა და ჰამილტონის მთაზე (ე. წ. ლიკის ობსერვატორია). სამივე ეს ობსერვატორია განთქმულია უძველესი ტელესკოპებით, რომლებიც იქ გამოიყენება, და დაკვირვებისათვის ერთობ ხელსაყრელი კლიმატური პირობებით, რაც გამოიხატება მოწმენდილ ღლეთა და ღამეთა დიდ რაოდენობაში, ატმოსფეროს მაღალ გამჭვირვალობასა და მის მდგრად სიმშვიდეში; ამ თვისებებს დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე მეთოდებით წარმოებულ ასტრონომიულ დაკვირვებათა ნაყოფიერების თვალსაზრისით.

დედამიწა რომორც 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 მტიცი.—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 მოსახერხებელი.

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.

დედამიწის რადიუსის გაზომვა. ტრიანგულაცია. დედამიწის საერთო სფეროსებრ ფორმას მთელი რიგი დაკვირვებული მოვლენები მოწმობს, სახელდობრ—ხილული პორიზონტის წრიულობა და მისი სიშორის ზრდა დამკვირვებლის სიმაღლის ზრდასთან ერთად; ჩვენგან მიმავალი გემის თანდათანობითი თითქოს „ჩაძირვა“ ზღვაში, სინამდვილეში—მისი მოფარება ხილული პორიზონტის ქვეშ ანუ დედამიწის ამობურთულობის უკან; შორეული მთის მწვერვალების განათება მზის სხივებით მზის პორიზონტზე ამოსვლამდე (ან პორიზონტის 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 კუმპარიტი 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 შევამოწმოთ ეს?

განვიხილოთ 150-ე ნახაზი, რომელიც დედამიწას გამოხატავს. AB მერიდიანის რკალია. ამ რკალის სიგრძე, ხაზოვან ერთეულებში გამოხატული, აღენიშნოთ s -ით, დედამიწის რადიუსი— R -ით, ხოლო A და B წერტილების განედები— ψ_1 და ψ_2 -ით, შესაბამისად. ადვილი მისახვედრია შემდეგი თანაფარდობა:

$$2 \pi R : s = 360^\circ : (\psi_1 - \psi_2)^\circ$$

ანუ

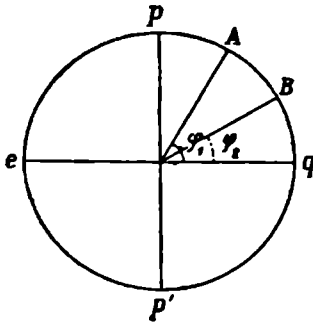
$$R = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{s}{\psi_1 - \psi_2}$$

უკანასკნელ ფორმულაში შემავალი ფარდობა $\frac{s}{\psi_1 - \psi_2}$ წარმოადგენს მერი-

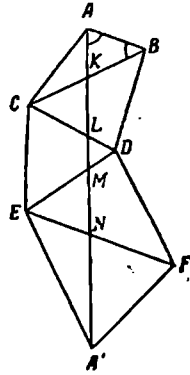
დიანის 1° -იანი რკალის სიგრძეს. დედამიწა რომ ნამდვილად სფერო ყოფილიყო, ე. ი. R —ყველგან უცვლელი მნიშვნელობისა, მაშინ ეს ფარდობა თანატოლი იქნებოდა, სადაც არ უნდა გადავეზომა მერიდიანზე s რკალი. იმისათვის, რომ გამოვარკვიოთ R -ის სიდიდე, უნდა გავზომოთ, ჯერ ერთი, აღებული მერიდიანული რკალის ხაზოვანი სიგრძე და, მეორეც,—რკალის კიდური წერტილების განედები და გამოვთვალოთ მათი სხვაობა.

მერიდიანის რკალის სიგრძის უშუალო გაზომვა ძნელია, მეტადრე, თუ აღებულია ცოტად თუ ბევრად გრძელი რკალი, რომელიც მთებსა და ტყეებს, მდინარეებს, ჭაობებსა და ზღვებს გადაკვეთს. ამ სიძნელის თავიდან ასაცილებლად მიმართავენ ე. წ. ტრიანგულაციის ხერხს, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ გასაზომი რკალის ორივე მხარეს, როგორც ლერძის გასწვრივ, მთელ რიგ წარმოსახვით სამკუთხედებს აგებენ კუთხმზომი იარაღების საშუალებით. ამ იარაღებს დგამენ სათანადოდ შერჩეულ და განლაგებულ წერტილებში აღმართულ სექტებზე, პირამიდულ კოშკურებზე ან სხვა ნაგებობებზე. სექტებს ან კოშკებს შორის მანძილები (ე. ი. სამკუთხედების გვერდები) ჩვეულებრივ 20—30 კმ-ია. კუთხმზომი იარაღებით განსაზღვრავენ კოშკურების მიმართულებათა შორის კუთხეებს; ორ გამოსავალ კოშკურას შორის ზუსტად გაზომივენ ხაზოვან მანძილს, რომელსაც ბაზისს უწოდებენ. (151-ე ნახაზზე AB). თუმცა ბაზისის განსაზღვრა დიდ სიზუსტესა და შესრულების სიფაქიზეს მოითხოვს, 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 ერთმეორეს ემიჯნება და მერიდიანის რკალს. თავის ბაღეში მოიქცევენ (ნახ. 151). მერიდიანის რკალის სიგრძე AA' გამოითვლება თანმიმდევარი სამკუთხედების ტრიგონომეტრიული ამოხსნით. ამგვარი გაზომვები მრავლად უწარმოებიათ უკანასკნელი ორი-სამი საუკუნის განმავლობაში და ახლაც აწარმოებენ სხვადასხვა სახელმწიფოში. გიგანტური რკალების სიგრძეა გაზომილი საბჭოთა კავშირის ვრცელ ტერიტორიაზე. ჯერ კიდევ 100—140 წლის წინათ პულკოვის ობსერვა-

ტორიის ასტრონომების მეთაურობით გაზომილ იქნა 25° -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 თითქმის ოდე-



ნახ. 150.



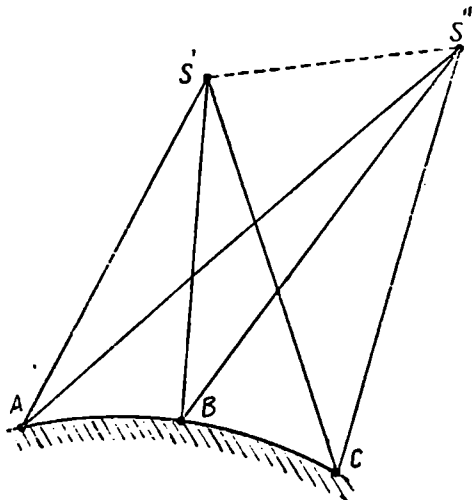
ნახ. 151.

სამდე გაჭიმული 13° -იანი რკალის სიგრძე და გარდა ამისა — ურალზე გამავალი რამდენიმე ათეული გრადუსის მქონე პარალელის უზარმაზარი რკალი, რომელიც საბჭოთა კავშირის მთელ ევროპულ ტერიტორიას ჰკვეთს.

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 მდებარეობა.

პრაქტიკულად, სინქრონულ დაკვირვებებს მოძრავ თანამგზავრზე აწარმოებენ მრავალ მომენტში და ამით C პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის საშუალებას ზრდიან. მართლაც, ასეთ შემთხვევაში ამოცანა დაიყვანება ცნობილ წერტი-

ლებში (S' , S'' , $S''' \dots S^n$) გამავალი და ცნობილი დახრის კუთხეების ($S'CS''$, $S'CS''' \dots S'CS^n$) მქონე წრფეთა გადაკვეთის უაღბათესი წერტილის განსაზღვრამდე. ძირითადი ამ მეთოდში დაკვირვებათა სინქრონულობაა. რამდენადაც ხელოვნური თანამგზავრის სინქარე, საშუალოდ იმ სიმაღლეებზე, რომლებზეც ისინი სრბოლავენ გეოდეზიური მიზნებით, დაახლოებით 10 მეტრია



ნახ. 152.

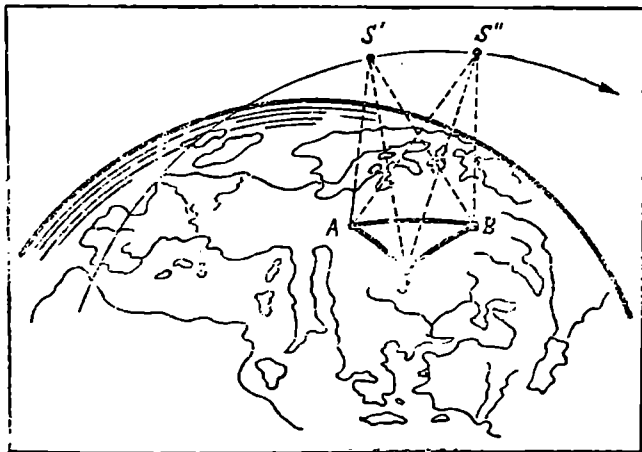
წამის შეათასებებში, ხოლო გეოგრაფიული პუნქტის განსაზღვრის სიზუსტე (გეოდეზიის მიზნებისათვის) რამდენიმე ათეული მეტრი უნდა იყოს, ამდენად სინქრონისაციის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს წამის რამდენიმე შეათასებს.

იმისათვის, რომ მივაღწიოთ ასე მაღალი სიზუსტის სინქრონულობას, დაკვირვებებს ახდენენ ფოტოგრაფიული საშუალებით და დროის გარკვეულ შუალედში დაკვირვებებში 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 ამერიკელი გეოდეზიური ხელოვნური თანამგზავრი აღქურვილი 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 უთუოდ სინქრონულიც იქნებოდა.

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 კოლომეტრით და მეტადაც არიან ერთმეორეს 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 ვადაადგილება 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 სენსიცი 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 თავთავის ადგილას გავეცნობით.

✓ **დედამიწის ჰემსფერული ფიგურა.** მისი სიდიდე და შეკუმშულობა. (უკვე გრადუსული გაზომვების შედეგად გამოირკვა, რომ მხოლოდ პირობით შეგვიძლია მივაკუთვნოთ დედამიწას სფერული ფორმა, როგორც ერთგვარი მიახლოება. მისი ჰემსფერული 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 სიგრძე 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“.

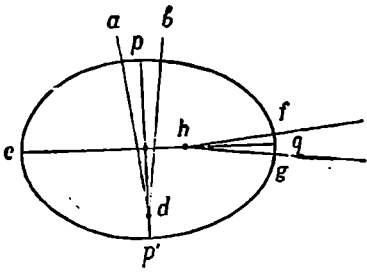
მაშასადამე, მერიდიანები სინამდვილეში წრეებს კი არ წარმოადგენენ, არამედ ელიფსებს.

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 fhg), ab რკალის სიგრძე აღემატება fg -ს სიგრძეს.

მკითხველმა დამატებით გაარჩიოს 155-ე ნახ. აქაც მხედველობაში მისაღებია 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° -ით (ე. ი. პოლარულმა ვარსკვლავმა თავისი სიმაღლე პორიზონტიდან 1° -ით შეიცვალოს), პირველ შემთხვევაში მეტი მანძილის დაფარვა დაგვჭირდება (დაახლოებით 1 კმ-ით მეტის), ვიდრე მეორეში.

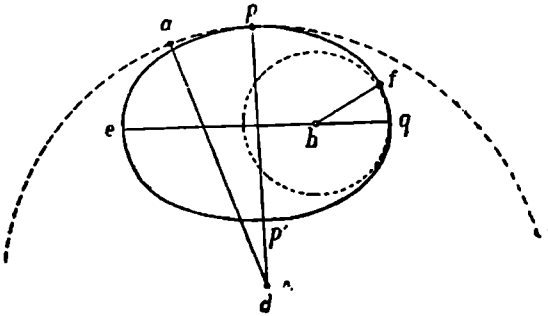
მაშასადამე, დედამიწა ზუსტად სფერო კი არაა, არამედ ერთგვარადაა შეკუმშული ანუ შებრტყელებული მისი ბრუნვის ღერძის მიმართულებით; პოლუსისაკენ მიმართული მისი რადიუსი უფრო მოკლეა, ვიდრე ეკვატორის. სიმრტყეში მდებარე რადიუსი. სხვა სიტყვებით, დედამიწა თავისი მოყვანილობით უფრო მეტად ბრუნვის ელიფსოიდს უახლოვდება, ვიდრე სფეროს. ბრუნვის



ნახ. 154.

მაშასადამე, დედამიწა ზუსტად სფერო კი არაა, არამედ ერთგვარადაა შეკუმშული ანუ შებრტყელებული მისი ბრუნვის ღერძის მიმართულებით; პოლუსისაკენ მიმართული მისი რადიუსი უფრო მოკლეა, ვიდრე ეკვატორის. სიმრტყეში მდებარე რადიუსი. სხვა სიტყვებით, დედამიწა თავისი მოყვანილობით უფრო მეტად ბრუნვის ელიფსოიდს უახლოვდება, ვიდრე სფეროს. ბრუნვის

ნისაკენ მიმართული მისი რადიუსი უფრო მოკლეა, ვიდრე ეკვატორის. სიმრტყეში მდებარე რადიუსი. სხვა სიტყვებით, დედამიწა თავისი მოყვანილობით უფრო მეტად ბრუნვის ელიფსოიდს უახლოვდება, ვიდრე სფეროს. ბრუნვის

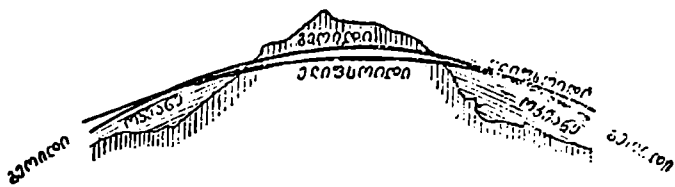


ნახ. 155.

ელიფსოიდი მიიღება ელიფსის ბრუნვით [მისი მცირე ღერძის ირგვლივ. დედამიწის ყველა მერიდიანი ელიფსია, ხოლო პარალელი — წრეწირა.

საკითხის უფრო სრულად შესწავლამ გამოარკვია, რომ დედამიწის კეზმარტი ფიგურას ვერც ბრუნვის ელიფსოიდი გამოხატავს. დედამიწის ფიგურა ე. წ. გეოიდიით გამოიხატება.

გეოიდი ფიგურაა, რომელსაც ქმნის წყლის საშუალო დონე ზღვა-ოკეანე-ებში და მატერიკზე გამავალ მათ შემაერთებელ არხებში (ნახ. 156). გეოიდის ზედაპირია 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 დღევა, დინებანი, 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; პირაქით, — 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 ალავ-ალავ 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

კრასოვსკისეულ ელემენტებს. აქამდე ფართოდ იხმარებოდა ბესელისეული ელემენტები, გერმანელი ასტრონომის ბესელის მიერ გამოთვლილი ტრინანგულაციის მონაცემების მიხედვით ჯერ კიდევ გასული საუკუნის პირველ ნახევარში. მათი მნიშვნელობებია, შესაბამისად: 6356.1. 6377.4 და $\frac{1}{299.4}$.

გამოვალთ რა კრასოვსკისეული ელემენტებიდან, მივიღებთ, რომ დედამიწის ეკვატორის სიგრძე, φ ი. დედამიწის გარშემოწერილობა ეკვატორის გასწვრივ არის 40075.696 კმ;

დედამიწის ზედაპირის ფართობი—დაახლოებით, $510 \cdot 10^6$ კმ²;

დედამიწის მოცულობა—დაახლოებით, $108 \cdot 10^9$ კმ³ ანუ $1.083 \cdot 10^{27}$ სმ³.

ამჟამად დედამიწის ფიგურისა და მისი სიდიდის, ასევე მასისა და სიმკვრივის 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 თავისებურებანიც. მაგალითად, ის, რომ დედამიწის ეკვატორი უფრო ელიფსს უახლოვდება, ვიდრე წრეწირს, რომ ჩრდილოეთი და სამხრეთ ნახევარსფეროები არასიმეტრიულია, ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ მიმართული რადიუსი ოდნავ უფრო გრძელია, ვიდრე მისი მოპირდაპირე. ამგვარი საკითხები ამჟამად კოსმოსური გეოდეზიის შესწავლის საგანს წარმოადგენს,

სიმძიმის ძალის ცვლილება დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ. მექანიკიდან ცნობილია, რომ ქანქარის რხევის T ნახევარპერიოდი შემდეგ დამოკიდებულებაშია 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 ასტრონომებმა შენიშნეს, რომ საათმა, რომელიც პარიზიდან (განედი 49°) გადაიტანეს ეკვატორის მახლობლობაში (განედი 5°), ჩამორჩენა იწყო, ე. ი. T გახანგრძლივდა. რამდენადაც ტემპერატურის ცვლილების გავლენა შემოწმებული და გამორიცხულ იქნა, დარჩა ერთი დასკვნა: ეკვატორისაკენ გადასვლისას სიმძიმის ძალა კლებულობს*.

ცოტა უფრო გვიან პრაქტიკული დაკვირვების ეს ფაქტი თეორიულად დასაბუთა ნიუტონმა, რომელმაც გამოიკვლია დედამიწის ფიგურის მისივე ბრუნვასთან კავშირის საკითხი. თეორიულად შესაძლებელიც აღმოჩნდა სიმძიმის ძალის რიცხობრივი მნიშვნელობის გამოთვლა, მაგალითად, ისეთი „მიუწვდომელი“ პუნქტისათვის როგორცაა დედამიწის პოლუსი, 1937 წელს, როცა მოეწყო საბჭოთა სამეც-

* იმასათვის, რომ წარმოვიდგინოთ, თუ რამდენად საგრძნობია სიმძიმის ანუ წონის კლება, მაგალითად მოვიყვანოთ ის, რომ საშუალო ზომის საოკეანო გემი პოლუსიდან ეკვატორის ზონაში გადაადგილების დროს რამდენიმე ათეული ტონით მსუბუქდება; აღმიაანი—100-150 ტონით.

ნიერო ექსპედიცია ჩრდილოეთ პოლუსზე, ე. ფედოროვმა უშეულოდ 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.

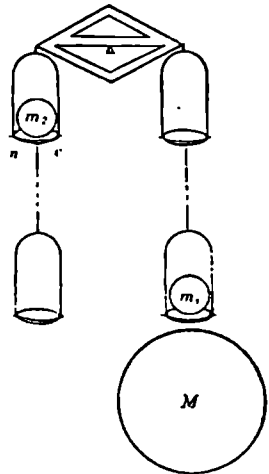
დედამიწის ფიგურის შებრტყელების დეტალური რაოდენობრივი შესწავლა მრავალნაირი მეთოდებით გრძელდება და ვითარდება. კერძოდ, უკანასკნელ წლებში ერთობ ეფექტურად გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც ემყარება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დაკვირვებებს, როგორც ეს ზემოთაც აღვნიშნეთ. მათმა გამოყენებამ მეცნიერებას სულ ახალი ფაქტებიც მოუპოვა, მაგალითად,—დედამიწის ფიგურის ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროების არასიმეტრიულობა და სხვ.

✓ დედამიწის მასა და სიმკვრივე. ცნობილია დედამიწის მასის განსაზღვრის რამდენიმე ხერხი. ერთ-ერთი მათგანი წმინდა პრაქტიკულია და შემდეგში მდგომარეობს. მიემართოთ ზუსტ სასწორს, რომელსაც ორივე მხარეზე ორ-ორი თევში ჰკიდია: ქვედა და ზედა (ნახ. 157); ქვედა საკმარისად დაშორებულია ზედას. მარჯვენა ქვედა და მარცხენა ზედა თევშებზე მოვათავსოთ რაიმე სიმძიმე (მასა),—მაგალითად, სამკილოგრაშიანი ლითონის ბურთები— m_1 და m_2 . ნიუტონის ცნობილი კანონის მიხედვით, ორ საგანს შორის მიზიდულობა მათი მასების ნამრავლის პროპორციული და მათ შორის მანძილის კუადრატის უკუპროპორციულია.

რაკი m_1 უფრო ახლოა დედამიწასთან, წონასწორობა იმ შემთხვევაში დამყარდება, თუ მარცხენა ზედა თევშზე m_2 -თან შემოვლებთ სათანადო მცირე c მასას. ახლა თუ მარჯვენა თევშებს ქვეშ მოვათავსებთ რაიმე დიდს, მძიმე რ—8 ტონიან M სხეულს (მასას), ეს სხეული შეღებრებით 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 თევშები კვლავ გაწონასწორდეს, საჭიროა შემოვლოთ მარცხენა თევშზე რაღაც გამაწონასწორებელი n მასა. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დედამიწის-მიერი მიზიდულობა n მასისა აწონასწორებს M სხეულის მიერ მიზიდულობას m_1 მასისა.

ნიუტონის კანონის მიხედვით M და m_1 მასებს შორის მიზიდულობა გამოიხატება სიდიდით:

$$k^2 \frac{M m_1}{d_1^2},$$



ნახ. 157.

სადაც d_1 არის მანძილი M და m_1 -ს შორის. ამავე დროს დედამიწისმიერი მიზნულობა n -ის 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 სასწორით; 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 ან $6 \cdot 10^{21}$ ტონას.

დედამიწის მოცულობის ზემომოყვანილ მნიშვნელობას თუ გაეთვალისწინებთ, დედამიწის საშუალო სიმკვრივისათვის მივიღებთ მნიშვნელობას: 5.5 გრ/სმ³-ში ან უბრალოდ, 5.5 წყალთან შედარებით.

დედამიწის შინაგანი აგებულება. დედამიწის ქერქის სიმკვრივის უშუალო გაზომვები გვიჩვენებს, რომ ზედაპირულ ნაწილში დედამიწა ორჯერ მანძი 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.

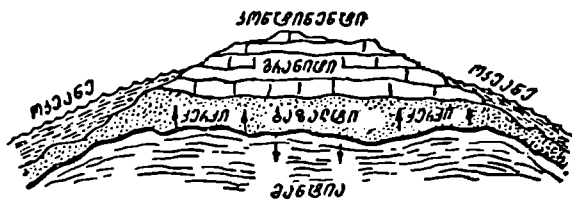
სიმკვრივის ზრდა სიღრმეზე გამოწვეულია როგორც ნივთიერების ქიმიური შედგენილობის განსხვავებით, ისე და უმთავრესად ზედაფენების დიდი დაწოლით შიგა ფენებზე, რის შედეგადაც ნივთიერება იწმენება, მკვრივდება.

ვულკანების ამოფრქვევები, ცხელი წყაროები და სხვა მოვლენები მოწმობს, რომ დედამიწის წიაღში გამეფებულია მაღალი ტემპერატურა. უშუალო გაზომვებიც, რომლებიც წარმოებს ვერტიკალურ შახტებში, ამას ამტკიცებს. 30 მეტრის სიღრმედან დაწყებული, ტემპერატურა 3°-ით იზრდება სიღრმის ყოველ 100 მეტრით მომატებისას. როგორც ირკვევა, დედამიწის ღრმა წიაღში—ცენტრის ახლო—ტემპერატურა 2000° უნდა აღწევდეს. ასეთი მაღალი ტემპერატურის გამომწვევ მიზეზად უნდა ჩათვალოს მეტწილად იმ რადიოაქტიური ნივთიერების დაშლა, რომელიც დედამიწის შედგენილობაშია.

აღნიშნული მაღალი ტემპერატურის პირობებში ყოველი ნივთიერება თხევად და გაზოვან მდგომარეობაში უნდა იყოს. ამავე დროს სეისმური ტალღების

გაერცელების შესწავლის შედეგები მიუთითებს, რომ დელამიწის ცენტრში ნივთიერება მყარ მდგომარეობაშია. ასეთი, ერთი შეხედვით პარადოქსული, გარემოება შეიძლება აიხსნას იმ ძლიერი წნევით, რომელსაც განიცდის ნივთიერება დელამიწის ღრმა წილში.

თანამედროვე წარმოდგენებით, დელამიწა, როგორც მთლიანი პლანეტა, სქემატურად შემდეგნაირად არის აგებული:



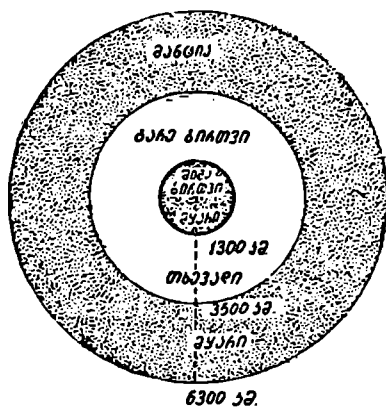
ნახ. 158.

ა) გარე ფენა ანუ ქერქი, ძირითადად ნალექი ქანებისაგან, გრანიტისა და ბაზალტისაგან შედგენილი (ნახ. 158 და 159);

ბ) დელამიწის „მანტია“ ანუ გარსი, რომლის ქვედა შემომსაზღვრელი ზედაპირი დაახლოებით 3000 კმ-ის სიღრმეზეა და მყარი სხეულის თვისებების მქონეა;

გ) დელამიწის ბირთვი, რომლის გარე ნაწილი შეიძლება თხევადი იყოს, შიგა კი (5000 კმ-ის სიღრმიდან) მყარი სხეულის თვისებებს ატარებს.

ზემოთ მოყვანილ სქემას აქვია მისი განუყრელი ატმოსფერული გარსი, რომელიც დელამიწას გარედან აკრავს და თავისი აგრეგატული მდგომარეობით (გაზი) მკვეთრად განსხვავდება საკუთრივ დელამიწისაგან.

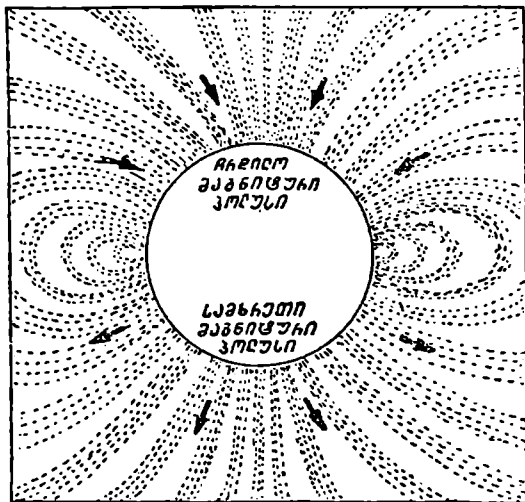


ნახ. 159.

როგორც ცნობილია, დელამიწის გარშემო არსებობს მაგნიტური ველი. ეს არ არის მარტო დელამიწის მახასიათებელი თვისება. მზის ლაქების არეებში თავს იჩენს ძლიერი მაგნიტური ველები. თუპიტერი და სხვა ციოპილებიც „ჩაძირულია“ მაგნიტურ ველში და, როგორც უკანასკნელ წლებში გამოირკვა, ზოგი ვარსკვლავი და ვარსკვლავთშორის სივრცეში თავმოყრილი კოსმოსური ნივთიერება გარემოცულია სხვადასხვა სიმძლავრის მაგნიტური ველებით. ამგვარად, მაგნიტური ველი ერთობ გაერცელებული მოვლენაა სამყაროში.

დელამიწის მაგნიტური ველის არსებობა და მასში მაგნიტური ძალხაზების განაწილება (იხ. ნახ. 160) ქმნის იმის საშუალებას, რომ გამოვიყენოთ ე. წ. ყიბლანი ანუ კომპასი ჩრდილოეთის მიმართულების დასადგენად. ნებისმიერ აღ-

გილას სრულიად თავისუფლად დაკიდებული ყიბლანის ისარი უჩვენებს დედამიწის მაგნიტური ველის მიმართულებას აღებულ წერტილში. იქ, სადაც ეს ისარი ვერტიკალურ მიმართულებას დაიჭერს, მაგნიტური პოლუსი იქნება. მაგნიტური



ნახ. 160.

პოლუსი ჩრდილოეთ გეოგრაფიულ პოლუსს არ თანხვდება, იგი მოთავსებულია კანადის ჩრდილოეთ ნაწილში, ჰუდსონის ყურეში.

დედამიწის ატმოსფერო. დედამიწის გარემომცველი ატმოსფერული გარსის ქვედა საზღვარს დედამიწის ზედაპირი წარმოადგენს. მისი ზედა საზღვრის ზუსტად გამოყოფა შეუძლებელია, ვერ 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 დაკვირვებამ და მათი მოძრაობის ანალიზმა გამოარკვია, ატმოსფეროს სიმაღლე პერიოდულად იცვლება: ატმოსფერული გარსი შენაცვლებით ხან ფართოვდება, ხან იკუმშება. ატმოსფეროს ასეთი თითქოს „სუნთქვა“ განპირობებულია მასზე შზის გამოსხივების ზემოქმედებით. ხელოვნური თანამგზავრების შესწავლით 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 სმ²-ზე მოდის საშუალოდ 1 კგ დაწოლა.

როგორც ზემოთ ვნახეთ, დედამიწის ფართობი ტოლია $51 \cdot 10^7$ კმ² = $5 \cdot 10^{18}$ სმ², ე. ი. მთელი ატმოსფეროს მასა არის $5 \cdot 10^{18}$ კგ ანუ $5 \cdot 10^{21}$ გრ.

ეს დედამიწის მასის დაახლოებით ერთი მეშვილიონედია.

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.

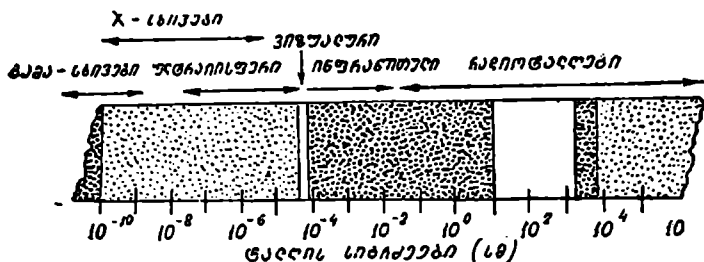
ატმოსფეროს შედგენილობის რაოდენობით უმნიშვნელოს, მაგრამ თვისებით ერთობ მნიშვნელოვან ელემენტს წარმოადგენს ე. წ. ოზონი. იგი გვხვდება უმთავრესად 30—40 კილომეტრის სიმაღლეზე და ის თვისება აქვს, რომ ზოგ სხვა მოლეკულებთან ერთად შთანთქავს მზის გამოსხივების მოკლევალდინ ე. წ. ულტრაიისფერ ნაწილს. ამავ დროს კი მზის 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, თვისობრივად 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 ენერჯიის ნაკადს წარმოადგენს, მოიცავს მრავალნაირი სახის სხივებს: ხილული „სინათლის“ სხივებთან ერთად მასშია ჩვენთვის უხილავი ინფრაწითელი და ულტრაიისფერი, რენტგენისული, გამა-სხივები და რადიოგამოსხივებაც კი.

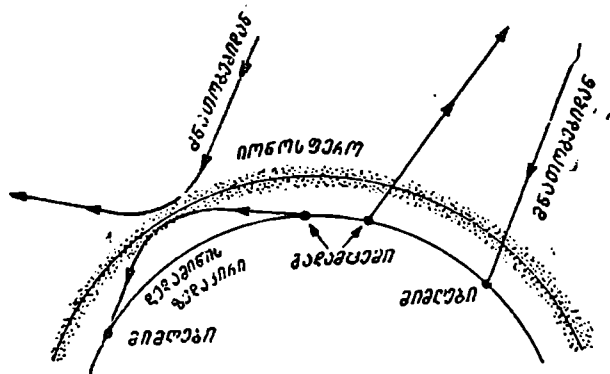
161-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სქემატურად, ზოლის სახით მზის (ვარსკვლავების) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ე. წ. სპექტრი, სხვა სიტყვებით, — მთელი მისი რთული შედგენილობა. ზოლის ზევიდან ნაჩვენებია გამოსხივების ესა თუ ის სახეობა, ესა თუ ის მდგენელი. ქვემოდან მიწერილია სათანადო ტალღის სიგრძეების მნიშვნელობები. 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 ორა ნაწილს ისათვის არის გამკვირვალე, მხოლოდ ამ ორ უბანში გამოატარებს გამოსხივებას როგორც

ფილტრში ან „სარკმელში“, ხოლო მეტნაწილად ატმოსფერო გაუმჟებრებელ რეზა-
ციის სხეულთა გამოსხივებისათვის. განსაკუთრებით ვიწრო ყოფილა ის „სარკ-
მელი“, რომელშიც თვალთ ვეუყურებთ ან ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე აღუ-
ბეჭდავთ გარე სამყაროს მოვლენებს. „რადიო-სარკმელი“ უფრო ფართოა, მაგ-
რამ იგი მხოლოდ რადიოტელესკოპებისათვის გამოიყენება. საერთოდ, როგორც



ნახ. 161.

ვხედავთ, ატმოსფერო ძალიან ძუნწად გამოატარებს ინფორმაციას, რომელიც
გარე სამყაროს სხეულებზე ჩვენთან მათ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას მო-
აქვს. რადიოტალღებშიც მხოლოდ გარკვეული დიაპაზონის ტალღების გამოსხი-
ვებისთვისაა ატმოსფერო გამჟებრებელი. ასე რომ არ ყოფილიყო, ძალიან პრო-
ბლემატური იქნებოდა რადიოგადაცემები დედამიწის ზედაპირზე. როგორც ყო-
ველგვარი ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რადიოგამოსხივებაც წრფეწირულად
ვრცელდება და თუ მაინც შეგვიძლია რადიოგადაცემა ჩვენი ანტიპოდებისაგან
მოვისმინოთ ან მათთვის ვეწარმოოთ, ეს იმის წყალობით, რომ ვაღამცემი



ნახ. 162.

სადგურიდან გასხივებული რადიოტალღები იონოსფეროს ანუ ატმოსფეროს ერთ-
ერთი ფენიდან (იხ. ქვემოთ) აირეკლება, შემდგომ—ეკლავ დედამიწის ზედაპირი-
დან და ა. შ., სანამ მიძღვრს 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 მგაძნობიარეა მზის გამო-სხივებისადმი და სწრაფად იცვლება იმისდა მიხედვით, თუ რა პროცესები ვითარდება მზეზე. ამის მიხედვით ცვალებადია ის „შემფოთებებიც“ რადიოტალ-ლების გავრცელებაში, რომლებსაც ხშირად განიცდის რადიომიმღები სადგურ-ები. ეს გარემოება აკავშირებს რადიოგადაცემის პრაქტიკულ საქმეს მზის პრო-ცესების შესწავლასთან.

ატმოსფეროს აღნიშნული თვისება—არ გამოატაროს დედამიწის ზედაპირზე მყოფ დამკვირვებლამდე მნათობთა გამოსხივების ფართო სპექტრის ნაკადი—აძნელებს გარე სამყაროს შესწავლას. დაკვირვება ატმოსფეროს გარედან დედა-მიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე მორგებული აპარატურით, ზონდებით, საპლა-ნეტათმორისო ავტომატური სადგურებიდან და კოსმოსური ხომალდებიდან შეუ-დარებლად უფრო მდიდარ ინფორმაციას აწვდის მეცნიერებს. ამიტომაც კოსმო-სური სივრცის ტექნიკური ათვისება არა მარტო გამოხატავს მეცნიერების მაღალ დონეს, არამედ ფართო პერსპექტივებსაც შლის ჩვენს წინ მეცნიერების შემდგომი, უფრო ღრმა და სწრაფი განვითარებისათვის.

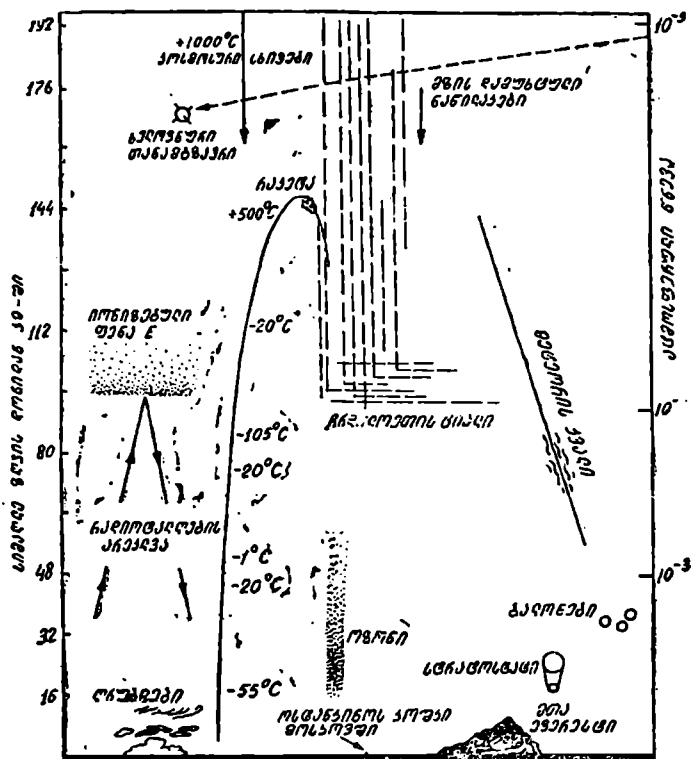
დედამიწის ატმოსფეროს ფენობრივი აგებულება აქვს და ეს მკვეთრად მო-ჩანს, კერძოდ, ტემპერატურის განაწილებაზე მისი სიმაღლის გასწვრივ. გამოარ-ჩევენ 3 ძირითად ფენას: ა) ტროპოსფერო—ფენა საშუალოდ 10—12 კმ-ის სიმაღლემდე, რომელშიც ვითარდება ამინდის მოვლენები, ხოლო ტემპერატურა მონოტონურად კლებულობს სიმაღლის ზრდასთან ერთად; ბ) სტრატოსფე-რო—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 განიც-დის, მასზე მოქმედებს ე. წ. კოსმოსური სხივებიც, მასში თავისუფლად შეიჭრება მეტეორები; ყველაფერი ეს დიდად ცვლის იონოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეო-ბას, შლის მასში შემავალი მოლეკულებს ატომებად, იწვევს ატომების იონიზაციას ანუ ელექტრონების გათიშვას მათგან. იონოსფეროში ჩნდება ე. წ. პოლარი-ული ციალი ანუ მოვლენა, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ მზისგან გამოფრქვეული კორპუსკულური ნაკადები იწვევს იონოსფეროს გაზების ნა-თებას.

163-ე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწის ატმოსფეროს უფრო დეტალური აგებულება. ვერტიკალური ღერძი მარცხნიდან სიმაღლეს გამოხატავს, ხოლო მარჯვნიდან ატმოსფეროს წნევას.

ნახაზის ზედა კიდულზე მოთავსებულია ეკზოსფერო. ეს არის ფენა, საი-დანაც ატმოსფეროს გაზების მოლეკულებს შეუძლიათ გაიჭრნენ კოსმოსის სივრ-ცეში. ამ ფენაში ჰაერი მეტად გაიშვიათებულია და მოლეკულების, მეტადრე—მსუბუქი გაზების (წყალბადი, ჰელიუმი) მოლეკულების, სიჩქარეები დიდა (ამას; იქ არსებული მაღალი ტემპერატურაც—10 00°-მდე და მეტიც—უწყობს ხელს)

აღწევს რა სიჩქარეს 11—12 კმ სეკუნდში, მოლეკულა სრულიად მოწყდება დედამიწას და გაიქრება ვარე სივრცეში.

არა მარტო ღრუბლების მოძრაობის შესწავლა ტროპოსფეროში, არამედ აგრეთვე მეტეორების ნაკვალევის დაკვირვება 80—120 კმ-ის სიმაღლეზე და პოლარული ციალისა—100—1000 კმ-ის სიმაღლეზე, გვარწმუნებს, რომ ატმოსფეროს მთელ სიმაღლეზე, მის ყველა ფენაში ქრის ძლიერი ქარი. ანუ ხდება ატმოსფეროს მასების სწრაფი გადანაცვლება როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური მიმართულებით. გადანაცვლების სიჩქარეები 500 მეტრს აღწევს სეკუნდში.



ნახ. 163.

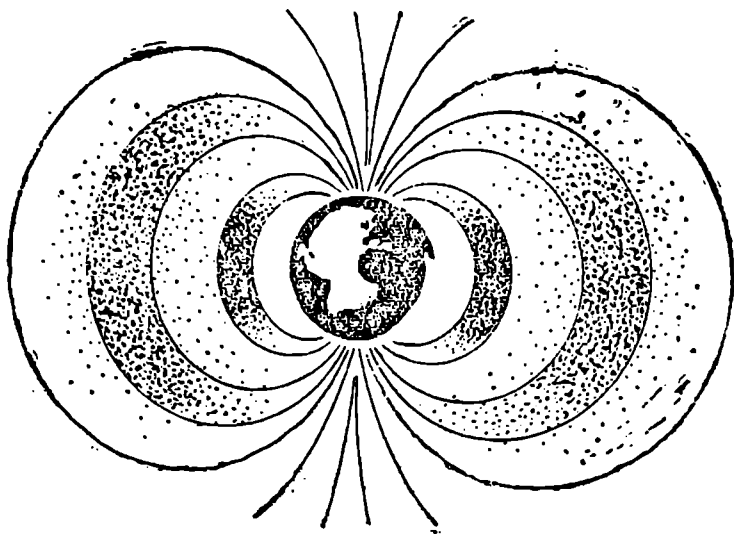
ლამით ცა საესებით „შავი“ როდია, მკრთალად, მაგრამ თითქოს ანათებს კიდევ. ამის მიზეზი ორგვარია. ჯერ ერთი, აქ ფარულად მოქმედებს იმ მკრთალი ვარსკვლავების სინათლე, რომელნიც თავისთავად ცალ-ცალკე არც ჩანან მათი სიმკრთალის გამო, მაგრამ ცის ფონს ერთგვარად ანათებენ. მეორეც, ადგილი აქვს თვით ატმოსფეროს ფიზიკურ ნათებას. მართლაც, ღღის საათებში ჰაერის მოლეკულები და ატომები (კერძოდ, აზოტის, ჟანგბადისა და სხვ.) შთანთქვენ მზის გამოსხივების ენერგიას. ლამით კი, ერთგვარი გადამუშავების შემდგომ, ისინი თვითონვე გამოსხივებენ მას. გამოსხივების ხასიათი, ინტენსივობა და სხვა

თვისებები განპირობებულია მით, თუ როგორია გამომსხივებელ ფენაში ნივთიერების შედგენილობა, გარემოს ტემპერატურა, იონიზაციის მდგომარეობა და სხვ. ამგვარად, ღამის ცის ნათების დაკვირვება და გამოკვლევა გვაწვდის ცნობებს დედამიწის ატმოსფეროს ზედაფენების ფიზიკური და ქიმიური ბუნების შესახებ.

ზემოთ გავვეცანით ატმოსფეროს ზემოქმედებას მასში შემოქრილ მნათობთა სხივებზე. ამ ზემოქმედებასთან არის დაკავშირებული ცის ფერი, ბინდის სინათლე, რეფრაქცია, ვარსკვლავის ციმციმი და, აგრეთვე, მზის ან მთვარის „გაწითლება“ პორიზონტის ახლო. ატმოსფეროში შემავალი მცირე ნაწილაკები, რომელთა საშუალო დიამეტრი 10^{-4} სმ-ზე ნაკლებია, ისე მოქმედებს სინათლის სხივზე, რომ მის მოკლელტალღიან (ლურჯ) ნაწილს თითქმის 16-ჯერ უფრო მეტად განაბნევს, ვიდრე გრძელტალღიანს (წითელს) და ეს იწვევს სხივის „გაწითლებას“. მაგრამ ატმოსფეროში შემავალი მყარი ნაწილაკები სხვადასხვა სიდიდისა და მრავლად არიან ისეთებიც, რომელთა საშუალო დიამეტრი 10^{-4} სმ-ზე მეტია, ასეთები კი ერთნაირად განაბნევენ ყველა ტალღის სიგრძის გამომსხივებას და, მასასადაამე, იწვევენ მნათობის სიკაშკაშის საერთო შესუსტებას.

ამიტომ არის, რომ ზენიტის ახლო ვარსკვლავი, როცა მისი სხივი უფრო მოკლე გზით გამოდის ატმოსფეროში (ნახ. 123), უფრო კაშკაშაა, ვიდრე პორიზონტთან, სადაც მისი გზა ატმოსფეროს გარსში დამკვირვებლის თვალამდე შესაძინებელ უფრო გრძელია. პორიზონტის 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, ამვე 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,—გარსები თითქმის კონცენტრულია (იხ. 164-ე ნახ ახზე მათი ჭრილი), მაგრამ რთული აგებულებისა; თითოეული გარსი საკუთარი სიმკვრივის მატარებელია, თუმცა მათი სიმკვრივეები, ისევე როგორც მათი ქვედა და ზედა საზღვრები მუდმივ ცვლილებას განიცდის. შიგა 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 ენერჯის 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 შეაჩიონ დედამიწიდან გარე კოსმოსში გასვლის შედარებით ნაკლებ სახიფათო ადგილები, მაგალითად, პოლუსის წერტილებში შეეული მიმართულება, როგორც ეს 16 4-ე ნახაზზე ჩანს.



ნახ. 164.

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 მზის ირგვლივ,
5. მოძრაობას გალაქტიკის სივრცეში მზესთან ერთად პერკულუსის თან-

ვარსკვლაველისაკენ და სხვ.

პირველი სამი სახის მოძრაობა განიხილება დედამიწის ცენტრის მიმართ, მეოთხე—მზის, ხოლო უკანასკნელი—გალაქტიკის ცენტრის მიმართ. გარდა აღნიშნულისა, დედამიწა მოძრაობს აგრეთვე გალაქტიკასთან ერთად.

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 დღე-ღამე 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 განსხვავ-

ბულ პარალელებზე მდებარე პუნქტების წრფივი სიჩქარეები მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო ახლოა ეს პუნქტები პოლუსთან, ე. ი. რაც უფრო მცირეა პა-

* ეს ასე უნდა გვესმოდეს: თუ დაეხედათ დედამიწას ჩრდილოეთ პოლუსიდან, ენახათ, რომ ბრუნვა ხდება საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

რალელები. სახელდობრ, თბილისის განელზე წრფივი სიჩქარე არის 370 მ/წმ, ლენინგრადის განელზე—250 მ/წმ. ზოგადი სახის ფორმულითაც შეიძლება გამოვხატოთ იგი ნებისმიერ განელზე:

$$v = p \cos \varphi = 0.5 \cdot \cos \varphi \text{ კმ/წმ,}$$

სადაც p სიჩქარეა ეკვატორზე, ხოლო φ —ადგილის განედი.

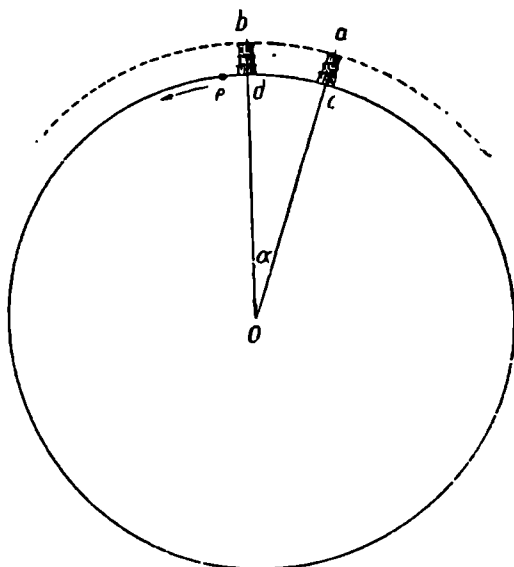
ზემოთ ცის დღელამური ბრუნვა აღმოსავლეთიდან დასავლეთით ჩვენ ავხსენით საკუთარი ღერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვით. მაგრამ, საერთოდ, ცის დღელამური ხილული მოვლენების ასახსნელად დასაშვებია ისიც, რომ დედამიწა კი არ ბრუნავს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, არამედ ცის სფერო ბრუნავს დედამიწის ირგვლივ, საწინააღმდეგო 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 რამდენიმე.)

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 იდია 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 კუთხეს, რომლის წვერო დედამიწის ცენტრში, O წერტილშია. cd დედამიწის ზედაპირზე აღებული რკალია, ab —კოშკისთავის სიმაღლეზე აღებული რკალი. დედამიწის ბრუნვისას კოშკისთავის სიმაღლეზე წრფივი სიჩქარე უფრო მეტია, ვიდრე კოშკის ფუძეზე ანუ დედამიწის ზედაპირზე.

კოშკისთავის a წერტილიდან ფრთხილად, ყოველგვარი ბიძგის გარეშე, ჩამოვადგოთ რაიმე საგანი—ქვა ან ლითონის ბურთი. სიმძიმის მოქმედებით იგი დაეშვება ქვემოთ, მაგრამ, ამავე დროს, ინერციის გამო იგი შეინარჩუნებს 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 მეტრის სიმაღლეზე 2 სანტიმეტრს თუ აღწევს, მაგრამ ფაქიზად დაყენებული ექსპერი-



ნახ. 165.

მენტი ამ გადახრას ამჟღავნებს და მისი ახსნა დედამიწის ბრუნვის ეფექტით სრულიად ლოგიკურია.

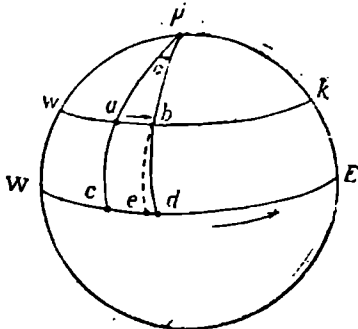
დედამიწის ბრუნვის მეორე მოწმობა შეგვიძლია ვიპოვოთ პასატების ციკლონებისა და ანტიციკლონების მოვლენებში. ჰაერის მასები, მას შემდეგ, რაც ეკვატორის ცხელ ზოლში თბება, მსუბუქდება, ზევით იწევს, და ღინებას იწყებს ჩრდილოეთით და სამხრეთით. მათ აღვიღს იკავებს ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან ეკვატორისაკენ მომდინარე ცივი და, მაშასადამე, უფრო მძიმე მასები. მაგრამ ეს მასები მერიდიანის მიმართულებას კი არ მიჰყვება, არამედ ერთგვარად გადაიხრება ამ მიმართულებიდან.

ვთქვათ, 166-ე ნახაზი დედამიწას წარმოადგენს. *P* ჩრდილოეთი პოლუსია, *WE*—ეკვატორი; *ახ* რომელიღაც ჩრდილოეთი პარალელია. რაიმე წერტილის წრფივი სიჩქარე *ახ* პარალელზე ნაკლებია, ვიდრე ეკვატორზე. თუ *a* წერტილიდან რაიმე ნაწილაკი ან, ჩვენს შემთხვევაში, ჰაერის მასა ღინებას იწყებს ეკვატორისაკენ, ინერციის გამო იგი ცდილობს შეინარჩუნოს ის სიჩქარე და მიმართულება, რაც *a* წერტილში ჰქონდა (*ახ* პარალელის შესაბამისი სიჩქარე). ვთქვათ, იმ მომენტისათვის, როცა იგი ეკვატორზე დაეშვა, დედამიწამ მოასწრო მობრუნება აღმოსავლეთით *α* კუთხით და მერიდიანმა, რომელზეც *a* მასა იყო, ახლა *ახd* მდებარეობა მიიღო. ჰაერის მასა ასრულებდა ორ მოძრაობას: ღინებანს ეკვატორისაკენ და—ინერციით—ბრუნვითს მოძრაობას აღმოსავლეთით, დედამიწასთან

ერთად. მაგრამ ამ უკანასკნელი მოძრაობის სიჩქარე ab სილიდისაა, რაც ce -ს ტოლია; ce ნაკლებია, ვიდრე cd . ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰაერის მასა კი არ გამოჰყვება ზუსტად მერიდიანს, არამედ გადაიხარა მოძრაობის მიმართულების მიმართ. დამკვირვებელის, 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.

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 ადვილად გასარჩევია, სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარები (გადახრა მარცხნივ).

ადვილი გასარჩევია ისიც, რომ, თუ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში დინება იქნებოდა ეკვატორიდან ჩრდილოეთით, დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული გადახრა კვლავ მარჯვნივ დარჩებოდა.



ნახ. 166.

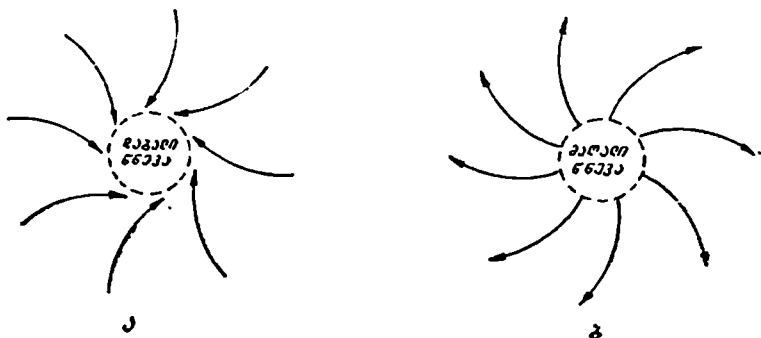


ნახ. 167.

როგორც ცნობილია, ამინდის ვითარებაზე დიდ გავლენას ახდენს ე. წ. ციკლონები და ანტიციკლონები. ციკლონი არის ისეთი ატმოსფერული არე, სადაც წნევა ნორმალურზე დაბალია; ციკლონის ცენტრში წნევის მინიმუმია. აქეთ-კენ, გაიშვიათებული ჰაერის არეში, მოისწრაფვის მეზობლად მდებარე უფრო მკვრივი ჰაერის მასებში. 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, რო-

გორც ეს ზემოაღწერილ მოვლენაშია. ამის შედეგად იქმნება სპირალური გრივალი, რომელშიც ქარი ციკლონის ცენტრის გარშემო საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით ქრის (ნახ. 168 ა).

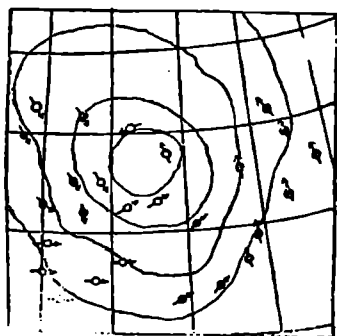
ანტიციკლონში ანუ მაღალი ატმოსფერული წნევის არეში, პირუკუ, — რაკი ცენტრში მაქსიმალური წნევაა, ჰაერის მასები იქიდან გარეთ გაიჭრება, მაგრამ არა რადიალურად, არამედ, დედამიწის ბრუნვის გამო, მიმართულებას მარჯვნივ გადახრით და იქმნება გრივალი, რომელშიც ქარი საათის ისრის მიმართულებით ქრის (იგივე ნახაზი, ბ).



ნახ. 168.

169-ე ნახაზზე გამოხატულია ამინდის ბიუროებში ხმარებული ე. წ. სინოპტიკური რუკის ნაწილი. ისრები უჩვენებს სხვადასხვა პუნქტში მქროლავი ქარის მიმართულებებს. ადვილი მისახვედრია, რომ რუკა ციკლონის მდებარეობას გამოხატავს.

მდინარის წყალი, რომელიც, მაგალითად, ჩრდილოეთიდან სამხრეთით მიედინება, გადადის იმ ადგილებში, სადაც დედამიწის ზედაპირზე სულ უფრო და უფრო მეტი წრფივი სიჩქარეა, აღმოსავლეთით მიმართული. ამიტომ, იმავე პირობებში, როგორც ეს ზემოთ ვნახეთ, წყალი სულ უფრო და უფრო უნდა ჩამორჩებოდეს მდინარის კალაპოტს და ასეველეთით (მომხრობის მარჯვნივ) და, მაშასადამე, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მდინარე მეტ დაწოლას უნდა ახდენდეს მის მარჯვენა ნაპირზე, რის შედეგად მარჯვენა ნაპირი უნდა ჩამოირეცხებოდეს.



ნახ. 169.

არამედ პარალელის გასწვრივ ან რაიმე სხვა მიმართულებით მიედინება. მაგრამ მერიდიანის მიმართულებით მდებარე მდინარის შემთხვევაში აღწერილი ეფექტი მაქსიმალურია.

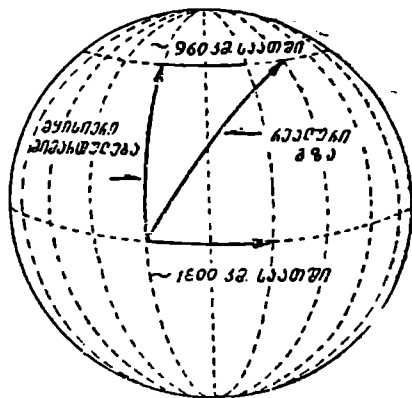
თუ მდინარე სამხრეთიდან ჩრდილოეთით მიედინება, ადვილი მოსაფიქრებელია, რომ კვლავ მარჯვენა, მაგრამ ახლა აღმოსავლეთი ნაპირის ჩამორეცხვა ხდება.

თუმცა აქ აღწერილი დაწოლა წყლის ნაწილაკებისა მდინარის ნაპირზე, მცირეა, ხანგრძლივი და განუწყვეტელი მოქმედების გამო ეს მაინც შესამჩნევ კვალს ტოვებს და მდინარის კალაპოტი სულ უფრო და უფრო მარჯვნივ გადადის (ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში). ამიტომ მდინარეებში მარჯვენა ნაპირები ამდლებული 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 სცევს, ვიდრე მარცხენას. ამის გამო ხდება რელსების წყვილის თანდათანობითი გაფართოება, რაც პერიოდულ შეკეთებას მოითხოვს.)

გასროლილი ჭურვის ან რაკეტის მოძრაობაც განიცდის ამგვარსავე გადახრას. 170-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მაგალითი: რაკეტას, რომელიც გასროლამდე გვეტორზე მდებარეობს, აქვს დედამიწის ბრუნვით განპირობებული ინერციული სიჩქარე დაახლოებით 1600 კმ/საათში; პუნქტი იმავე მერიდიანზე, სადაც რაკეტა უნდა დაეშვას (ე. ი. რაკეტის მიზანი) მაღალ განედზეა, სადაც დღელამური ბრუნვით განპირობებული წრფივი სიჩქარე, ვთქვათ, 960 კმ-ია საათში. მერიდიანულად გასროლილი რაკეტა მარჯვნივ გადაიხრება და მიზანს აღმოსავლეთით გაუსწრებს.

ყველა ეს მოვლენა, რომელიც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით და მის დამტკიცებას იძლევა, ცხადია, სამხრეთ ნახევარსფეროშიც იჩენს თავს, მაგრამ პირაქუ მიმდინარეობს: იქ გადახრა, როგორც ეს ადვილი გასარკვევია, მოძრაობის მიმართულების მარცხნივაა (გარჩიეთ ეს შემთხვევა და დარწმუნდით მტკიცების სისწორეში).

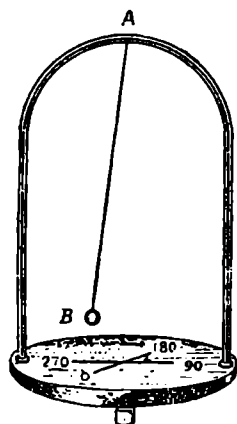


ნახ. 170.

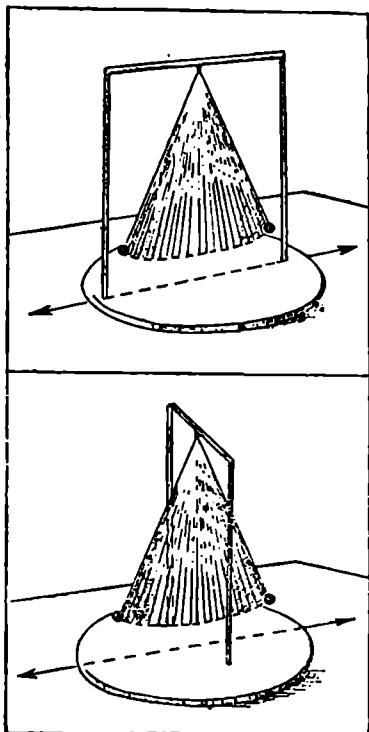
აქ აღწერილი მოვლენები ერთი საერთო სახელით—ბერის კანონითაა ცნობილი რუსი აკადემიკოსის კ. ბერის სახელის მიხედვით, რომელმაც ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში ყურადღება მიაქცია აღწერილ შედეგებს, როგორც ერთი მიზეზით გამოწვეულ მოვლენებს.

დედამიწის ბრუნვის თვალსაჩინო დამტკიცებას წარმოადგენს ქანქარას ქანაობის სიბრტყის ხილული გადახრა. გამოვებათ *A* წერტილში (ნახ. 171) თოკი და დაკიდოთ მასზე რაიმე *B* სიმძიმე. თუ *B*-ს უბიძგებთ რომელიმე მიმართულებით, ტვირთგამობელი თოკი ქანაობას დაიწყებს ვერტიკალურ სიბრტყეში, რომელიც თანხვედბა ბიძგის მიმართულებას და რომელშიც ამავე დროს *A*-ზე გამავალი შეველი მდებარეობს. ახლა ფრთხილად მოეპარუნოთ ჩარჩო, რომლის ზედა ნაწილზე ჰკიდია ქანქარა. ვნახავთ, რომ ქანაობის სიბრტყე მიმართულებას არ შეიცვლის, თოკი კი დაიგრიბება. ეს ინერციის თვისებითაა განპირობებული (იხ. აგრეთვე 172-ე ნახაზი, სადაც ნაჩვენებია მობრუნებული ჩარჩო და ქანაობის სიბრტყის უცვლელობა).

ავლოთ ახლა უფრო გრძელი და მძიმე ქანქარა, გამოზმული, მაგალითად, მალალი დარბაზის ქერქვეშ. 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 ცლაშიც უცვლელია და მაინც გვეჩვენება მისი მობრუნება, რაც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ასეთი ცლა დიდ ქანქარაზე პირველად გასულ საუკუნეში ჩაატარეს. გრძელი და მძიმე ქანქარა ხელსაყრელია მით, რომ იგი ნელა, დიდი



ნახ. 171.



ნახ. 172.

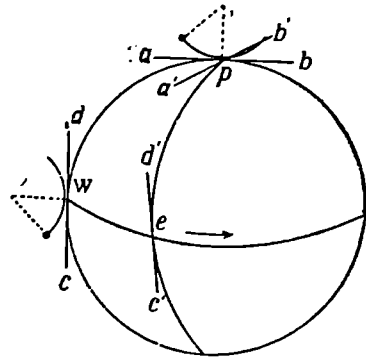
ამპლიტუდით და ხანგრძლივად ქანაობს; საკმარისია დავაკვირდეთ სულ რამდენიმე წუთს და თვალნათლივ დავინახავთ, რომ ქანაობის სიბრტყე განუწყვეტლივ და თანდათანობით მობრუნდება ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ საათის ისრის მიმართულებით ანუ აღმოსავლეთიდან დასავლეთით.

ეს მოვლენა აუხსნელი და მექანიკის ძირითად კანონებთან უთანხმოებაში იქნებოდა, დედამიწა რომ უძრავად ჩაგვეთვალა. პირიქით, იგი მარტივად ახსნელია, როცა გამოვდივართ იმ დებულებიდან, რომ დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ დღე-ღამის განმავლობაში.

ვთქვათ, რომ ქანქარა ქანაობს დედამიწის პოლუსზე px მერიდიანის სიბრტყეში (ნახ. 173 და ნახ. 174). დედამიწის ღლეღამური ბრუნვის მიმართულება ნაჩვენებია ისრით. ამ ბრუნვის გამო ab ხაზი, რაც px მერიდიანის მხეზს წარმოადგენს p წერტილში, მობრუნდება პოლუსის გარშემო ყოველ საათში 15° -ით, რამდენადაც დედამიწა სრულ მობრუნებას 360° -ით 24 საათს ანდომებს. მაშას-

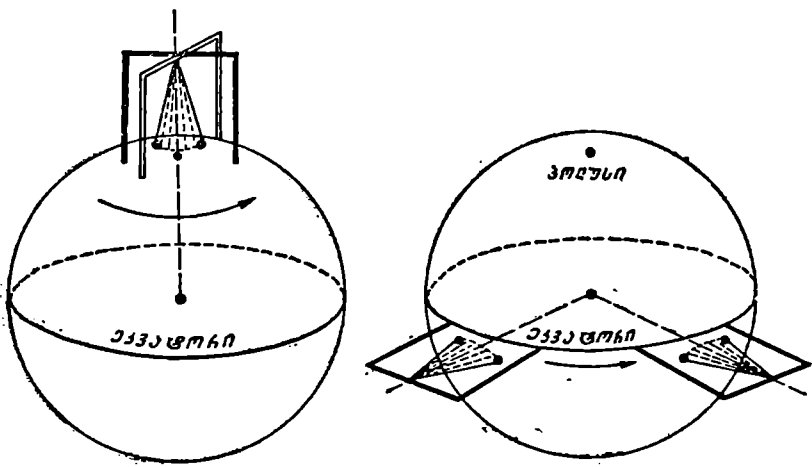
დამე, 1 საათის შემდგომ ab ხაზი მიიღებს $a'b'$ მდებარეობას, ქანქარა კი იმავე ab სიბრტყეში განაგრძობს ქანაობას. დამკვირვებელი ვერ აღიქვამს დედამიწის ბრუნვის მოძრაობას; იგი თვითონ მიჰყვება ამ ბრუნვაში დედამიწას და მოტრიალდება $a'b'$ -თან ერთად და ამიტომ მას ისე წარმოუდგენია, თითქოს ქანქარას ქანაობის სიბრტყე ვადინარაო და ასევე ღებოთ (საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით) $a'pa$ კუთხით. რაკი 1 საათში დედამიწა 15° -ით მობრუნდება, უკვე 4 წუთის დასასრულს შეამჩნევს დამკვირვებელი ქანქარას გადახრას 1° -ით.

სხვა სურათია დედამიწის ეკვატორზე. რადგანაც აქ მერიდიანის ed მხები დედამიწის ბრუნვისას პარალელურად ვადინაცვლებს, ქანქარას ქანაობის სიბრტყეც, რომელიც თავიდანვე piw მერიდიანის სიბრტყეს თანხედებოდა, არ შეიცვლის თავის მიმართულებას ($c'd'$).



ნახ. 173.

კიდევ უფრო თვალსაჩინო იქნება ეს მაგალითი, თუ წარმოვიდგინოთ 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



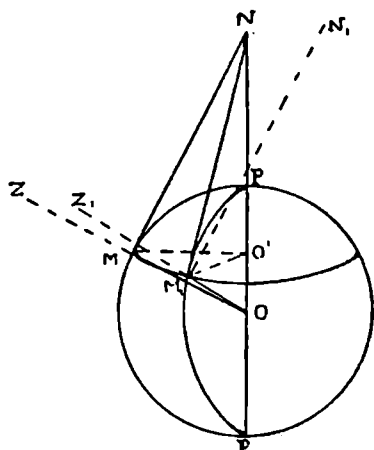
ნახ. 174.

ქანაობის სიბრტყე მუდამ მერიდიანის მართობულია, მობრუნებას ადგილი არა აქვს.

ამგვარად, ეკვატორზე ქანქარას სიბრტყის შეფარდებითი გადახრა ნულაა, ხოლო პოლუსზე—საათში 15° . 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.



ნახ. 175.

ვთქვათ, 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 წარმოუდგება,

რომ ქანქარა დაშორდა მერიდიანის სიბრტყეს, გადაიხარა რა მისგან საათის ისრის მიმართულებით $NM_1N_1 = \alpha$ კუთხით. საინტერესოა ვიკითხოთ, ტოლია თუ არა ეს კუთხე დედამიწის ლერძის გარშემო მობრუნების კუთხისა, როგორც ეს ხდება ცდის პოლუსზე წარმოების შემთხვევაში? ადვილი საჩვენებელია, რომ კუთხეები ტოლი არაა. NM_1N_1 , ნაკლებია, ვიდრე $MO'M$; მართლაც, $NM_1N_1 = MNM_1$, მაგრამ MNM_1 წარმოადგენს კონუსის მსახველის ორ მდებარეობათა შორის კუთხეს და ის ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე $MO'M$, 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:

$$\frac{2\pi MN}{360} \alpha.$$

ამვე დროს, MM_1 , როგორც MO' რადიუსით შემოწერილი წრეწირის რკალი, ტოლია:

$$\frac{2\pi MO'}{360} \beta.$$

სადაც β 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 $MO' = OM \cos \varphi$, რაც გამომდინარეობს OMN და OMO' სამკუთხედების განხილვიდან, რომლებშიც წვერით O' წერტილში მდებარე კუთხე ტოლია ($90^\circ - \varphi$)-სა, სადაც φ 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 (α) დამოკიდებულებას ადგილის განედზე. თუ გვიანტიერესებს ამ კუთხის სიდიდე 1 საათში, β -ს ნაცვლად უნდა ჩავსვათ 15° (ამდენით მობრუნდება დედამიწა ლერძის 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 მეტრის სიგრძის ქანქარა ჰყილია ე. წ. ისაკის ტაძრის გუმბათის ქვეშ, იგი ერთ საათში დაახლოებით 13° -ით მობრუნდება და ცდის წარმოებისას თვალნათლივ შეენიშნავთ ამ მობრუნებას სულ რამდენიმე წუთში. თბილისში რომ მოვანდინოთ ასეთი ცლა, დავრწმუნდებით, რომ გადახრა იქნება დაახლოებით 10° საათში.

ქანქარას ქანაობაზე წარმოებულმა ზუსტმა დაკვირვებებმა ისიც უჩვენა, რომ, თუ პოლუსის ახლო ადგილებიდან ეკვატორის არეში გადავივართ (იხ. ზევით), სიმძიმის ძალა თანდათან კლებულობს. ეს კლება რიცხობრივად მეტია, ვიდრე ის, რასაც გამოიწვევდა მხოლოდ დედამიწის ცენტრიდან დაშორება (ეკვატორული რადიუსი დედამიწისა ხომ უფრო გრძელია, ვიდრე პოლარული რადიუსი!). სიმძიმის ძალის შეეცირება 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 ლერძის 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 კონოსურ სხეულს, რომელიც შებრტყელებულია ბრუნვის ლერძის მიმართულებით. საინტერესოა, რომ პლანეტებს შორის განსაკუთრებით დიდი შებრტყელება იუპიტერის აქვს; თვალითაც ადვილად შეინიშნება ეს შებრტყელება, როცა მას თუნდაც მცირე ტელესკოპით ან კოგრით შევყურებთ. იუპიტერი გაცილებით უფრო სწრაფად ბრუნავს თავისი ლერძის ირგვლივ, ვიდრე დედამიწა:

იგი ერთ შემობრუნებას მხოლოდ 10 საათს უნდება მაშინ, როცა დედამიწა 24 საათს ანდომებს, ამიტომ ბრუნვის ეფექტიც—შებრტყელებაში გამოხატული—გაცილებით მეტა.

ლერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვის დამამტკიცებელი მოვლენები სხვაც არის; მათ შორის, სახელდობრ,—ვარსკვლავთა სპექტრებში ხაზების დოპლერი-სკული გადაადგილების კანონზომიერებანი (იხ. ქვემოთ).

დღე-ღამის ხანგრძლივობის ცვლილებანი. როგორც ვიცით, დედამიწის ერთი შემობრუნების ხანგრძლივობა, რითაც დღე-ღამის ხანგრძლივობა განისაზღვრება, 24 საათი ანუ 86 400 წამია* დროის ეს შუალედი ზუსტად იზომება ასტრონომიული დაკვირვებებით, კერძოდ, ე. წ. საშუალო მზის ადგილობრივ მერიდიანზე თანმიმდევრობითი გავლის მომენტების დაღვანით. რამდენადაც დედამიწის ბრუნვითიონ წარმოადგენს დროის საზომ საფუძველს, ყოველგვარი ცვლილება ბრუნვის ხანგრძლივობაში ძნელად შეინიშნება, თუ არ გვექნება ისეთი საათი, რომელიც ნამდვილად შეინარჩუნებს თავის მუდმივ სულას 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 გამოარკვია, 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 დასკვნეს, 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, ავაშუშავთ სრულყოფილი, იდეალური საათი, რომელიც ყოველ დღე-ღამეში $24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400$ წამს გადაათვლის. ეს დრო საათით ფიქსირებული ინტერვალა საშუალო მზის ორ თანმიმდევრო ქვედა კულმინაციას შორის. ერთი საუკუნის შემდგომ დღე-ღამის ხანგრძლივობა $86400 \cdot 0.0016$ წმ უნდა იყოს. იმავე განვლილი საუკუნის განმავლობაში კი საშუალო ხანგრძლივობა დღე-ღამისა უნდა იყოს $86400 \cdot 0.0008$ წმ. მაშასადამე, პირველ საუკუნეში, რომელიც შეიცავს $365 \cdot 25 \cdot 100 = 36525$ დღე-ღამეს, დაგროვილი ცდომილება ანუ იდეალური საათის ჩვენების განსხვავება რეალური დროისაგან შეადგენს $0.0008 \cdot 36525 = 29 \cdot 2$ 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 0.0024 წმ-ით განსხვავ-

* უფრო მკაცრად თუ ვილაპარაკებთ, ეს ხანგრძლივობა მზისმებრი დროის 23 სთ 56 წთ 4.09 წმ-ია.

დება 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. ჩადილი 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, პლანეტების 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 გადიდა. როგორც ჩანს, ეს ცვლილებები გამოწვეულია ნივთიერების გადაწეობებით დედამიწის წიაღში და ჰაერის მასების ან თოვლის საბურავის გადაადგილებით მის ზედაპირზე. მბრუნავი სხეულისათვის არსებობს, როგორც მექანიკა გეასწავლის, 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 მამრავლასა, 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, პირეკუთ, ნივთიერება დაშორდა ცენტრს, ეფექტური რადიუსი იზრდება, ბრუნვის სიჩქარემ უნდა მოკლას 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 ეკრეთ წოდებულ სტაბილიზებულ გენერატორში. ამის საფუძველზე აგებულია ქვარცის საათები. არსებობს აგრეთვე მოლეკულური და ატომური საათები, დამყარებული სტაბილურ ელექტრომაგნიტურ რხევებზე, რომლებსაც ამა თუ იმ ნივთიერების მოლეკულები ან ატომები გამოასხივებს.

ქვარცის 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, გამოსაკვლევა ბრუნვის სიჩქარის ცვლილების გავლენა გეოფიზიკურ მოვლენებზე.

ეფემერიდული დრო! ვარსკვლავთმცერი ან მზისმცერი დრო, რომლის აღრიცხვის საფუძველს დედამიწის ლერძული 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, როგორცაა აქამდე ვთვლიდით. სხვა სიტყვებით,—ის არ უზრუნველგვყოფს თანაბრად მიმდინარე დროით. ამან აიძულა ასტრონომები ხმარებაში შემოეღოთ ე. წ. ეფემერიდული დრო. ეს დრო დედამიწის ლერძული ბრუნვის პერიოდს როდი ემყარება; მისი საფუძველი შემდგომში მდგომარეობს.

ვთვლით, რომ არსებობს იდეალურად თანაბრად მიმდინარე დრო; იგი შეგვიძლია გავაიგიოთ 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 გათვლისწინებით, 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 მანაც 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 დღელამური ბრუნვით განსაზღვრული.

გამოთვლილსა და დამზერილ მდებარეობათა თანხედენა 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, თითქმის 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 მინც იგი პლანეტებისა და მთვარის გარემოქცევის ხანგრძლივობათა უცვლელობას ეყარება და, ამგვარად, მას ფიზიკური საფუძველი აქვს. ხოლო რაკი იგი თავისუფალია დედამიწის ბრუნვითი სიჩქარის სისტემატური და შემთხვევითი ცვლილებებისაგან, საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტად აღვიცნოთ და შევისწავლოთ მოვლენები და მათ შორის თვით დედამიწის ბრუნვის პერიოდის ცვალებადობაც.

1971 წლისათვის ეფემერიდული დრო დაახლოებით 40-მდე წამით წინაა, ვიდრე მსოფლიო დრო. ეს იმას ნიშნავს, რომ 1900-დან 1971 წლამდე დედამიწის დღეღამური ბრუნვის პერიოდი საერთოდ გახანგრძლივებულია. როგორც 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.

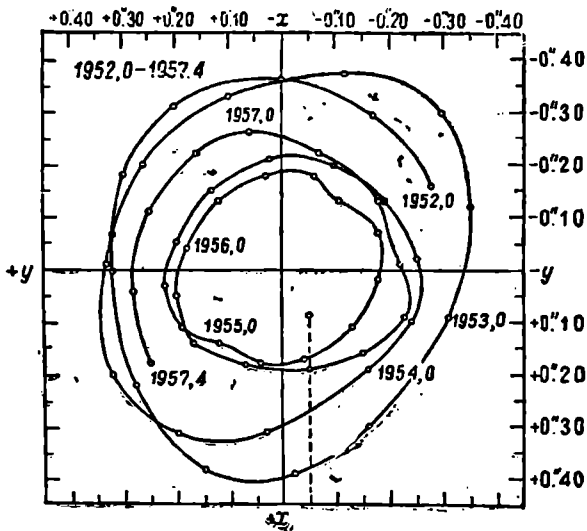
არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ეფემერიდული დროის შემოღებამ დაუკარგა ან შეუმცირა პრაქტიკული მნიშვნელობა მსოფლიო დროის ხმარებას. ორივე სახეობის დროს თავ-თავისი დანიშნულება აქვს.

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 მინიშნებულ იქნა ჩერ კიდევ წარსული საუკუნის ბოლო წლებში და მას აქვთ გეგმაზომიერად შეისწავლება.

* ასე, მაგალითად, გამოთვლილია, რომ 1955 წ. სექტემბრიდან 1958 წ. იანვრამდე დედამიწის ბრუნვის საშუალო სიჩქარე თანაბრად კლებულობდა, ე. ი. დღე-ღამის ხანგრძლივობა მზარდობდა წელიწადში 0.00043 წამით; შემდეგში, 1958 წ. თებერვალში, დაახლოებით 2 კვირის მანძილზე დედამიწამ ააჩქარა ბრუნვა, დღე-ღამე მოიკლო 0.0003 წამით, ხოლო მასში კვლავ მოიმატა.

ამ შემთხვევაში როდი იცვლება ბრუნვის ღერძის ორიენტაცია სამყაროში ანუ მისი მიმართულება ვარსკვლავების მიმართ. იცვლება მხოლოდ პუნქტის მდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე, პოლუსის მიმართ. ამიტომ აღწერილი მოვლენა, როგორც ვთქვით, თავს იჩენს პუნქტის გეოგრაფიული განედის ცვლილებაში. ასეთი ცვლილებების აღმოჩენა მოითხოვს ერთობ ფაქიზი და ზუსტი დაკვირვების წარმოებას, რადგანაც საკმე ეხება მეტად მცირე სიდიდეებს. მაგალითად, განედთა განსხვავების დადგენა ამჟამად შესაძლებელია 0".01-ის სიზუსტით; ეს შეესაბამება 30 სმ-ის სიგრძის გადანაცვლებას დედამიწის ზედაპირზე. ჩვენს ეპოქაში განედის ვარიაციები დიდი არაა, მაგრამ სრულიად შესაძლებელია, რომ შორეულ ეპოქაში, სხვადასხვა მიზეზის გამო, ეს ცვლილებები იმდენად დიდი იყო, რომ ადგილის კლიმატზედაც კი მოქმედებდა; იმდენად აახლოებდა ერთ პუნქტს პოლუსთან და აშორებდა მეორეს, რომ ჰაეა განიცდიდა საგრძნობ გავლენას.

176-ე ნახაზზე წარმოდგენილია დედამიწის ჩრდილოეთი პოლუსის წერტილის გადანაცვლება ანუ მისი ტრაექტორია დედამიწის ზედაპირზე 1952 წლიდან



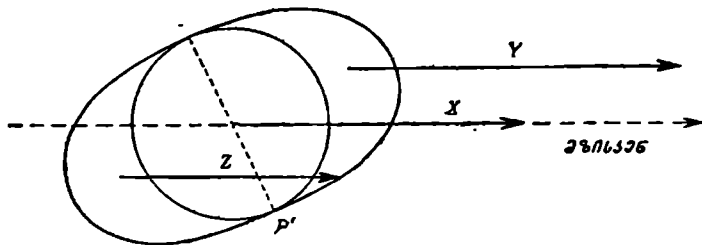
ნახ. 176.

1957-მდე. აპ 5 წლის მანძილზე პოლუსის გადაადგილება არ გამოსულა კვადრატის ფარგლებიდან, რომლის გვერდი სულ მხოლოდ 30 მეტრია. ვერტიკალური პუნქტიური და პაწია წრე მის ბოლოს უჩვენებს პოლუსის წერტილის საშუალო მდებარეობას განხილულ პერიოდში.

პრეცესია და ნუტაცია. დედამიწის ბრუნვამ საკუთარი ღერძის ირგვლივ შექმნა მის სხეულზე, ცენტრიდანული ძალის გავლენით, ეკვატორული ნაპატი ანუ, სხვა სიტყვებით, გამოიწვია დედამიწის გაგანიერება ეკვატორის სიბრტყეში, ხოლო შეკუმშვა, შებრტყელება — პოლუსებთან. დედამიწა ექვემდებარება 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. სფერო²მიზიდება 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:



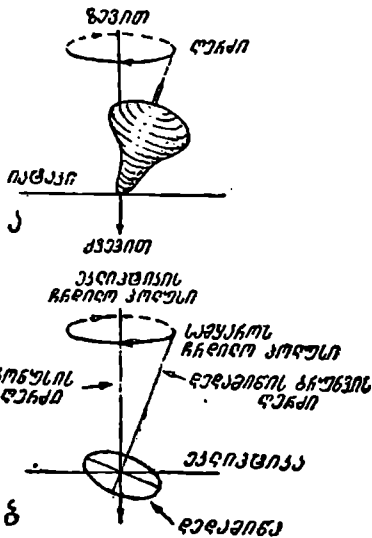
ნახ. 177.

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 ძეგს; ამასთანავე $Y > X > Z$, სათანადო მასების მზიდან მანძილების შესაბამისად. მზის მხარეზე მოქცეული ნამატი „ცილიობს“ მოტრიალდეს ეკლიპტიკისაკენ, ჩვენს ნახაზზე — ზევიდან ქვევით. მოპირდაპირე მხარის ნამატიც ასევე ცილიობს ეკლიპტიკაში მოქცევას, ოღონდ ნახაზზე — ქვევიდან ზევით. სხვა სიტყვებით: იქმნება ძალთა წყვილი, რომელიც ცილიობს მთავრუნოს დედამიწა იმ ზომამდე, რომ მოხდეს ეკვატორის სიბრტყის თანხვედნა ეკლიპტიკის სიბრტყესთან.

მაგრამ ეკვატორისა და ეკლიპტიკის თანხვედნა მანც 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 დაეყენებთ 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 ფართეულს. ამ კონუსის ღერძი ვერტიკალური მიმართულებისაა, ე. ი. — მიზიდულობის ძალის მიმართულების თანხვედნილი (ნახ. 178 ა).

ასევე, მბრუნავი დედამიწა მზის მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით კი არ მობრუნდება მისი ეკვატორის ეკლიპტიკასთან თანხვედნამდე, არამედ დაიწყებს რყევას ისე, რომ მისი ბრუნვის ღერძი შემოწერს კონუსის ფართეულს, როგორც ეს 178-ე-ზე ნახაზზეა წარმოდგენილი. შესაბამისი კონუსის ღერძი ეკლიპტიკის სიბრტყის მართობულია. ბრუნვის ღერძის ამგვარ მოძრაობას პრეცესიული მოძრაობა ან, მოკლედ, პრეცესია ეწოდება (იხ. აგრეთვე ნახ. 179).

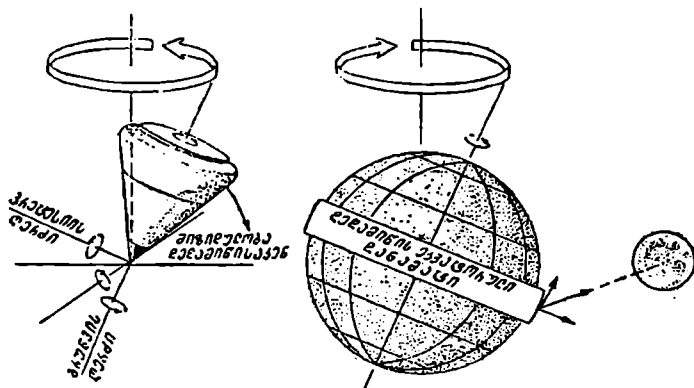
პრეცესიის გამო დედამიწის ბრუნვის ღერძი იცვლის მიმართულებას და, მაშასადამე, სამყაროს პოლუსის წერტილი გადაინაცვლებს ცის სფეროზე. პოლუსის წერტილის ტრაექტორია ცაზე წარმოადგენს წრეწირს, რომლის ცენტრი ეკლიპტიკის პოლუსშია (იხ. იგივე ნახაზი). სამყაროს პოლუსი ერთი სრული წრეწირის შემოწერას ანდომებს თითქმის 26000 წელიწადს. ამ პერიოდს პლატონის წელიწადს უწოდებენ.



ნახ. 178.

ჩრდილოეთის პოლარული ვარსკვლავი, როგორაც დღეს ვიცნობთ პატარა დათვის ერთ-ერთ ვარსკვლავს, ყოველთვის როდი იყო და იქნება პოლუსის მაჩვენებელი ვარსკვლავი. პოლარული წერტილი გაივლის ცეფეუსისა და გედის თანავარსკვლავედებს და დაახლოებით 13 ათასი წლის შემდგომ აღმოჩნდება ქნარის თანავარსკვლავედის კაშკაშა ვარსკვლავის — ვეგას ახლო; მისკენ მიიქცევა იმ დროისათვის დედამიწის ღერძის მიმართულება. იცვლება ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის წერტილების მდებარეობა და მათი შემაერთებელი ხაზის

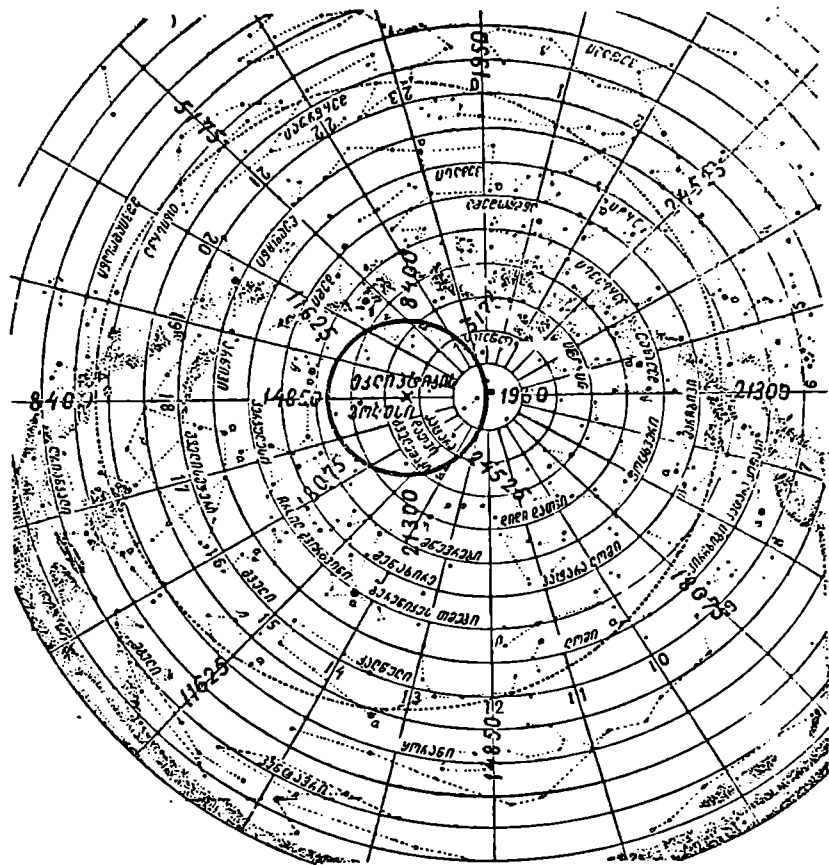
ორიენტაციაც სივცემში. ამასთან დაკავშირებით ორიონი, რომელიც ახლა ზამთრის თანავარსკვლავედად ითვლება, რადგანაც შუღამის მახლობლად ზამთრო-



ნახ. 179.

ბით ჩანს, 13000 წლის შემდეგ ანუ, დაახლოებით, 15000 წელს ზაფხულის თანავარსკვლავედი იქნება. კიდევ 13 ათასი წლის განვლის შემდგომ პოლარული წერტილი კვლავ ახლანდელ ადგილს ანუ პატარა დათვის ალფას დაუბრუნდება. ასე შემოწერს იგი ცაზე მცირე წრეწირის საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართუ-

ამასთანავე მთვარის ორბიტის სიბრტყე თვითონ განიცდის პრეცესიულ მოძრაობას—ე. წ. მთვარის კვანძების მოძრაობას 18.6 წლის პერიოდით. ეს მოვლენა, სხვებთან კომბინაციაში, იწვევს დედამიწის ბრუნვის ლერძის დამატებით რყევებს.



ნახ. 181.

რომელთაც ნუტაცია ეწოდება. ნუტაციის გამო ჩრდილოეთი პოლუსი წრეწირს კი არ შემოწერს ცაზე, არამედ—ერთგვარად კლანჩილ ხაზს ისე, როგორც ეს გამოსახულია 182-ე ნახაზზე.

კლანჩილი ხაზი, არსებითად, წარმოადგენს პოლუსის ნამდვილ მდებარეობათა ტრაექტორიას,—ხოლო წრიული—მის საშუალო მდებარეობათა ტრაექტორიას. როგორც ნახაზზე ვხედავთ, გადახრა საშუალოსაგან რკალის სულ მხოლოდ რამდენიმე სეკუნდია. პოლუსის ნამდვილი მდებარეობის საშუალოს ირგვლივ შემოვლის პერიოდი დაახლოებით 19 წელიწადია (იგი განპირობებულია მთვარის კვანძების პერიოდული მოძრაობით, რაც ზემოთ აღვნიშნეთ; იხ. ქვემოთ).

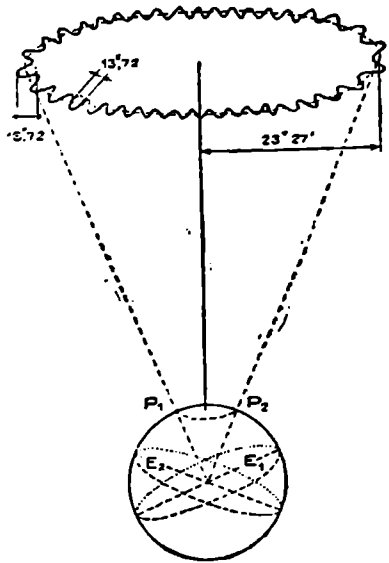
პრეცესიის შედეგად იცვლება მნათობის ეკვატორული კოორდინატები. ეს თუნდაც იქიდან ჩანს, რომ P_1 პოლუსი გადაინაცვლებს P_2 -ში და ეკვატორისა და პირდაპირ აღმოსავლეთის ათვლის საწყისი წერტილის მდებარეობებიც სათანადოდ იცვლება (182-ე ნახ.).

თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ 183-ე ნახაზი, თუმცა იგი წინას ემსგავსება.

ეკლიპტიკის ცის ეკვატორთან გადაკვეთა იცვლის თავის ადგილს ისე, რომ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი — Υ მოძრაობს აღმოსავლეთიდან დასავლეთით, ეკლიპტიკის გასწვრივ, Υ_1 -დან Υ_2 -საკენ. მაშასადამე, მნათობის პირდაპირი აღმოსავლეთი მატულობს. ცვლილებას განიცდის მნათობის დახრილობაც. რაკი პრეცესიული მოძრაობის პერიოდი 26000 წელიწადია, Υ -ს გადაადგილება ეკლიპტიკის გასწვრივ ერთ წელიწადში არის

$$\frac{360 \cdot 60 \cdot 60''}{26000} \approx 50'',$$

ამ სიდიდეს პრეცესიის მუდმივა ეწოდება. რამდენადაც პრეცესიის გავლენით Υ მოძრაობს დასავლეთით, იგი თითქოს და ერთგვარად აჩქარებს დღელამტოლობის



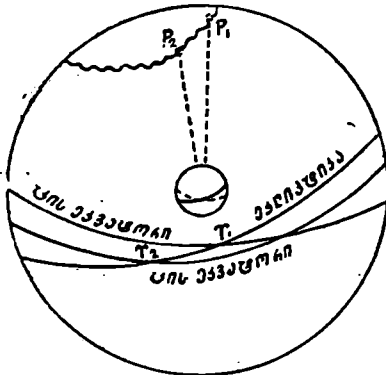
ნახ. 182.

ეგებება მზეს მის წლიურ მოძრაობაში აღრე შემოდის გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილში, ვიდრე ერთ სრულ წრეს შემოწერდეს, სწორედ ამიტომ ეწოდა აღწერილ მოვლენას პრეცესია, რაც დასწრებას ანუ წინსწრებას ნიშნავს.

184-ე ნახ. გვიჩვენებს, რომ 72 წლის განმავლობაში ეკლიპტიკაში მდებარე ვარსკვლავი 1° -ით გადაინაცვლებს ვერძის წერტილის მიმართ, მის აღმოსავლეთით.

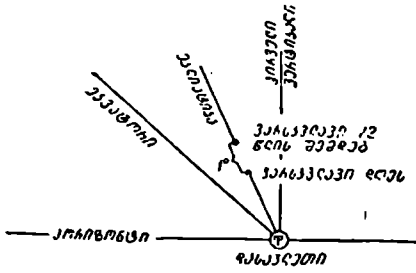
ნუტაციის გავლენა კოორდინატებზე არ აღემატება $9''$ -ს. დაახლოებით ამ ფარგლებშია პოლუსის წერტილის ფაქტიური გადა-

ხტები იმ საშუალო წრეწირისაგან, რომელმაც პოლუსის წერტილის პრეცესიული ტრაექტორია წარმოადგენს.



ნახ. 183.

პრეცესია და ნუტაცია გამოწვეულია გარე ძალებით (მზისა და მთვარის-
მიერი მიზიდულობით), რომლებიც ცვლიან სამყაროს სივრცეში დედამიწის ღერძის



ნახ. 184.

ორიენტაციას. დედამიწის სხეულის მიმართ კი ღერძი უცვლელი რჩება; არ იცვლება ადგილის განედიც; მაშასადამე, პრეცესიასა და ნუტაციას არა აქვს გავლენა არც კლიმატზე-სამაგიეროდ, ისინი ცვლიან წელიწადის დროთა ანუ სეზონების დაწყების მომენტებს, გადაადგილებენ რა დედამიწის წლიური ორბიტის გასწვრივ იმ წერტილებს, საიდანაც იწყება ესა თუ ის სეზონი.

დედამიწის წლიური მოქცევა მზის გარშემო (დედამიწის ორბიტული გარემოქცევა) და მისი დამამტკიცებელი ფაქტები. მზის ყოველდღიური ხილული გადაადგილება ცაზე 1° -ით აღმოსავლეთის მიმართულებით შედეგია დედამიწის მოქცევისა მზის გარშემო, მაგრამ ეს არ ჩათვლება ამ ფაქტის დამამტკიცებლად. ეს ხილული მოძრაობა გარეგნულად შეიძლება ახსნილ იქნეს მზის მოძრაობით დედამიწის ირგვლივ, როგორც ამას საუკუნეების მანძილზე ასწავლიდა პტოლემეოსისეული 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 წრიული გზით, ეს იმას ნიშნავს, რომ დედამიწა სხვადასხვა მდებარეობაშია მზის მიმართ, მოექცევა რა მას ხან ერთი და ხან მეორე მხრიდან. ასე, მაგალითად, მდებარეობა, რომელიც დედამიწას იენისში აქვს, განსხვავდება დეკემბრის მდებარეობისაგან დედამიწის წლიური ორბიტის დიამეტრის სიგრძით, ე. ი., მაგ., იენისსა და დეკემბერში დედამიწა მზის გარშემო წლიური გზის დიამეტრის ერთსა და მეორე ბოლოში იმყოფება; ამ მდებარეობათა შორის მანძილი დაახლოებით 300 მილიონი კილომეტრია. რომელიმე ვარსკვლავი, რომელსაც დედამიწიდან ვაკვირდებით იენისსა და დეკემბერში, ე. ი. ელმზერით სხვადასხვა ადგილიდან, სხვადასხვა მიმართულებით მოჩანს ცაზე. მაშასადამე, ნახევარი წლის მანძილზე ვარსკვლავის მდებარეობამ ცაზე უნდა გადაინაცვლოს. როცა წლის მეორე ნახევარიც გაივლის და დედამიწა კვლავ იენისის შესაბამის მდებარეობაში დაბრუნდება, ვარსკვლავიც დაუბრუნდება ცაზე თავის პირვანდელ ხილულ მდებარეობას.

განვიხილოთ ნახ. 185-ე, რომელზეც T_1 და T_2 წარმოადგენენ წლიურ ორბიტაზე, ვთქვათ, იენისისა და დეკემბრის შესაბამის, დედამიწის ორ, დიამეტრულად მოპირდაპირე მდებარეობას. ამ ორი მდებარეობიდან რომელიმე ვარსკვლავი S_1 გეგმილდება ცის ფონზე სხვადასხვა მიმართულებით: $T_1 S_1 a_1$ და $T_2 S_1 a_2$.

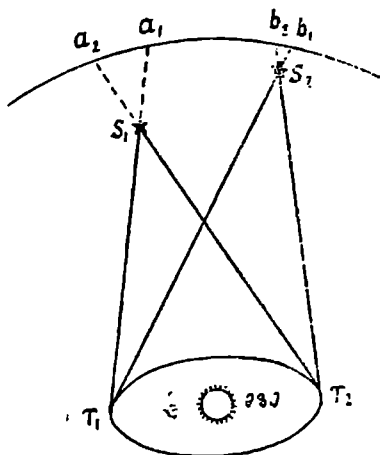
რაცთ დედამიწა ერთი წლის განმავლობაში მზის ირგვლივ ერთ სრულ წრეს შემოწერს, ალბულები ვარსკვლავიც, იმავე ერთი წლის განმავლობაში, შემოწერს ცაზე ჩაქეტილ მრუდს, რომელიც ასახავს დედამიწის წლიურ მოქცევას.

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

და ამ მდებარეობებიდან შესაბამისი მიმართულებიანი S ვარსკვლავზე. პატარა ელიფსი $abcd$ ვარსკვლავის მიერ ერთი წლის განმავლობაში შესრულებული ხილული გადაადგილების „კვალა“.

ასეთი გადაადგილება, რომელსაც პარალაქსური ეწოდება, შეგვიძლია შევნიშნოთ, თუ ვარსკვლავი მეტისმეტად შორს არაა. ძლიან დაშორებული ვარსკვლავის შემთხვევაში, როცა მანძილი დაკვირვების ორ პუნქტს შორის, ე. ი. მანძილი, მაგალითად, AC ერთობ მცირეა ვარსკვლავამდე მანძილთან შედარებით, პარალაქსური გადაადგილება იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად არ ხერხდება მისი გაზომვა და შენიშვნაც კი. საერთოდ, რაც უფრო შორსაა ვარსკვლავი, მით უფრო მცირეა ის კუთხე, რომელსაც ვარსკვლავთან ადგენს დაკვირვების პუნქტებიდან მასზე მიმართული წრფეები (185-ე ნახაზის შემთხვევაში, მაგალითად, $T_1S_1T_2$ კუთხე ან ASC კუთხე).

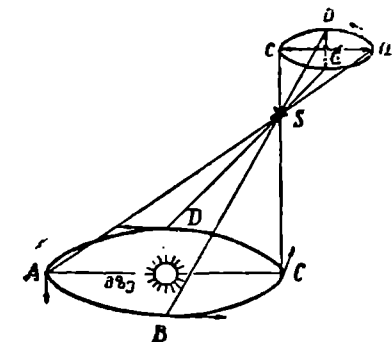
185-ე ნახაზზე ეს უკანასკნელი გარემოება კიდევ უფრო თვალსაჩინოდ არის დასურათებული. მართლაც, S_2 ვარსკვლავი, როგორც ნათლად ჩანს, უფრო შორსაა, ვიდრე S_1 ვარსკვლავი და სათანადო $T_1S_2T_2$ კუთხე უფრო მცირეა, ვიდრე $T_1S_1T_2$ კუთხე.



ნახ. 185.

ვარსკვლავების პარალაქსური გადაადგილება საერთოდ მეტად მცირეა და უახლოეს ვარსკვლავებისთვისაც რაკლის სკეუნდის მეთადი და მეასედი ნაწილებით გამოიხატება.

ამიტომ, თუმცა ყოველი ვარსკვლავი განიცილის პარალაქსურ გადაადგილებას დედამიწის მოძრაობის გამო, ვარსკვლავებიანი ცის საერთო სურათი, თანავარსკვლავდთა სახე და მათი ურთიერთგანლაგების ცვლილება თვალისათვის მაინც შეუმჩნეველია.



ნახ. 186.

პარალაქსური გადაადგილების გამოსაელინებლად 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 მალე მიიღებდა საყოველთაო აღიარებას, პარალაქსური გადაადგილება ადრე რომ

ყოფილიყო შენიშნული. მისი აღმოჩენა ჩაითვალა კოპერნიკის მოძღვრების სისწორის, დედამიწის მზის გარშემო წლიური ზოქცევის 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.

მალე 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).

იმვე 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".76, მაშასადამე, უფრო ახლოს ყოფილა ჩვენთან. ამიტომ დაერქვა ცენტავრის α-ს საკუთრივ ამ მდგენელს პროქსიმა, რაც უახლოესს ნიშნავს. სინათლის სხივი, რომლის გავრცელების სიჩქარეა 300.000 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 დაეხმარებოდათ საკითხის გასარჩევად, 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 გაწეილი იქნება სათანადო ელიფსი. ხოლო, თუ ვარსკვლავი თვით ეკლიპტიკის სიბრტყეში ძევს, მისი პარალაქსური გადაადგილების ელიფსი იმდენად „შეიკუმშება“, რომ წრფის მონაკვეთად გადაიქცევა.

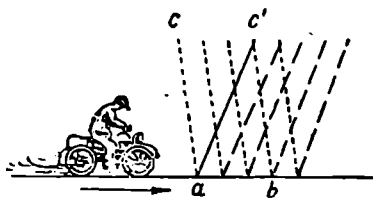
ვ. სტრუვეს, ფ. ბესელისა და თ. ჰენდერსონის აღმოჩენების შემდეგ ვარსკვლავთა პარალაქსური გადაადგილების გამოვლინება ძალიან გახშირდა; დანკერვეების ტექნიკის გაუმჯობესებისა და სიზუსტის ზრდასთან ერთად იმ ვარსკვლავების რიცხვი, რომელთა მიმართ გადაადგილება დასტურდებოდა, სწრაფად იზრდებოდა. ამას უალრესად დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა არა მარტო იმიტომ, რომ საბოლოოდ მტკიცდებოდა კოპერნიკისეული მოძღვრების სისწორე, არამედ—ამვე 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.

თუბის მოჩვენებით მიმართულებასა და შეუღულ შორის 45° იქნება. თუ სიჩქარე 60 კმ-ია საათში, ეს კუთხე 60°-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 და ვხაროთ და მით მეტად, რაც უფრო სწრაფად ვივლით. ჩვენთვის ამ დროს წვიმის წვეთები თითქოს „შეხვედრიან“, მაშინაც კი, როდესაც უქარო ამინდია და წვიმა ნამდვილად შეუღულად მოდის. წვიმის წვეთების მოჩვენებითი გადახრა ადვილი შესამჩნევია რკინიგზის მოძრავი მატარებლიდანაც. ეს აბერაციის მოვლენაა.

განვიხილოთ ანალოგიური სურათი უფრო სქემატურად (ნახ. 189). წვიმის წვეთები—*c* და *c'*—შეუღულად ეშვება. სანამ ეს წვეთები, შესაბამისად, *a* და *b*-ში



ნახ. 189.

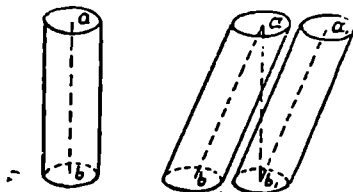
დაეცემოდეს, მოტოციკლი *a* წერტილიდან *b* წერტილში მივა, მოტოციკლზე მჯდომარეს *c* წვეთი ასცდება, უკან ჩამორჩება და სამაგიეროდ *c'* წვეთი წინიდან შეხვდება.

განვიხილოთ ახლა ერთი ცდამგალითი. ავიღოთ ვერტიკალურად დაყენებული გრძელი მილი (ნახ. 190) და თავისუფლად ჩავეშვათ მასში ბურთი ზუსტად შუაში, *a* წერ-

ტილიდან. ბურთი დაეცემა მილის ფუძის შუაში (*b* წერტილი).

ვთქვათ ახლა, რომ ვერტიკალური მილი *ab* მოძრაობს *ab*-ს მართობული მიმართულებით. თუ ასეთ პირობებში ბურთის კვლავ წინანდებურად ჩავეშვებთ, იგი ვერ მიაღწევს მილის ფუძის შუაგულს: მას დაეჩახება მოძრავი მილი თავისი გვერდითი შიდა ზედაპირით და ამის შემდგომ ბურთი ძირს ჩაგორდება.

თუ გვსურს, რომ ბურთი მოძრავ მილში ვარდნისას მილის *ab* ღერძს მიჰყვებოდეს და სწორედ *b* წერტილში დაეცეს, საჭიროა მილი მოძრაობის მიმართულებით დაეხაროს ისე, როგორც ეს იმავე ნახაზის მარჯვენა მხარეზეა ნაჩვენები. დროის შუალედში, რომელიც საჭიროა ბურთის *a* წერტილიდან *b*-ში მისაღწევად, *b* წერტილი უნდა გადაადგილდეს *b₁*-ში. მილის დახრის სიდიდე დამოკიდებული იქნება მისი მოძრაობის სიჩქარეზე, თუ ბურთის ვარდნის სიჩქარე უცვლელია.



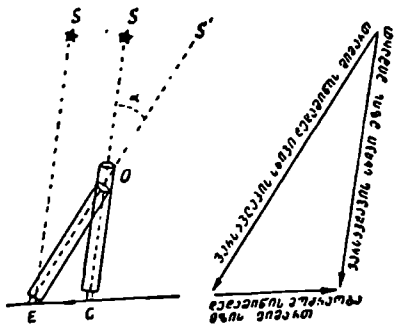
ნახ. 190.

სრულიად მსგავს მოვლენას აქვს ადგილი მნათობის ტელესკოპით დაკვირვების შემთხვევაში. სინათლის სიჩქარესთან შედარებით დედამიწის მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მცირეა, მაგრამ არცთუ სრულიად უმნიშვნელო. ამიტომ, ვიდრე მნათობის სინათლის სხივის ელემენტი ტელესკოპის ობიექტივიდან ოკულარამდე—დამკვირვებლის თვალამდე გაირბენდეს, დედამიწა გარკვეული სიდიდით გადაადგილდება სივრცეში. ასე რომ, თუ დამკვირვებელს სურს ტელესკოპში დაი-

ნახოს 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. α კუთხე აბერაციით გამოწვეული გადახრაა და გვიჩვენებს განსხვავებას ვარსკვლავის ნამდვილსა და ხილულ მიმართულებათა შორის (ნახ. 191).

მაშასადამე, სინათლის აბერაცია გამოვლინდება მნათობის ისეთი გადაადგილებით ცაზე, რომელიც მოცემულ მომენტში დედამიწის მოძრაობის სიჩქარითაა განპირობებული და აბერაცია ამტკიცებს დედამიწის მოძრაობას სივრცეში მზის გარშემო.



ნახ. 191.

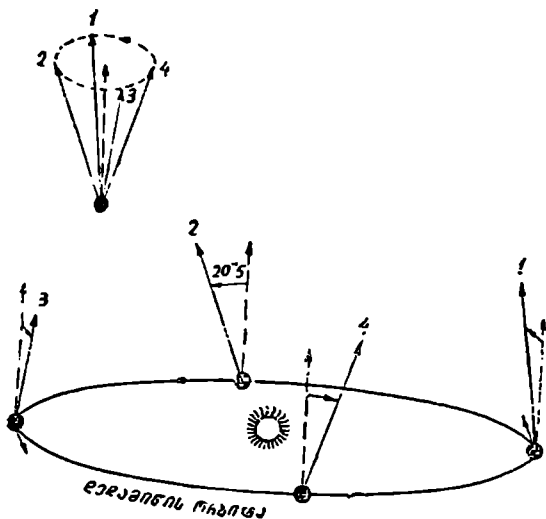
მნათობთა აბერაციული გადაადგილებაც ძალზე მცირეა და არ ცვლის ვარსკვლავებიანი ცის საერთო სახეს. თუმცა, იგი შესამჩნევად აღემატება ვარსკვლავთა პარალაქსურ გადაადგილებას.

სხივის აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი. განვიხილოთ აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი დღევანდელით 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 დაეხაროს, უფრო გარკვევით: მილის საოკულარო ბოლო უკან უნდა დაეწიოს იმ გზის ტოლ მონაკვეთზე (Ec , ნახ. 191), რომელსაც დედამიწა გაიბრუნს იმ დროში, რაც სინათლეს დასჭირდება ტელესკოპის ობიექტივიდან მის ოკულარამდე მისაღწევად. ამიტომ ვარსკვლავს დაინახავთ 1, 2, 3, 4 მიმართულებებით და. მაშასადამე, მოგვეჩვენება, რომ იგი გადაადგილდება იქით, საითაც დედამიწა მოძრაობს (ისრები ნახაზე); დედამიწის მოძრაობა კი ყოველ მომენტში მიმართულია ისე, როგორც მისი მდებარეობა წერტილში გავლებული მისივე ორბიტის მხეხი. წერტილს, საითაც მიმართულია დედამიწის მოძრაობა მოცემულ მომენტში, ეწოდება დედამიწის წლიური მოძრაობის აპექსი. მაგრამ, რამდენადაც დედამიწის ტრანეკტორია, 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° -ის ტოლ კუთხეს. ამასთანავე, როგორც ამავე ნახაზე ჩანს, აპექსის მდებარეობა მზის მიმართ მუდამ დასავლეთითაა.

განესაზღვროთ აბერაციული გადაადგილების სიდიდე. ამისათვის დავებრუნდეთ 191-ე ნახაზს. γ აღნიშნავდეს სინათლის გავრცელების სიჩქარეს, v — დედამიწის

მოდრაობის სიჩქარეს. ვთქვათ, oc მანძილს (მილის სიგრძე) სინათლე გადის ღრრის α შუალედში, ხოლო დედამიწა ამავე ღრრის შუალედში გადის Ec მანძილს. შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{Ec}{oc} = \frac{vt}{Vt}$$



ნახ. 152.

აბერაციული გადაადგილების α კუთხე განისაზღვრება $ocEc$ სამკუთხედიდან. თუ ჩავთვლით, რომ ეს სამკუთხედი ახლოა სწორკუთხოვანთან, (ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსის ახლოა), მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Ec}{oc} = \frac{v}{V}$$

გაეხსენოთ ახლა V და v -ს რიცხვითი მნიშვნელობანი: დაახლოებით 300.000 კმ/სეკ და 30 კმ/სეკ, შესაბამისად. ჩავსვათ რა მათ $\operatorname{tg} \alpha$ -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx 0.0001,$$

რაც შეესაბამება α -ს მნიშვნელობას დაახლოებით $20''$.

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 β კუთხით, რომელიც წარმოადგენს აპექსსა და ვარსკვლავზე მიმართულებებს შორის კუთხეს (იგივე 191-ე ნახ.; ოღონდ იგულისხმება, რომ Sc მიმართულება შედარებით მცირე კუთხეს ქმნის

Ec-თან). განვიხილოთ კვლავ Eoc სამკუთხედი, სადაც კუთხე Eoc = α, კუთხე Eeo = 180° - β, ხოლო კუთხე oEc = β - α. შეგვიძლია დაეწეროთ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin (\beta - \alpha)} = \frac{v}{V}$$

რადგანაც α ერთობ მცირე კუთხეა, (β - α)-ს ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ β, ხოლო sin α-ს ნაცვლად დაეწეროთ α'' sin 1''. ამის შემდგომ აქ მოყვანილი დამოკიდებულება ასე გადაიწერება:

$$\alpha = \frac{v}{V \sin 1''} \sin \beta.$$

ეს ფორმულა შესაძლებლობას გვაძლევს, გამოვთვალოთ აბერაციით გამოწვეული გადახრა სხივისა, ნებისმიერი β-ს შემთხვევაში. როგორც ჩანს, გადახრა მით მეტია, რაც მეტია ვარსკვლავის კუთხური ამალეობა ეკლიპტიკის სიბრტყიდან. როცა β = 90° (ვარსკვლავი ეკლიპტიკის პოლუსშია), მაშინ sin β = 1 და α = $\frac{v}{V \sin 1''}$, მაგრამ ეს სწორედ ის შემთხვევაა, როცა α 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:

$$\alpha = 20.''47 \sin \beta.$$

რადგანაც დედამიწის წლიური მოძრაობისას მისი აპექსიკ წელიწადის განმავლობაში ასრულებს ერთ სრულ გარემოქცევას ეკლიპტიკაზე, ვარსკვლავის ხილული მდებარეობაც S' ცაზე ერთდროულად გარემოქცევა მისი ქვემარტივი S მდებარეობის ირგვლივ. თუ მნათობი ეკლიპტიკის პოლუსშია, S' აღწერს წრიულ ტრაექტორიას, რომლის რადიუსია α = 20.''47. ვარსკვლავები, რომლებიც ეკლიპტიკის პოლუსში არ მდებარეობენ, წლის განმავლობაში ელიფსურ ტრაექტორიებს შემოწერენ მათ ქვემარტივ მდებარეობათა გარშემო.

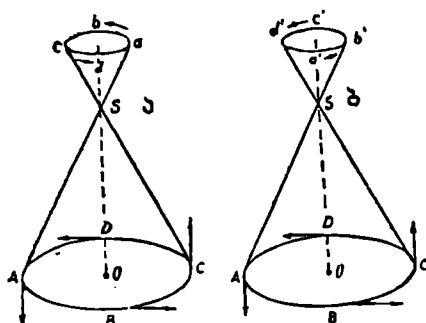
ვინაიდან sin β იცვლება +1-დან -1-მდე (ზოგჯერ ხომ ისეთ ვარსკვლავებსაც ვაკვირდებით, რომლებიც დედამიწის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგო მხარეზე ან ეკლიპტიკის საშხრეთით მდებარეობენ!), ამიტომ აბერაციით გამოწვეული ხილული მდებარეობის გადახრა ქვემარტივი მდებარეობიდან +20.''5-დან -20.''5-მდე იცვლება.

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 გამორიცხვა (როგორც ამბობენ, გავანთავი-

ს უფლოთ ვარსკვლავის მდებარეობა აბერაციის, პრეცესიისა და ნუტაციისა-გან), ასეთი გამორიცხვის განხორციელება ემყარება დამუშავებულ მეთოდებს, რომლებიც ასტრომეტრიის კომპეტენციაში შედის.

დავუბრუნდეთ წლიურ აბერაციას და მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ პარალაქსური წლიური გადაადგილება მსგავსად წლიური აბერაციისა ჩაკეტილი მრუდის გასწვრივ ამოძრავებს ვარსკვლავს ცაზე და ამ მოძრაობასაც წლიური პერიოდი აქვს. როგორ განვასხვავოთ ერთმანეთისაგან ეს ორი, სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული მოვლენა? განვიხილოთ 193-ე ნახაზი, რომელზეც სქემატურად წარმოდგენილია პარალაქსური და აბერაციული გადაადგილებანი. ნახაზზე (ა) 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 გადაადგილებების გამო ცის სფეროზე შემოწერს



ნახ. 193.

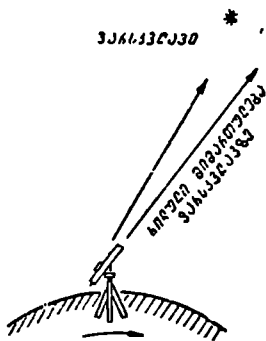
მცირე ზომის $abcd$ წრეწირს (რომლის რადიუსი არ აღწევს $1''$ -ს). აბერაციის გავლენით შემოწერილი წრე ($a'b'c'd'$, ნახაზი ბ) უფრო დიდია; მისი რადიუსი $20''$ -ია. ამასთანავე ყოველ ალებულ მომენტში ვარსკვლავის გადაადგილება მისი პარალაქსური ტრაექტორიის ცენტრიდან მიმართულია დედამიწის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ; მაგალითად, როცა დე-

დამიწა 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 მოკემულ მომენტში ვარსკვლავის გადაადგილება აბერაციული წრის ცენტრიდან მიმართულია, შეიძლება ითქვას, შხისგან 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 შევთავსებთ, 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 უმრავლეს შემთხვევაში ამაზე გაცილებით ნაკლებია, დამოკიდებულია რა ვარსკვლავის დაშორებაზე ჩვენგან. აბერაციული წრის რადიუსი მანძილზე კი არაა დამოკიდებული, არამედ ეკლიპტიკის სიბრტყიდან მნათობის კუთხურ დაშორებაზე. ეკლიპტიკის პოლუსთან იგი ყველა ვარსკვლავისათვის $20''$.5-ია.

აბერაციის მოვლენა აღმოაჩინა ინგლისელმა ასტრონომმა ბრადლიემ XVIII საუკუნეში. იგი გულმოდგინედ ეძებდა ვარსკვლავის პარალაქსურ გადაადგილებას, როგორც დედამიწის მზის ირგვლივ წლიური მოძრაობის უტყუარ მოწმობას. ბრადლიემ იმავეთვე 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, რადვანაც, როგორც ვნახეთ, მისი სიდიდე რამდენიმე ათეულჯერ ნაკლებია, ვიდრე აბერაციის მუდმივა, და მხოლოდ იმ დრომ მოუპოვა მეცნიერებს ეს აღმოჩენა, როცა სათანადოდ ამაღლდა ასტრონომიული დაკვირვების სიზუსტე.

წლიური და დღელამური აბერაცია. აბერაციული გადაადგილება, რომელზეც აქამდე გვექონდა საუბარი, გამოწვეულია დედამიწის წლიური მოძრაობით მზის გარშემო. მაგრამ დედამიწის სხვა მოძრაობაც გააჩნია, კერძოდ — დღელამური ბრუნვა თავისი ღერძის ირგვლივ. რამდენადაც ფიზიკურად აბერაცია დაკავშირებულია დედამიწის მოძრაობასთან, იგი სათანადოდ თავს უნდა იჩენდეს დღელამური ბრუნვასთან კავშირშიც. მართლაც, დაკვირვება ამჟღავნებს მნათობის სხივის ისეთ აბერაციულ გადაადგილებასაც, რომელიც განპირობებულია დედამიწის ბრუნვით. ამგვარ აბერაციას დღელამური აბერაცია უწოდებენ, აქამდე აღწერილი წლიური აბერაციისაგან განსასხვავებლად (ნახ. 194).

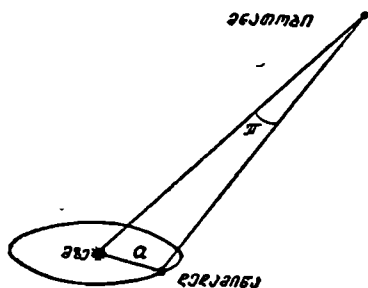
დღელამური აბერაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა წლიურისაზე თითქმის 65-ჯერ ნაკლებია და სულ მხოლოდ $0''.32$ შეადგენს. მისი მაქსიმალურა მნიშვნელობა შეესაბამება განედის მნიშვნელობას $\varphi = 0^\circ$, ე. ი. ეკვატორს: სადაც წრფივი სიჩქარე — დედამიწის ბრუნვით გამოწვეული — უდიდესია (460 მ/წმ). საერთოდ, რომელიმე φ განედისათვის დღელამური აბერაციის მნიშვნელობა წარმოადგენს შემდეგ სიდიდეს: $0''.32 \cos \varphi$. ადვილი მისახვედრია, რომ დღელამური აბერაციის სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე იმაზე, თუ სად მდებარეობს მნათობი ცამრგვალზე; კერძოდ, როგორია მისი საათ-კუთხე; მერიდიანში აბერაცია მაქსიმალურია.



ნახ. 194.

წლიური და დღელამური პარალაქსი. ზემოთ გავვეცანით ვარსკვლავის პარალაქსური გადაადგილების მოვლენას და აუხსენით 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 ერთმეორის მიმართ ყოველ-

თვის ერთ და იმავე მანძილზე იქნება. საერთოდ, ასეთ წერტილებად ირჩევენ დედამიწის მისი ორბიტის რომელიმე წერტილზე და მზეს—ორბიტის ცენტრში. მართალია, ასეთ არჩევას 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 გამოჩნდება ოდა ვარსკვლავიდან დედამიწის წლიური ორბიტის a რადიუსი იმ დაშვებით, რომ დედამიწიდან ვარსკვლავზე მიმართულება რადიუსის მართობულია (ნახ. 195). ასეთ შემთხვევაში წლიურ პარალაქსთან გვაქვს საქმე. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ



ნახ. 195.

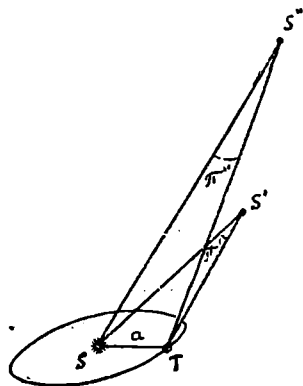
წლიური პარალაქსის ბაზისს დედამიწის ორბიტის რადიუსი წარმოადგენს. როგორც ვხედავთ (ნახ. 196), რაც უფრო შორსაა მართობი, მით ნაკლებია მისი პარალაქსი. მართლაც; ორ შემთხვევაში, როცა ბაზისი ერთი და იგივეა (ST), ერთი ვარსკვლავის (S') წლიური პარალაქსი (π') მეტია, ვიდრე მეორისა (S''), რომელიც უფრო შორსაა (π'').

ბაზისი ისეც შეგვიძლია შევარჩიოთ, რომ დედამიწის ზედაპირზე თავსდებოდეს. სხვა სიტყვებით, შეგვიძლია დავეკვირდეთ მნათობს დედამიწის ზედაპირის ორი სხვადასხვა პუნქტიდან. ამის მაგალითი ნაჩვენებია 197-ე ნახაზზე, რომელიც თავისთავად

გასაგებია და განმარტებას თითქმის არ მოითხოვს. დავეუმატებთ მხოლოდ იმას, რომ, თუ მნათობი S_n მეტისმეტად შორსაა, იგი ბაზისის ორივე ბოლოდან ერთი და იმავე მიმართულებით მოჩანს და მისი პარალაქსური კუთხე პრაქტიკულად ნულია.

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.

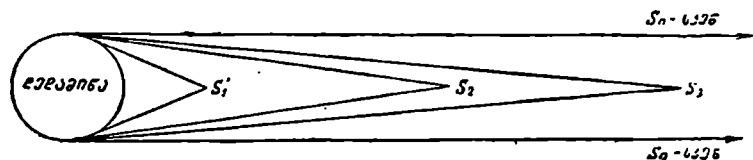
მაგრამ, თუ გვინდა მთვარის დაშორება რომელიმე სხვა მნათობის—პლანეტის დაშორებას შევადაროთ, ბაზისს უფრო გარკვეული და უცვლელი მნიშვნელობა უნდა მივანიჭოთ ანუ სათანადოდ შევარჩიოთ ბაზისი. ასეთ შემთხვევაში უმჯობესია ბაზისად ავიღოთ დედამიწის რადიუსი და გავავლოთ მიმართულებანი, რომელთაც წარმოადგენენ



ნახ. 196.

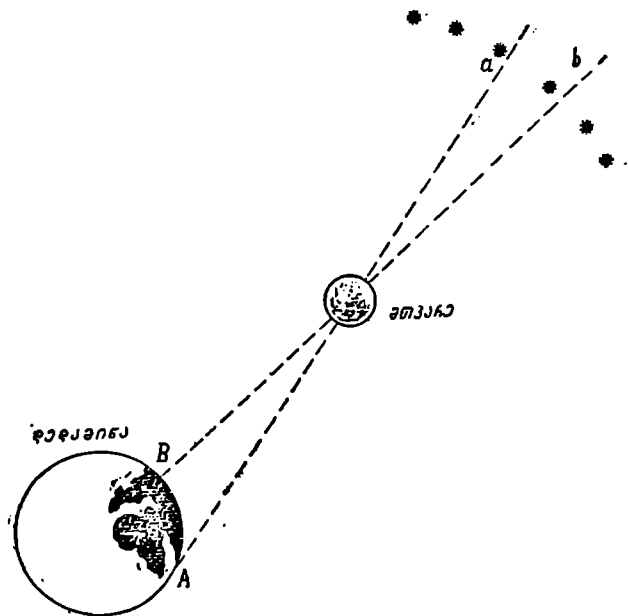
თვალთახედვის ხაზები დედამიწის ზედაპირის რომელიმე პუნქტიდან მნათობამდე.

და დედამიწის ცენტრიდან იმავე მნათობამდე, მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ - რომ ამ შემთხვევაში მნათობის პარალაქსი წარმოადგენს კუთხეს, რომლითაც მნათობიდან გამოჩნდებოდა დედამიწის რადიუსი. მაგრამ, რადგანაც დედამიწის რადიუსი—დედამიწის სფეროიდულობის გამო—სხვადასხვა პუნქტში სხვადასხვა



ნახ. 197.

სიდიდისაა, ამიტომ მეტი გარკვეულობისათვის უმჯობესია შევჩერდეთ ეკვატორულ რადიუსზე და პარალაქსი განვმარტოთ როგორც კუთხე, რომლითაც მოჩანს მნათობიდან დედამიწის ეკვატორული რადიუსი. ახლა უფრო მეტი გარკვეულობა საკითხში, თუმცა ჯერ კიდევ მაინც არასაკმარისი.

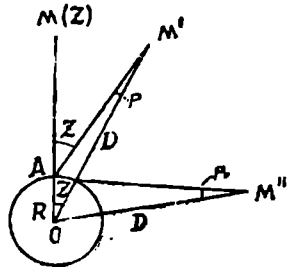


ნახ. 198.

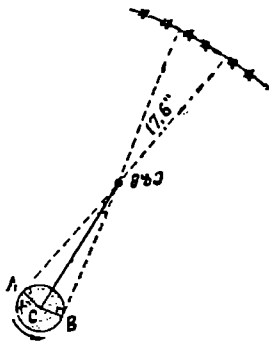
მართლაც, განვიხილოთ 199-ე ნახაზი, სადაც, როგორც ვამჩნევთ, პარალაქსური კუთხე მცირდება ჰორიზონტიდან მნათობის სიმაღლის ზრდასთან ერთად. როცა მნათობი ზენიტში იმყოფება, მისი პარალაქსის კუთხე ნულის ტოლია.

პარალაქსის კუთხის მნიშვნელობა მაქსიმალურია, როცა მნათობი პორიზონტზეა. ასეთ პარალაქსურ კუთხეს პორიზონტული პარალაქსი ეწოდება და იგი უკვე სრულიად გარკვეული, მხოლოდ მნათობის მანძილზე დამოკიდებული სიდიდეა. საბოლოოდ ვლტებულობთ პარალაქსის შემდეგ განსაზღვრას: ეს არის მახვილი კუთხე მართკუთხა სამკუთხედში, რომლის ჰიპოტენუზა წარმოადგენს მანძილს დედამიწის ცენტრიდან მნათობამდე, ხოლო ერთ-ერთი (მცირე) კათეტი—დედამიწის ეკვატორულ რადიუსს. ასეთი პარალაქსის სრული სახელწოდებაა პორიზონტულ-ეკვატორული პარალაქსი. ზოგადად კი მას დედამიწის პარალაქსი ეწოდება, რამდენადაც მისი ბაზისი დამკვირვებლის დედამიწი და არა წლიური გადაადგილების ფარგლებშია.

განხილული ნახაზები აშკარად მოწმობს, რაც უფრო დიდია ბაზისი, მით დიდია შესაბამისი პარალაქსის კუთხე. როგორც ზემოთ ვნახეთ, ვარსკვლავთა წლიური პარალაქსების მნიშვნელობანი ერთობ მცირე სიდიდეებია, მიუხედავად სათანადო ბაზისის დიდი სიგრძისა (დედამიწის წლიური ორბიტის რადიუსი ანუ, დაახლოებით, 150 მილიონი კილომეტრი!). ცხადია, რომ, თუ ვარსკვლავთა პარალაქსის კუთხეების განსახილველად და განსასაზღვრავად ავირჩევდით ბაზისად დედამიწის რადიუსს, რომელიც 23000-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ბაზისი წლიურ



ნახ. 199.



ნახ. 200.

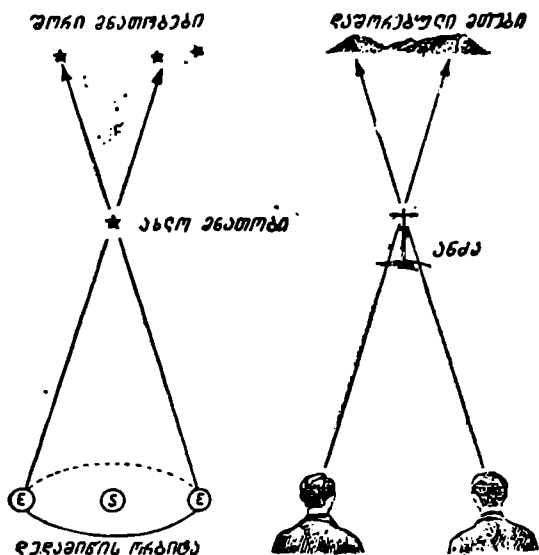
პარალაქსში, ისეთ მცირე კუთხესთან გვეჭვბოდა საქმე, რომლის გაზომვას ვერც მოვახერხებდით. ამიტომ ვარსკვლავთათვის განიხილება, განისაზღვრება და გამოიყენება წლიური პარალაქსები. ჩვენი პლანეტური სისტემის მნათობების მიმართ, კერძოდ, მზისა და მთვარის, დიდი და მცირე ცთომილებითავე გამოიყენება დედამიწის პარალაქსი. სიდიდით ეს კუთხე მთვარისა და მზისათვის (ნახ. 200) წარმოადგენს დაახლოებით 57' და 9"-ს, შესაბამისად. მთვარეს, როგორც ჩვენთან უახლოეს მნათობს, უდიდესი პარალაქსი აქვს. ცთომილების პარალაქსები დიდ ფარგლებში იცვლება იმის გამო, რომ დიდად იცვლება მათი მანძილები დედამიწიდან. მაგალითად, მარსის დაშორება დედამიწიდან დაახლო-

ებით 55 მილიონი კილომეტრიდან 400 მილიონ კილომეტრამდე იცვლება და შესაბამისად იცვლება მისი დედამიწის პარალაქსიც—26'-დან 3'5"-მდე.

პარალაქსური გადაადგილების მოვლენას ხშირად ყოველდღიურ ცხოვრებაშიც ვხვდებით და აქაც იგი მანძილების შეფასების საშუალებას გვაძლევს (ნახ. 201).

პარალაქსის ცნება და მისი გამოყენება ძირითადად და მეტად მნიშვნელოვანს, სარწმუნო საშუალებას წარმოადგენს მნათობთა მანძილების გამოსათვლელად.

ამში ზემოთ განხილული ნახაზებითაც დავრწმუნდით, მაგრამ ახლა მათემატიკურად გამოვსახოთ დამოკიდებულება პარალაქსსა და მანძილს შორის.



ნახ. 201.

დამოკიდებულება მნათობის პარალაქსსა და მანძილს შორის, განვიხილოთ იგივე 199-ე ნახაზი, რომელზეც R -ით აღნიშნულია დედამიწის რადიუსი, D -ით მანძილი მნათობამდე და p_0 -ით კი მნათობის პორიზონტული პარალაქსი. 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 გამოითვლება D მანძილი.

მაგალითად, რამდენადაც მთვარისათვის პარალაქსის მნიშვნელობა საშუალოდ ეტოლება $57'$ -ს, თუ დედამიწის რადიუსის სიდიდედ 6400 კმ-ს მივიჩნევთ, D -თვის (მანძილი მთვარემდე) მივიღებთ 385000 კმ-ს.

მთვარის პარალაქსთან შედარებით ცთომილები პარალაქსების მნიშვნელობანი მცირეა და რკალის რამდენიმე სეკუნდით, ზოგ შემთხვევაში მისი ნაწილებით გამოიხატება. ამიტომ, მანძილის გამოსათვლელ აქ მოყვანილ ფორმულაში

$\sin p_0$ -ს ნაცვლად შევვიძლია ავიღოთ თვით p_0 , თუ უკანასკნელი გამოსახულა 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:

$$D = 206265 \frac{R}{p_0''}$$

მნათობის პარალაქსის განსაზღვრა დაკვირვებიდან. საკითხავია, როგორ განესაზღვროთ ან გაეზომოთ ის კუთხე, რომელიც თავისი წვეროთი მნათობის ცენტრშია მოთავსებული და ჩვენთვის მიუწვდომელია იმისათვის, რომ ამ მიზნით იქ კუთხმზომი იარაღი ვიხმაროთ.

ამისათვის საკმარისია, რომ მნათობს დაეაკვირდეთ ერთდროულად ერთ მერიდიანზე მდებარე ორი სხვადასხვა, A და B ობსერვატორიიდან, რომელთა განედებია S_1 და S_2 , შესაბამისად (ნახ. 202). დაკვირვება ჩავატაროთ კულმინაციის მომენტებში და გაეზომოთ მნათობის კოორდინატები: δ_1 და δ_2 დახრილობანი და α_1 და α_2 ზენიტური მანძილები, შესაბამისად*. აღვნიშნოთ ახლა მნათობის გეოცენტრული დახრილობა და ზენიტური მანძილი δ და z ასოებით.

მაშასადამე, ეს ის დახრილობა და ზენიტური მანძილია, რომელიც ექნებოდა მნათობს, თუ დაეაკვირდებოდით დედამიწის ცენტრიდან. ცხადია, რომ α_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

$$z_1 - z = \delta - \delta_1.$$

აღვიღალ შევამჩნევთ, რომ $z_1 - z = p$, ხოლო ამასთანავე, BOM სამკუთხედლიდან 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 ეწოდებოდეს, რადგანაც ისინი განისაზღვრებიან დამკვირვებლის ადგილის მიმართ, ე. ი. დამკვირვებლის ადგილია ამ სისტემაში კოორდინატთა საწყისი წერტილი.

ანალოგიური დაკვირვება მეორე ობსერვატორიიდან მოგვეცემს 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 (δ_1 , δ_2) მიხედვით.

მაგრამ დაკვირვება ორი ობსერვატორიიდან აუცილებელი არაა. მნათობის პარალაქსი შეიძლება განსაზღვროს ერთი ობსერვატორიიდან რამდენჯერმე წარმოებულ 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 დღელამური 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 დღელამური პარალაქსის შემთხვევისათვის. მაგრამ მსგავსივე ფორმულა გამოიყენება წლიური პარალაქსისთვისაც:

$$D = \frac{a}{\sin \pi}.$$

აქ π 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 მზე-დედამიწის მანძილია ანუ 206265-ჯერ აღემატება მანძილს მზესა და დედამიწას შორის, ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავიც კი უფრო შორისაა, ვიდრე ეს მანძილი და, სახელდობრ, 270000-ჯერ აღემატება მისი ჩვენგან დაშორება მზე-დედამიწის მანძილს. ამიტომ მისი პარალაქსი 1"-ზე ნაკლებია, მხოლოდ 0."76-ია!

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 დაგვეჭირდება 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/სეკ 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."76-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 დახსოვნება:

1 პარსეკი = 3.26 სინ. წელი = 206265 ასტრონ. ერთეული = $3.1 \cdot 10^{13}$ კმ; $\pi = 1''$,

1 სინ. წელი = 0.31 პარსეკი = 63290 ასტრონ. ერთ. = $0.95 \cdot 10^{13}$ კმ; $\pi = 3.''26$.

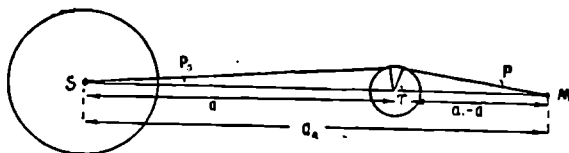
ასტრონომები ხშირად მიმართავენ კოსმოსური მანძილების კიდევ უფრო დიდ ერთეულს, როგორცაა კილოპარსეკი (კპს), შემდგარი 1000 პარსეკისაგან, და მეგაპარსეკი — მილიონი პარსეკი. მეგაპარსეკი იხმარება მეტაგალაქტიკური მანძილებისათვის, ე. ი. გალაქტიკებს შორის მანძილების შესაფასებლად. მაგალითისათვის შეგვიძლია გავიხსენოთ, რომ ჩვენს გალაქტიკასა და მეზობელ გალაქტიკას (ანდრომედას) შორის მანძილი დაახლოებით 2000000 სინათლის

წელია ანუ 610000 პარსეკია. სხვა სიტყვებით, ეს მანძილი გამოიხატება 610 კილოპარსეკით; იგი ნახევარ მეგაპარსეკზე მეტია.

მზის პარალაქსის განსაზღვრა. მზის დღელამური პარალაქსის განსაზღვრით გამოითვლება მანძილი დედამიწიდან მზემდე. მანძილი დედამიწიდან მზემდე ასტრონომიაში მეტად მნიშვნელოვან მუდმივს წარმოადგენს. ეს ფუნდამენტური სიდიდეა, რომელსაც ასტრონომიაში სიგრძის 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, მასა 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 მათობის 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 მლელვარე 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 ნაკლები



ნახ. 203.

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 განსაზღვრისათვის საჭირო კოორდინატზომში 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

$$\frac{\sin p_{\odot}}{\sin p} = \left(\frac{a_1}{a} - 1 \right).$$

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-ს. p , როგორც ვთქვით, ჩვეულებრივი მეთოდით სარწმუნოდ განისაზღვრება. მაშასადამე, p_{\odot} უბრალოდ გამოითვლება ამ უკანასკნელი ფორმულიდან, რომელიც ლებულობს მარტივ სახეს:

$$p_{\odot} = 0.52 p.$$

მაშასადამე, ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ თავიდან ავიცილინეთ გასაზომად ძნელი სიდიდის—მზის პარალაქსის გაზომვა და იგი მხოლოდ გამოვიტყალოთ გასაზომად უფრო ადვილი სიდიდის—მარსის პარალაქსის გაზომვის საფუძველზე.

თვით დამოკიდებულებიდან $p_{\odot} = 0.52 p$ ჩანს, რომ მარსის პარალაქსის განსაზღვრაში დაშვებული ცდომილება, რომელიც თავისთავად მცირეა, მზის პარალაქსში ორჯერ ნაკლებ ცდომილებას იძლევა. მიუხედავად ამისა, მარსი საესებით მოხერხებული როდია მზის პარალაქსის განსაზღვრისათვის, რამდენადაც მარსიც მაინც ბადროიანი მნათობის სახით მოჩანს, მეტადრე, თუ მოზრდილი ტელესკოპით ვაკვირდებით. სამაგიეროდ, მცირე ცთომილები 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 მაქსი და ამიტომ მათი პარალაქსები უფრო მცირეა მარსის პარალაქსთან შედარებით, რაც თითქოს მნიშვნელობას უკარგავს ამ მეთოდს, მაგრამ გვეხდება ისეთი მცირე ცთომილები, რომელნიც დროის გარკვეულ შუალედებში მარსის ორბიტის შიგნით შემოიქრებიან და ამდენად მარსზე უფრო მეტად გვიახლოვდებიან,

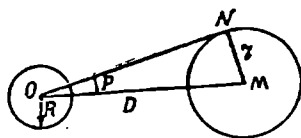
კერძოდ, წარსული საუკუნის დამლევეს აღმოჩენილ იქნა მცირე ცთომილი, შემდგომში ეროსად წოდებული, რომელიც დროდადრო დედამიწას იმდენად უახლოვდება, რომ მისი დაშორება დედამიწიდან ორნახევარჯერ ნაკლებია, ვიდრე მანძილი დედამიწა-მარსი. ეროსი საუკეთესო ობიექტია იმისათვის, რომ ვაწარმოთ მზის პარალაქსის განსაზღვრა აღწერილი 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 პირისპირდგომაა“. 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

შეტი გახდა, ვიდრე მზისაა, და მიადწია 60"-ს. ასეთ ხელსაყრელ პირობებში ეროსს აკვირდებოდნენ და მის პარალაქსს ზომავდნენ რამდენიმე ათეული ქვეყნის ობსერვატორიებში. დაგროვდა დიდალი დაშვებითი მასალა; მისმა ერთობლივმა დამუშავებამ 1942 წელს მიიყვანა ასტრონომები მზის პარალაქსის საუკეთესო განსაზღვრაზე, რომლის მიხედვით მისი მნიშვნელობა 8."790-აა. ეს შეესაბამება 149.6 მილიონ კმ.

საერთაშორისო შეთანხმების მიხედვით, ამჟამად მზე-დედამიწის მანძილის მნიშვნელობად სწორედ ეს მნიშვნელობაა აღიარებული.

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 p ასოთი (ნახ. 204), დედამიწის რადიუსს R -ით, მანძილს დედამიწა-სა და მნათობს შორის (მათ ცენტრებს შორის) — D -თი, მაშინ მნათობის საძიებელი წრფივი (კემბარტი) რადიუსი გამოითვლება ფორმულით: $r = D \sin p$.



ნახ. 204.

რადგანაც p საერთოდ მცირეა (მზისა და მთვარისათვის იგი ცოტათი განსხვავდება 15'-გან, ხოლო ცთომილებისათვის გაცილებით ნაკლებია), $\sin p$ შეგვიძლია შევცვალოთ შესაბამისი რკალით და დავწეროთ:

$$r = D p'' \sin 1'',$$

$$p'' = \frac{r}{D \sin 1''} = 206265'' \frac{r}{D}.$$

ადვილად გამოიყენება 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:

$$r = R \frac{\sin p}{\sin p_0}$$

p და p_0 -ის სიმციროს გამო მათი სინუსების შეფარდების ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ თვით არგუმენტების შეფარდება:

$$r = R \frac{p}{p_0}$$

მაგალითად, მთვარისათვის $p_0 = 57'$, $p = 15.5'$, ამიტომ

$$\frac{r}{R} = \frac{15.5}{57} = 0.27$$

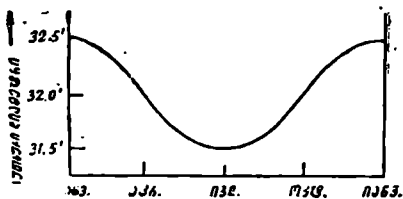
მაშასადამე,

$$r = 0.27R,$$

ე. ი. მთვარის რადიუსი (დიამეტრი) ცოტათი აღემატება დედამიწის რადიუსს (დიამეტრის) მეოთხედს.

როგორც ვნახეთ, იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ დისკოიანი მნათობის ნამდვილი სიდიდე (მისი რადიუსი), საჭიროა მანძილის ცოდნასთან ერთად მოვახერხოთ მისი დისკოს ხილული რადიუსის გაზომვა. ეს ადვილად შესასრულებელი ოპერაციაა, მაგალითად, მთვარისათვის, რამდენადაც მთვარეს, როგორც ატმოსფერულ გარსს მოკლებულ მნათობს, დისკოს მკვეთრი და მკაფიო მონახულობა 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 მანც მალალი სიზუსტით ზომავენ, ხმარობენ რა ამისათვის სპეციალურ ხელსაწყოს — ჰელიომეტრს. 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



ნახ. 205.

ელიფსია. ზაფხულში მზიდან თითქმის 5 მილიონი კილომეტრით უფრო შორს ვაშყავებით, ვიდრე ზამთარში. მზემდე უმცირესი მანძილი 147.2 მლნ კმ და უდიდესი 152.1 მლნ კმ-ია. იენისის დამლევს და იელისის. დასაწყისში კუთხე, რომლითაც მოჩანს მზის დიამეტრი წლის განმავლობაში, უმცირესია და ვტოლდება $31'30''$. 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.

მთვარის ხილული და ჭიმმარიტი მოძრაობა

მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე. მთვარის სიღერული თვე. მზის შემდეგ მთვარე წარმოადგენს ჩვენთვის ყველაზე უფრო კაშკაშა მნათობს. თავის ადგილას გავცნობით 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 ექსპერიმენტულადაც—კოსმოსური რაკეტების, ავტომატური სადგურების, ხომალდების გამოყენებით. მთვარეა უთუოდ ის პირველი მნათობი, რომელზეც უახლოეს დროში გახშირდება ავტომატურად მოქმედი დასამზერი 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 დღელამურ ბრუნვაში, იგი ამავე დროს სისტემატურად გადაინაცვლებს ვარსკვლავების მიმართ აღმოსავლეთით, ე. ი. ცამრგვალის ხილული ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

მაშასადამე, ხდება ისეთივე მოვლენა, როგორც მზის შემთხვევაშია (იხ. ზევით), მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ მთვარე უფრო შესამჩნევად, უფრო სწრაფად გადაადგილდება და იმიტომ იგი მზის მიმართაც აღმოსავლეთით გადაინაცვლებს. სხვა სიტყვებით, მთვარე ასწრებს მზეს ხილულ მოძრაობაში აღმოსავლეთით. როგორც გვახსოვს, მზის გადაინაცვლება გამოიხატება დღე-ღამეში საშუალოდ 1° -ით; მთვარისა კი—დაახლოებით 13° -ით (უფრო ზუსტად $13^{\circ}.18$). იმიტომ 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 შევინწავთ, რომ მას ადგილი შეუცვლია ვარსკვლავებს

შორის. ამის გამო ყოველ საღამოს მთვარე სხვადასხვა დროს ამოდის ჰორიზონტიდან; ყოველდღიურად მისი ამოსვლა ავსიანებს ნახევარი საათიდან თითქმის ერთ საათამდე. ასეთი მოვლენები ადვილად შეიმჩნევა და ამიტომ მთვარის ხილული მოძრაობის კანონზომიერებანი ძველთაგანვე ცნობილია; უძველესი დროის ასტრონომიული დაკვირვებისა და ცოლნის შინაარსის დიდ ნაწილს მთვარის მოძრაობა შეადგენდა.

მზე, გადაადგილდება რა აღმოსავლეთით ვარსკვლავებს შორის დღე-ღამეში დაახლოებით 1°-ით, მთელი წლის განმავლობაში წრეს შემოწერს ვარსკვლავებიან ცაზე. მთვარის გადაადგილებით აღმოსავლეთით დღე-ღამეში 13°-ზე ცოტა უფრო მეტით აგრეთვე შემოიწერება ცაზე წრეწირი, მაგრამ უფრო მოკლე დროის განმავლობაში, სახელდობრ, 27.3 დღე-ღამეში. მართლაც, $360 : 27.3 = 13.2 = 27.3$.

მაშასადამე, მთვარის ერთი ხილული გარემოქცევა ცაზე სრულდება 27.3 დღე-ღამეში ანუ თითქმის ერთ თვეში.

მაგალითისა და თვალსაჩინოებისათვის მივმართოთ 1970 წლის ასტრონომიულ კალენდარს (წელიწადულს), 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	ა	ბ	თანავარსკვლავედი
1	4 სთ 23 წთ	+26°43	კურო
4	7 10	+26 19	მარჩბივი
7	9 37	+15 21	ლომი
10	11 46	- 0 41	ქალწული
13	14 00	-17 02	ქალწული
16	16 49	-27 33	ღრიანჯალისა და გველის- მჯერის საზღვარი
19	20 04	-23 26	თხისრქა
22	22 57	- 5 45	მერწყული
25	1 30	+13 51	თევზები
28	4 10	+26 20	კურო
31	6 56	+26 52	მარჩბივი

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 ვარსკვლავთმიერი) 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 შნათობი, 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 საესე მთვარე ზამთრობით უფრო მაღლაა, ვიდრე ზაფხულობით. ამის მიზეზს ქვევით განემარტავთ, როცა მთვარის ნამდვილ ანუ ქეშმარიტ მოძრაობაში გავერკვევით.

მთვარის ფაზები. მთვარის სინოდური თვე. ვინ არ იცის, რომ მთვარის სახე პერიოდულად იცვლება; მთვარე ხან მთლიან ბადროს წარმოადგენს და მასზე ამბობენ, რომ საესეა, 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 ცოტადენი 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 საესე მთვარე, მართალია, სადამოობითაც სშირად გვინახავს აღმოსავლეთის ცაზე, ამოსვლისას, მაგრამ უფრო მეტად დაგვხსომებია მისი კიადი შუალაშით სამხრეთის ცაზე.

მთვარის სახის ასეთი პერიოდულად განმეორებადი ცვლებადობა 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 აღრე დლით მოჩანს აღმოსავლეთის ცაზე (ნახ. 206-ბ).

სავსემთვარეობაა, 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 სინოდურ* თვედ და მისი ხანგრძლივობა არის 29.531 დღე-ღამე ანუ 29 დღე-ღამე, 12 საათი, 44 წუთი და 2.78 წამი. ეს პერიოდიც ცვლებადობს 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.

მთვარის მოძრაობა სივრცეში. მისი ხილული მოძრაობისა და ფაზების ახსნა. მთვარის ხილული გადანაცვლება ცაზე მით არის გამოწვეული, რომ სინამდვი-

* ბერძნული σήμασις ნიშნავს თავშეყრას, შეხვედრას. იგულისხმება მზისა და მთვარის „თავშეყრა“.

ლემი მთვარე მოიქცევა დედამიწის გარშემო; იგი თითქმის წრიულ გზას ანუ ორბიტას შემოწერს დედამიწის ირგვლივ იმ დროის განმავლობაში, რომელსაც სიღერული თვე ვუწოდებთ. ეს მოძრაობა მიმართულია დასავლეთიდან აღმოსავლეთით. ასეთ პირობებში, ვუყურებთ რა მთვარეს (ვაგვეგმილებთ რა მას ვარსკვლავებიან



ნახ. 206.

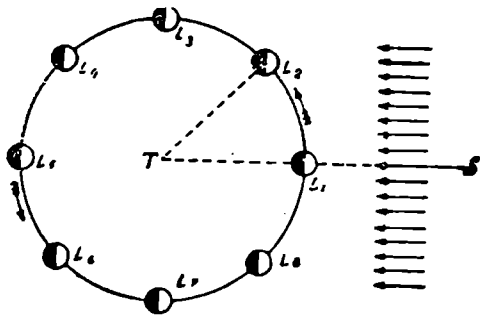
ცაზე), თანმიმდევრულად გადანაცვლებულს ვხედავთ ვარსკვლავების მიმართ (მისი გვემილი ცაზე გადაინაცვლებს).

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 შემფოთებებს და ამასთან ერთად მიჰყვება დედამიწას ამ უკანასკნელის წლიურ სარბოლაში მზის გარშემო. მთვარეს დედამიწის თანამგზავრსაც უწოდებენ სწორედ იმიტომ, რომ იგი არ ტოვებს დედამიწას, სულ მასთან არის, მის ირგვლივ მოძრაობს. მთვარე დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრია. ახლა აღამიანი 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, ქვეშარბიტი მოძრაობით სივრცეში დედამიწის ირგვლივ. რითღა აეხსნათ 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; ვხედავთ მის განათებულ ნახევარსფეროს ზოგჯერ სრულად (სავსემთვარეობა) და უფრო ხშირად—ნაწილობრივ, მის დიდსა თუ მცირე ნაწილს. გავარჩიოთ ეს მოვლენა დაწვრილებით.



ნახ. 207.

207-ე ნახაზზე T დედამიწას აღნიშნავენ. 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 385.000 კილომეტრია. მზე არ არის წარმოდგენილი ნახაზზე. იგი შორს, მარჯვენა მხარეზე ვიკულობთ. 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 ნახევრის 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 გაუნათებული ნახევარი და, მეორეც,—მთვარე პირდაპირ მზის მიმართულებით მდებარეობს და მის თვალის-მოპყრელ სხივებში „იკარგება“.

ეს მომენტი ჩავთვალეთ მთვარის თვითრი გარემოქცევის საწყისად და ვუწოდოთ მას მთვარის "შეერთება". „შეერთებულია“ ანუ თანხედენილია 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 ამოხსნილობით მარჯვნივ ანუ დასავლეთით (მზისაკენ) არის მიმართული. მთვარის ფაზა ამ მომენტში ისეთია, როგორც ეს 206-ე-ა ნახაზზეა.

მზისა და მთვარის

მდგომარეობა

მომენტის

მდგომარეობა

W

დასავლეთის
ნახაზი

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 დასტურ-

დება ეს. მართლაც, კუთხე TS და TL_2 -ს შორის ანუ მზეზე და მთვარეზე თვალთანედვის მიმართულებათა შორის კუთხე შედარებით მცირეა.

რადგანაც ამ დროს მზე მთვარის დასავლეთით (მარჯვნივ) მდებარეობს, ახალი მთვარე საღამოობით მოჩანს დასავლეთის ცაზე და, ახლოა რა მზესთან, მალე ჩადის პორიზონტის 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 პორიზონტის ქვეშ (ეს გამოხატულია 208-ნახაზზე, სადაც მოცემულია შზარდი მთვარის მდებარეობა ცაზე სამი მომდევნო საღამოს ერთსა და იმავე საათზე), სხვა სიტყვებით, მთვარე „ხანში შედის“. რაიცა მთვარე L_3 მდებარეობაშია, კუთხე მზესა და მთვარეზე გავლებულ მიმართულებათა შორის 90° -ს მიაღწევს. ამ დროს დედამიწიდან მოჩანს მთვარის სფერული ზედაპირის განათებული ნახევრის ნახევარი ანუ ფაზა, რომელიც გამოიხატება 206-ე-ბ ნახაზზე, ე. ი. ნახევარბადრო. ამ ფაზას მთვარის პირველ მეოთხედსაც უწოდებენ. რამდენადაც მზესა და მთვარეზე მიმართულებათა შორის კუთხე 90° -ია, მთვარის კულმინაცია ნ საათით ჩამორჩება მზისას. ასე რომ, ღამის პირველი ნახევრის განმავლობაში მთვარე პორიზონტის ზემოთაა.

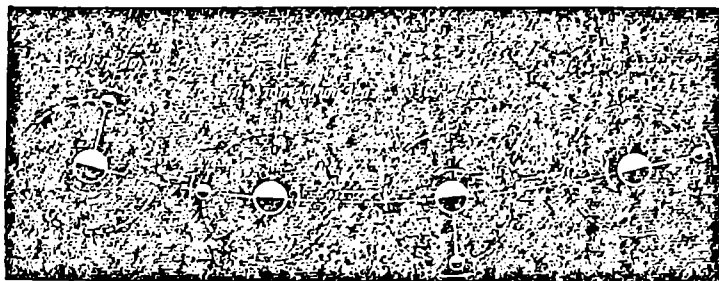
თუ აღებულ დღეს მზისა და მთვარის კულმინაციათა შორის განსხვავება ზუსტად 6 საათია, შეგვიძლია თუ არა დავასკვნათ, რომ მათი ჩასვლის მომენტებს შორისაც იგივე ექვსსაათიანი განსხვავებაა? არა, განსხვავება 6 საათზე ცოტა მეტი იქნება იმის ხარჯზე, რომ მთვარის კულმინაციის მომენტიდან ჩასვლამდე დღე-ღამის მეოთხედი გადის და ამ ხნის განმავლობაში მთვარე კიდევ ჩამორჩება მზეს, გადაინაცვლებს რა მის აღმოსავლეთით დაახლოებით ($13^\circ - 1^\circ$): $4 = 3^\circ$ სიდიდით; 3° -ს შეესაბამება საშუალოდ დროის 12 წუთი! ცხადია, მთვარის დახრილობის ცვლილებაც თავის გავლენას ახდენს ჩასვლის მომენტზე.

ნახევარბადროს ფაზის შემდეგ გაივლის კიდევ ერთი კვირა და მთვარე მიაღ-

წეეს 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—საესემთვარეობაა (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; 206-ე-ფ ნახ.). მთვარის ამ ფაზას უკანასკნელ მეოთხედს უწოდებენ. ახლა მთვარე 6 საათით ასწრებს მზეს ამოსვლასა და კულმინაციას.

L_8 მდებარეობაში მთვარე, L_2 -ის მსგავსად, ნამგლის სახით წარმოგვიდგება, ოღონდ ახლა ნამგალი ამოზნექილობით აღმოსავლეთით (მარცხნივ) არის მიმარ-



ნახ. 209.

თული (206-ე-თ ნახ.). ეს ძველი მთვარეა. იგი კვლავ მზის ახლო ჩანს ცაზე, მაგრამ მის დასავლეთ მხარეზე (მის მარცხნივ) 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 საესემთვარეობის მდგომარეობას სიზიგეებს უწოდებენ (ბერძნული სიტყვა *σύνιζυγία*—შეუღლება, შეერთება). ხოლო, როცა მზესა და მთვარეზე გავლებულ მიმართულებებს შორის 90° -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 საესემთვარეობამდე, საღამოობით, მზის ჩასვლიდან 1 საათის შემდეგ.

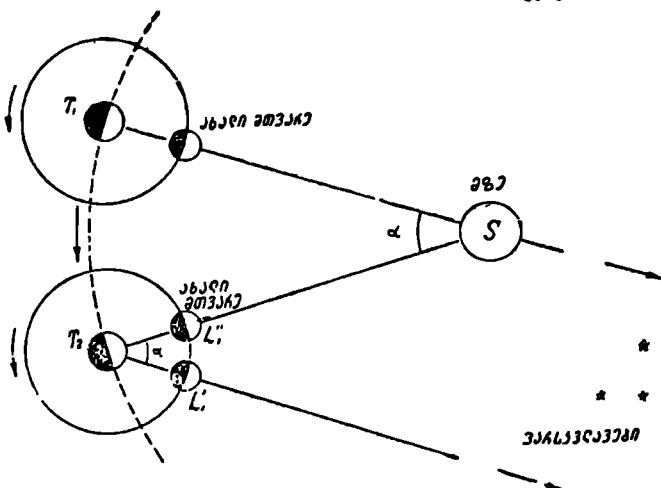
ზემოთ ვთქვით, რომ დროის შუალედი ერთი ფაზიდან იმავე მომდევნო ფაზამდე, ე. ი. ახალმთვარეობიდან ახალმთვარეობამდე ან საესემთვარეობიდან შემ-

დღომ სავსემთვარეობამდე 29.531 დღე-ღამეა. ეს იგივეა, რაც პერიოდი შვერთები-
დან შვერთებამდე. მაგრამ, ისმის კითხვა, — თუკი მთვარის დედამიწის გარსმოქცე-
ვის პერიოდი 27.322 დღე-ღამეა (იხ. ზევით), რა განსაზღვრავს სინოდურ პერიოდს
29.531 დღე-ღამით? პასუხისათვის მიემართოთ 211-ე ნახაზს. რომელიღაც მომენტ-



ნახ. 210.

ში, როცა დედამიწა T_1 მდებარეობაშია, მთვარე შვერთებაში იმყოფება (T_1L_1S)
და ახალმთვარეობაა. ამის შემდგომ მთვარე განაგრძობს თავის თვითურ გარემოქ-
ცევას დედამიწის ირგვლივ საკუთარ ორბიტაზე, ისრით ნაჩვენები მიმართულებით.



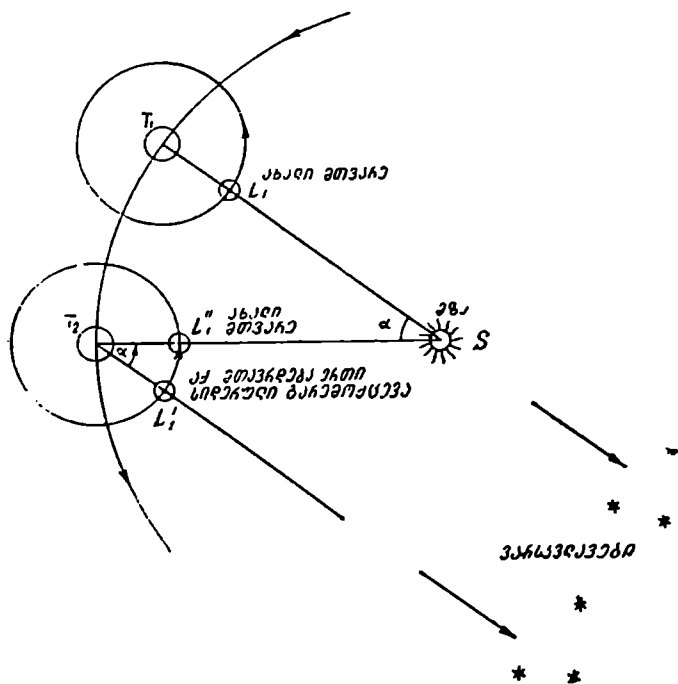
ნახ. 211.

დედამიწაც გადაინაცვლებს თავის ორბიტაზე, რომელზეც აგრეთვე ნაჩვენებია
ისრით წლიური მოძრაობის მიმართულება (იხ. აგრეთვე ნახ. 212).

27 ¹/₃ დღე-ღამის განმავლობაში მთვარე ერთ სრულ წრეს შემოწერს დედა-
მიწის გარშემო. ამ დროის დასასრულისათვის დედამიწა T_2 -ში მივა. ახლა მთვ-

რის მდებარეობა L'_1 -ით განისაზღვრება ($T_2L'_1$ პარალელურია T_1L_1 -ისა). ეს იქნება მთვარის ერთი სრული გარემოქცევის დასასრული—სიღერული პერიოდი (27.32 დღე-ღამე). მაგრამ ჯერ არ იქნება მისი ფაზების პერიოდის დასასრული, ე. ი. არ იქნება შესრულებული სინოდური თვე;—ჯერ არ დამდგარა მთვარე, მომდევნო ახალმთვარეობა. ეს უკანასკნელი მაშინ დადგება, როცა მთვარე L''_1 მდებარეობაში მივა (შეერთება: $T_2L_1''S$), ე. ი. შემოწერს თავის ორბიტაზე კიდევ მცირე სიგრძის რკალს $L'_1L''_1$.

ეს რკალი, რომელიც შეესაბამება α კუთხეს, ერთდროულად იმასაც გამოხატავს, თუ რა სიდიდით გადაადგილდება ცაზე ვარსკვლავების მიმართ მზე $27\frac{1}{3}$

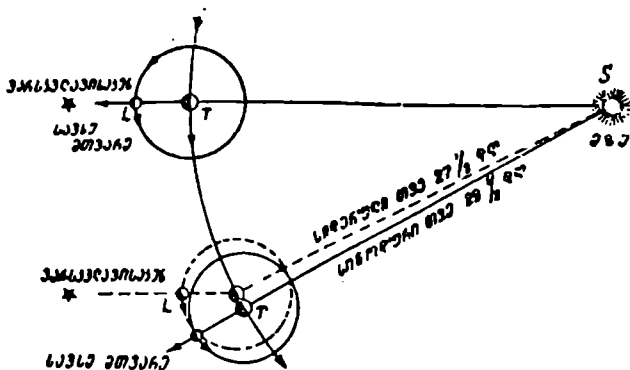


ნახ. 212.

დღე-ღამის განმავლობაში. როგორც ვიცით, 1 დღე-ღამეში მზე დაახლოებით 1° -ით გადაინაცვლებს ცაზე. მაშასადამე, α კუთხე დაახლოებით 27° -ს ეტოლება.

მთვარე კი 360° -ს $27\frac{1}{3}$ დღე-ღამეში შემოწერს და, მაშასადამე, 1 დღე-ღამეში დაახლოებით $360 : 27\frac{1}{3} \approx 13^\circ$ -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. ამასთან დაკავშირებით საუარჯიშოდ მკითხველმა გაარჩიოს 213-ე ნახაზი.

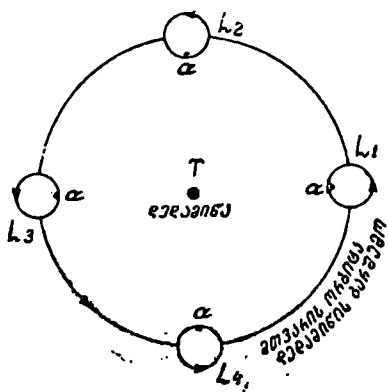


ნახ. 213.

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 ღედამიწა, მზე, პლანეტები, ვარსკვლავები, ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ასეთი ბრუნვა, სივრცულ მოძრაობასთან ერთად, კოსმოსური სხეულების საერთო თვისებაა. მაშ რატომ წარმოგვიდგება მთვარის ზედაპირი ასე უძრავად?

მიზეზი ისაა, რომ მთვარის ბრუნვა ისეთი სიჩქარით ხდება, რომ მის ერთ მობრუნებას ღერძის ირგვლივ იგივე დრო სჭირდება, როგორც ერთ გარემოცეცვას ღედამიწის გარშემო, ე. ი. მთვარის ბრუნვის სიჩქარე უფროსაა ერთი მობრუნება 27.3 დღე-ღამეში. სხვა სიტყვებით, მთვარის დღე-ღამე მთვარის სიდერული თვის ტოლი უფროსაა. ამასთანავე მთვარის

ბრუნვის სიჩქარით ხდება, რომ მის ერთ მობრუნებას ღერძის ირგვლივ იგივე დრო სჭირდება, როგორც ერთ გარემოცეცვას ღედამიწის გარშემო, ე. ი. მთვარის ბრუნვის სიჩქარე უფროსაა ერთი მობრუნება 27.3 დღე-ღამეში. სხვა სიტყვებით, მთვარის დღე-ღამე მთვარის სიდერული თვის ტოლი უფროსაა. ამასთანავე მთვარის



ნახ. 214.

ბრუნვის ღერძი თითქმის ეკლიპტიკის მართობულია.

ახლა მოვლენის უფრო მკაცრ, გეომეტრიულ ილუსტრაციას მივმართოთ. 214-ე ნახაზზე T ღედამიწას გამოხატავს და L_1, L_2, L_3, L_4 —მთვარის ოთხ თანმიმდევარ მდებარეობას მის ორბიტაზე ღედამიწის გარშემო. ღედამიწა აქ წერტილით არის გამოხატული, ხოლო მთვარე—წრეებით. ისრებით ნაჩვენებია როგორც

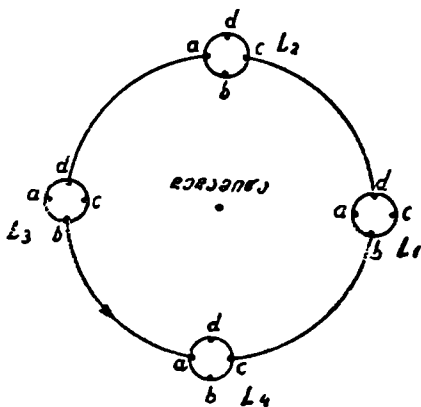
მთვარის დედამიწის გარშემო მოძრაობის, ისე მისი ბრუნვის მიმართულებაც. ეს თრი მიმართულება თანხვედრა ერთიმეორეს; ორივე მოძრაობა საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგაო და, მაშასადამე, დასავლეთიდან აღმოსავლეთითაა მიმართული. ეს უკანასკნელი გარემოებაც უნდა დავასახელოთ იმის მესამე მიზეზად, რომ დედამიწიდან ყოველთვის მთვარის მხოლოდ ერთ ნახევარსფეროს ვხედავთ.

დაბოლოს ისიც არსებითაა, 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 მიუხედავად იმისა, რომ L_1 მდებარეობიდან L_2 -მდე მთვარე გადის დედამიწის გარს თავისი ორბიტის მეოთხედს. ამასთანავე იგი თავისი ღერძის ირგვლივაც ერთი მეოთხედით იმ ადგილამდე მიმართულებით შემობრუნდება. მისი ზედაპირის რომელიმე a წერტილი, რომელიც მთვარის L_1 მდებარეობაში T დედამიწიდან მთვარის ბადროს შუაში მოჩანდა, 90° -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 ქალაქის სიბრტყის მართობულად გვაქვს წარმოდგენილი, თუმცა დედამიწის წლიური ორბიტა არა გვაქვს შემოხაზული მასზე. დიდი გარშემოწერილობა ნახაზზე მთვარის ორბიტას გამოხატავს, მაგრამ მისი სიბრტყე დიდად არ შორდება ეკლიპტიკის სიბრტყეს, თუმცა სრული თანხვედრაც არაა (მთვარის ორბიტის სივრცულ ორიენტაციაზე ქვემოთ გვექნება უფრო დაწვრილებითი საუბარი).

განვიხილოთ ახლა შემდგომი, 215-ე ნახაზი, რომელიც კუშმარტ მდგომარეობას კი არ გამოხატავს,

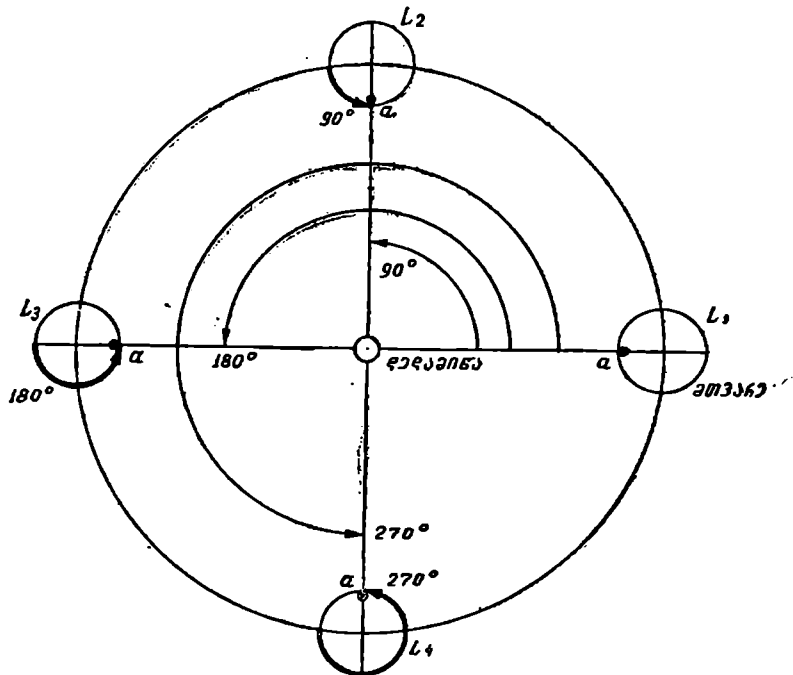
არამედ მოყვანილია იმისათვის, რომ კიდევ ერთხელ დავრწმუნდეთ მსჯელობის სისწორეში. მთვარის ზედაპირის მოხაზულობის უცვლელობა ბადროს ცენტრის ან კიდევბის მიმართ არ ნიშნავს იმას, რომ მთვარე არ ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო. ნახაზი ისეთივეა როგორც წინა, მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ მთვარე თითქოს არ ბრუნავს ღერძის 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 ვაივლის მთვარის თვის ერთი მეოთხედი და მთვარე მიალწევს L_3 მდებარეობას. მაგრამ, თუ მთვარე არ ბრუნავს ღერძის ირგვლივ, მაშინ მიმართულება მთვარის



ნახ. 215.

ცენტრიდან a წერტილისაკენ კვლავ იგივე იქნება, a წერტილი ჩვენთვის მთვარის უკანა მხარეზე მოექცევა, ბაღროს 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 დაეინახავდით და ორ-



ნახ. 216.

ორჯერ ერთი მთვარისეული თვის მანძილზე. ამაში ადვილად დარწმუნდება მკითხველი, თუ დაუფიქრდება საკითხს და გაარჩევს მას ნახაზზე ან რაიმე მოდელზე.

სასურველია მკითხველმა გაარჩიოს 216-ე ნახაზი, რომელიც სხვა ვარიანტში იძლევა ზემოთ გადმოცემულის ილუსტრაციას, და, ამას გარდა, თვითონ შეადგინოს 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 მთლიანი მხარის ავტომატურად ფოტოგრაფირება და სატელევიზიო და რადიოტექნიკის გამოყენებით ფოტოსურათები გადმოსცა დედამიწაზე. ასეთი ცდები შემდგომში არაერთხელ გამოვლინდა. თვით ადამიანებმაც შემოუარეს მთვარეს და გადაიღეს სურათები. ამის წყალობით გვაქვს ახლა მთვა-

რის მეორე ნახევარსფეროს ზედაპირის აგებულების სურათი და რეალური წარმოდგენა მასზე.

საინტერესოა ვიკითხოთ, შემთხვევითია მთვარის ლერძის ირგვლივ ბრუნვისა და დედამიწის გარსმოქცევის პერიოდების თანხვედრა, 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 ლერძის ირგვლივ. დედამიწა, რომლის მასა, დაახლოებით, 80-ჯერ აღემატება მთვარისას, ძლიერ მიიზიდავდა თავისაკენ მთვარის ზედაპირის თხევად მასებს და ამნაირად იწვევდა მათ მიქცევა-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 შევირლებს. 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 შევირლი, ამ უზარმაზარი დროის მანძილზე უკვე გაყარებული, სამუდამოდ არ დაჩა დედამიწისაკენ მიმართული და გაწონასწორებული. მაშასადამე, მთვარის საერთო ფორმა არაა მკაცრად სფერული, არამედ ერთგვარად გაჭიმული, წაგრძელებული 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 ლერძის ირგვლივ იწვევს მის ზედაპირზე დღისა და ღამის ცვლას, ასევე მთვარის ბრუნვა თავისი ლერძის გარს წარმოშობს მისთვის (მთვარისათვის) დღისა და ღამის მოვლენას და მათ შენაცვლებას. მართლაც, მთვარეს ანათებს მზე, რომლის დაშორება მთვარიდან თითქმის 400-ჯერ აღემატება მთვარის ორბიტის რადიუსს (მანძილი დედამიწიდან მთვარემდე დაახლოებით 400.000 კმ-ია, ხოლო მზემდე—150 მილიონი კმ). ამასთანავე, როგორც დავრწმუნდით, მთვარე ბრუნავს თავისი ლერძის 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 ლერძის ირგვლივ ერთ შემობრუნებას მივიჩნევთ, იგი 27¹/₃ ჩვენებურ დღე-ღამეს ეტოლება. მაგრამ, იმის გამო, რომ მთვარე, დედამიწასთან ერთად, მზეს გარემოეკცევა, 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).

ტერმინატორი. ფერფლისფერი სინათლე. თუ მთვარე საკსემთვარეობისაგან განსხვავებულ ფაზაშია, მისი ბადრო მხოლოდ ნაწილობრივია განათებული. ხაზს, რომელიც გამოჰყოფს ბადროს ბნელ ნაწილს ნათელისაგან, ეწოდება ტერმინატორი. ეს ხაზი ფაქტობრივად გამოჰყოფს მთვარის მზისაგან განათებულ ნახე-

ვარსკვლავთა გულისგან 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 ელიფსურა რკალით; ორივე ერთ მხარეზეა (მზის მხარეზე) მიმართული თავისი ამოზნექილობით. კვადრატურებსა და სავსემთვარეობის შუა მოკცეულ დროში დისკოს წრეწირის რკალისა და ტერმინატორის ამოზნექილობა ერთმეორის საწინააღმდეგოა (ნახ. 206).

წრე, რომელიც ტერმინატორის ბოლოებს აერთებს, ახალმთვარეობიდან კვადრატურამდე ბადროს გაუნათებელ ნაწილზე გადის, ხოლო კვადრატურიდან სავსემთვარეობამდე—განათებულზე, მაგრამ ყოველთვის მართობულია მზე-მთვარის შემაერთებელი დიდი წრეწირის რკალისა.

ადგილი მისახებურია, 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.

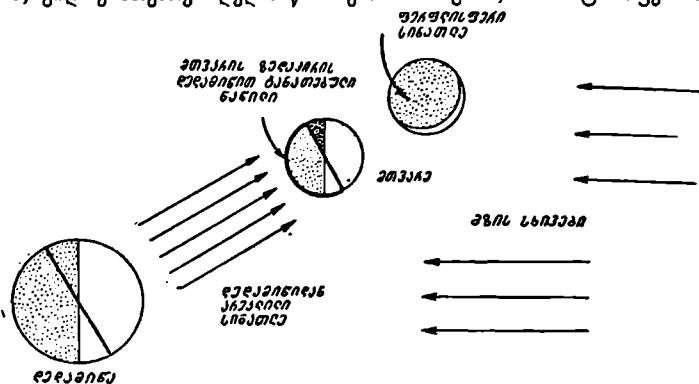
ტერმინატორი, როგორც მზისაგან განათებული და გაუნათებელი ნახევარფეროების გამყოფი წრეწირი, დედამიწასაც აქვს თავის ზედაპირზე და მისი დანახვაც შეიძლება, თუ დედამიწას შორიდან, კოსმოსური სივრციდან შემოვხედავთ. დედამიწაზედაც გადაინაცვლებს ტერმინატორი როგორც ადგილი, სადაც ხდება მზის ამოსვლა ან ჩასვლა, რამდენადაც დედამიწაც ბრუნავს თავისი ღერძის ირვკლივ. მაგრამ დედამიწის ტერმინატორი როდი გამოჩნდება ისევე მკაფიოდ, ბნელისა და ნათელის მკვეთრად გამყოფ ხაზად, როგორც ეს მთვარეზეა. ამის მიზეზი დედამიწის გარემომცველი ატმოსფეროა, რომელშიც ხდება მზის სინათლის მრავალგზისი არეკლა 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 წაშს ტერმინატორი თქვენს ადგილს მოაღწევს, ერთბაშად განათდება, გათენდება. ადგილი არ ექნება თანდათანობით გადასვლას ღამიდან დღეზე და არც დღიდან ღამეზე. საკმაოდ მკვეთრად გამოიკვლება ტერმინატურა იქ, სადაც ტერმინატორი გაივლის.

ახალმთვარეობის მომენტის ახლო, როცა მთვარის „ნამგალი“ საკმარისად ვიწროა, მინც შეგვიძლია გავარჩიოთ მთვარის მთელი ბადრო. ამ დროს მთვარის ის ნაწილი, რომელიც არაა განათებული უშუალოდ მზის მიერ, თითქმის სრულიად ბნელი უნდა იყოს, მაგრამ სინამდვილეში მინც ანათებს, თუმცა ერთობ მკრთალად. მზის მიერ მთვარის გაუნათებელი ნაწილის ასეთ ნათებას უწოდებენ ფერდღისფერ სინათლეს.

ფერფლისფერი სინათლე წარმოადგენს დედამიწის ზედაპირიდან არეკლილ სინათლეს (ნახ. 217). საერთოდ, მთვარის მსგავსად, დედამიწაც თავისთავად ბნელი, არამნათი სხეულია, მას მზე ანათებს და მის სხივებს აირეკლავს. თუ წარმოვიდგინებთ ჩვენს თავს მთვარეზე და იქიდან დედამიწას დავაკვირდებით, დედამიწის ფაზებს შევნიშნავენ; ოლონდ, როცა ჩვენთვის ახალმთვარეობაა, მთვარიდან დედამიწა სრულ ფაზაში გამოჩნდება, საესე იქნება. პირიქით, როცა აქ საკვებმთვარეობაა, მთვარეზე მყოფ დამკვირვებელს დედამიწა აღრინდელ ან „დაძვლებულ“ ფაზაში წარმოუდგება და მის განათებულ ვიწრო „ნამგალს“ დაინახავს.

დედამიწის ბაღროს ფართობი მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის თითქმის 16-ჯერ დიდია მთვარისაზე და დედამიწიდან არეკლილი სინათლეც მეტია. მაშასადამე, დედამიწა უფრო მეტად ანათებს მთვარეზე მყოფი დამკვირვებლისათვის, ვიდრე მთვარე—დედამიწისათვის. იმის გამო, რომ ატმოსფეროთი მო-



ნახ. 217.

ცული დედამიწიდან სინათლის არეკლის პირობები სხვაა, ვიდრე მთვარის მწირი და ატმოსფეროს გარეშს მოკლებული ზედაპირიდან, დედამიწის ბაღრო მთვარეზე 16-ჯერ კი არა, თითქმის 80-ჯერ მეტად ანათებს, ვიდრე მთვარისა—დედამიწაზე. ეს სინათლე საკმარისია იმისათვის, რომ მთვარის მზისაგან გაუნათებელი ზედაპირი დაეინახათ. ფერფლისებრი სინათლე ყოველ ფაზაში (რა თქმა უნდა, საკვებმთვარეობის გარდა) არსებობს, მაგრამ ყველაზე შესამჩნევად ახალმთვარეობის მახლობლობაში ჩანს, რადგანაც, ჯერ ერთი, ამ დროს მთვარის „ნამგალი“ იმდენად ვიწროა და იმდენად მკირე სინათლეს იძლევა, რომ ხელს ვერ გვიშლის გაეარჩიოთ მის გვერდით მდებარე მკრთალად განათებული ზედაპირი. მეორეც, სწორედ ახალმთვარეობისას მთვარისათვის დედამიწა საესე ფაზაშია და საკმაოდ დიდ სინათლეს აფრქვევს მთვარეზე. შეიძლება ითქვას, რომ, როცა ფერფლისებრი სინათლეს ახალ მთვარეზე ვხედავთ საღამოობით, ეს იმას ნიშნავს, რომ ვამჩნევთ ატლანტის ოკეანიდან და ამერიკის კონტინენტიდან არეკლილ 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 გვეჩინდეს წარმოდგენა, თუ რა ფერისაა ან რა სიკაშკაშე

აქვს ჩვენს პლანეტას—დედამიწას—კოსმოსური სივრციდან დაკვირვებისას. ამის გამორკვევა საინტერესოა როგორც თვით დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე ცვლილებების შესასწავლად, ასევე შედარების საფუძველზე, სხვა პლანეტების ფიზიკური აგებულების გამოსაკვლევად. ადამიანი შეიქრა 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.

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, ვარსკვლავთმიერ წელიწადს ანუ დროს იმ შუალედს, რომლის განმავლობაში მზე ერთ სრულ წრეს შემოწერს ცაზე.

მზის დღე-ღამური გადაადგილება შეადგენს წრეწირის $\frac{1}{E}$ ნაწილს; მთვარისა კი—წრეწირის $\frac{1}{T}$ ნაწილს. მთვარის დღეღამური გადაადგილება მზის მიმართ გამოხატება $\frac{1}{S}$ -ით. მაგრამ, ცხადია, რომ ეს უკანასკნელი გადაადგილება მიიღება, თუ მთვარის დღეღამური გადაადგილებიდან ვარსკვლავების მიმართ გამოვაკლებთ მზის დღეღამურ გადაადგილებას ისევ ვარსკვლავების მიმართ და, მასადაამე, 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 შემდეგნაირადც დაიწერება:

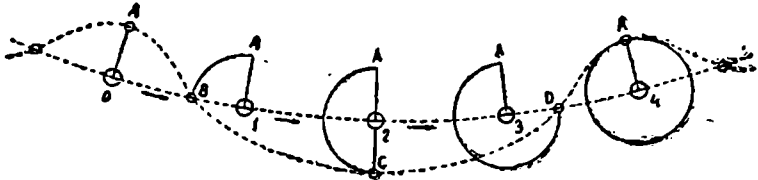
$$1 = S \left(\frac{E - T}{TE} \right).$$

$$S = \frac{TE}{E - T}.$$

ადვილი მოსათქვამებელია, რომ ერთ ვარსკვლავთმიერ წელიწადში მოთავსებულ მთვარის სიღერულ თვეთა რაოდენობა ერთით აღემატება მასწივე მოთავსებულ მთვარის სინოდურ თვეთა რაოდენობას. ეს რაოდენობებია, შესაბამისად, 13.369 და 12.369.

მთვარის გზა ხაზანეტათშორისო სივრცეში. მოიქცევა რა. ყოველთვიურად დედამიწის ირგვლივ, მთვარე ამასთანავე მისდევს დედამიწას მის სრბოლაში მზის გარშემო. ამიტომ მთვარე ერთი წლის მანძილზე მზის გარშემოც შემოვივლის, დედამიწასთან ერთად, რომელსაც არასოდეს არ შორდება; იგი მუდამ დაკავშირებულია დედამიწასთან მიზიდულობის ძალით, რის გამო მისი თანამგზავრაც ეწოდება.

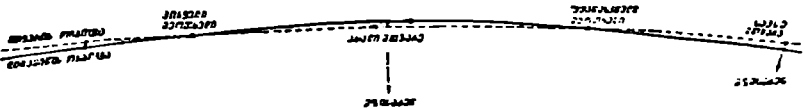
რა მოყვანილობისაა მთვარის გზა მზის მიმართ? იგი ერთგვარად ემსგავსება ეპიციკლოიდს. ეს ისეთი მრუდია, რომელსაც ბორბლის რომელიმე ექსცენტრული წერტილი შემოწერს, როცა ბორბალი მივრატეს. მიიღება თავისებური ტრაექტორია, რომელსაც არც ნასკვები აქვს, რამდენადაც თავისთავს არ გადაკვეთს, არც წვეროები. 218-ე ნახაზზე გამოხატულია 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 მოძრაობა საწ-



ნახ. 218.

ყისი მომენტიდან, როცა დედამიწა O მდებარეობაშია, ხოლო მთვარე A -ში. ამ დროს ახალმთვარეობაა (მზე ქალაღის სიბრტყეში, ზემო მხარეზე იგულისხმება). სინოდური თვის ერთი მეოთხედის (დაახლოებით $7\frac{1}{2}$ დღე-ღამის) შემდეგ დედამიწა გადმოინაცვლებს 1-ელ მდებარეობაში.

ამ ხნის განმავლობაში მთვარე მას გარს უვლის საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. დედამიწა რომ უძრავი ყოფილიყო, მაშინ მთვარის გზა გამოინახებოდა წრეწირის მეოთხედით O -ს ირგვლივ. მაგრამ სინამდვილეში მთვარის გზას

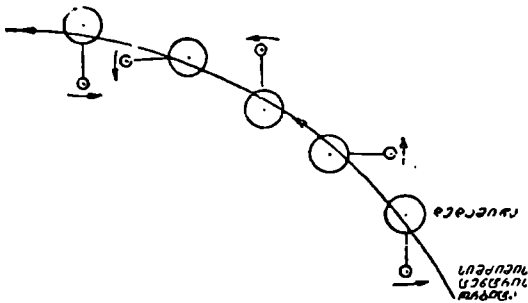


ნახ. 219.

სივრცეში განსაზღვრავს როგორც მისი საკუთარი მოქცევა დედამიწის ირგვლივ, ისე დედამიწისა—მზის ირგვლივ. ამიტომ, ამ ხნის განმავლობაში მთვარეს უმოძრავია AB პუნქტირის გასწვრივ. ასე შეგვიძლია განვავარძოთ მსჯელობა დედამიწის შემდგომ მდებარეობებზე (2), როცა საფემთვარეობაა, და (3) როცა მთვარის ფაზის უკანასკნელი მეოთხედაა. საინტერესოა, მივაქციოთ ყურადღება მოძრაობას 3-დან 4-მდე. ერთი შეხედვით, თითქოს მთვარე დედამიწას 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 სინოდური თვე.

მზის გარშემო მთვარის შედგენილი გზის საბოლოო სახეს განსაზღვრავს დედამიწისა და მთვარის მოძრაობათა სიჩქარეები და მანძილები დედამიწიდან მთვარემდე და მზემდე. 218-ე ნახაზზე არაა დაცული მასშტაბი, მაგრამ მეტია თვალსაჩინოება. ნამდვილ სურათთან უფრო ახლოა 219-ე ნახაზი, რომელზეც, როგორც ვხედავთ, მთვარის გზა მუდამ ჩაზნექილია მზის მიმართ, მაშინაც კი, რო-

ცა ახალმთვარეობაა. ეს ასეცაა სინამდვილეში. ასე გამოჩნდებოდა მთვარის ტრაექტორია, მისთვის რომ შორიდან, კოსმოსური სივრციდან შემოგვეხედა. მაგრამ დედამიწის ორბიტაც არაა ისე მარტივი, როგორც ეს წინა ნახაზზეა წარმოდგენილი. უნდა გვახსოვდეს, რომ მთვარე და დედამიწა მათი საერთო სიმძიმის ცენტრის გარშემო მოიქცევიან (ნახ. 220).



ნახ. 220.

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 თვითი გზა დედამიწის გარშემო შეგვიძლია ჩავთვალოთ ელიფსად, მიუხედავად იმისა, რომ სხვადასხვა გრავიტაციული ზემოქმედების ან, როგორც ამზობენ, შეშფოთების შედეგად ელიფსური ორბიტა ანიცდის ერთ გვარ 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: $\pi\epsilon\rho\iota\gamma\epsilon\iota\sigma\nu$. 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,

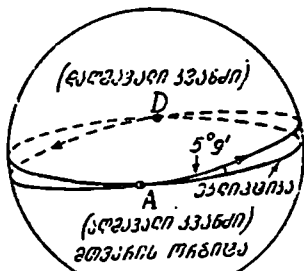
ელიფსი, რომელიც დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობას ანუ მის ორბიტას გამოხატავს, მნიშვნელოვნად განსხვავდება წრისაგან და უფრო მეტად, ვიდრე, მაგალითად, დედამიწის ორბიტის გამომხატველი ელიფსი: მთვარის ორბიტის ელიფსი უფრო მეტადაა გაწეული. მისი ექსცენტრისიტეტი ეტოლება 0.06-ს. მთვარის საშუალო მანძილი დედამიწიდან შეადგენს 384.400 კმ-ს; პერიგეუმში მთვარე ჩვენთან ახლოა ამ საშუალო სიდიდის $1/18$ -ით ანუ თითქმის 21.300 კმ-ით, ხოლო აპოგეუმში იგი ამდენადვე უფრო შორსაა (შეადარეთ დედამიწის ორბიტის მახასიათებლებს, 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 შესაძრნევად 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 გაწეული, ხან ნაკლებად. იცვლება მთელი გზის საერთო სიგრძეც. ამიტომ მთვარის თვის ხანგრძლივობაც ცვლილებას განიცდის; სინოდური თვე შეიძლება იყოს ნ საათით უფრო ხანგრძლივი ან მოკლე, ვიდრე მისი ზემომოყვანილი საშუალო ხანგრძლივობაა.

პერიგეუმისა და აპოგეუმის წერტილების შემაერთებულ 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, შევაჩნევთ, რომ ეს მდებარეობანი შემოწვრენ ცაზე მთვარის გზას, რომელიც დიდ წრეწირს წარმოადგენს. უკანასკნელი კი არ თანხვდება ეკლიპტიკის წრეს ცაზე, არამედ გადაკვეთს მას ორ დიამეტრულად 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 უწოდება აღმავალი კვანძი და აღინიშნება ას ნიშნით, მეორეს—დაღმავალი—♄.



ნახ. 221.

ცხადია, როცა მთვარე აღმავალ ან დაღმავალ კვანძშია, მისი დაშორება ეკლიპტიკიდან ნულია. რაც უფრო შორდება მთვარე კვანძის წერტილს, მი თ 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 ასაე-
ლეთის მიმართულებით. მთვარის ერთი სრული გარემოქცევისას კვანძების გა-
დაადგილება დაახლოებით 1.5° -ს შეადგენს, რაც ერთ წელიწადში თითქმის 20° -ს ქმნის, ხოლო 18 წლისა და 7 თვის მანძილზე კვანძები შეასრულებენ ერთ სრულ გარემოქცევას და საწყის მდებარეობას დაუბრუნდებიან (იხ. 222-ე ნახ., რომელზეც პუნქტირის ხაზი ეკლიპტიკას გამოხატავს, ისრები—მთვარის ორბიტის რკალებს კვანძის ახლო, მომდევნო წლებში). რაკი ეს მოძრაობა დასავლე-
თითაა მიმართული, ხოლო ასტრონომიაში აღმოსავლეთისაკენ გადაადგილება



ნახ. 222.

პირდაპირ მოძრაობად არის მიჩნეული, მას კვანძების უკუმოძრაობას ან რეგ-
რესიას უწოდებენ. ეს მოძრაობა მოგვაგონებს ეკვატორის ეკლიპტიკასთან გა-
დაკვეთის წერტილების პრეცესიულ გადაადგილებას. ოღონდ ეს უკანასკნელი
შეუდარებლად უფრო ნელა მიმდინარეობს და სრულ შემობრუნებას 360° -ით,
როგორც უნდა გვახსოვდეს, 26000 წელიწადს ანდომებს.

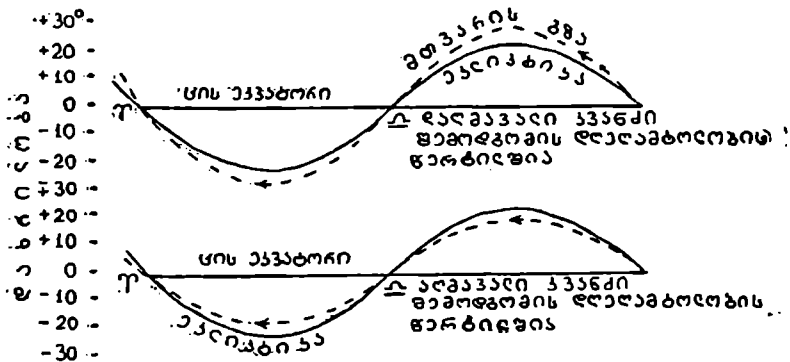
ზემოთ მთვარის სიდერული თვე ვუწოდეთ დროის შუალედს, რომელსაც
მთვარე ანდომებს დედამიწის გარშემო ერთი სრული წრის შემოწერას. ასტრო-
ნომიაში განიხილავენ ისეთ პერიოდსაც, რომელიც მოთავსებულია მთვარის მიერ
აღმავალი კვანძის ერთ გავლასა და იმავე კვანძის მომდევნო გავლას შორის. ასე
განსაზღვრულ დროის შუალედს მთვარის კვანძურ ან დრაკონულ^{*}
თვეს უწოდებენ. ხანგრძლივობით იგი ნაკლებია, ვიდრე სიდერული თვე, რამდენ-
ადაც კვანძების რეგრესიის გამო კვანძი თითქოს „წინ ეგებება“ თავის ორბიტა-
ზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით მოძრაე მთვარეს (აქაც გავიხსენოთ პრეცესია
ანუ Υ წერტილის წინსწრება). დრაკონული თვის ხანგრძლივობა 27.2122 დღე-
ღამეა (27 დღ 5 სთ 5 წთ 35. 8 წმ), მაშინ როდესაც სიდერულისა—27.3217.

ცის მექანიკაში განიხილავენ კიდევ ე. წ. მთვარის ანომალისტურ
თვეს. ეს არის დროის შუალედი მთვარის მიერ პერიგეუმის ერთი გავლის მო-
მენტიდან მეორე, მომდევნო გავლამდე. რამდენადაც აფსიდების ხაზი, როგორც
ზემოთ აღვწერეთ, პირდაპირი მიმართულებით მოძრაობს, მთვარე ყოველი
გარემოქცევისას უნდა „დაეწიოს“ გადანაცვლებული პერიგეუმის წერტილს. ამი-
ტომ ანომალისტური თვე სიდერულზე უფრო გრძელი უნდა იყოს. მართლაც,
მისი ხანგრძლივობა 27.555 დღე-ღამეა.

* ასეთი სახელწოდების ახსნას ქვემოთ ვიპოვიოთ, როცა მზის დაბნელების მოვლენას გან-
ვიხილავთ.

კვანძების აღწერილ გარემოქცევაში დგება ისეთი მომენტიც, როცა აღმავალი კვანძი ემთხვევა გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილს. ასეთ პირობებში მთვარის ორბიტა მდებარეობს ეკლიპტიკასა და ცის ეკვატორს შორის მთავსებულ კუთხის გარეთ. ამ დროს მთვარის ორბიტის დახრა ცის ეკვატორისადმი შედგება 1) ეკლიპტიკას და ეკვატორს შორის მთავსებული 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 დღელამტოლობის წერტილს ემთხვევა მთვარის ორბიტის დაღმავალი კვანძი. მაშინ მთვარის ორბიტა მთექცევა ცის ეკვატორსა და ეკლიპტიკას შორის კუთ-



ნახ. 223.

ხის შიგნით და, ადვილი მისახვედრია, მთვარის ორბიტის დახრა ცის ეკვატორისადმი იქნება $23^{\circ}27' - 5^{\circ}9' = 18^{\circ}18'$ (განიხილეთ 223-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 — $28^{\circ}36'$ -მდე ფარგლებში, ე. ი. $57^{\circ}12'$ -ის საზღვრებში. ეს ძალიან შეემჩნევა მთვარის მდებარეობას ზედა კულმინაციის მომენტებში. 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-ღამე).

მთვარის მაქსიმალური სიმაღლე ზედა კულმინაციაში, კვანძის აღმავალი წერტილის გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილთან თანხვედრით გამოწვეული, უკანასკნელად 1970 წელს იყო, შემდგომ კი იქნება 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 მთვარის ორბიტის ექსცენტრისიტეტი, ე. ი. ელიფსის გაწეილობა, 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 ართულევენ საქმეს, განპირობებულია მთვარეზე მზის მიზიდულობის ძალის შემაშფოთებელი მოქმედებით, განიხილება ცის მექანიკაში და შეისწავლება დინამიკური ასტრონომიის მეთოდებით (იხ. ქვემოთ). 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.

ცაზე მთვარის ხილვადობის ზოგი თავისებურების ახსნა. დაკვირვებულ მკითხველს შემჩნეული ექნება, რომ საესე მთვარე ზამთრობით უფრო ხანგრძლივად ჩანს ცაზე, ვიდრე ზაფხულობით; ჩვენ გვაძმანსოვრდება უფრო მეტად ზამთრის მთვარიანი დამეები, ვიდრე ზაფხულისა. ამას გარდა; მას შემჩნეული ექნება ისიც, რომ ახალი მთვარის „ნამგალი“ ზოგჯერ მეტად, ზოგჯერ ნაკლებად დახრილია პორიზონტის მიმართ. ამ და მსგავს მოვლენებს ახსნა ესაკიროება.

საესე მთვარე ცაზე მზის მოპირდაპირე მხარეზეა. შუალამეს, როცა მზე ქვედა კულმინაციაშია, პორიზონტის ქვეშ, საესე 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. საესე მთვარე ამ წერტილის მახლობლობაში იქნება ამ დროს. გათვალისწინებულია, რა თქმა უნდა, მთვარის ორბიტის ეკლიპტიკისადმი დახრა, რაც პერიოდულად ცვლის მთვარის დაშორებას ეკლიპტიკიდან ანუ მის დახრილობას $\pm 28\frac{1}{2}^{\circ}$ -ის ფარგლებში.

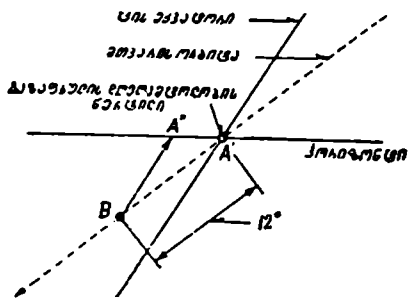
საილუსტრაციოდ ენახოთ 1969 წლის ქართულ ასტრონომიულ კალენდარში (წელიწდეულში) მთვარის კოორდინატები დეკემბრის საესემთვარეობის დღეს. კალენდრის 70-ე გვერდზე ამოვიკითხავთ, რომ საესემთვარეობა 23 დეკემბერსაა, ხოლო 69-ე გვერდზე, სადაც მოცემულია მთვარის ეკვატორული კოორდინატები, ენახავთ, რომ 23 დეკემბერს მთვარის დახრილობა, მართლაც, $+28^{\circ}12'$ -ია!

ასეთი დახრილობით პორიზონტიდან მთვარე უნდა ამოდირიდეს წერტილში, რომელიც აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის მდებარეობს, და ჩადირიდეს დასავლეთისა და ჩრდილოეთის წერტილებს შორის; მისი დღელაღერი პერიოდული მეტი ნაწილით პორიზონტის ზემოთ მდებარეობს, მთვარე ხანგრძლივადღა პორიზონტის ზევით. მართლაც, იმავე წელიწდეულში, იმავე 69-ე გვერდზე ამოვიკითხავთ, რომ 23 დეკემბერს მთვარე ამოდის 15 სთ და ჩადის 7 სთ

26 წთ-ზე, ე. ი. 15 1/2 საათს იგი პორიზონტის ზევით არის, მთელი ღამის განმავლობაში ანათებს!

აღვილი საჩვენებელია, რომ ზაფხულში, საესემთვარეობის დღეს მთვარე ზედა კულმინაციაშიც კი შედარებით ახლოა პორიზონტთან; მისი ამოსვლის წერტილი აღმოსავლეთისა და სამხრეთის წერტილებს შორის მდებარეობს; მთვარე შედარებით ხანმოკლეად ანათებს. მკითხველს ვურჩევთ შეამოწმოს ეს იმავე წელიწადულის 70-ე და 63-ე გვერდების მონაცემებით.

შემოდგომის დღელამტოლობის დროს მზე რ წერტილში იმყოფება (ეკვატორისა და ეკლიპტიკის გადაკვეთის იმ წერტილში, სადაც მზე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროდან სამხრეთში გადადის). ამ დღეს ეს წერტილი საღამოს ჩადის. საესე მთვარე კი, რომელიც ცაზე მზის მოპირდაპირე წერტილშია, ამოდის პორიზონტიდან. როგორც ეკლიპტიკის პორიზონტის მიმართ მდებარეობის აღწერიდან უნდა გვახსოვდეს, ვერძის წერტილის ამოსვლის მომენტში ეკლიპტიკა მინიმალურ კუთხეს ადგენს პორიზონტთან. აქედან ის გამომდინარეობს, რომ მეორე საღამოს მთვარე დიდად არ დააგვიანებს ამოსვლას წინა დღესთან შედარებით. მართლაც, 224-ე ნახაზზე, A' მთვარის პორიზონტიდან ამოსვლის ადგილია აღებულ დღეს, $A'B$ —მისი დღელამური გადაადგილება მისსავე ორბიტაზე (დაახლოებით 12°), A'' —ამოსვლის ადგილი მეორე დღეს (B, A'' ცის ეკვატორის პარალელურია). B როდია დიდად დაშორებული პორიზონტს, რამდენადაც მთვარის ორბიტა მცირე კუთხეს ადგენს პორიზონტთან. მართლაც, როგორც ვთქვით, მეორე დღეს მთვარე დიდად არ დააგვიანებს ამოსვლას.



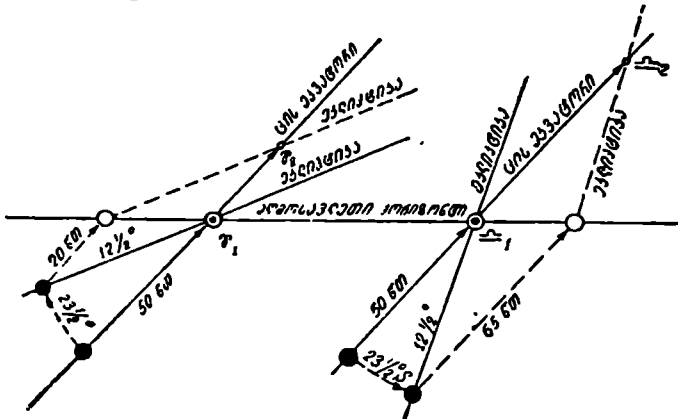
ნახ. 224.

ახლა ისევ წელიწადულის მიემართოთ (გვ. 66). საესემთვარეობის დღეს—25 სექტემბერს მთვარე ამოდის 17 სთ 41 წთ-ზე. მომდევნო დღეს—26 სექტემბერს მთვარის ამოსვლა 18 სთ 02 წთ-ზეა, ე. ი. სულ მხოლოდ 21 წთ-ით გვიან. ყოველთვის როდია ასე; მაგალითად, იმავე თვის 9, 10 და 11-ში მთვარე ამოდის 1 სთ 5 წთ და 1 სთ 6 წთ-ით გვიან (გაიხსენეთ მთვარის ხილული მოძრაობის აღწერა). ამიტომ გვამახსოვრდება შემოდგომის დღეები, ხშირი თავისი მთვარიანი საღამოებით. გლახს, მიწისმუშა-კოლმეურნეს შენიშნული აქვს ბუნების ეს კანონზომიერება და კარგად იყენებს მას სამუშაო დროის გასახანგრძლივებლად, როცა ეშურება მოსავლის აღებას. უფრო ზოგადია ნახ. 225, რომლის განხილვისა და ანალიზს მკითხველს მივანდობთ.

ახლა დახედოთ 226-ე ნახაზს. ამ ხელოვნურ სურათზე წარმოდგენილია ახალმთვარეობის ორი შემთხვევა: მარტხენა, როცა ახალი მთვარის ნამგალი პორიზონტთან ახლოა და ამოზნექილობით თითქმის შეუღლისაკენ არის მიმართული; მეორე შემთხვევაში ნამგალი მაღლაა, მაგრამ—ამოზნექილობით პორიზონტისაკენ მიმართული. პირველი შემთხვევა შემოდგომას შეესაბამება (მზე შემოდ--

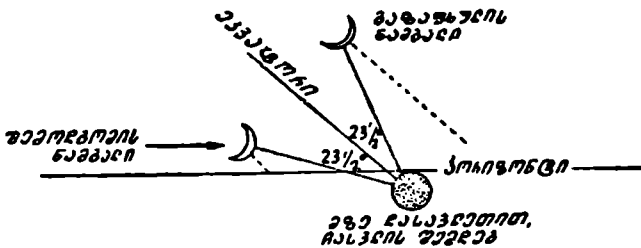
გომის დღეამტოლოობის წერტილშია, ახალი მთვარე ახლოა მზესთან, მზის ჩასვლისას ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი მცირეა), მეორე—გაზაფხულს (მზე გაზაფხულის დღეამტოლოობის წერტილშია, მზის ჩასვლისას ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი დიდია (გაიხსენეთ ნახ. 116).

მთვარის ლიბრაცია. თავის ადგილას აღვნიშნეთ რომ, მთვარის ბრუნვისა და მოქცევის არსებულ კანონზომიერებათა გამო ჩვენ მთვარის ზედაპირის მხ-



ნახ. 225.

ლოდ 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



ნახ. 226.

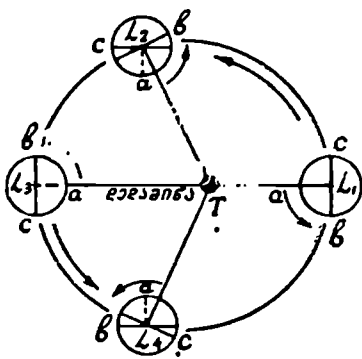
გამოწვეულია მით, რომ მთვარე ზუსტად სფერო კი არაა, არამედ სამღერძოვან ელიფსოიდს წარმოადგენს: მას აქვს სამი ურთიერთმართობული, სხვადასხვა სიგრძის დიამეტრი*. მათგან უგრძესი მომართულია დედამიწისაკენ, მაშასადამე, მთვარეს მოქცეული აქვს ჩვენკენ ერთგვარი ნამბაღი. დედამიწის მიზიდულობა, მოქმედებს რა ამ ნამბაღზე, აქეთ-იქით „არწევს“ მას, რის გამოც მთვარის დისკოს ცენტრი ოდნავ ირხევა საშუალო მდებარეობის მიმართ და ჩვენ საშუალება

* განაწვავებები როდია დიდი: სულ მხოლოდ სამი კილომეტრით აღემატება უდიდესი დიამეტრი უცვლელს.

გვეძლევა ცოტა მეტი დაინახოთ, ვიდრე მთვარის ერთი ნახევარია. მაგრამ ეს ეფექტი, რომელსაც მთვარის ფიზიკური ლიბრაცია (libratio—რხევა, ქანობა) 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 ცალ-ცალკე განვიხილოთ.

1. ლიბრაცია გრძელის გასწვრივ. იგი გამოწვეულია მით, რომ მთვარე საკუთარი ლერძის ირგვლივ თანაბარი სიჩქარით ბრუნავს, ხოლო დედამიწას 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 ლერძის ირგვლივ ზუსტად $\frac{1}{4}$ -ით ანუ 90° -ით შემობრუნდება. a წერტილი (227-ე ნახ.), რომელიც პერიგეუმში მთვარის ყოფნის მომენტში (L_1) მთვარის დისკოს ცენტრში იყო, ახლა ცენტრის მარცხნივ, აღმოსავლეთით გამოჩნდება (მთვარის მდებარეობა— L_2). ასევე გადაინაცვლებს b წერტილი, რომელიც მანამდე მთვარის დასავლეთ კიდეზე ჩანდა. მაშასადამე, გამოჩნდება მთვარის უკანა მხარის ის ნაწილი, რომელიც დასავლეთ კიდეც 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 აღმოსავლეთის კიდის უკან (c). როგორც ვხედავთ, გრძელზე ლიბრაციის პერიოდი მთვარის თვეს* ეტოლდება.



ნახ. 227.

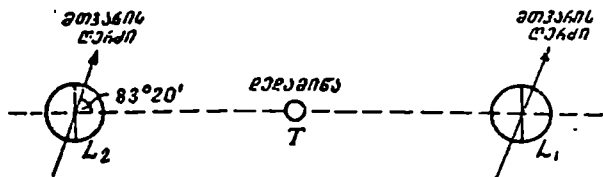
ამ ლიბრაციის სიდიდე $7^\circ 54'$ -ს აღწევს აღმოსავლეთით და ამდენსავეს—დასავლეთით. სათანადო ფართობი ემატება მთვარის ხილვად ზედაპირს. ამ ფართობის მერიდიანული ზოლის განივკვეთი რამდენიმე ასეული კმ-ია.

2. ლიბრაცია განედის გასწვრივ. ამ ლიბრაციის გამომწვევია მთვარის ბრუნვის ლერძის დახრა მისი ორბიტის სიბრტყისადმი და მისი მიმართულების უცვლელობა სივრცეში (228-ე ნახ.). ამ ფაქტის შედეგად მთვარის გარემოქცევის განმავლობაში შენაცვლებით ვხედავთ ხან მთვარის ჩრდილოეთი პოლუსის ირგ-

* უფრო ზუსტად—მთვარის ანომალისტური თვეს, რამდენადაც ლიბრაციის ამ შემთხვევაში გარკვეულ როლს ასრულებს აფსიდთა ხაზის მოძრაობა.

ვლივი ზედაპირის ნაწილს, ხან სამხრეთი პოლუსისას (ანალოგიისათვის გაიხსენეთ დელამიწის 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. დელამური ანუ პარალაქსური ლიბრაცია. ამ უკანასკნელს განაპირობებს დელამიწის შედარებით სიახლოვე მთვარესთან ანუ მთვარის პარალაქსის შედარებით დიდი მნიშვნელობა. როცა მთვარეს მისი ამოსვლისა და ჩას-



ნახ. 228.

ვლის მომენტების ახლო ვაკვირდებით, ფაქტიურად ვაკვირდებით მას დიდი ბაზისის ორი ბოლოდან, რომლებიც ერთიმეორეს დაშორებულია დაახლოებით 13000 კმ-ით (დელამიწის 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 ($57'05''$). მაშასადამე, იგი თითოეულ მხარეზე თითქმის ერთ გრადუსს აღწევს.

აღწერილი გეომეტრიული ლიბრაციების წყალობით მთვარის ზედაპირის უხილავი ნაწილი მისი სფეროს ზედაპირის ნახევარს კი არ შეადგენს, არამედ მხოლოდ 41% -ს. სხვა 41% -ს ჩვენ მუდამ ვხედავთ და არასდროს ის არ იფარება. 18% -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!

მზისა და მთვარის დაბნელება

მზის დაბნელება. ბუნების მოვლენათა შორის მზის დაბნელება, მეტადრე—სრული დაბნელება, ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ძლიერად შთამბეჭდავი მოვლენაა. წარმოდგინეთ, რომ მოწმენდილ ცაზე ჩვეულებრივ ბრწყინავს მზე; თითქოს არაფერი მოასწავებს რაიმე განსაკუთრებულს და აი, რომელიღაც მომენტში მზის თვალისმომკრელად კაშკაშა 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 დანაჩენ ნაწილს ველარ ვხედავთ; მას თითქოს შავი ბინდი გადაჰკვრია.

ახლა მზე ისე გამოიყურება როგორც მიღებული მთვარე, თუმცა ამ დაუბნელებელი ნაწილის სიკაშკაშე წინანდებურად თვალისმომკრელია; საერთო სინათლემ კი შესამჩნევად იკლო, თითქოს ჩამობინდა კიდეც; ცამ ფერი იცვალა, გამუქდა; ჩვენს გარშემო საგნები გაფერმკრთალდა. თუ ცხოველებსა და ფრინველებს ვუთვალთვალებთ ამ წუთებში, ადვილად შეგამჩნევთ მათ შემფოთებას, მოუსვენრობას; ზოგი მცენარე ფოთლებსაც კი კეცავს, თითქოს ღამის მყურდობისათვის ემზადება; აგრილებაც იგრძნობა.

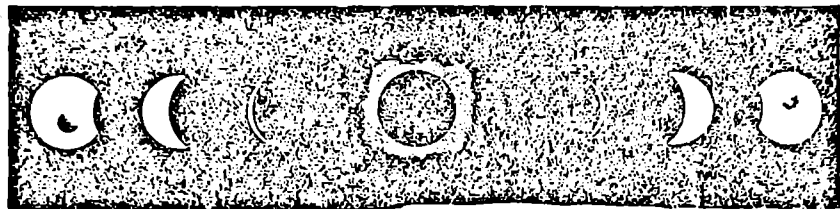
მოვლენა ჯერ კიდევ განაგრძობს განვითარებას—მზის ნამგალი სულ უფრო და უფრო ვიწროვდება და, ბოლოს, ერთ გარკვეულ წამს იგი სრულიად ქრება. ამასთან ერთად იმდენად ჩამოღამდება, რომ ცაზე კაშკაშა ვარსკვლავები აინთება. იმ ადგილას, სადაც მზის მოკაშკაშე ბადრო ბრწყინავდა, ახლა კუპრით შავი ბადრო მოჩანს; მის ირგვლივ შემოვლებულია რაღაც ნათელი არშია, გვირგვინი, რომელიც თუმცა შედარებით მკრთალად, მაგრამ მაინც ანათებს, ციალებს და უეცრად დამდგარ ღამის წყვილადს 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 არეშარე ღამის წყვილადმა მოიცვა,—ბნელი ბადროს მარჯვენა კიდე გაბრწყინდება, მზის ბადრო გამოაშუქებს მის დასავლეთის მხარეზე და მარჯვნივ გამოზნექილი 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 მზის ბადროს მარჯვნიდან მარცხნივ ანუ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით რალაც ჩრდილი ანუ ბინდი გადაუვლის, ორ საათამდე გრძელდება. აქედან რამდენიმე ათეული წამის ან რამდენიმე წუთის განმავლობაში მზის ბადრო მთლიანად დაბნელებულია ანუ სრული დაბნელება.

229-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მზის დაბნელების ფოტოსურათები, რამდენიმე თანმიმდევრულ მომენტში გადაღებული. მარცხნიდან პირველი სურათი აღბედავს დაბნელების დასაწყის ფაზას, როცა „ბინდი“ უკვე შესამჩნევად შემოსულია მზის ბადროს მარჯვენა კიდეზე. შუა სურათი სრულ დაბნელებას წარმოადგენს,



ნახ. 229.

როცა მზის მთელი ბადრო დაფარულია „ბინდით“ და მის გარშემო მკრთალად ციალებს გვირგვინი. მარჯვნივ პირველ სურათზე დაბნელება დასასრულს უახლოვდება.

230-ე ნახ. წარმოადგენს 1936 წ. 19 ივნისის მზის სრული დაბნელების ფოტოგრაფიას დაბნელების შუა მომენტში. დაბნელებული და გვირგვინშემოვლებული მზის მარჯვნივ—ჩრდილო-დასავლეთით მოჩანს პლანეტა ვენერა.

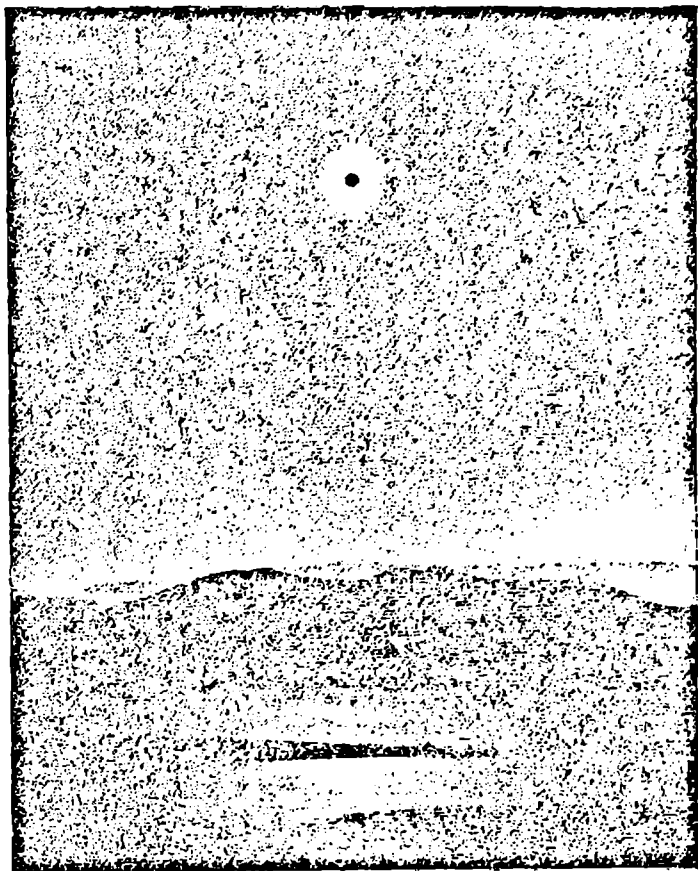
მაგრამ მზის დაბნელება ყოველთვის როდია სრული; უფრო ხშირად ვხვდებით მზის ნაწილობრივ დაბნელებას, რომელიც სრულისაგან მით განსხვავდება, რომ „შავი ბინდი“, რომელიც გადაეკვრის მზის ბადროს, მთლიანად როდი მოიცავს მას; მოვლენა ისე ჩაივლის, რომ დაბნელება მზის ბადროს დიდი თუ მცირე ნაწილი და დარჩენილი ნაწილის ბრწყინვა არ შეწყდება; ამიტომ სრულადც არ ჩამოლამდება.

მზის დაბნელების გამომწვევი მიზეზები. ძველად მზის დაბნელება ადამიანში ყოველთვის იწვევდა იღუმალ შიშს, ცრურწმენას, რამდენადაც ძველი დროის ადამიანს ვერ აეხსნა მისი მიზეზი. ახლა არათუ ცნობილია მიზეზები, არამედ ისინი იმდენად კარგადაა შესწავლილი, რომ დაბნელების წინასწარმეტყველება ხდება,—დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები წინასწარ, რამდენიმე თვით თუ წლით აურე, გამოითვლება ძალიან მაღალი სიზუსტით.

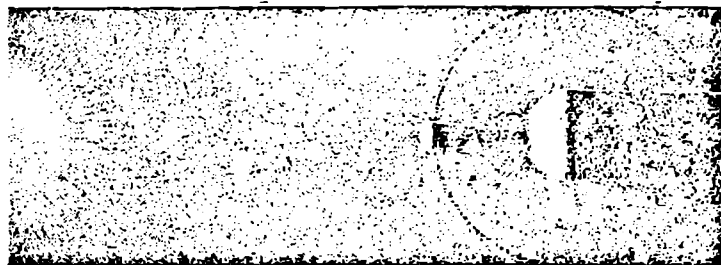
მზის დაბნელება დაკავშირებულია სამი ციური სხეულის—მზის, დედამიწის, მთვარის—ურთიერთგანლაგებასთან სივრცეში.

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 მნათობი.

ეს სხეულები, როგორც ვიცით, განუწყვეტელ მოძრაობაშია; დედამიწა მზეს ურბენს გარშემო, ხოლო მთვარე—დედამიწას. დროგამოშვებით მზე, დედამიწა

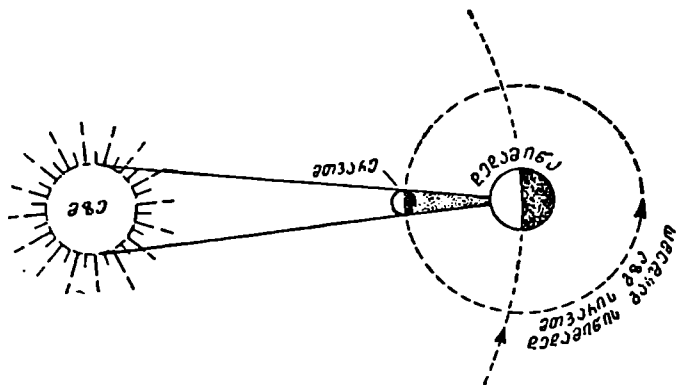


6ab. 230.



6ab. 231.

და მთვარე ისე განლაგდებიან ერთმეორის მიმართ, რომ მთვარე სწორედ მზესა და დედამიწას შორის მოექცევა, მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზზე. იმის გამო კი, რომ დედამიწა სინათლეს ნებისაგან 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 (231-ე ნახ.) და, რომელიც, აშკარაა, მთვარისათვის მუდამ მზის მოპირდაპირე მხარეზეა მიმართული, დედამიწის ზედაპირზე დაეცემა. ამ ჩრდილის სიგრძე მცირედ ცვალებადობს, დაახლოებით მთვარე-დედამიწის მანძილის ტოლია, მაგრამ უფრო



ნახ. 232.

ბშირად 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.

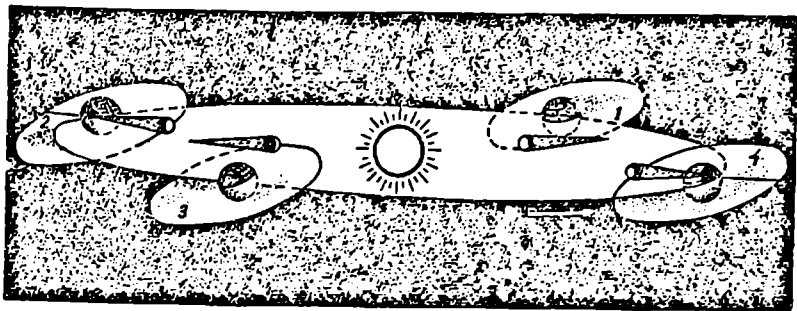
232-ე ნახაზზე ჩანს, რომ მთვარე სიდიდით დედამიწაზე ნაკლებია. მანძილი მთვარე-დედამიწაც ნაკლებია, ვიდრე მანძილი მზე-დედამიწა. მაგრამ მასშტაბის დაცვა ამ ნახაზზე შეუძლებელია. ამ სხეულების სიდიდეებისა და ურთიერთმანძილების მასშტაბის დაცვას თუ მოვიწოდებდით, მაშინ მზე უნდა შემოგვეხაზა დედამიწის გამომსახველ წრესთან 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.

231-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 მწვერვალით იგი დედამიწას ეცემა. მისი გადაკვეთა დედამიწის ზედაპირთან წრეა. ამ წრის შიგნით მოთავსებული წერტილებიდან მზე არ მოჩანს. იგი დაბნელებულია.

დავუბრუნდეთ 232-ე ნახაზს და გავითვალისწინოთ, რომ მასზე წარმოდგე-

წილი სამივე სხეული მოთავსებულია ერთ სიბრტყეში (ქალაქის 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 იქნებოდა, ყოველ ახალმთვარეობისას, რამდენადაც თვეში ერთხელ მთვარე უთუოდ მოექცევა მზესა და დედამიწას შორის.

მაშასადამე, მთვარის ორბიტის სიბრტყის ეკლიპტიკისთან დახრის გამო მთვარე ყოველთვის არაა, როცა იგი მზესა და დედამიწას შორის იმყოფება



ნახ. 233.

უთუოდ კი არ გადაკვეთს მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზს, არამედ უმრავლეს შემთხვევაში ან ჩრდილოეთიდან გადაუვლის მას შორიანხლოს, ან სამხრეთიდან ჩაუვლის.

233-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.

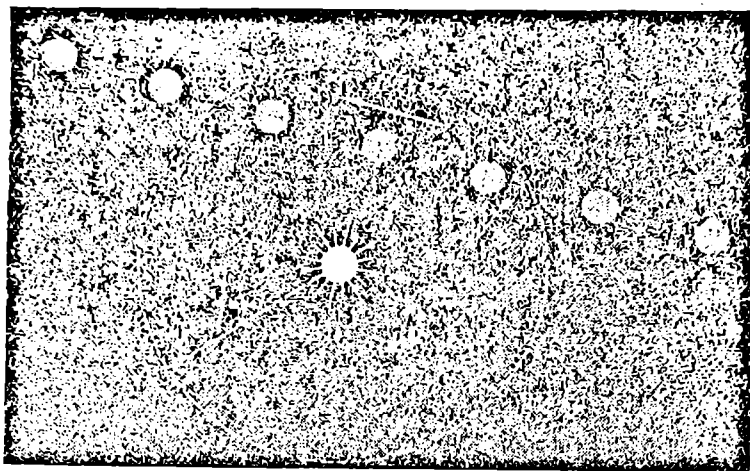
234-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სურათი, როგორ გაივლის მთვარე შეერთების ანუ ახალმთვარეობის მომენტის ახლო მზის ჩრდილოეთიდან, როდესაც დაბნელება არ მოხდება. ყურადღება მისაქცევია ისიც, რომ სანამ მზესა და მთვარეს შორის ხილული მანძილი 7° -ზე ნაკლებია, ჩვენ მთვარის „ნამგალსაც“ ვერ ვხედავთ.

თვით მთვარის ორბიტის სიბრტყეც, როგორც ზემოთ ვთქვით, ერთგვარად მოძრაობს სიერტყეში; ამ მოძრაობის კანონზომიერების მიხედვით, მთვარის ორბიტის კვანძების შემაერთებელი ხაზი ანუ კვანძთა ხაზი პერიოდულად თანხვედება ან საკმარისად ახლოა მზე-დედამიწის შემაერთებელ ხაზთან და თუ ამავე დროს მთვარეც საკმარისად ახლოა კვანძის წერტილთან (და, მაშასადამე, ეკლიპტიკის სიბრტყესთან), დაბნელება გარდუვალია.

სხვა სიტყვებით, მზის დაბნელება მაშინ ხდება, როცა ახალმთვარეობის

დროს კვანძთა ხაზი დედამიწა-მზის მიმართულების თანხვედენილია ან ამ მიმართულებასთან საკმარისად ახლოა.

რა განაპირობებს ასეთი სიტუაციის სიზშირეს? თავისთავად ვასაგებია,— კვანძთა ხაზის (ანუ მთვარის ორბიტის სიბრტყის) მობრუნების პერიოდი და მთვარის თვის ხანგრძლივობა. თავის როლს ასრულებს ამ მხრივ დედამიწის მოქცევაც მზის გარშემო.



ნახ. 234.

საროსი. უძველეს დროში, ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, ბაბილონელმა ვარსკვლავთმრიცხველებმა შენიშნეს, რომ მზისა და მთვარის (იხ. ქვევით) დაბნელებანი მეორდებიან 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 აღებულ: 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 შეიდ 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 დღე 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.

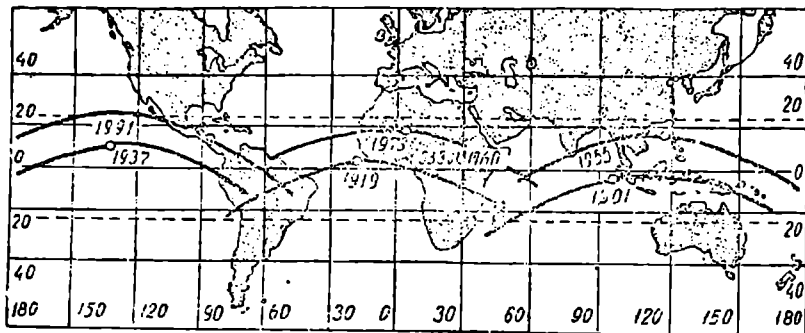
ვთქვათ, რომელიღაც ახალმთვარეობისას მთვარე იმყოფება კვანძში. ამ დროს მზის დაბნელება აუცილებლად მოხდება. ერთი დრაკონული თვის გავლის შემდეგ, 27.2 დღე-ღამით გვიან, მთვარე კვლავ იმავე კვანძში აღმოჩნდება*, ე. ი. ახალმთვარეობა ჭერ კიდეც არ იქნება დამდგარი; იგი ორი დღე-ღამით გვიან დადგება. ამ მომდევნო 2 დღე-ღამეში კი მთვარე მოასწრებს კვანძიდან გადაადგილებას. იგი მაინც კვანძის ახლო იქნება, მზისა და მთვარის ბადროების რადიუსების საერთო სიგრძის ფარგლებში, და დაბნელება მაინც მოხდება ოლინდ 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 დაუმთხვევა ახალმთვარეობას, ე. ი. მზე, მთვარე და კვანძი პირუანდელ ურთიერთმდგომარეობაში მოექცევიან და დაბნელების ვითარებაც ისე გამოერდება, როგორც პირუანდელი 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 დავნიშნავთ, ვნახავთ, რომ შემდგომი საროსის მანძილზე იმავე თანმიმდევრობით განმეორდება დაბნელებები. ამის საფუძველზე წინასწარაც კი ვიტყვი, 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 აღებულ 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 აღებულ 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 შობრუნება თითქმის 116°-ით, მაშასადამე, დაბნელება მოხდება მო-

* თუ პირველი მდებარეობა აღმავალ კვანძში იყო, მთვარე 13.6 დღე-ღამის შემდეგ დაღმავალ კვანძს გადაკვეთს და შეიძლება 13.6 დღე-ღამის გავლასას იმავე აღმავალ კვანძში აღმოჩნდება.

ცემულ პუნქტში კი არა, არამედ მისგან 116°-ით დასავლეთით დაშორებულ პუნქტში.

1936 წლის 19 ივნისისა 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 საქარ-



ნახ. 235.

თველოში არც ერთი პუნქტიდან არ მოჩანდა როგორც სრული, მეორე სრულ დაბნელებად მოგვევლინა აღმოსავლეთ საქართველოში.

235-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?

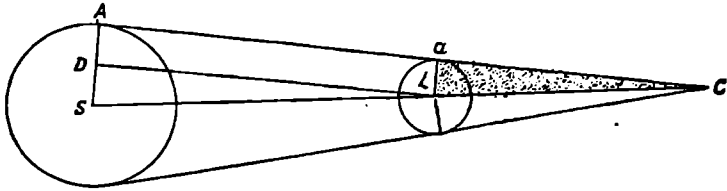
როგორც ვნახეთ, დაბნელება ხდება, როცა მთვარე კენამშია ან მის ახლო, ე. ი. იმ მდებარეობაშია, რომელიც დრაკონული თვის დასაწყისს ან დასასრულს განსაზღვრავს. უძველესი დროის ცრუ წარმოდგენით მზის დაბნელებას იწვევდა სასწაულებრივი გველუშაბის ანუ დრაკონის გამოჩენა, რომელიც შთანთქავდა მზეს. აქედან წარმოსდგა ერთი გვარის (მაგალითად, აღმავალ) კენამზე ორ მომდევნო გავლათა შორის პერიოდის სახელწოდება: დრაკონული თვე.

მზის დაბნელების ვითარება. მზის დაბნელების ვითარებას სხვა ფაქტორებთან ერთად განსაზღვრავს მთვარის ჩრდილის სიგრძე და მასზე დამოკიდებული მთვარის ჩრდილის კვეთის დიამეტრი დედამიწის ზედაპირზე.

გამოვითვალოთ მთვარის ჩრდილის კონუსის სიგრძე. ამისათვის განვიხილოთ 236-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. გავვლოთ Aa -ს პარალელური DL . მაშინ მიიღება SDL სამკუთხედი, რომელიც მსგავსი იქნება LaC სამკუთხედისა. ამიტო

დაიწერება $LC:SI=La:SD$. SI , 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 ჩამოთვ-



ნახ. 236.

ლილ სიდიდეთა მიახლოებითი საშუალო მნიშვნელობანი: $SL=149.2 \cdot 10^6$ კმ, $La=1750$ კმ, $SD=69 \cdot 10^4$ კმ. LC -სათვის 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 განივკვეთიც (ჭერჭერობით ივლისისხმება, 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).

237-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



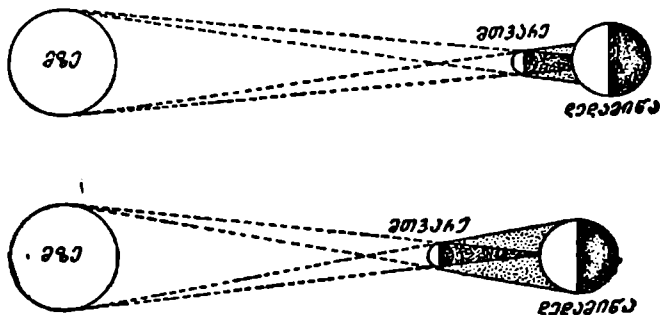
ნახ. 237.

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 პარობებში მთვარის კუთხური დიამეტრი მაქსიმალურია და მზისას $1'19''$ -ით აღემატება.

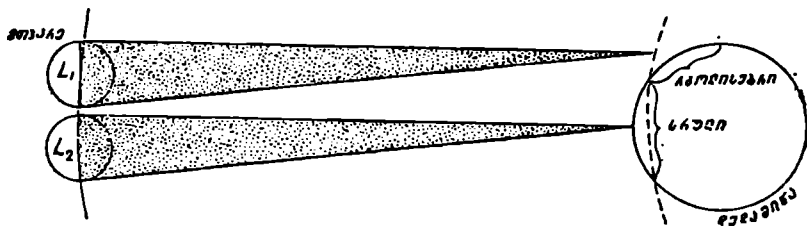
თუმცა, თუ ჩრდილის კონუსი დედამიწის ზედაპირს ერთგვარად ალმაცერად ეცემა (როცა დაბნელებული მზე ადგილის ზენიტიდან შორსაა), ჩრდილის წრე ოვალურ ფორმას ღებულობს და სიგრძით ეს ოვალი 270 კილომეტრს აღემატება.

მეორე მხრივ, შესაძლოა ისეთი შემთხვევაც, როცა მთვარის დაშორება დედამიწიდან მაქსიმალურია (406000 კმ ცენტრიდან და 400000 კმ ზედაპირიდან), ხოლო მთვარის ჩრდილის სიგრძე—მინიმალური (367 ათ. კმ). მაშინ ჩრდილის კონუსის წვერო ვერ წვდება დედამიწის ზედაპირს. მაშასადამე, დამკვირვებელი მთვარის ჩრდილის კონუსის გარეთ იქნება მოთავსებული; მთვარეს იგი დაინახავს



ნახ. 238.

უფრო მცირე კუთხის ქვეშ, ვიდრე მზეს, ე. ი. მისთვის მზე დიდ ნაწილში ცენტრის ირგვლივ დაბნელებული იქნება, მაგრამ მზის ბადროს კიდეები—დაუბნელებელი. ეს ე. წ. რგოლისებრი დაბნელებაა, როცა მზე წარმოგვიდგება როგორც ერთგვარი კაშკაშა ვიწრო რგოლი (იხ. 238-ე ნახ., რომელზეც ერთიმეორის ქვეშ წარმოდგენილია ჩვეულებრივი (ზევით) და რგოლისებრი (ქვევით) დაბნელებები).



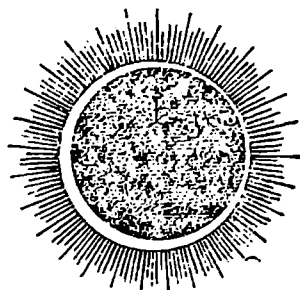
ნახ. 239.

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 ერთა და იგივე დაბნელება ზოგან სრულ და ზოგანაც რგოლისებრი დაბნელებად წარმოგვიდგეს. ეს ილუსტრირებულია 239-ე ნახაზით; მოცემულია მთვარის ორი მდებარეობა, რომელთაგან პირველი რგოლისებრი, ხოლო მეორე სრულ დაბნელებას შეესაბამება.

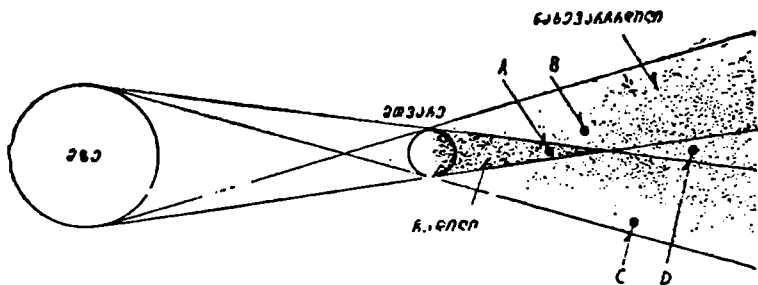
240-ე ნახაზზე წარმოდგენილია რგოლისებურად დაბნელებული მზე (აღებულ შომენტში მზისა და მთვარის ბადროების ცენტრები ერთიმეორეს ზუსტად არ ემთხვევა).

მზის ნაწილობრივი დაბნელება მოკლედ ზემოთ დავახასიათოთ. 241-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 ჩანს. 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 დინახება.



ნახ. 240.

D წერტილში მოთავსებული დამკვირვებლისათვის ეს დაბნელება რგოლისებურად ჩანს. 242-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მზის დისკოს სურათი ისე, როგორც მას ხედავენ, შესაბამისად, *A*, *B*, *C* და *D* პუნქტებიდან.



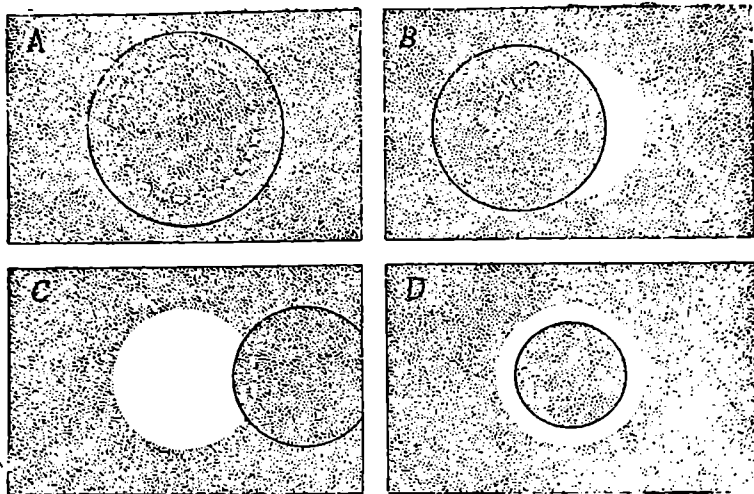
ნახ. 241.

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 მოიხანს, 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 მყოფი 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 სიჩქარე.

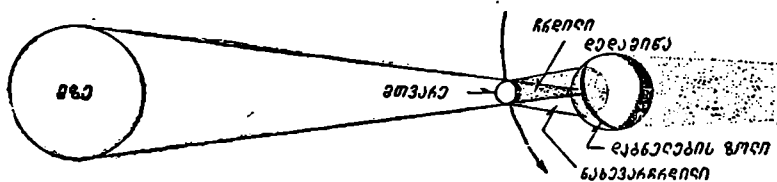
ქარეობით. რადონობრივად ის იქნებოდა დაახლოებით 3380 კმ საათში. ამ სიჩქარით გაივლიდა ჩრდილი დედამიწის ზედაპირზე აღმოსავლეთ მიმართულებით. რამდენადაც დედამიწა ბრუნავს და იმავე მიმართულებით, ამიტომ ჩრდილის მსვლელობის სიჩქარე დედამიწის ზედაპირზე შესამჩნევად ნაკლებია. სახელდობრ,



ნახ. 242.

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. 243.

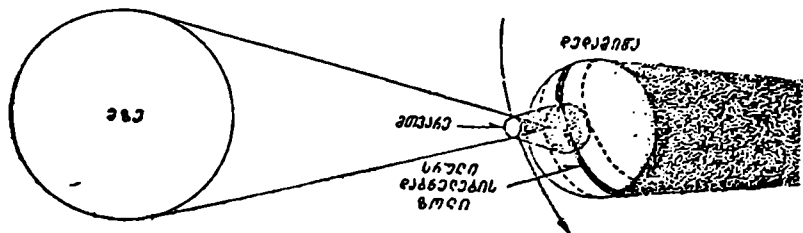
ადვილი მისახვედრია, რომ იმ ადგილას, სადაც მთვარის ჩრდილი ერთობ დახრილად ეცემა დედამიწის ზედაპირს, რაც მაშინ ხდება, როცა ამ ადგილისათვის მზის ამოსვლის ან ჩასვლის ახლო მომენტებია, ჩრდილი ძალიან სწრაფად გადაინაცვლებს.

243-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის „ჩრდილის გზა“ დედამიწის ზედაპირზე ანუ სრული დაბნელების ზოლი.

244-ე ნახ. წინა ნახაზის მსგავსია, ოღონდ რგოლისებერ დაბნელებას შეესაბამება; ამასთანავე მასზე მოცემულია ნახევარჩრდილის საზღვრებიც.

შხის სრული დაბნელების ხანგრძლივობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, საამისოდ ყველა ხელსაყრელ პირობაში, შეიძლება იყოს სულ მხოლოდ 7 წუთი და 40 წამი, ისიც — ეკვატორის მახლობლად. 45°-ის ტოლ განედზე სრული დაბნელების მაქსიმალური ხანგრძლივობა ექვს-ნახევარ წუთს არ აღემატება.

რგოლისებრი დაბნელების წრის განივკვეთი ნაკლებია, ვიდრე სრულისა და არ აღემატება 160 კმ-ს. ეს თითქოს უნდა ამკირებდეს დაბნელების ხანგრძლივო-



ნახ. 244.

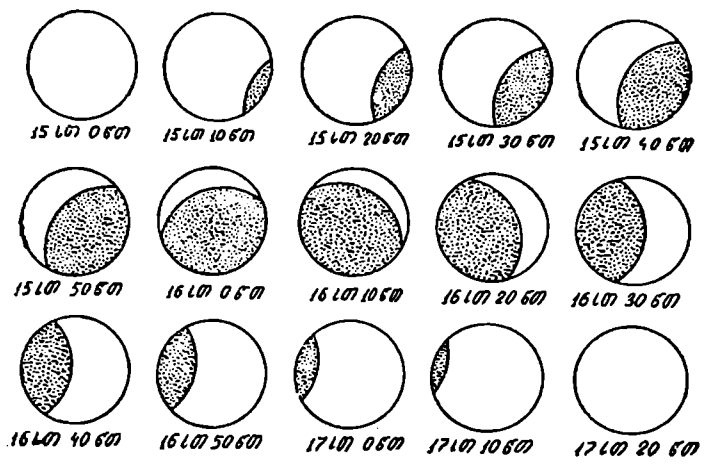
ბას. მაგრამ რგოლისებრი დაბნელების მაქსიმალური ხანგრძლივობა მაინც მეტია, ვიდრე სრულისა, და თითქმის თორმეტ-ნახევარ წუთს აღწევს. რით უნდა აიხსნას ეს? ჯერ ერთი მით, რომ შხის ბადროს განათებულ რგოლს გარკვეული სიგანე აქვს; მთვარის დისკოს განივი რგოლისებრი დაბნელებისას შხის დისკოს დიამეტრზე ნაკლებია; თუმცა მთვარის დისკოს ცენტრი გადაინაცვლებს შხის დისკოს ცენტრის მიმართ, მაგრამ პირველის დისკო ხანგრძლივად რჩება მეორის ფარგლების შიგნით. ჩვეულებრივი სრული დაბნელების დროს კი ამ ორი სხეულის დისკოები თითქმის თანატოლია და ცენტრებს შორის მცირე დაშორებაც საკმარისია იმისათვის, რომ მთვარემ სრულად ვეღარ დაფაროს შხე. ამასთანავე გასათვალისწინებელია, რომ რგოლისებრი დაბნელება ხდება მაშინ, როცა მთვარე მაქსიმალურად დაშორებულია დედამიწას, ე. ი. იგი იმყოფება თავისი თვიური ელიფსური ორბიტის უშორეს წერტილში — აპოგეუმში. ასეთ წერტილში კი ელიფსური გზით მსრბოლავ სხეულს უმცირესი სიჩქარე აქვს (იხ. ქვევით). მაშასადამე, მთვარე ამ დროს შედარებით უფრო ნელა გადაინაცვლებს სივრცეში და მისი ჩრდილიც დედამიწის ზედაპირზე უფრო ნელა გადაადგილდება. ეს ახანგრძლივებს დაბნელებას.

დაბნელების მთელი ხანგრძლივობა შეუდარებლად უფრო მეტია, ვიდრე ხანგრძლივობა მისი მხოლოდ სრული ფაზისა.

შხის დაბნელების მსვლელობაში განასხვავებენ ოთხ მომენტს: პირველს, როცა მთვარის ბადრო პირველად შეეხება შხის ბადროს. ამ მომენტს და მდგომარეობას პირველ კონტაქტს უწოდებენ. მეორე კონტაქტი მაშინაა, როცა მთვარის აღმოსავლეთი (მარცხენა) კიდე შიგნიდან შეეხება შხის აღმოსავლეთ კიდეს. თუ დაბნელება რგოლისებრი არაა, ამ დროს სრული დაბნელება დგება, მესამე კონტაქტის მომენტში მთავრდება სრული ფაზა. მეოთხე კონტაქტით, როცა მთვარის ბადრო სრულიად ცილდება შხისას, დაბნელების მოვლენა მთლიანად მთავრდება. დაბნელების სრული ფაზაა მეორე და მესამე კონტაქტებს 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 ვანსა-

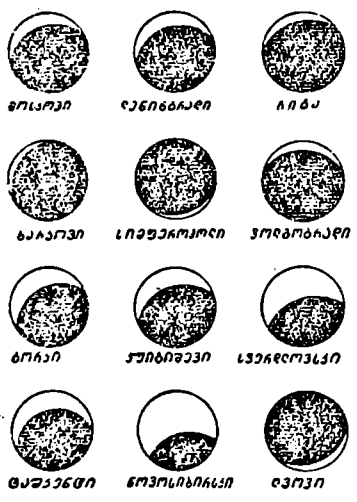


ნახ. 245.

ზღვრავს მზის დისკოს დიამეტრის ის ნაწილი, რომელიც დაფარულია მთავარის მიერ. ასე, მაგალითად, თუ მთვარე ისე გადაუტეოს მზის ბადროს, რომ უკანასკნელის დიამეტრის ნახევარს ანუ რადიუსს დაჰფარავს, ნაწილობრივი დაბნელების ფაზა გამოიხატება 0.5-ით ან 50%-ით, თუმცა, როგორც ადვილი წარმოსადგენია, ამ დროს როდია დაბნელებული მზის დისკოს ნახევარი!

თუ მზის დაბნელებისას მთვარის ბადროს ცენტრი მზის ბადროს ცენტრზე გავიღის, ასეთ დაბნელებას ცენტრალური დაბნელება ეწოდება. ეს დაბნელება ან სრული უნდა იყოს, ან რგოლისებრი.

245-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.

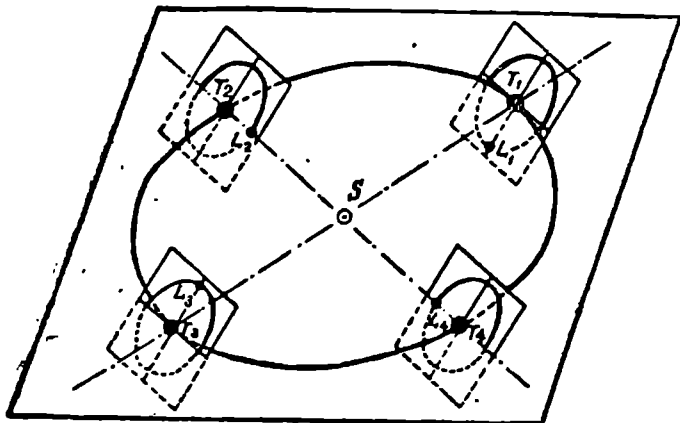


ნახ. 246.

246-ე ნახაზზე მოცემულია იმავე დაბნელებისას მზის დისკოს სურათი, ხილული სხვადასხვა პუნქტიდან, თითოეული პუნქტისათვის უდიდესი ფაზის შესა-

ბამის მომენტში. ადვილად დაეასკენით, რომ სეგრადლოესკი და, მეტადრე, ნოვო-სიბირსკი შესამჩნევად დაშორებულია სრული დაბნელების ზოლს; სიმფეროპოლი და ხარკოვი ძალიან ახლოა ამ ზოლთან. იმასაც შეიძლება მივხვდეთ (დაუბნელებელი ვიწრო „ნამგლების“ სხვადასხვა მხარეზე განლაგებით), რომ სრული დაბნელების ზოლი სიმფეროპოლსა და ხარკოვს შორის გადიოდა.

მზის დაბნელებათა სიხშირე. ზემოთ უკვე შევნიშნეთ, რომ მთვარის ორბიტა გეოცენტრის სიბრტყეში მოთავსებული რომ ყოფილიყო, მაშინ ყოველ ახალმთვარეობის დროს, ე. ი. ყოველთვიურად ერთხელ მზის დაბნელება მოხდებოდა. მაგრამ მთვარის ორბიტის სიბრტყე დახრილია დედამიწის ორბიტის სიბრტყისადმი



ნახ. 247.

და ამიტომ მზის დაბნელება მხოლოდ მაშინ შეიძლება მოხდეს, როცა მთვარე ახალმთვარეობის დროს აღმოჩნდება მთვარისა და დედამიწის ორბიტების სიბრტყეთა გადაკვეთაზე ანუ მთვარის ორბიტის კვანძების ხაზზე.

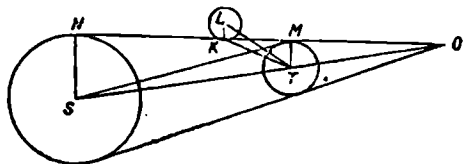
ახლა ვნახოთ, რამდენად ხშირად იქმნება ასეთი მდგომარეობა. განვიხილოთ 247-ე ნახ., რომელზეც T_1, T_2, T_3 და T_4 წარმოადგენენ დედამიწის 4 მდებარეობას მის წლიურ ორბიტაზე, ე. ი. წელიწადის განმავლობაში. L_1, L_2, L_3, L_4 მთვარის მდებარეობებია მისსავე ორბიტაზე და შესაბამებიან ახალმთვარეობას. კვანძების ხაზი დედამიწის ერთი მოქცევის განმავლობაში შეგვიძლია თავისი თავის პარალელურად ჩავთვალოთ. როცა დედამიწა T_1 წერტილში იმყოფება, კვანძების ხაზი მართობულია დედამიწის ორბიტის რადიუს-ვექტორისადმი, როგორც ეს ნახაზზე ჩანს, და ამიტომ ახალმთვარეობაში მთვარე არ იმყოფება კვანძების ხაზზე. ამ დროს მთვარე ეკლიპტიკის „ქვემოთა“ ანუ მისი სამხრეთით და დედამიწიდან იგი მოჩანს ეკლიპტიკას დაშორებული $5^{\circ}8'$ -ით (შეადარეთ 233-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 ძვეს, ე. ი. ეკლიპტიკაშია და მისი ბადროს ცენტრი მზის ბადროს ცენტრზე გაივლის. ამ მომენტებში კვანძების ხაზის მიმართულება დედამიწის ორბიტის რადიუს-ვექტორს თანხედება. მაშასადამე, დედამიწის T_2 და T_4 მდებარეობებში მზის დაბნელება უნ და 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



ნახ. 248.

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) ამაღლებული (დაშორებული) STL კუთხით. მაგრამ $STL = STK + KTL$, ხოლო STK არის KTO სამკუთხედის გარე კუთხე და იგი ეტოლება $(TKO + KOT)$ -ს ანუ $(TKO + KOS)$ -ს. SMT 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 მთვარედან, დ 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:

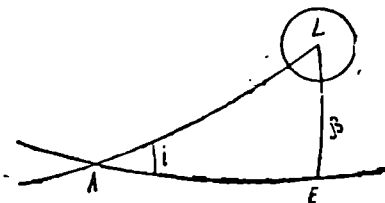
$$STL = 1^\circ 28' 42''.$$

STL -ის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ შესაკრებისათვის რა მნიშვნელობებს ავიღებთ—საშუალოს, მაქსიმალურს თუ მინიმალურს. რაკი ჩვენ ექსტრემალურ შემთხვევას განვიხილავთ, შესაკრების მნიშვნელო-

ბებიც ექსტრემალური უნდა ავიღოთ: R_c , $R_{\text{ც}}$, p_c -თვის მაქსიმალური, ხოლო $p_{\text{ც}}$ -თვის—მინიმალური.

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მზის დაბნელება მაშინაც შეიძლება მოხდეს, როცა მთვარის ცენტრი ახალმთვარეობის მომენტში მზის ცენტრს დაშორებულია თითქმის გრადუს-ნახევრითაც კი.

ახლა დავგრაჩა გასარკვევი,—რა კუთხურ დაშორებაზე შეიძლება იყოს ასეთ შემთხვევაში მთვარის ცენტრი მისი ორბიტის კვანძიდან? ვთქვათ, რომ 249-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. ადვილი 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: $1^{\circ}28'42''$. აღენიშნოთ ეს სიდიდე ანუ EL რკალი β -თი. მართკუთხა სფერულ სამკუთხედში ასეთი დამოკიდებულება გვაქვს:



ნახ. 249.

$$\operatorname{tg} \beta = \sin \overline{AE} \operatorname{tg} i,$$

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 არც ცის სფეროზე, რომელშიც მზის დაბნელება შესაძლებელია, 33° -ზე ვრცელდება, რადგანაც დაბნელების შესაძლებლობა ძალაში რჩება როგორც კვანძის ერთი მხრიდან, ვთქვათ, ეკლიპტიკის ჩრდილოეთიდან, ისე მეორე მხრიდანაც—ეკლიპტიკის სამხრეთიდან. 33° -ს ეკლიპტიკაზე მზე გაივლის დაახლოებით 33 დღე-ღამეში, რამდენადაც იგი ყოველდღიურად დაახლოებით 1° -ით გადაადგილდება. ხოლო 33 დღე-ღამეში შეიძლება მოხდეს არათუ ერთი, არამედ ორი ახალმთვარეობაც. მაშასადამე, დედამიწის მდებარეობაში T_2 (ნახ. 247) დაბნელება უთუოდ მოხდება ერთხელ და შეიძლება მოხდეს ორჯერაც.

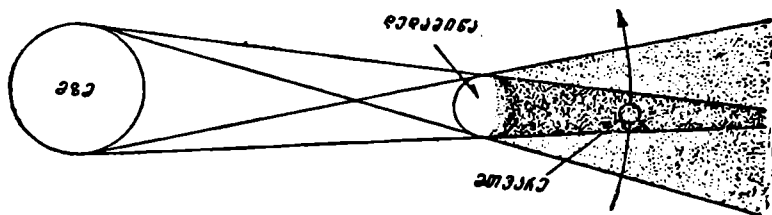
მაგრამ სრულიად მსგავსი სიტუაციაა დედამიწის T_4 მდებარეობაში, რამდენადაც ამ მდგომარეობაშიც კვანძების ხაზი მზეზეა მიმართული. ეს ორი მდებარეობა ერთიმეორეს დაშორებულია დროში ნახევარი წლით. მაშასადამე, დაბნელებათა პერიოდი უნდა განმეორდეს ნახევარი წლის შემდეგ. ამგვარად, წელიწადში შეიძლება მოხდეს 4 მზის დაბნელება.

ყურადღებაამისაქცევია, 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 პერიოდს 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.

მთვარის დაბნელება და მისი ვითარება. მზის დაბნელების გარდა ხდება მთვარის დაბნელებაც. მთვარე მოექცევა დედამიწის ჩრდილში და, მანამდე მზის



ნახ. 250.

სხივებით განათებული, ახლა განათებას მოკლებული აღმოჩნდება და როგორც დაბნელებული, ისე წარმოგიდგება (ნახ. 250).

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 აღვწერთ.

251-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის დაბნელების სქემატური სურათი. S , T და L მზის, დედამიწისა და მთვარის ცენტრებია, ხოლო C —დედამიწის ჩრდილის კონუსის წვერა. თუ T -დან გაავლებთ 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

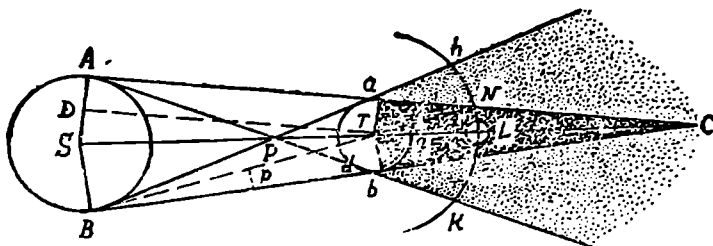
$$TC = \frac{r}{R-r} d,$$

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-

ძის საშუალო მნიშვნელობაა, რომლიდანაც გადახრა შეიძლება ± 22000 კმ-ს აღწევდეს.

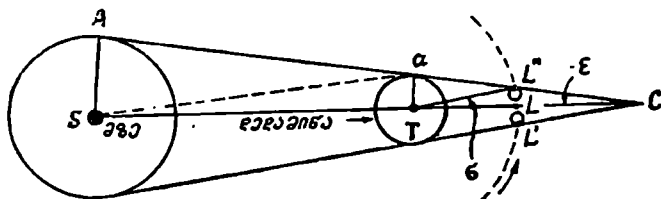
მაშასადამე, ჩრდილის კონუსის სიგრძე ყოველთვის და შესამჩნევად აღემატება დედამიწა-მთვარის მაქსიმალურ მანძილს. ე. ი. დედამიწის ჩრდილი



ნახ. 251.

ყოველთვის მიწვდება მთვარის ზედაპირს, როცა მთვარე კონუსის ღერძის ახლოს გაივლის.

გავიგოთ, რას ეტოლება ჩრდილის კონუსის განივკვეთი იმ ადგილას, სადაც მას მთვარის ორბიტა გადაკვეთს. გამოვითვალოთ ეს განივი ანუ გეოცენტრული კუთხური რადიუსი, როგორც ის დედამიწის ცენტრიდან მოჩანს. განვიხილოთ ამისათვის 252-ე ნახ., რომელზეც σ იყოს ჩრდილის კონუსის კუთხური



ნახ. 252.

რადიუსი მთვარის მანძილზე. p_{\odot} და p_{\ominus} ნიშნავდეს მზისა და მთვარის პარალაქსებს, შესაბამისად; R_{\odot} და r_{\ominus} იყოს მზისა და მთვარის კუთხური რადიუსები და ρ_{\odot} და ρ_{\ominus} — მათი ხაზოვანი რადიუსები, შესაბამისად. L არის წერტილი, სადაც მთვარის ორბიტა გადაკვეთს ჩრდილის კონუსის STC ღერძს. L' და L'' წერტილები აღნიშნავენ მთვარის ორბიტის გადაკვეთის წერტილებს ჩრდილის კონუსის ზედაპირთან.

LL'' პრაქტიკულად შეგვიძლია ჩავთვალოთ TC ღერძის მართობულად. მაშინ იგი წარმოადგენს კონუსის წრიული განივკვეთის რადიუსს მთვარის მანძილზე. საძიებელი კუთხური რადიუსი არის LTL'' კუთხე.

$TL''C$ სამკუთხედის $aL''T$ გარე კუთხე ეტოლება შიგა არამოსაზღვრე კუთხეების ჯამს ანუ $(\sigma + \epsilon)$ -ს, ამავე დროს იგი არის მთვარის პორიზონტული პარალაქსი — p_{\ominus} . მაშასადამე, $p_{\ominus} = \sigma + \epsilon$.

ადვილად მივხვდებით, რომ AaS კუთხე შეგვიძლია ჩავთვალოთ მზის კუთხური რადიუსის R_{\odot} ტოლად, ამავე დროს იგი $(\epsilon + p_{\odot})$ -ს ეტოლება. ამიტომ

$$R_{\odot} = \varepsilon + p_{\odot}$$

ამგვარად,

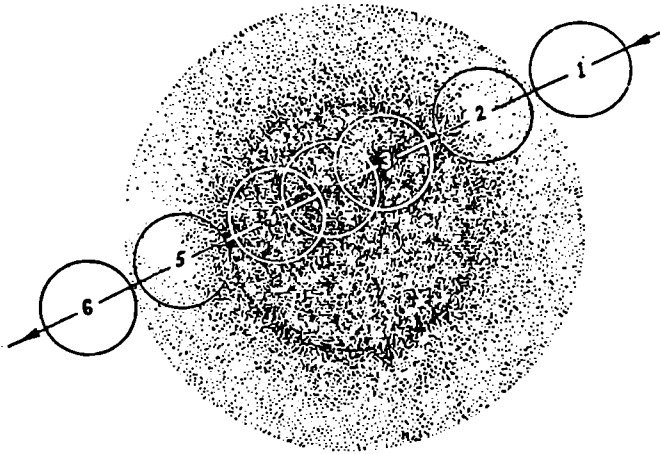
$$\sigma = p_c - \varepsilon = p_c + p_{\odot} - R_{\odot}$$

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 შუის 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 გაიბრუნს ჩრდილში რკალს, რომელიც ტოლია $1^{\circ}22' - 32' = 50'$. მაგრამ თუ ერთ საათში იგი $30'.3$ -ს გადის, $50'$ -ის გავლას მოუნდება 1 საათსა და 40 წუთს. ჩვენს ანგარიშში გათვალისწინ-

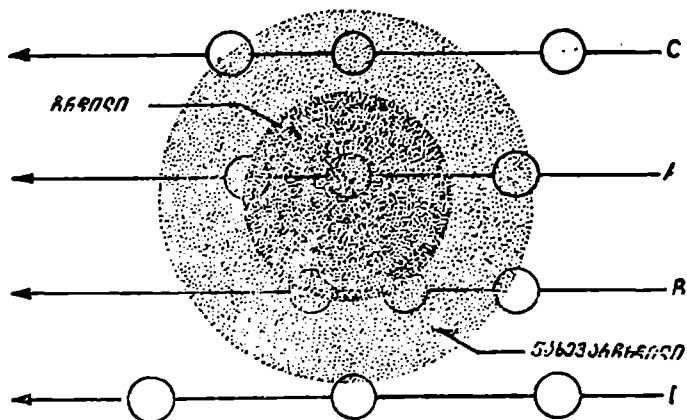


ნახ. 253.

ნებულია დედამიწის ჩრდილის მოძრაობაც სივრცეში (დედამიწის ორბიტული მოძრაობით გამოწვეული), რამდენადაც მთვარის სინოდური გადანაცვლებიდან ამოვიდოდით.

დედამიწის ჩრდილის კონუსსაც ახლავს თავისი ნახევარჩრდილი, როგორც ეს 250-ე და 251-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 კონუსის ღერძს, რომ სრულებითაც არ შეეხოს თვით ჩრდილს. 253-ე ნახაზზე გამოხატულია 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 შიგა 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 ნახევარჩრდილოვანი დაბნელება მე-6 მდებარეობამდე), მთვარეს რომ ჩრდილის კონუსის ღერძზე გაეწვო, დაბნელება უფრო ხანგრძლივი იქნებოდა. მე-2 და მე-5 მდებარეობებს შორის ამ კონკრეტულ შემ-



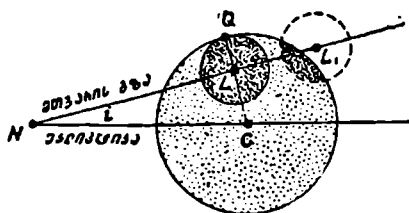
ნახ. 254.

თხვევაში თითქმის $3\frac{1}{2}$ საათმა განვლო; მე-3 და მე-4 მდებარეობებს შორის—80 წუთმა. თუ დაბნელება ცენტრალურია, ე. ი. მთვარის ბაღრის ცენტრი ჩრდილის წრის ცენტრზე გადის, მთვარის სრული დაბნელება 1 სთ 40 წთ-ს გრძელდება.

254-ე ნახაზზე, წინა ნახაზისაგან განსხვავებულ მასშტაბში, წარმოდგენილია მთვარის დაბნელების სხვადასხვა შემთხვევა: *A*—ცენტრალური სრული დაბნელება, *B*—ნაწილობრივი დაბნელება, *C*—მხოლოდ მკრთალჩრდილოვანი დაბნელება. *D* შემთხვევაში მთვარე თითქმის ეხება ნახევარჩრდილს. მკრთალჩრდილოვანი დაბნელება (მეტადრე—ნაწილობრივი) მოსახლეობისათვის შეუმჩნეველი რჩება.

რა პირობებში ხდება მთვარის დაბნელება. განვიხილოთ 225-ე ნახ. აქ, იმავე პროექციაში, როგორც 253-ე ნახაზზე, წარმოდგენილია დედამიწის ჩრდილი, *N* კენადის წერტილის ახლო. დაეკვიმებულია აგრეთვე ეკლიპტიკისა და მთვარის ორბიტის მონაკვეთები. ადვილი მისახვედრია, რომ *C* წერტილში ნახაზის სიბრტყისადმი აღმართული მართობი შეესაბამება 251-ე ნახაზზე *TC* ღერძს. *C* წერტილის კოორდინატებს ცაზე წარმოადგენენ მზის მოპირდაპირე წერტილის კოორდინატები. ამგვარად, ადვილად დადგინდება ყოველი მომენტისათვის *C* წერტილის კოორდინატები. მაგრამ ეს წერტილი ყოველთვის ეკლიპტიკის ხაზზეა; 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 σ -თი აღენიშნეთ, ამიტომ კუთხური მანძილი $CL = \sigma - r_c$ (r_c მთვარის კუთხური რადიუსია). ზემოთ მიღებულის მიხედვით გვექნება:



ნახ. 255.

$$CL = p_{\odot} + p_c - R_{\odot} - r_c.$$

ვთქვათ, C წარმოადგენს ჩრდილის ცენტრის მდებარეობას იმ დროს, როცა მთვარე N კვანძშია. NC აღენიშნოთ l ასოთი. ჩრდილისა და მთვარის ზომებისა და მათი სივრცეში გადაადგილების

სიჩქარეთა გათვალისწინებით შესაძლოა იმის გამოთვლა და დადგენა, რომ იმ ექსტრემალურ სიტუაციაში, როცა ჯერ კიდევ მინც შეიძლება მოხდეს მთვარის სრული დაბნელება, $l = 10,3CL$ ანუ

$$l = 10,3(p_{\odot} + p_c - R_{\odot} - r_c).$$

-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 $4^{\circ}.6$ საშუალო 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 მოვიწოდებთ, იმგვარივე მსჯელობით მივიღებთ:

$$l = 10,3(p_{\odot} + p_c - R_{\odot} + r_c) = 9^{\circ}.9.$$

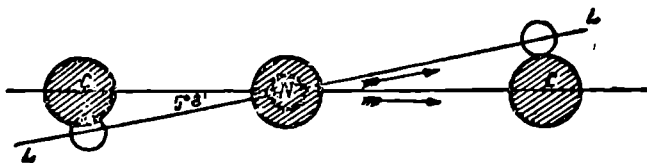
მაშასადამე, პირობა, რომ მოხდეს მთვარის ნაწილობრივი დაბნელება, ისაა, რომ l ნაკლები იყოს, ვიდრე $9^{\circ}.9$. ოღონდ მთვარის ორბიტის ელემენტების ცვლილებათა და სხვა მიზეზების გამო ეს სიდიდე შეიძლება ზოგჯერ ნაკლებიც იყოს და ზოგჯერ 12° -საც აღწევდეს. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ეს საზღვარი კვანძის წერტილის ორივე მხარეზე—აღმოსავლეთით და დასავლეთით—სიმეტრიულად უნდა ვიგულოთ. ეს ორჯერ აფართოებს დაბნელების მოხდენის საზღვრებს.

განვიხილოთ ახლა 256-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 ზვეით გვექნა.

ჩრდილის ცენტრი გადაადგილება ისეთი სიჩქარით, რომ ეკლიპტიკურ საზღვრის ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობის გავლას თითქმის 10 ღლეს უნდება, ხოლო, თუ ვიგულისხმებთ მის გზას კვანძამდე და კვანძის შემდეგ, —20 ღლეს.

ამიტომ წელიწადში ორი პერიოდია, თითოეული დაახლოებით 20 დღის ხანგრძლივობისა, როცა შესაძლებელია მთვარის დაბნელება.

მთვარის დაბნელება მოხდება, თუ დროის იმ შუალედში, რომელშიც მზე 20°-ს გაივლის, ე. ი. დაახლოებით 20 დღე-ღამეში, სხვა პირობებთან ერთად, საესემთვარეობასაც ექნება ადგილი. მაგრამ, რამდენადაც საესემთვარეობის მო-



ნახ. 256.

მენტებს შორის $29\frac{1}{2}$ დღე-ღამეა, იმ 20 დღე-ღამეზე შეიძლება არც მოვიდეს საესემთვარეობა. ამიტომ წელიწადმა შეიძლება ისე ჩაიაროს, რომ მთვარის დაბნელებას ერთხელაც არ ჰქონდეს ადგილი.

საერთოდ, დაბნელებათა მინიმალური რიცხვი ერთ წელიწადში ორია და ეს ორივე მზის დაბნელებაა, 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.

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 ნილულია 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 იმიტომაა, რომ მთვარის ჩრდილი გადაინაცვლებს დედამიწის ზედაპირზე—სივრცეში მთვარის მოძრაობისა და დედამიწის ლერძის ბრუნვის გამო.

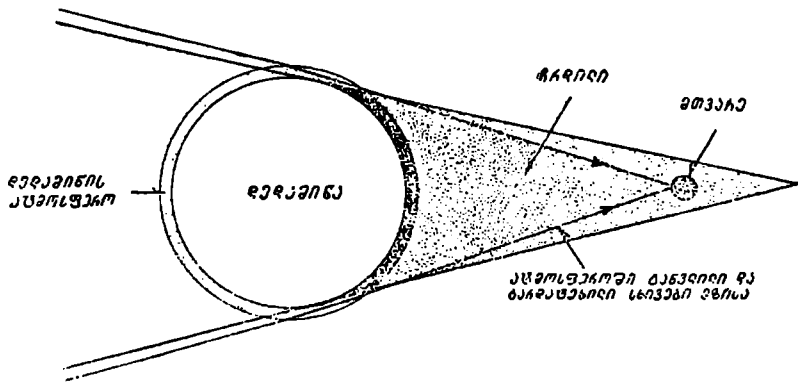
მთვარის დაბნელება ფიზიკური მოვლენაა. ეს იმას ნიშნავს, რომ მთვარე ნამდვილად ბნელდება; თუ მოექცა დედამიწის ჩრდილში, იგი, როგორც არათვითმნათი სხეული, კარგავს სინათლეს, რომელსაც მზისგან ღებულობდა,

და რეალურად ბნელდება. ამიტომ მთვარის დაბნელება დედამიწის ნახევარსფეროს მთელი ზედაპირიდან, რომლისთვისაც მთვარე პორიზონტის 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 შარავანდელით გარსშემოვლებულს. ეს შარავანდელი მზის გარე ატმოსფეროა, რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში, დაბნელების გარეშე, მზის თვალისმომკრელი 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 უგარდატეხილი და შესუსტებული სხივები შეიქ-



ნახ. 257.

რება ჩრდილის კონუსის სიღრმეში, მთვარის ზედაპირსაც ეფინება და, თუმცა სუსტად, მაინც ანათებს მას (ნახ. 257). რამდენადაც ატმოსფეროში გავლილი სხივების გარდატეხა და შესუსტება დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეებზე, შესუს-

* დედამიწის ბრუნვის გამო ერთი და იგივე დაბნელება სინამდვილეში უფრო დიდი ფართობის ზედაპირიდან მოჩანს, ვიდრე დედამიწის ნახევარსფეროს ზედაპირიან.

ტებული 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—ღრუბლიანობაზე, 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*. ამ შიშა, სხვა გარემოებებთან ერთად, მთვარის დაბნელებათა დაკვირვება-შესწავლის მეცნიერული ინტერესი.

258-ე ნახაზზე მოცემულია წარმოსახვითი სურათი, თუ როგორ უნდა გამოჩნდეს მთვარის ზედაპირიდან მზის დაბნელება. დედამიწის ბადრო, რომელიც „აბნელებს“ მზეს, გაცილებით დიდია, ვიდრე მზისა. იმის გამო, რომ მთვარე მოკლებულია ატმოსფერულ გარსს, მის ბნელ ცაზე მრავლად მოჩანს ვარსკვლავები. მზის კორონაც უფრო მეკეთრად გამოიჩნევა.

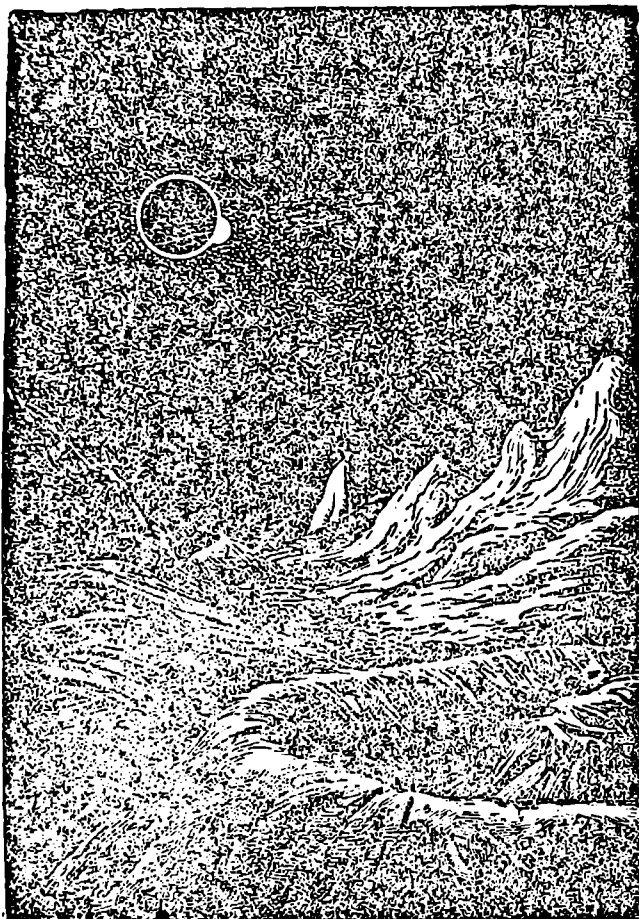
რამდენადაც დაბნელებათა დაკვირვებას მეცნიერული ინტერესი აქვს და აუცილებელი ხდება, კერძოდ, მზის დაბნელებათა დასაკვირვებლად ექსპედიციების გამართვა, ხშირად—შორეულ ქვეყნებში, საჭიროა წინასწარ ვითვლიდეთ დაბნელების დღეს, მისი დადგომის და დამთავრების მომენტებს და ყველა სხვა პირობას. ჩვენი ცოდნა აღნიშნული სამი სხეულის მოძრაობათა და სხვა მახასიათებელთა შესახებ და დამუშავებული მეთოდები საშუალებას იძლევა ასეთი წინასწარგამოთვლები საოკრად 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 სხვა გარემოების

* 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 აკუნგი“-ს ამოკმედების შედეგად უხვად ამოიფრქვა და ატმოსფეროს ზედაფენებში გაიფანტა მტკრისებრი ნივთიერება. ძალიან ბნელი დაბნელებები იყო შემჩნეული გასული საუკუნის დამლეუსაც, ვულკან კრაიკატოს ამოფრქვევის (1883) შემდეგ.

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 გამოთვლილ იქნეს თითო მომენტი ყოველი ფაზისათვის (დასაწყისი, დასასრული,



ნახ. 258.

მაქსიმალური დაფარვა ჩრდილით), ვთქვათ, გრინვიჩის ღრობით 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 უკანასკნელ მეოთხედში მოხდება.

ჭოჩის სრული დაბნელებანი

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	იაპონია, წყნარი ოკეანე
1984 22. XI.	2.1	წყნარი ოკეანე
1985 12. XI.	0.8	ანტიარქტიკა
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 დაბნელებანი

თარიღი	დაბნელების ფაზა	თარიღი	დაბნელების ფაზა
1971 10. II.	სრული	1986 24. IV.	"
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. VIII.	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.	"

მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლა. მოკლედ აღეწეროთ მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლის ერთ-ერთი ხერხი, ცხადია, იმისათვის, რომ გა-

მოვითვალთ 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 წელიწადეულეებში მოცემულ წინასწარგამითვლილ ცხრილებში. წელიწადეულები რამდენიმე წლით ადრე იბეჭდება.

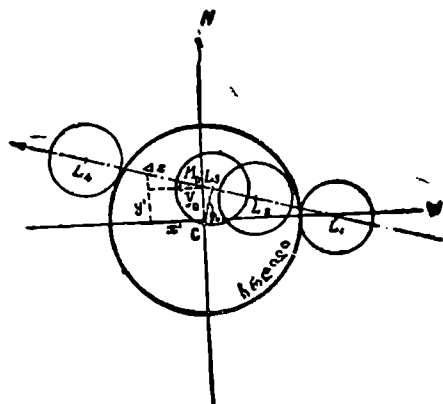
თუ მზის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა რომელიმე მომენტში არის α_{\odot} და δ_{\odot} , მაშინ ჩვენთვის ცნობილი იქნება დედამიწის ჩრდილის კონუსის ღერძის ცის სფეროსთან გადაკვეთის წერტილის პირდაპირი აღვლენა და დახრილობაც $\alpha = \alpha_{\odot} \pm 180^{\circ}$ და $\delta = -\delta_{\odot}$. როგორც მზის, 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 $\Delta\alpha_{\ominus}$ და $\Delta\delta_{\ominus}$.

მთვარის დაბნელების ანუ მისი პირისპირდგომის მომენტში*, რომელსაც T -თი აღვნიშნავთ, მთვარის პირდაპირი აღვლენა 12 საათით განსხვავდება მზის პირდაპირი აღვლენისაგან: $\alpha_{\ominus} = \alpha_{\odot} \pm 12$ 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, ავავით 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. 259).



ნახ. 259.

პირისპირდგომის მომენტში მთვარის კოორდინატები ამ მართკუთხა სისტემაში იქნება:

$$x_0 = 0, \\ y_0 = \delta_{\ominus} + \delta_{\odot}.$$

ერთი საათის შემდეგ ეს კოორდინატები შეიცვლება მათი და ჩრდილის ცენტრის კოორდინატების საათიერი ცვლილების შესაბამისად და იქნება:

* რამდენადაც ყოველთვის ცენტრალურ დაბნელებას ვერ ვივლისებებთ, ამიტომ პირისპირდგომად ჩავთვლით მომენტს, როცა მზისა და მთვარის პირდაპირი აღვლენის მნიშვნელობები 12 საათით განსხვავდება («პირისპირდგომა პირდაპირი აღვლენის მიხედვით»).

$$x' = -15 \cos \delta_{\odot} (\Delta \alpha_c - \Delta \alpha_{\odot}),$$

$$y' = \delta_c + \delta_{\odot} + \Delta \delta_c + \Delta \delta_{\odot}.$$

(x —კოორდინატის მნიშვნელობასთან ნიშანი მინუსი გაჩნდა იმის გამო, რომ აბსცისთა ღერძის მიმართულება დასავლეთისაკენ ავიღეთ, ხოლო მთვარის მოძრაობა პირდაპირია; კოეფიციენტი 15 და \cos -ფუნქცია—ღროს ერთეულებიდან რკალის ერთეულებზე გადასვლასთან და „ეკვატორზე მიყვანასთან“ დაკავშირებით). ამგვარად, მთვარის სჯათიერი გზა (აღნიშნოთ იგი Δs -ით) იქნება:

$$\Delta s = + \sqrt{x_c'^2 + (y'_c - y_{\odot})^2}.$$

თუ მთვარის გზის დახრას აბსცისთა ღერძთან აღნიშნავთ i -თი, მაშინ, როგორც 259-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:

$$\tan i = - \frac{\Delta \delta_c + \Delta \delta_{\odot}}{15 \cos \delta_{\odot} (\Delta \alpha_c - \Delta \alpha_{\odot})}. \quad (1)$$

ჩრდილის ცენტრიდან მთვარის გზაზე დაშვებული მართობი გამოხატავს მოძრავე 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 თანხვედება პირისპირდგომის*. პირისპირდგომამდე ანუ T მომენტამდე მთვარეს გასავლელი აქვს კიდევ მონაკვეთი:

$$L_3 M_0 = (\delta_c + \delta_{\odot}) \sin i.$$

თუ შუა მომენტის ღროს აღნიშნავთ t_0 -ით, განსხვავება პირისპირდგომის მომენტსა და t_0 -ს შორის იქნება:

$$T - t_0 = \frac{\delta_c + \delta_{\odot}}{\Delta \delta_c + \Delta \delta_{\odot}}.$$

აქედან მიიღება დაბნელების შუა მომენტის განსაზღვრელი გამოსახულება:

$$t_0 = T - \frac{\delta_c + \delta_{\odot}}{\Delta \delta_c + \Delta \delta_{\odot}}. \quad (2)$$

დაბნელების ვითარების წინასწარგამოთვლის მეტი სისრულისათვის გვეჭირდება კიდევ ვიცილეთ ნაწილობრივი დაბნელების დასაწყისისა და დასასრულის.

* თანხედენა მაშინაა, როცა მთვარის გზა აბსცისთა ღერძის პარალელურია.

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

$$L_3 L_1 = + \sqrt{\rho_1^2 - \rho_0^2}.$$

ბოლო 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 გამოიყენება 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 ρ_2 -ის მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც

$$\rho_2 = \sigma - R_c.$$

ცხადი უნდა იყოს ისიც, რომ R_c და ყველა სხვა სიდიდე, რომლებიც σ -ს გამოსათვლელ ფორმულაში შედის, მათი ისეთი მნიშვნელობებით უნდა ავიღოთ, რომლებიც პირისპირდგომის მომენტს (T) შეესაბამება. ამისათვის დაგვჭირდება წელიწადულიდან ამოღებული მნიშვნელობების ინტერპოლაცია (იხ. ზეით).

ახლა უნდა განვსაზღვროთ დაბნელების მაქსიმალური ფაზის მნიშვნელობა, ამისათვის გამოიყენება ფორმულა, რომელიც მარტივად მიიღება:

$$p = \frac{\sigma - (\rho_0 - R_c)}{2R_c}, \quad (7)$$

თუ $p > 1$, დაბნელება სრულია; თუ $p < 0$, დაბნელება არ მოხდება (განხილვიდან გამორიცხულია ნახევარჩრდილოვანი დაბნელება). ნაწილობრივ დაბნელებას შეესაბამება $0 < p < 1$.

ამგვარად, მთვარის დაბნელების ვითარების ძირითადი დამახასიათებელი პარამეტრების წინასწარგამოთვლა ემყარება ფორმულების (1) — (7) გამოყენებას.

ქოჯა რამ შვისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან. დაბნელებები, შეტადრე—შვის დაბნელება, უძველესი დროის ადამიანის ყურადღებას იპყრობდა როგორც მეტად შთაბეჭედავი, მოულოდნელი და ამასთანავე იღუმალი 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 შვის სრული დაბნელების შესახებ. ძველ ბაბილონურ წყაროებში აღწერილია 1063 წელს (ძვ. წ.) მომხდარი შვის სრული დაბნელება.

დაბნელებებში გარკვეული პერიოდულობის (გაიხსენეთ საროსის შესახებ) არსებობის წყალობით უკვე დიდი ხნის წინათ ახერხებდნენ მათ წინასწარმეტყველებას, თუმცა უხეში მიახლოებით. ბერძენმა თაღეს მილეთელმა იწინასწარმეტყველა ძვ. წ. 585 წ. შვის დაბნელება, რომლითაც დამთავრდა ხანგრძლივი ომი მიდიელთა და ლიდიელთა შორის; მოწინააღმდეგე მეოპრებზე ისე იმოქმედა მოულოდნელმა შვის დაბნელებამ, რომ მათ მყის დაჰყარეს იარაღი.

საინტერესოა ბერძენ ისტორიკოსთა გადმოცემა 431 წლის (ძვ. წ.) შვის დაბნელების შესახებ, რომლის დროსაც ცაზე გამოჩნდნენ ვენერა, იუპიტერი და ვეგა (α ქნარი).

ჩვენს დროში ისტორიკოსები მოხერხებულად იყენებენ დაბნელებებს ისტორიული მოვლენების დათარიღების მიზნით. რამდენადაც დაბნელებები დიდ შთაბეჭდილებას იწვევენ, მემტრიანეები 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 შვის დაბნელებასთან, რომელიც თითქოს 20 ივლისს, შაბათს, შუაღლის შემდეგ მომხდარა. აკადემიკოს ივანე ჯავახიშვილის თხზვნით პროფ. ე. ბიუსმა შეადგინა შვის დაბნელებათა ცხრილი, რომელთაც ადგილი ჰქონდათ III ს. ბოლოსა და IV ს. პირველ ნახევარში და ხილულნი იყვნენ ქართლის ტერიტორიიდან. გამოირკვა, რომ ისეთი შვის დაბნელება, რომელიც წყაროში ჩამოთვლილ ყველა მოთხოვნას დააკმაყოფილებდა, ამ პერიოდში არ მომხდარა. ამ გარემოებამ მკვლევრები აიძულა კრიტიკულად მოპყრობოდნენ ზემოთ ნახსენებ თარიღს და მისი დაზუსტება სხვა საშუალებებით განეკრძათ.

ასტრონომებს კარგად ახსოვთ 1560 წლის შვის დაბნელება, რომელიც ახალგაზრდა ტიხომ—შემდგომში ცნობილმა ასტრონომმა ტიხო ბრაჰემ ნახა. ამ შთაბეჭედავი 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 ობსერვატორიაში 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 იქნა გამოყენებული სპექტროსკოპი მზის დაბნელების თანმხლები მოვლენების შესასწავლად. 1860 წ. პირველად იქნა გამოყენებული ამავე მიზნით 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 ძირითადი სიდიდეები, რომლებსაც ეყრდნობა წინასწარგამოთვლა (ორბიტების ელემენტები, პარალაქსები და სხვ.).

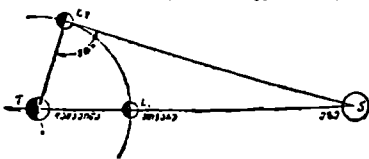
არსებობს კატალოგები, რომლებშიც თავმოყრილია წარსულისა და მომავლის გამოთვლილ დაბნელებათა ვითარების დამახასიათებელი მონაცემები და დაბნელებათა ზოლების რუკები. მათ შორის ყველაზე პოპულარულია და ხმარებაშია თ. ოპოლცერის კატალოგი „*Kanou der Finsternisse*“, რომელშიც შეკრებილია ცნობები 8000 მზისა და 5200 მთვარის დაბნელებისათვის, რაც მომხდარა და მოსახდენია დროის განმავლობაში ძველი წელთაღრიცხვის 1207 წლიდან ჩ. წ.-ის 2162 წლამდე.

ჩვენს დროში დაბნელებებს გეგმიანად და საერთაშორისო ძალეობით 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 მრავალადა აღწერილი დაბნელებანი ჩ. 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. არისტარქემ (III ს. ძვ. წ.) და ჰიპარქმა (II ს. ძვ. წ.) გამოიყენეს მთვარის დაბნელებათა დაკვირვებანი მზის სისტემის მასშტაბის შეფასების მიზნით*. ჰიპარქის დროიდან

* ინტერესი არ არის მოკლებული გვეცნობთ არისტარქეს მეთოდს. ამჟამად ცის მნათობთა მანძილების გასაზომად მიმართავენ იარაღებს, ფოტოგრაფიებს და სხვა საშუალებებს. არისტარქე თავის გამოკვლევაში ძირითადად დაეყრდნო მზის დისკის განსაზღვრას, როცა მოჩანს მთვარის ზუსტად ნახევარი ფაზა. განვიხილოთ 260-ე ნახაზი. თუ დავუშვებთ, რომ მზე არ იძლევა ჩვენგან უსასრულოდ შორს, მაშინ მთვარის ზუსტად ნახევარს დაინახავთ არა მაშინ, როცა მთვარე თავის ორბიტაზე L_1 -დან



ნახ. 260.

500-იან რაკლს შემოწერს, აჩამედ უფრო აღრე, როცა კუთხე TL_2S ეტოლება 500-ს. ამ მო-

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 დედამიწისახლო კოსმოსური სივრცის ფიზიკური პარამეტრები, აგრეთვე მათი კავშირი მზის აქტივობასა და მის პერიოდულობასთან*. თავისთავად ცხადია, რომ ამ ამოცანების შესასწავლად გამოსაყენებელი ხელსაწყოებიცა და ტექნიკაც დიდად განვითარდა.

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 შესაძრწევად გადაადგილდება ცაზე ვარსკვლავთა მიმართ. ხან ერთ თანავარსკვლავებს 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 წინასწარგამართულაც ხერხდება. მისი თეორია და გამოთვლის მეთოდოცა მსგავსია იმისა, რაც მზის დაბნელების შემთხვევაში გვაქვს. მართლაც, დაფარვა, მოკლენის პერსპექტიული მხარის თვალსაზრისით, სრულიად ისეთივე მოკლენაა როგორც მზის დაბნელება; განსხვავება ისაა, რომ ვარსკვლავების სიშორის გამო მთვარის „ჩრდილი“ კონუსური კი არაა, არამედ, შეიძლება ითქვას, ცილინდრის წარმოადგენს და ნახევარჩრდილის ცნებაც ამ შემთხვევაში გამოირიცხება.

რაკი მთვარე ვარსკვლავიერ ცაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით გადაინაცვლებს, ვარსკვლავის დაფარვა ყოველთვის მთვარის ბადროს აღმოსავლეთ კიდეზე ხდება. რაგინდ დიდადაც უნდა იყოს ვარსკვლავი მიახლოებული მთვარეს, მას არაფერი ეტყობა გარკვეულ მომენტამდე. მთვარე რომ ატმოსფეროს გარსით

შენგში სამკუთხედი TL_2S მართკუთხოვანია. თუ ამავე მომენტში გავზომავთ კუთხეს შუაზე და მთვარეზე მიმართულებათა შორის ანუ STL_2 კუთხეს, განვსაზღვრავთ $\frac{TL_2}{TS}$ ფარდობას ანუ დედამიწიდან მთვარემდე და შუამდე მანძილების ფარდობას. არისტარქეს მიხედვით გამოდიოდა, რომ ეს ფარდობა $1/20$ -ია. ვიციით, რომ სინამდვილეში მანძილი შუამდე 400-ჯერ აღემატება მანძილს მთვარემდე. პრინციპულად სწორმა მეთოდმა არისტარქემ მცდარ შედეგამდე იმიტომ მიიყვანა, რომ ჩნდარიინდელი საწვავლებებით ძალიან ძნელა იყო როგორც ზუსტი ნახევარჯახის მომენტის დადგენა, ისე STL_2 კუთხის გაზომვა საქმარის ს-ზუსტიგით.

* ეს კავშირი მზის დაბნელების თანხლებულ მოკლენებსაც ეწეება.

ყოფილიყო გარემოცული, მაშინ მასთან მიახლოებისას შეენიშნავდით ვარსკვლავის სიკაშკაშის თანდათანობით შესუსტებას.

მაგრამ დაფარვა მყისიერად ხდება; როცა ტელესკოპით ვაკვირდებით, ოკულარის მხედველობის ველში ერთდროულად ვხედავთ მთვარის ბადროს. ნაწილს, მის კიდეს, რომელიც ვარსკვლავთან ახლოა, და თვით ვარსკვლავს (ნახ. 261). მანძილი ვარსკვლავსა და მთვარის კიდეს შორის თანდათან კლებულობს და ბოლოს ვარსკვლავი მყისიერად „ქრება“: იგი დაიფარა მთვარით. ასეთი მომენტური გაქრობა ვარსკვლავისა მოწმობს ორ გარემოებას: ჭერ ერთი, იმას,

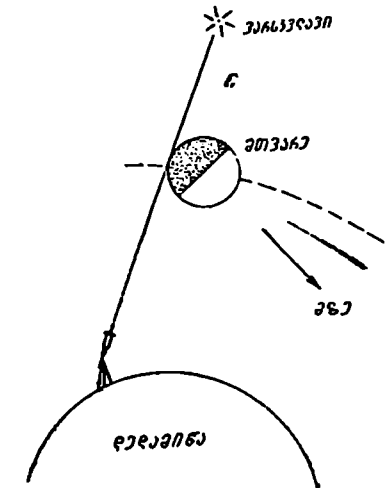
რომ მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს, მეორეც—რომ ნებისმიერი ვარსკვლავის, როგორც კაშკაშაც უნდა იყოს იგი, კუთხური დიამეტრი სრულიად უმნიშვნელოა.

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, მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა, გამოჩენაც მთვარის ბადროს უკანა მხრიდან. რაკი დაფარვა ხდება მთვარის აღმოსავლეთ კიდეზე, ვარსკვლავი უნდა გამოჩნდეს დასავლეთის კიდეზე. ერთი და იმავე ვარსკვლავის ჭერ დაფარვისა და მერე გამოჩენის მომენტებს შორის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია უმთავრესად იმაზე, თუ რომელ ქორდაზე—დიამეტრთან თუ კიდესთან 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 დაახლოებით იმავე ნახევარი გრადუსით გადაინაცვლებს, ამიტომ ეს ხანგრძლივობა იქნება ერთ საათამდე.

ადვილი მისახვედრია, რომ ახალმთვარეობიდან სავსემთვარეობამდე ვარსკვლავი მთვარის ბნელი კილით იფარება (ნახ. 261). 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 აღრინდელ ფაზებში, როცა ვარსკვლავი უნდა გამოჩნდეს განათებული კიდის უშუალო მახლობლობაში.



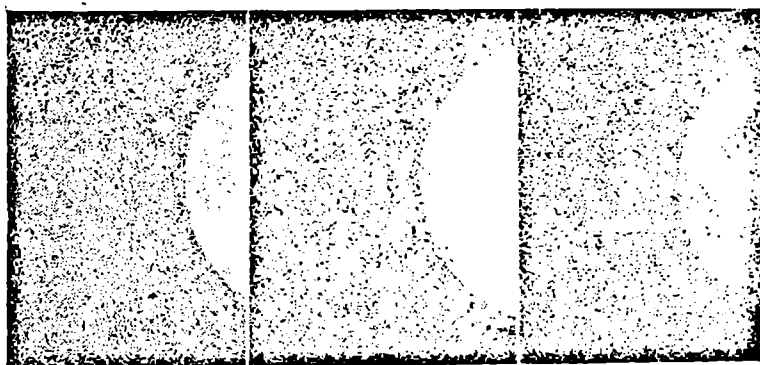
ნახ. 261.

ისევე, როგორც შვის დაბნელების დასაწყისისა და დასასრულის მომენტები, ვარსკვლავის დაფარვისა და გამორჩენის მომენტებიც განსხვავებულია დედამიწის



ნახ. 262.

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 α -ს დაფარვა გამოჩნდა აბასთუმნიდან გრინვიჩის ღრობით 2 სთ 57.8 წთ-ზე, ხოლო 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.



ნახ. 263.

ცალკე ინტერესს წარმოადგენს მთვარის მიერ ცთომილები დაფარვა. ცთომილი, რომელსაც გარკვეული განფენილობა აქვს, ე. ი. ბადროს სახით მოჩანს, ერთბაშად როდი დაიფარება მთვარით, არამედ — თანდათანობით. 262-ე ნახ. წარმოადგენს მთვარის მიერ პლანეტა ვენერას დაფარვის ფოტოსურათს.

კიდევ უფრო საინტერესოა მომდევნო 263-ე ნახაზი. სამი თანმიმდევარი ფოტოგრაფია უჩვენებს მთვარის მიერ იუპიტერისა და მისი თანამგზავრების დაფარვას.

მერკურისა და ვენერას გავლა მზის დისკოზე. იმ პერსპექტიულ მოვლენებს, როგორცაც 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 ბადრის 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 1/2 წელიწადი
1769	ივნისი		8 "
1874	დეკემბერი		105 1/2 "
1882	დეკემბერი		8 "
2004	ივნისი	5 სთ 30 წთ	121 1/2 "
2012	ივნისი	7 სთ	8 "
2117	დეკემბერი		105 1/2 "
2125	დეკემბერი		8 "

1761 წლის გავლის დროს შენიშნულმა მოვლენებმა მ. ლომონოსოვი მოიყვანა დასკვნამდე, რომ ვენერა ატმოსფერული გარსით უნდა ყოფილიყო შემოვლებული. შემდგომში ეს ფაქტი დადასტურდა და ვენერას ატმოსფეროს აღმოჩენის თარიღად მიჩნეულ იქნა 1761 წ.

მზის დისკოზე ვენერას გავლის საგანგებო დაკვირვებებს თავისი როლი შეუსრულებიათ დედამიწიდან მზემდე მანძილის განსაზღვრის საქმეშიც (იხ. ქვემოთ).

მერკურის გავლა მზის დისკოზე შედარებით უფრო ხშირი მოვლენაა. უკანასკნელად იგი მოხდა 1970 წლის 9 მაისს და უახლოესი შემდგომი იქნება 1973 წ. 9 ნოემბერი.

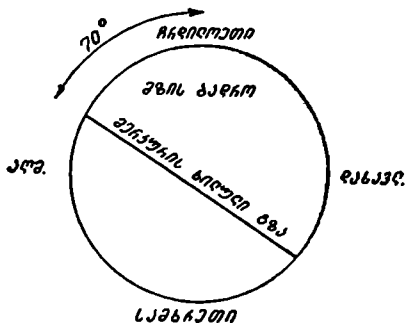
მოვიყვანოთ მერკურის გავლათა ცხრილიც:

წელი	ლღე	თვე	წელი	ლღე	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 პორიზონტის ქვეშაა.

264-ე ნახაზზე წარმოდგენილია 1970 წ. 9 მაისის გავლის სქემატური სურათი. 8 სთ 20 წთ (თბილისის დროით) მერკური შემოვიდა მზის დისკოს აღმოსავლეთ კიდზე და 7 საათისა და 53 წუთის შემდეგ გავიდა იგი დისკოდან

შის დასავლეთ მხარეზე (ტელესკოპში და ტელესკოპზე მორგებულ ეკრანზე ეს სურათი სათანადოდ შებრუნებული მოჩანდა).



ნახ. 264.

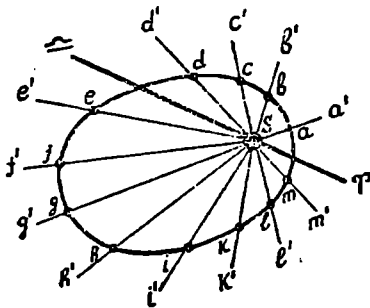
გავლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მანძილზეა შვის ცენტრიდან ის ქორდა, რომლის გასწვრივ ცთომილის პროექცია გავლის შვის დისკოზე.

დედამიწისა და სხვა ცთომილების მოძრაობა მზის გარშემო

დედამიწის ორბიტა. ზემოთ, როცა ცაზე მზის ხილულ წლიურ მოძრაობას განვიხილავდით, ვნახეთ, რომ ეს მოძრაობა მოჩვენებითა და სინამდვილეში მოძრაობს დედამიწა, მოიქცევა რა იგი მზის ირგვლივ დაახლოებით წრიული გზით. უფრო ზუსტად, დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო ელიფსია, მაგრამ იგი მცირედ არის გაწეილი და ამიტომ შესამჩნევად როდი განსხვავდება წრისაგან. 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 კანონზომიერებაც. მზის გარს დედამიწის მოძრაობის წლიურ გზას დედამიწის ორბიტა ეწოდება.



ნახ. 265.

ავილოთ მზის მდებარეობის გამოხატველი S წერტილი (ნახ. 265), გაველოთ 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 წარმოებს. ამ არჩეულ დღეებში განვსაზღვრავთ მზის ეკვატორულ კოორდინატებს და, ვისარგებლებთ რა გარდაქმნის ფორმულებით, ვადავიყვანთ მათ ეკლიპტიკურ კოორდინატებში. მზის გეოცენტრული (დედამიწის ცენტრიდან ხილული) ეკლიპტიკური გრძედი, გადიდებული

ბით*, როგორც ისინი აითვლებიან სფეროზე, რომლის ცენტრში მზის ცენტრია. პრაქტიკულად გრძედების გამოთვლა შემდეგნაირად წარმოებს. ამ არჩეულ დღეებში განვსაზღვრავთ მზის ეკვატორულ კოორდინატებს და, ვისარგებლებთ რა გარდაქმნის ფორმულებით, ვადავიყვანთ მათ ეკლიპტიკურ კოორდინატებში. მზის გეოცენტრული (დედამიწის ცენტრიდან ხილული) ეკლიპტიკური გრძედი, გადიდებული

* დედამიწის ეკლიპტიკური განედის უკველია (0° -ის ტოლი). იხ. გვ. 342, 343.

180°-ით, ეტოლება დედამიწის ჰელიოცენტრულ (მზიდან ხილულს) ეკლიპტიკურ გრძელს.

ახლა მივმართოთ მზის ხილული დიამეტრის (2ρ) მნიშვნელობებს ამ დღეებში. მათი ყოველდღიური ცვლილება წელიწადის განმავლობაში* მიუთითებს მზე-დედამიწის მანძილის ცვლილებას. როგორც ვიცით, ეს მანძილი მზის ხილული დიამეტრის (2ρ) უკუპროპორციულია. მანძილს დედამიწა-მზე (D), გამოსახულს მზის რადიუსის ერთეულებით, მივიღებთ ფორმულიდან:

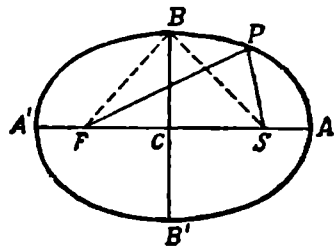
$$D = \frac{R}{\rho \sin 1''}.$$

მისი მნიშვნელობები სხვადასხვა დღეებში, გამოხატული რაღაც შერჩეული მასშტაბით, გადავზომოთ ჩვენს ნახაზზე დედამიწის მიმართულებათა გამოხატულ წრფეებზე და ასე მიღებულ წერტილებზე (გადაზომილი მონაკვეთების ბოლოებზე a, b, c, d, e, ...) გავალოთ მრუდი. ეს იქნება დედამიწის ორბიტის გამომხატველი მრუდი—ელიფსი. მზე ამ ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში იმყოფება. ამგვარად განისაზღვრება დედამიწის ორბიტის ფორმა.

266-ე ნახაზზე ელიფსის ფოკუსების წერტილები აღნიშნულია F და S ასოებით. 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 ექსცენტრისიტეტი

$$e = SC : AC = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}.$$

დედამიწის ორბიტული ელიფსის ექსცენტრისიტეტი სულ მხოლოდ 1/60-ს ეტოლება. მაშასადამე, ეს ელიფსი მართლაც უმნიშვნელოდაა გაწეილი და წრეს უახლოვდება.



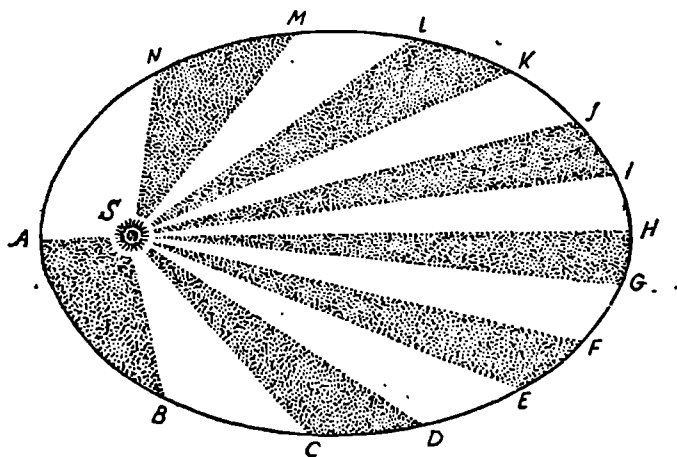
ნახ. 266.

თუ მზეს S ფოკუსში ვივულისხმებთ, მაშინ A პერიჰელიუმშია (მზესთან უახლოესი წერტილი ორბიტისა), ხოლო A'—აფელიუმში (უშორესი წერტილი). ამ ორი წერტილის შემავრთებელი ხაზი, რომელიც დიდი ღერძის მიმართულებას მიჰყვება, აფსიდების ხაზად არის წოდებული. ხაზი, რომელიც აერთებს მზეს დედამიწასთან, სადაც არ უნდა იყოს აღებულ მომენტში დედამიწა, წოდებულია რადიუს-ვექტორად. კუთხეს, რომელსაც ადგენს რადიუს-ვექტორი SA მონაკვეთთან ანუ ASP კუთხეს, ეწოდება ჰელეოცენტრი ანომალია. პერიჰელიუმისა და აფელიუმის წერტილების მზიდან დაშორებათა ნახევარჯამი დედამიწის საშუალო მანძილია მზიდან. მას ასტრონომიულ ერთეულს ეწოდებენ.

თუ დედამიწის მდებარეობებს მის ორბიტაზე დავეპირისპირებთ იმ მომენტებს, რომლებსაც შეესაბამება ეს მდებარეობები, დავრწმუნდებით, რომ დედამიწის მოძ-

* ასტრონომიულ წელიწდეულში, მზის ყოველდღიური კოორდინატების ცხრილში, კენტ გვერდებზე ნახეთ მზის ხილული რადიუსის მნიშვნელობები და ყურადღება მიაქციეთ მის წლიურ ცვლილებებს.

რაობა როდია თანაბარი სიჩქარისა; პერიპელიუმის ახლოს დედამიწის ზაზოვანი სიჩქარე უფრო დიდია, ვიდრე აფელიუმთან. მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების კანონზომიერება ისეთია, რომ ფართობი, რომელსაც შემოწერს დედამიწის რადიუს-ვექტორი (ნახ. 267), პროპორციულია დროის იმ შუალედისა, რომელიც საკიროა 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 (დაშტრახულ) ფართობებს (SAB, SCD, \dots, SMN) შეესაბამებიან, მაშინ დედამიწა დროის თანატოლ შუალედებში უნდა გადიოდეს AB, CD და MN რკალებს. მაგრამ ეს რკალები სხვადასხვა სიგრძისაა.



ნახ. 267.

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 დავებრუნდეთ დროის განტოლების საკითხს და განვმარტოთ, რა მიზეზებით იცვლება კემპარიტი მზისმიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობა და რა განაპირობებს დროის განტოლების აღწერილ ხასიათს.

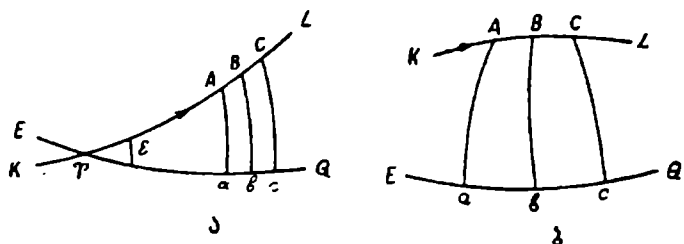
ჯერ ერთი, იმის გამო, რომ დედამიწა მზეს ელიფსური ორბიტის გასწვრივ გარემოქცევა, მისი მოძრაობის სიჩქარე ცვალებადია წლის განმავლობაში. მაშასადამე, ცვალებადია აგრეთვე კემპარიტი მზის ყოველდღიური ხილული გადაადგილება ცაზე ვარსკვლავებს შორის. ზამთრის თვეებში კემპარიტი მზე საშუალო სიდიდზე მეტად გადაადგილდება აღმოსავლეთით; ცის დღე-ღამურ ბრუნვაში იგი ჩამორჩება საშუალო მზესა და ამიტომ წელიწადის ამ დროს კემპარიტი მზისმიერი დღე-ღამე საშუალოზე ხანგრძლივია. ეს სხვაობა

* ეს შესჯელობა დედამიწასთან ერთად ყველა სხვა პლანეტას შეეხება.

მაქსიმალურია იანვრის დასაწყისში, როცა დედამიწა პერიპელიუმშია, 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.

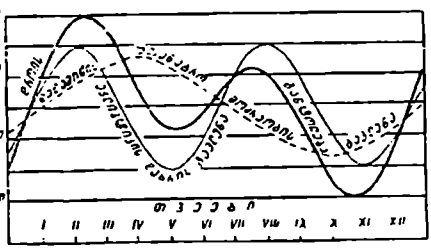
მეორე მიზეზი, რომელიც უფრო დიდ რაოდენობრივ ეფექტს იძლევა, მდგომარეობს ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრებაში.



ნახ. 268.

ნახ. 268-ა-ზე წარმოდგენილია ეკვატორის (EQ) და ეკლიპტიკის (KL) რკალები მათ ორ გადაკვეთის მახლობლობაში. ეკვატორსა 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. 268-ა-ზე: მზის გრძედის ნაზრდი იყოს უცვლელი: $AB = BC$; ამ ნაზრდების (რკალების) პროექციები ეკვატორზე არის პირდაპირი აღვლენის დღელამური ნაზრდები და ისინი უფრო

მოკლენი არიან, ვიდრე გრძედის ნაზრდები. მზებუდობის მახლობლობაში კი (ნახ. 268-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 დაცილებულია ერთმანეთისაგან (აე უფრო შორსაა პოლუსიდან, ვიდრე AC).



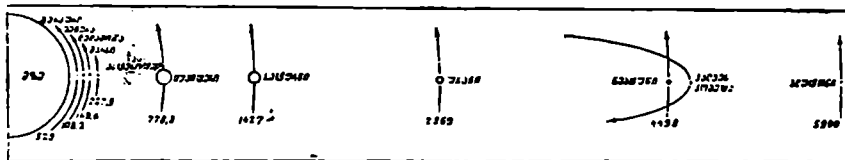
ნახ. 269.

ნახ. 269-ზე წარმოდგენილია ჩვენთვის უკვე ცნობილი დროის განტოლების

რაფიკი. 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 მინუსებით გამოიხატება, იგი შედგება ყოველდღიური, რამდენიმე სეკუნდიანი გადახრების შეჯამებით. დროის განტოლების პირველ მდგენელს ცენტრის განტოლებას უწოდებენ.

პლანეტები და მათი ხილული მოძრაობა. დედამიწის გარდა მზეს—როგორც ცენტრალურ სხეულს—გარშემო შემოუვლის რამდენიმე სხვა, საერთოდ, დედამიწის მგავსი 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 ვგრეთ წოდებული მცირე პლანეტა ანუ პლანეტოიდი, რომელთა ორბიტები მოთავსებულია უმეტესად



ნახ. 270.

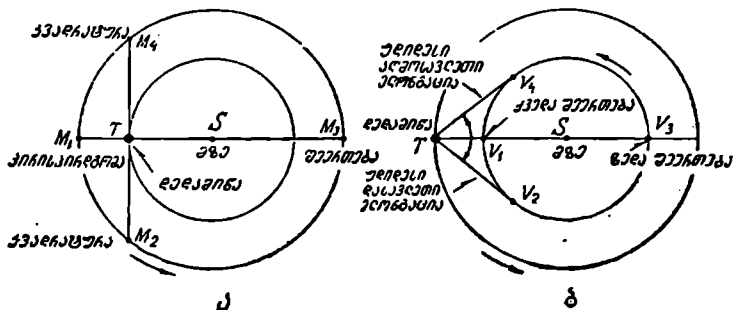
მარსისა და იუპიტერის ორბიტებს შორის. მზის ოჯახს მიეკუთვნება ე. წ. კომეტები და მეტეორებიც, დაბოლოს—თვით პლანეტების თანამგზავრებიც. ყველას თავთავის დროზე განვიხილავთ. დაწვრილებით აღწერთ აგრეთვე მთელი პლანეტური სისტემის აგებულებას და პლანეტების ფიზიკურ თვისებებს. ჯერ კი გვინტერესებს მხოლოდ მათი მოძრაობა—ხილული ანუ მოჩვენებითი, როგორც ეს ცაზე წარმოგვესახება, და ნამდვილი, კეპლერის.

270-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 დღელამურ ბრუნვაში, ამავე დროს საკუთარივე 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 უწყესო: ხან აღმოსავლეთითაა მიმართული, ხან დასავლეთით. ამ სხეულებს სწორედ პლანეტები იმიტომ უწოდეს, რომ გამოეხატათ მათი უწყესრიგო „ხეტიალი“ ცაზე (ბერძნული სიტყვებია *πλανητης* *πλανητης*, რაც მოხეტიალე ვარსკვლავს ნიშნავს). ქართული სახელწოდებაც—ცთომილი ამასვე გამოხატავს—ვარსკვლავების საერთო გზას ამცდარს, ცთომილ მნათობს.

ხილული მოძრაობის ხასიათის მიხედვით პლანეტები ორ ჯგუფად დაიყოფა: ქვედა ანუ შიდა პლანეტებად (მერკური და ვენერა) და ზედა ანუ გარე პლანეტებად (მარსი, იუპიტერი, სატურნი და დანარჩენნი). პლანეტების ამ ორი ჯგუფის ორბიტებს გამიჯნავს დედამიწის ორბიტა. ხილულ მოძრაობას კი ის ახასიათებს, რომ ქვედა პლანეტები ცაზე დიდად არასოდეს არ შორდებიან



ნახ. 271.

მზეს, მალე ჩაჰყვებიან მას ჰორიზონტის ქვეშ ან მასზე ცოტათი ადრე ამოდიან. ამიტომ ამ პლანეტების ხილვა შესაძლოა საღამოთი დასავლეთის ცაზე ან გათენების წინ აღმოსავლეთისაზე.

ნათქვამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ 271-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 ბაღროზე, რაზეც ზემოთ ვილაპარაკეთ. ამ ორ მდებარეობაში ვენერას ვერ გხვდეთ, რადგანაც მისი მიმართულება ახლოა მზის მიმართულებასთან, მზესთან ერთად ამოღის ჰორიზონტიდან, მზესთან ერთად ჩადის, დღისით მზის სხივებში „იკარ-

გება^ა 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 შეეხებიან 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 ურთიერთმანძილები ისეთია, რომ ვენერას მაქსიმალური ელონგაცია ეტოლება 48° -ს. თუ ჩვენ ნახავს ისე წარმოვიდგინოთ, 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 დასავლეთის ელონგაციაა, ხოლო V_4 —აღმოსავლეთისა. ეს იმას ნიშნავს, რომ V_2 -ში ვენერა მზის დასავლეთითაა, მაშასადამე, მზე 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 პერიოდაა 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° -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 ძლიერ 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 (271-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. შუალამისას, ცთომილი ზედა კულმინაციაში, მაღლა პორიზონტის ზევით იმყოფება (რა თქმა უნდა, ქვედა პლანეტა ვერ აღმოჩნდება ასეთ მდებარეობაში). M_3 შეესაბამება შეერთებას; ამ დროს პლანეტა დიდად არის დაშორებული ჩვენგან და ამასთანავე მზის სხივებში „იკარგება“. M_2 და M_4 მდებარე-

რობებს 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 6 საათით (აშუკარაა, 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 ღამის 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 ძნელი ობიექტია მისი სიშორის გამო იმ ცალკე შემთხვევების 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 დაემთხვა, რომ მარსი მისი ორბიტის პერიპელიუმშია (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 აპარბებს სირიუსის სიკაშკაშეს. ეს ევრეთ წოდებული დიდი პირისპირდგომაა.

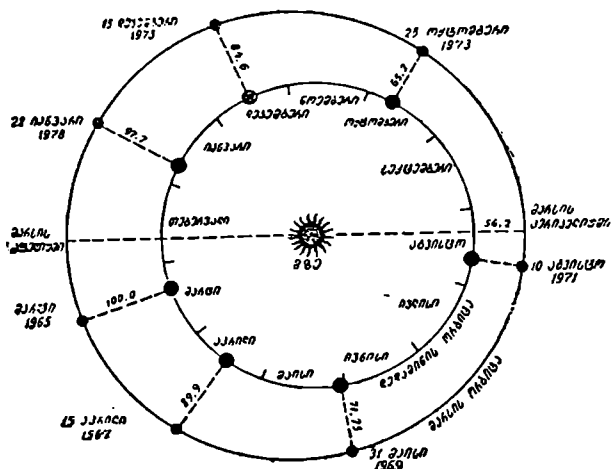
მარსის პირისპირდგომა დაახლოებით ყოველი ორი წლის შემდგომ მეორდება (რამდენადაც თითქმის ორი წელიწადია მზის გარშემო მარსის მოქცევის პერიოდი), მაგრამ 15—17 წელიწადში ერთხელ მისი დიდი პირისპირდგომა (ნახ. 272).

უკანასკნელ პერიოდში მარსის პირისპირდგომის მომენტები შემდეგ თარიღებზე მოდიოდა:

1960	წლის	30	დეკემბერი.
1963	"	4	თებერვალი,
1965	"	9	მარტი,
1967	"	15	აპრილი,
1969	"	31	მაისი,
1971	"	10	აგვისტო.

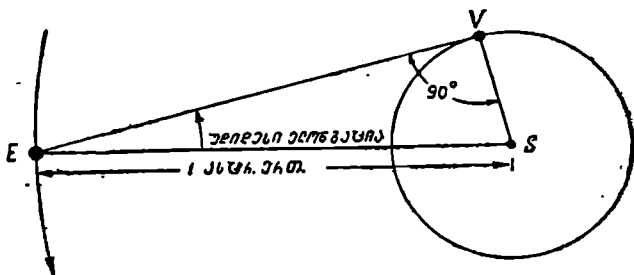
1971 წლის პირისპირდგომა დიდი პირისპირდგომა იყო. ასეთივე მოვლენას ადგილი ჰქონდა 1956 წლის 11 სექტემბერს. მარსის დიდ პირისპირდგომას ყოველთვის მოუთმენლად ელიან. იგი მატებს მეცნიერებას ახალ ცნობებს მარსის ფიზიკური აგებულების შესახებ. ძალიან ინტენსიურად მიმდინარეობდა მთვლს მსოფლიოში მარსის დაკვირვება-შესწავლა 1971 წლის პირისპირდგომის დროს, მაგრამ მარსზე სიცოცხლის არსებობის პრობლემა ჯერჯერობით მაინც ამოუხსნელი დარჩა.

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 დაკვირ-



ნახ. 272.

ვება მარსის ზედაპირს, გადაუღია მისი ფოტოსურათები, განუსაზღვრავს სხვადასხვა ფიზიკური პარამეტრები და სათანადო ინფორმაცია გადმოუცია დედამიწაზე. ეს გვახლოებს მარსზე სიტყვების, არსებობისა და სხვა პრობლემების ამოხსნასთან.



ნახ. 273.

უდიდესი ელონგაციის გათვალისწინებით, შესაძლოა პლანეტების მზემდე მანძილების შეფასება მზედედამიწის მანძილის ერთეულებში (ასტრონომიულ ერთეულებში). შიგა პლანეტებისათვის ეს კარგად ჩანს 273-ე ნახაზზე, რომელზეც SEV კუთხე განისაზღვრება დაკვირვებით. მართკუთხა SEV სამკუთხედის ჰიპოტენუზა 1 ასტრონომიული ერთეულია.

გარე ცთომილის შემთხვევა ცოტა უფრო რთულია, მაგრამ მკითხველი მოახერხებს მის გარჩევასაც, სათანადო ნახაზის აგებით.

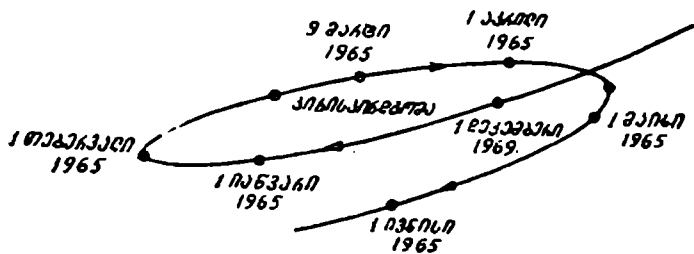
მზიდან პლანეტების შეფარდებითი მანძილები პირველად კოპერნიკმა განსაზღვრა ამ წესით.

პლანეტების ზემოთ დახასიათებულ მდებარეობებს, როგორცაა შეერთებანი, ელონგაცია, კვადრატურა და პირისპირდგომა, საერთოდ აერთიანებენ ერთი ცნების ქვეშ: პლანეტათა კონფიგურაცია ანუ განლაგება.

თუ წარმოვიდგინოთ, რომ ეკლიპტიკის სიბრტყეს „ზემოდან“—ჩრდილოეთის მხრიდან დავეყურებთ, ენახავთ, რომ ყველა ცთომილი საკმაოდ მწყობრად მოძრაობს მზის გარშემო საათის ისრის მიმართულების საწინააღმდეგოდ; მიუხედავად ელიფსური მოძრაობისა, რომელიც გულისხმობს მოძრაობის ცვალებად სიჩქარეს, მათი მოძრაობა გვეჩვენება თითქმის თანაბრად და, ყოველ შემთხვევაში, ერთი საერთო მიმართულებით.

სინამდვილეში, ჩვენ—დედამიწის მცხოვრებნი—დაახლოებით იმავე სიბრტყეში ვიმყოფებით და ემოძრაობთ, რომელშიც ყველა სხვა ცთომილი სრბოლავს მზის გარშემო. ამ მოძრავე პოზიციიდან დაკვირვებისას პლანეტების მოძრაობა ერთობ გართულებულად წარმოგვიდგება.

საერთო ილუზია, რომელსაც ქვედა პლანეტების მოძრაობა იწვევს, ისეთია, თითქოს ისინი ირხვეიან მზის მიმართ,—ხან აღმოსავლეთიდან მოექცევიან მას, ხან დასავლეთიდან. ზედა ცთომილები კი ვარსკვლავებიან ცაზე ხან დასავლეთიდან აღმოსავლეთით გადაადგილდებიან და ხან—პირუკუ. ამასთანავე პერიოდულად ერთგვარ „მარაყუქებსაც“ შემოწერენ ცაზე და ამასთან დაკავშირებით „შეჩერდებიან“ კიდევ ცაზე (იხ. მარსის „ნაკვალევი“ შემოწერილი ცაზე რამდენიმე თვის განმავლობაში 1965 წლის პერიოდში, ნახ. 274). პირისპირდგომის პერიოდში ზედა ცთომილების ასეთი რთული ნაკვალევი ვარსკვლავებიან ცაზე ადვილი ასახ-

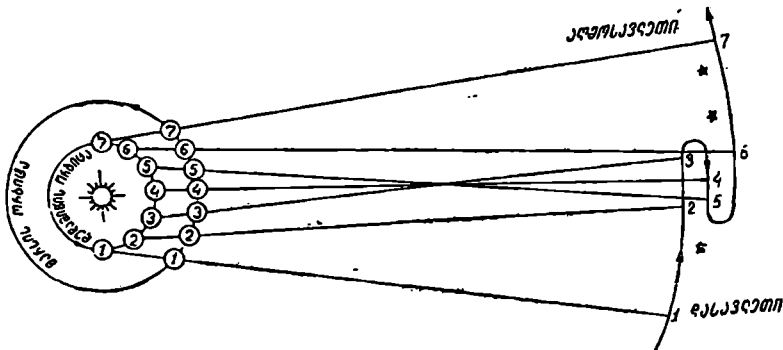


ნახ. 274.

სნელია 275-ე ნახაზით, რომელზეც ცენტრში წარმოდგენილია მზე, ხოლო ორი წრის სახით—დედამიწისა და მარსის ორბიტები. ორივე ორბიტაზე განვიხილოთ ამ პლანეტების შეიღ-შეიღი მდებარეობა: 1, 2, 3, 4, 5, 6 და 7. მარსი როგორც მზიდან უფრო მეტად დაშორებული ცთომილი, დედამიწაზე უფრო ნელა მოძრაობს თავის ორბიტაზე.

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-ელი მდებარეობიდან ვაკვირდებით მარსს, რომელიც ამ დროს თავის ორბიტაზე აგრეთვე 1-ელ მდებარეობაში იმყოფება, მას ეხედეთ ცაზე ვარსკვლავებს შორის 1—1—1 მიმართულებით. რამდენიმე ხნის შემდგომ დედამიწა გადანაცვლებს მე-2 მდებარეობაში. ამ ხნის განმავლობაში მარსი მე-2 მდებარეობაში მთავა. ახლა იგი დედამიწიდან გამოჩნდება მიმართულებით 2—2—2 და ა. შ. 275-ე ნახაზზე (მის მარჯვენა ნაწილში) მარსის „ნაკვალევი“ არის წარმოდგენილი. ვარსკვლავებიან ცაზე მისი პროექციის გადანაცვლება ჩანს



ნახ. 275.

დასავლეთიდან აღმოსავლეთით (1—3 და 5—7) და—პირუკუ (3—5). ჩანს აგრეთვე მისი „შეჩერება“ (3-ის და 5-ის მახლობლობაში).

სამყაროს გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა. პლანეტების ესოდენ რთული ხილული გზა ცის თაღზე სავსებით გასაგებია და აიხსნება მათი და დედამიწის ნამდვილი მოქცევით მზის ირგვლივ. მაგრამ საუკუნეების განმავლობაში კაცობრიობამ არ იცოდა დედამიწისა და პლანეტების მზის ირგვლივ მოქცევის ფაქტი და პლანეტების ხილულ გადანაცვლებას ცაზე სხვადასხვაგვარ ახსნას აძლევდა.

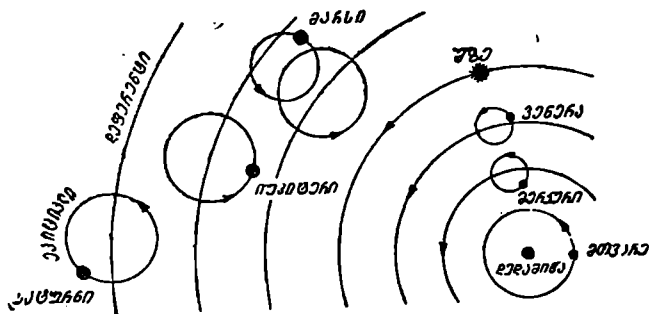
ძველად დედამიწას სამყაროს ცენტრად ანუ შუაგულად თვლიდნენ. მიაჩნდათ, რომ სამყაროს ცენტრში უძრავად დასვენებული დედამიწის გარშემო მოიქცევა მზე, მთვარე, ცთომილები და ვარსკვლავებიც, რომლებიც რაღაც მყარი სფეროს ზედაპირზე „მიკედითლად“ წარმოედგინათ. სწამდათ, რომ ბუნებაში მხოლოდ სრულყოფილი წრიული და თანაბარი მოძრაობა არსებობს. ამიტომ ცდილობდნენ აეხსნათ ცთომილთ უწყსრივო ხილული მოძრაობა მთელ რიგ თანაბარ და წრიულ მოძრაობათა კომბინაციით, ერთობლიობით.

სქემას, რომელიც წარმოდგენილია 276-ე ნახაზზე, შეეძლო ცთომილების რთული მოძრაობის ახსნა. ვთქვათ, რომ დედამიწის გარშემო, როგორც ცენტრის გარშემო, შემოწერილია წრეწირი, ე. წ. დეფერენტი. ამის გასწვრივ თანაბარი სიჩქარით მოძრაობს მეორე, უფრო მცირე რადიუსის წრეწირის—ე. წ. ეპიციკლის ცენტრი. ეპიციკლის გასწვრივ კი თანაბარი სიჩქარით მოძრაობს ცთომილი: ამგვარად, ორივე მოძრაობა თანაბარია, ორივე გზა წრიულია, მაგრამ ცთომილის დედამიწიდან ხილული გადანაცვლება ცაზე, რაც ამ ორი ერთდროული მოძრაობის შედეგია, წრიულისაგან განსხვავებულია და არათანაბარი სიჩქარითაც წარმოებს, სქემა ახსნას აძლევდა ცალკეულ ცთომი-

ლთა პირდაპირ და პირუკუ მოძრაობას და მათ შეჩერებას. თითოეული ცთომილისათვის სათანადო რადიუსის ეპიცikli იყო მოგონილი და სათანადო სიჩქარე—შერჩეული.

აღწერილ სქემას ეწოდება პტოლემეოსისეული სისტემა. თეორიის სახით დამუშავებული, იგი II საუკუნის აღექსანდრიელმა სწავლულმა პტოლემეოსმა ჩამოაყალიბა. მას სამყაროს გეოცენტრული სისტემაც ეწოდება, რადგანაც ძირითადი იდეა აქ ისაა, რომ დედამიწა იგულება სამყაროს შუაგულში, ცენტრში (γῆς—ბერძნულად დედამიწას ნიშნავს).

მაგრამ დაკვირვებათა სიზუსტის ზრდა და ცთომილთა მოძრაობაში ახალი მოვლენების შენიშვნა მოითხოვდა ამ სქემის ან თეორიის დაზუსტებას, მეორე, მესამე და ა. შ. ეპიცკლებების შემოღებას, რომელთა ცენტრები, თავის მხრივ, თითქოს მოძრაობენ პირველი და მეორე ეპიცკლებების გასწვრივ, შესაბამისად. მხოლოდ ამგვარად გართულებული სქემით შეიძლებოდა ეპიცკლების თეორიის შეთანხმება იმ



ნახ. 276.

ფაქტებთან, რომელთაც იძლეოდა ახალი და უფრო ზუსტად წარმოებულ დაკვირებები.

პტოლემეოსისეული მოძღვრება სამყაროს აგებულების შესახებ თუმცა მცდარი იყო, მაინც მრავალი საუკუნის განმავლობაში ფლობდა ადამიანის გონებას და მხოლოდ XVI საუკუნეში განიცადა მან საბელისწერო 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 ქვეყნებით, ძიება დაუწყო ნედლეულის ახალ კერებს, ნაწარმის გასაღების ახალ ბაზრებს და ამასთან დაკავშირებით შორი მოგზაურობანი წამოიწყო. ამას მოჰყვა ამერიკის აღმო-

ჩენა, 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 მწვეველ საჭიროებდა ეკონომიური განვითარების გზაზე მყოფი საზოგადოება. წიგნის ბექდის საშუალების აღმოჩენამაც XV საუკუნეში, თავის მხრივ, ხელი შეუწყო მეცნიერული ცოდნის ფართო გავრცელებას.

ამ მოვლენებმა გადაწყვეტი 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 მიიჩნევდა დიდ მანძილებს, დიდ მასშტაბებს; დარწმუნდა, რომ არ შეიძლება ჩვეთვალთ დედამიწა ცენტრად სამყაროში, რომელიც უსაზღვროა. ახალი ქვეყნებიდან ადამიანმა სხვა, ახალი მნათობები დაინახა; დარწმუნდა, რომ დედამიწა მრგვალია. დაგმობილ 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 ეპიციკლების მეტად რთული, მოგონილი სქემით, რადგანაც ეს აღარ ეგუებოდა ახალს, უფრო ზუსტი დაკვირვებებით გამოვლინებულ ფაქტებს.

ერთი სიტყვით, გამოცდილებამ და პრაქტიკამ თეორიის გამოცვლა მოითხოვა.

პოლონელ მეცნიერს კოპერნიკს ხელა წილად სამყაროს აგებულების ისეთი ახალი თეორიის ჩამოყალიბება, რომელიც ითვალისწინებდა დაკვირვებების შედეგად იმ დროისათვის დაგროვილ ახალ მონაცემებსა და ფაქტებს. კოპერნიკმა ძირითადად გამოცვალა 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.

① კოპერნიკისეული პელიოცენტრული სისტემა (ელიც—ბერძნულად მზის ნიშნავს) აღიარებდა დედამიწის ორგვარ მოძრაობას: თავისი ღერძის ორგვლივ (დღელამური ბრუნვა) და მზის გარშემო (წლიური მოქცევა). ჩვენს დროში ეს ორი ფაქტი ექვს 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—ღერძის 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 სამღვთო 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 მოელოს, ვიდრე მისი ხანმოკლე მიწიერი ცხოვრებაა, თუკი იგი მორჩილად აიტანს ყველა იმ სიმძიმესა და ტანჯვას, რაც ამქვეყნად მისი ხედრია. ასეთი რწმენის დანერგვა ხალხში ეკლესიისა და გაბატონებული კლასებისათვის სასარგებლო, ხელსაყრელი იყო და ეს შესაძლებელი იყო, სანამ სამყაროს აგებულება ისე წარმოდგინათ, 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 ცრურწმენათა შერყევა და ახალი, რეკლუციური იდეებით აღამიანის 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, აგრცულებდა რა აზრს სამყაროს სხეულების უსასრულობისა და სხვა მნათობებზე სიცოცხლის არსებობის შესაძლებლობის შესახებ. ინკვიზიციამ მრავალჯერ აწამა გალილეო გალილეი, რომელმაც პირველმა გამოიყენა ასტრონომიული დამზერებისათვის ჰოგრი და თვალნათლივ დაინახა და სხვებსაც დაინახვა კოპერნიკისეული თეორიის სამართლიანობის დამადასტურებელი ფაქტები (მთვარის ზედაპირის რთული რელიეფი, მსგავსად დედამიწისა; იუპიტერის გარშემო თანამგზავრების არსებობა, მსგავსად დედამიწა-მთვარისა; ენერჯის 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.

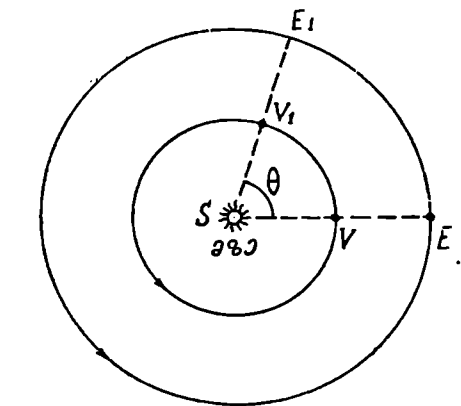
მიუხედავად დიდი წინააღმდეგობისა, საბოლოოდ ახალი მოძღვრების ქეშმარიტება აშკარა გახდა მთელი განათლებული კაცობრიობისათვის.

პლანეტთა ორბიტების დახრა ეკლიპტიკისადმი. ზევით, როცა ცთომილების ურთიერთგანლაგების ზოგ შემთხვევას (შეერთებას, კვადრატურას, ელონგაციას, პირისპირდგომას) ანუ კონფიგურაციებს განვიხილავდით, თავისთავად ვთვლიდით, რომ ცთომილთა ორბიტები გარდა იმისა, რომ წრიულნი არიან, ამავე დროს კომპლანარულიც არიან, ე. ი. ისეთები, რომლებიც ერთსაერთო სიბრტყეში მდებარეობენ. სხვა სიტყვებით, ვთვლიდით, რომ პლანეტები მოძრაობენ ეკლიპტიკის სიბრტყეში. სინამდვილეში კი თითოეული პლანეტის ორბიტის სიბრტყე დახრილია ეკლიპტიკისადმი და ეს დახრა თითოეულისათვის 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 გამოვრიცხავთ პლუტონსა და მერკურს. პლანეტების აღწერილი მოძრაობის საერთო ვითარება ამ დახრების გამო არსებითად არ იცვლება, მაგრამ ზუსტ გამოთვლებში, ცხადია, დახრა გასათვალისწინებელია და მისი გავლენა ამა თუ იმ მოვლენაზე მხედველობაში მისაღებია.

დამოკიდებულება პლანეტების გარემოქცევის სინოდურ და სიდერულ პერიოდებს შორის. გავარჩიოთ ჯერ ქვედა პლანეტის შემთხვევა და გამოვიყვანოთ დამოკიდებულება მზის გარშემო მისი მოქცევის სინოდურ და სიდერულ პერიოდებს შორის.



ნახ. 277.

განვიხილოთ 277-ე ნახ., რომელზეც E და V დედამიწისა და პლანეტის საწყისი განლაგება იყოს. მზე— S —მათი ორბიტების ცენტრში წარმოვიდგინოთ. ეს ქვედა შეერთების მომენტია. ქვედა პლანეტის კუთხური სიჩქარე მეტია, ვიდრე დედამიწისა, ამიტომ, ვიდრე დედამიწა შემოწერს თავის ორბიტაზე EE_1 რკალს, რაც შეესაბამება $ESE_1 = \theta$ კუთხეს, პლანეტა მოასწრებს ერთი სრული წრისა და კიდევ VV_1 რკალის (VSV_1 კუთხე) გარბენას და კვლავ ქვედა შეერთებაში მოქცევას. n_1 იყოს დედამიწის 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 სინოდური პერიოდი (დრო შეერთებიდან მომდევნო შეერთებამდე), დღე-ღამეებით გამოხატული, მაშინ $\theta = n_1 S; 360^\circ + \theta = n_2 T_2$, საიდანაც:

$$360^\circ = (n_2 - n_1)S$$

და რადგანაც $n_1 = 360^\circ : T_1$ და $n_2 = 360^\circ : T_2$, ვლებულობთ:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}$$

თუ 277-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 $n_1 = \frac{360^\circ}{T_1}$, $n_2 = \frac{360^\circ}{T_2}$; $360^\circ + \theta = n_1S$; $\theta = n_2S$.
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	1.98	780
იუპიტერი	11.66	399
სატურნი	29.46	378
ურანი	84.02	370
ნეპტუნი	164.78	368
პლუტონი	248.4	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.

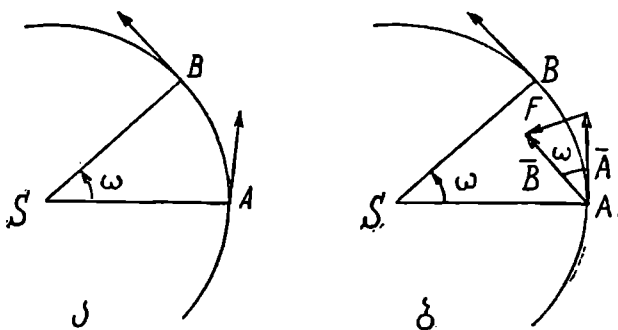
მიზიდულობის კანონი. წინასწარ ზოგი ცნება და მონაცემი გავიხსენოთ. გავიხსენოთ, რომ სხეულის სიჩქარეს მარტო რიცხვითი მნიშვნელობა როდი ახასიათებს; დამახასიათებელია აგრეთვე ამ სიჩქარის ანუ მოძრაობის მიმართუ-

ლებაც. როცა სიჩქარისათვის რიცხობრივ მნიშვნელობასთან ერთად მიმართულე-
ბასაც იძლევიან, მაშინ საქმე გვაქვს სიჩქარის ვექტორთან ანუ გეზრთან. სიჩქა-
რის ვექტორს გამოხატავენ ისრით, რომლის სიგრძე აღნიშნავს სიჩქარის სიდი-
დეს, ხოლო ორიენტაცია ანუ მიმართულება — მოძრაობის მიმართულებას.

მოძრავი დედამიწისათვის სიჩქარის ვექტორი ყოველ მომენტში იცვლება,
რამდენადაც დედამიწა მოძრაობს ელიფსის გასწვრივ და ყოველ მეყში მისი სიჩქა-
რის გეზრი ელიფსის მხებს წარმოადგენს იმ წერტილში, რომელშიც აღებულ
მომენტში დედამიწა იმყოფება. სიჩქარის სიდიდეც ცვლება 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 ცვლილება,
შეეხება ეს ცვლილება სიდიდეს თუ მიმართულებას.

278-ე ნახაზზე რკალი წარმოადგენდეს დედამიწის წლიური ორბიტის ნაწილს;
 A და B დედამიწის ორი მდებარეობა იყოს ორბიტაზე; სადაც მას აქვს სიჩქა-
რები \vec{A} და \vec{B} ; ω იყოს ის კუთხე, რომელსაც დედამიწის რადიუს-ვექტორი
1 წაშში შემოწერს.



ნახ. 278.

ეს კუთხე ძალიან მცირეა. მართლაც, წელიწადში დედამიწა 360° -ით გარემოიქცევა.
მაშასადამე, წაშში შემოწერს ω კუთხეს, რომლის სიდიდეა: $360^\circ : (3.2 \cdot 10^7) =$
 $= (4 \cdot 10^{-2})^\circ$ (აქ გამოყოფი 3.2 · 10⁷ არის წამების რიცხვი წელიწადში).

შეგვიძლია \vec{A} და \vec{B} გეზრების საწყისი წერტილები ერთიმეორეს შეე-
თავსოთ (ნახ. 278 ბ). მაშინ სიჩქარის ცვლილება ერთ წაშში გამოიხატება \vec{A} და
 \vec{B} -ს გეზრული სხვაობით ანუ \vec{F} -ით. ეს სხვაობა — გეზრი მიმართულია ორბიტის
ცენტრისაკენ ანუ მზისაკენ. ამჟამად, კუთხე \vec{A} და \vec{B} ვექტორებს შორის იგივეა,
რაც ω . გამოვითვალოთ \vec{F} -ის სიდიდე. ω -ის სიმცირის გამო \vec{F} შეგვიძლია მი-
ვიჩნიოთ A ან B რადიუსით შემოწერილი წრის მცირე რკალად. რკალის ფარ-
დობა მთელ გარშემოწერილობასთან იგივეა, რაც შესაბამისი კუთხის ფარდობა.
 360° -თან, ანუ

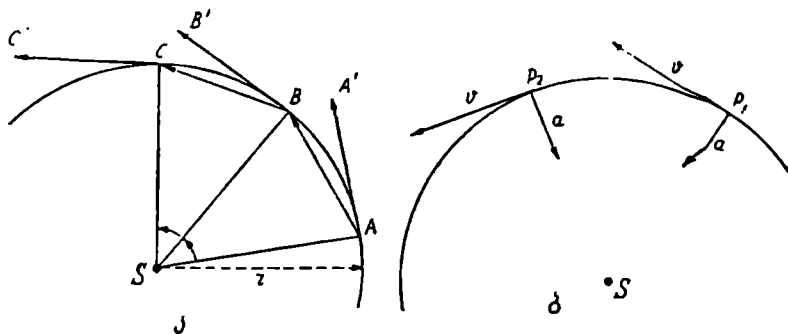
$$\frac{F}{2\pi A} = \frac{F}{2\pi B} = \frac{\omega}{360} = \frac{360 : (3.2 \cdot 10^7)}{360}$$

და, რადგან A ან B არის $30 \frac{მ}{წმ}$ ანუ $30 \cdot 10^3 \frac{სმ}{წმ}$, ამიტომ

$$F = \frac{360 \cdot 2\pi \cdot 30 \cdot 10^3}{360 \cdot 3.2 \cdot 10^7} = 0.59 \frac{სმ}{წმ}$$

მაშასადამე, ამ სიდიდით იცვლება ყოველ წამში დედამიწის სიჩქარე. სხვა სიტყვებით, დედამიწის აჩქარება ეტოლება $0.59 \frac{სმ}{წმ^2}$ -ს. ახლა ჯავისხნოთ მოძრაობის ნიუტონისეული კანონები. პირველი მათგანი ასე ჩამოყალიბდება: სხეული, რომელიც უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად, რჩება ასე უძრავი ან თანაბრად და წრფივად მოძრავი, 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 $30 \frac{კმ}{მთ}$ -ით დაშორდებოდა თავისი ორბიტის ამ წერტილს. სინამდვილეში, დედამიწას მზე მიიზიდავს და მიზიდულობის ამ ძალის მოქმედებისა და დედამიწის



ნახ. 279.

აღნიშნული მოძრაობის შედეგად დედამიწის გზა დაახლოებით წრიულად (ელიფსურად) შემოიწერება მზის ირგვლივ, რაც დასურათებულია 279-ეა ნახაზით. ვთქვათ, ცთომილი, რომელიც მოკემულ მომენტში A წერტილში იმყოფება, დროის Δt_1 შუალედში გაივლიდა AA' გზას იმ შემთხვევაში, თუ იგი მხოლოდ ინერციით იმოძრაებდა, მზის მიზიდულობაზე დამოუკიდებლად. მაგრამ მიზიდულობის ძალა მას იზიდავს და Δt_1 შუალედის დამლევეს ცთომილი B წერტილში აღმოჩნდება. იმ მომენტში, როცა ცთომილი B წერტილში მდებარეობს, მისი მოძრაობის მიმართულება იქნება AB და ინერციის თვისების გამო ცთომილმა თითქოს იმავე AB მიმართულებით (ანუ BB' , თუ Δt_1 -ს ერთობ მცირედ ჩავთვლით) უნდა განაგრძოს გზა. მაგრამ, რადგანაც მზის მიზიდულობის ძალა განაგრძობს მოქმედებას, Δt_2 შუალედის დამლევეს ცთომილი C წერტილში მდებარეობს. ამგვარად, ცთომილი გადაადგილდება 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. 279-ბ უჩვენებს პლანეტის ორ მდებარეობას ორბიტაზე; სიჩქარის ვექტორი მუდმივია სიდიდით, ოღონდ, გარემოქ-

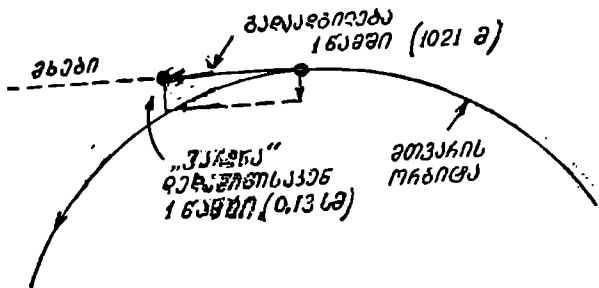
ცევის ცენტრისაკენ აჩქარების არსებობის გამო უწყვეტლივ იცვლის მიმართულებას. აქ გადმოცემულის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ დამატებით 280-ე ნახ., რომელიც კონკრეტულად მთვარის გარემოქცევას შეეხება.

ძალა, რომელიც მიიზიდავს ცთომილს, ცთომილის მასა და მისი მოძრაობის აჩქარება (a) გარკვეულ დამოკიდებულებაში არიან ერთმეორესთან. 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



დაჯანჯანა

ნახ. 280.

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 კანონზომიერებიდან, რომელიც შემდგენიარად ჩამოყალიბდება: ყოველი ძალის მოქმედებისას თავს იჩენს და მოქმედებს მისი ტოლი, მაგრამ საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალა.

თუ ახლა F -ის გამოსახულებაში m -ის ქვეშ ვიგულისხმებთ მზის მასას, რომელიც ტოლია, როგორც ეს ცნობილია, $2 \cdot 10^{33}$ გრამისა, ხოლო a -ს ქვეშ — მზის აჩქარებას, გვექნება:

$$a = F : m = (3.5 \cdot 10^{27}) : (2 \cdot 10^{33}) = 1.8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2}.$$

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, მიზიდება ერთიმეორესთან დინის ერთი მეთხუთმეტემილიონედი 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 მუდმივას უწოდებენ.

მიზიდულობის კანონი მოქმედებს მთელ სამყაროში: დედამიწაზე, მის წიაღში, ატმოსფეროში, საპლანეტათშორისო 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.

მზის სისტემის ცთომილების მოძრაობის ხაერთო მახასიათებელი. მზის სისტემაში ცნობილია 9 ცთომილი (მათ შორის—დედამიწა) და 32 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 ორბიტების 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, როგორც ცთომილები მოიქცევიან მზის გარშემო.

ეკლიპტიკური კოორდინატების სისტემის შესახებ. პლანეტური სისტემის სხეულთა მოძრაობის გამოკვლევისა და მათი მდებარეობების გამოთვლასთან დაკავშირებით ზმირად მოსახერხებელია კოორდინატთა ისეთ სისტემას მივმართოთ, რომელშიც სხეულების მდებარეობა განიხილება ეკლიპტიკის მიმართ. ასეთ სისტემაში კოორდინატებს წარმოადგენს ეკლიპტიკური გრძელი და ეკლიპტიკური განედი. 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° -მდე (მსგავსად დახრილობისა). ადვილი წარმოსადგენია, რომ, მაგალითად, მზის ეკლიპტიკური გრძელი 21 მარტს 0° -ია (ამ დროს პირდაპირი აღვლენაც ნულია). წლის მანძილზე იგი იცვლება 0-დან 360° -მდე (პირდაპირი აღვლენის 0 სთ-დან 24 სთ-მდე ცვლილებასთან ერთად). როცა მზის გრძელი 90° -ია (ან 180°), 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 გრძელის ცვლილება, პირდაპირი აღვლენის ცვლილება მაინც არ იქნებოდა თანაბარი*. ადვილი მისახვედრია ისიც, რომ მზის ცენტრის ეკლიპტიკური განედი ყოველთვის ნული უნდა იყოს.

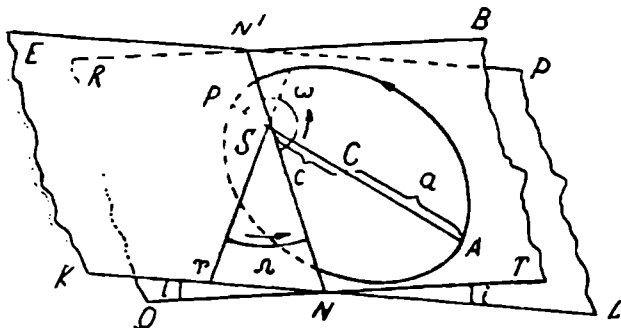
* ამ გარემოებას კავშირი აქვს დროის განტოლების მრუდის რთულ სახესთან (იხ. ზემოთ).

ეკლიპტიკური კოორდინატები ამოცანის მიხედვით ორ ვარიანტში აიგება და გამოიყენება: პირველ ვარიანტში, როცა დამკვირვებელი დედამიწაზე გვეყავს წარმოდგენილი (გეოცენტრული ეკლიპტიკური კოორდინატები), კოორდინატთა სათავე და კოორდინატების გამომხატველი კუთხეების წვეროები დედამიწის ცენტრში ან დამკვირვებლის თვალშია. მეორე ვარიანტში სურათი ისე უნდა გვექონდეს წარმოდგენილი, თითქმის დამკვირვებელი მზის ცენტრიდან აკვირდება (ჰელიოცენტრული კოორდინატები) და იქვეა, მაშასადამე, მოთავსებული კოორდინატების სათავე და კუთხეების წვეროები. ცხადია, რომ დედამიწის ჰელიოცენტრული ეკლიპტიკური განვიდი მუდამ 0° -ია*.

პლანეტთა ორბიტის ელემენტები. პლანეტის ორბიტის ელემენტები ეწოდება ექვსი 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— Ω ,
 5. კუთხე მზიდან აღმავალ კვანძსა და პერიპელიუმის წერტილზე გაშვებულ მიმართულებებს შორის— ω ,
 6. პერიპელიუმზე 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-6 ელემენტი— T .

განვიხილოთ 281-ე ნახაზი. იგი წარმოადგენს ეკლიპტიკის სიბრტყის $KEPL$ ნაკვეთს; მას კვეთს სიბრტყე (მისი ნაკვეთი $ORBT$), რომელშიც ძვეს აღებული



ნახ. 281.

პლანეტის ორბიტა. N, N' , ორი სიბრტყის გადაკვეთის წრფე, კვანძთა ხაზია. S პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) ის ფოკუსია, რომელშიც მზე მდებარეობს. p წარმოდგენს პერიპელიუმის წერტილს. C ელიფსის ცენტრია.

* საკითხის მკაფიო განხილვა დაგვარწმუნებს, რომ როგორც მზის, ისე დედამიწის ეკლიპტიკური განედები მცირედ, მაგრამ, მაინც განსხვავდებიან ზოგჯერ წლისაგან, რაც გამოწვეულია დედამიწის გრაუიტაციული შეშფოთებით, რომლებსაც მთვარე და პლანეტები ახდენენ მასზე.

დიდი ნახევარღერძი a და c 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.

ექსცენტრისიტეტი 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 ელემენტი აღმავალი კვანძის Ω გრძედი. იგი წარმოადგენს კუთხეს, რომელიც იქმნება მზიდან ვერძის წერტილზე გავლებულ მიმართულებასა და კვანძების ხაზის მიმართულებას შორის: ΥSN . 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 პერიპელიუმის წერტილზე აღებულ მიმართულებათა შორის (ω) უჩვენებს იმას, თუ როგორ არის ორიენტირებული ელიფსი (ორბიტა) ანუ მისი დიდი ღერძი pA ორბიტის სიბრტყეში. ეს კუთხე აითვლება პლანეტის ორბიტის სიბრტყეში პლანეტის მოძრაობის მიმართულებით.

Ω და ω -ს ჯამს უწოდებენ პერიპელიუმის გრძელს: $\pi = \Omega + \omega$.

ჩამოთვლილი ხუთი ელემენტი საცხებით ახასიათებს თვით ორბიტას: მის სიდიდეს, ფორმას, მდებარეობას სივრცესა (i, Ω) და სიბრტყეში (ω).

პერიპელიუმზე გავლის მომენტი (T) მეექვსე ელემენტი. აქედან იწყება პლანეტის მოძრაობის აღრიცხვა და ანგარიში. ზოგჯერ საწყისად იღებენ სხვა ეპოქას (E), რომელიც შეესაბამება პლანეტის ასტრონომიულ გრძელს რომელიც არჩეულ, მოხერხებულ მომენტში, ვთქვათ, 1900 წლის ან 1950 წლის 1 იანვრის დასაწყის მომენტში—შუალამეზე.

როცა ცნობილია პლანეტის ორბიტის ელემენტები, ე. ი. მოცემულია მათი რიცხობრივი მნიშვნელობანი, შეგვიძლია გამოვითვალოთ პლანეტის მიმართულება 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 აღლენა და დახრილობა) რამდენიმე სხვადასხვა მდებარეობაში.

კოორდინატები შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ზუსტი იარაღით, როგორცაა

გერიდიანული წრე და საპასაყო 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. 282-ე ნახაზზე AB იყოს ცთომილის მიერ ორბიტაზე დროის ერთეულში შემოწერილი რკალის სიგრძე. მაშინ ეს AB არის წრფივი V სიჩქარე.

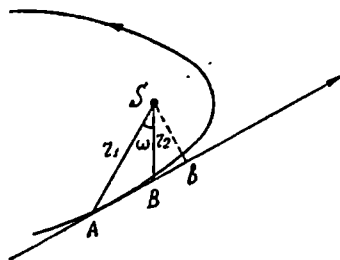
კუთხური სიჩქარე არის დროის ერთეულში რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილ კუთხურ ერთეულთა (მაგალითად, რადიანების ან გრადუსების) რიცხვი. ჩვენს ნახაზზე იგი არის ASB კუთხე, აღნიშნული ω ასოთი.

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: $P = \frac{1}{2} Vx$, სა-

დაც x არის S ცენტრიდან მოძრაობის მიმართულებაზე მართობულად დაშვებული Sb მონაკვეთის სიგრძე.

შეგვიძლია აგრეთვე დავწეროთ:

$$V = \frac{2P}{x}$$



ნახ. 282.

ამასთანავე $P = \frac{1}{2} r_1 r_2 \sin ASB$, მაგრამ, თუ ღროის ერთეულ შუალედად

ავიღებთ 1 წამს, ASB კუთხე ანუ ω ერთობ მცირე იქნება, მისი სინუსის ნაცვლად შეგვიძლია ავიღოთ თვით ω , ხოლო ნამრავლი $r_1 r_2$ საკმარისი მიახლოებით შეგვიძლია ჩავთვალოთ r^2 -ის ტოლად. ამიტომ გვექნება:

$$\omega = \frac{2P}{r^2}.$$

ამგვარად, შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ 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 ღროს 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 ღროსთან (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 მიახლოებით გადაწყვეტის ღროს, რამდენადაც პლანეტების ორბიტები მიახლოებით შეიძლება წრიულად ჩაითვალოს.

მოძრაობის კეპლერისეული 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 ჩამოყალიბდება:

1) ყოველი პლანეტის ორბიტა ელიფსია, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მოთავსებულია მზე;

2) ყოველი პლანეტის რადიუს-ვექტორი ღროის თანატოლ შუალედებში თანატოლ ფართობებს შემოწერს (აქვე, 283-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: $t_1^2 : t_2^2 = a_1^3 : a_2^3$.

ლობა ახლა საძიებელი და შესამოწმებელი გვაქვს. თანამგზავრის მანძილი დედამიწის ცენტრიდან 1-ის ტოლად მივიჩნიეთ ($a_2=1$), რადგანაც ვვულისხმობთ, რომ იგი მოძრაობს დედამიწის ზედაპირის მახლობლობაში და, მაშასადამე, დედამიწის რადიუსის ახლო მნიშვნელობისაა. პროპორციის ამოხსნამოგვეცემს:

$$t_2^2 = \frac{(27.3)^2}{60^3};$$

$$t_2 = \frac{27.3}{\sqrt{60^3}} \approx \frac{27.3}{465} = 0.059 \text{ დღე-ღამე.}$$

ეს უკანასკნელი სიდიდე კი, გამოხატული საათებსა და წუთებში, არის 1 სთ. 24 წთ.

ახლა არ გავკვირდებოდა ისიც გამოვიტყვაოთ, თუ დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე უნდა ავეუშვათ ხელოვნური თანამგზავრი იმისათვის, რომ ის მუდამ ჩანდეს ადგილის ზენიტში. მართლაც, ამისათვის აუცილებელია, რომ მისი გარემოქცევის პერიოდი ეტოლებოდეს დედამიწის ლერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდს ანუ 1 დღე-ღამეს. კეპლერისეული მესამე კანონის გამომხატველი პროპორცია ასე შედგება: $(27.3)^2 : 1^3 = 60^3 : a_2^3$. პასუხი მიიღება დედამიწის რადიუსებში გამოხატული, რამდენადაც მთვარის მანძილიც დედამიწიდან დედამიწის რადიუსებში გამოვხატეთ.

კეპლერის მესამე კანონის ზოგადი სახე. კეპლერის სამივე კანონი გამომდინარეობს ნიუტონის მიზიდულობის კანონიდან, აქ ამ გამოყვანას არ შევეუდგებით, 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:

$$\frac{4\pi^2}{t_1^3} a_1^3 = G(M + m_1), \quad (a)$$

და

$$\frac{4\pi^2}{t_2^3} a_2^3 = G(M + m_2).$$

აქედან მივიღებთ:

$$\frac{a_1^3}{t_1^3} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{m_1}{M}\right)} = \frac{a_2^3}{t_2^3} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{m_2}{M}\right)}.$$

ეს უკანასკნელი კეპლერის მესამე კანონის მეორე, უფრო ზოგად სახეს წარმოადგენს. აქედან მიიღება მარტივად ამ კანონის ჩვენთვის უკვე ცნობილი პირველი 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 განვიხილება, მაშინ $\frac{m_1}{M} = \frac{1}{333.000}$, რადგანაც დედამიწის-

მასა 333.000-ჯერ ნაკლებია მზისაზე. უდიდესი მასის მქონე პლანეტის—იუპიტერის—შემთხვევაშიც კი ეს ფარდობა ძალიან მცირეა: $\frac{1}{1050}$. ამრიგად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კეპლერის მესამე კანონის პირველი სახე აქ მოყვანილი მეორე სახის საკმარისად კარგ მიახლოებას წარმოადგენს ამ შემთხვევაში.

პლანეტების მასის გამოთვლა. ზემოთ მოყვანილ (ა) ფორმულაში საქმე გვექონდა მზისა და პლანეტის შემთხვევასთან. ახლა, ვთქვათ, საქმე გვაქვს პლანეტასა და მის გარშემო მოძრავე თანამგზავერთან. პლანეტის მასის აღნიშვნა დავტოვოთ იგივე, ხოლო თანამგზავრის მასა, მისი ორბიტის დიდი ნახევარღერძი და გარემოქცევის პერიოდი აღვნიშნოთ, შესაბამისად, m_2 , a_2 და t_2 ასოებით, მაშინ დაიწერება (ა)-ს ანალოგიურად:

$$\frac{4\pi^2 a_2^3}{t_2^2} = G(m_1 + m_2) = Gm_1 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right). \quad (b)$$

უმეტეს შემთხვევაში თანამგზავრის მასა პლანეტის მასასთან შედარებით უმნიშვნელოდ შეგვიძლია ჩავთვალოთ და ამიტომ (ბ)-ში სრულიად უგულებელვყოთ $\frac{m_2}{m_1}$ ფარდობა. მაშინ (ა) და (ბ)-დან, მათი გაყოფით, მივიღებთ შემდეგს:

$$\frac{m_1}{M + m_1} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2.$$

საკმარისი სიზუსტით ეს უკანასკნელი ტოლობა ასე გამარტივებულადაც გამოიხატება, m_1 -ის სიმცირის გამო M -თან შედარებით:

$$\frac{m_1}{M} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2. \quad (g)$$

იგულისხმება, რომ ცთომილისა და თანამგზავრის ორბიტების დიდი ნახევარღერძები და გარემოქცევის პერიოდები (a_1 , a_2 , t_1 , t_2) 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 $a_2 = 0.00293$ ასტრონ. ერთეულს და $t_2 = 8.706$ დღე-ღამეს, რაც წარმოადგენს $\frac{8.706}{365.25}$ წელიწადს.

მაშინ (გ)-ს მცხედვით:

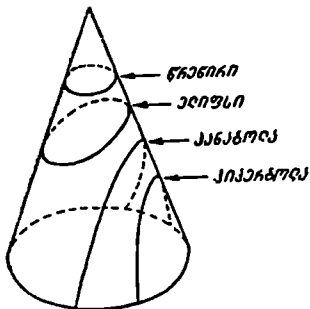
$$\frac{m_1}{M} = \left(\frac{0.00293}{19.19}\right)^3 \cdot \left(\frac{84.02 \cdot 365.25}{8.706}\right)^2 = \frac{1}{22610}.$$

მაშასადამე, ურანის მასა 22610-ჯერ ნაკლებია მზისაზე და დედამიწისას კი—აღემატება.

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 განვიხილოდეთ დედამიწის მოძრაობას მზის გარს. დედამიწა თუ მხოლოდ მზის მიზიდულობის გავლენით იმოდრავებდა მზის გარშემო, მისი ორბიტა იქნებოდა სრულიად გარკვეული, მულდმივი პარამეტრების მქონე ელიფსი. მაგრამ სინამდვილეში პლანეტები ახლენენ დედამიწაზე გარკვეულ მიზიდულობით ზემოქმედებას, რის გამოც დედამიწის გზა ერთგვარად გადაიხრება აღნიშნული ელიფსიდან. ეს გადახრა როდია დიდი, მაგრამ მინც შეინიშნება და კიდევ გამოითვლება. გადახრის ანუ შემფოთების სიდიდე ძირითადად განპირობებულია ზემოქმედი პლანეტების მასებით. შემფოთებათა საფუძველზე შემამფოთებელი სხეულების მასების განსაზღვრის ამოცანა ცის მექანიკის კარგად დამუშავებულ ამოცანებს ეკუთვნის და განიხილება ე. წ. შემფოთებათა ანუ პერტურბაციების თეორიაში.

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.



ნახ. 284.

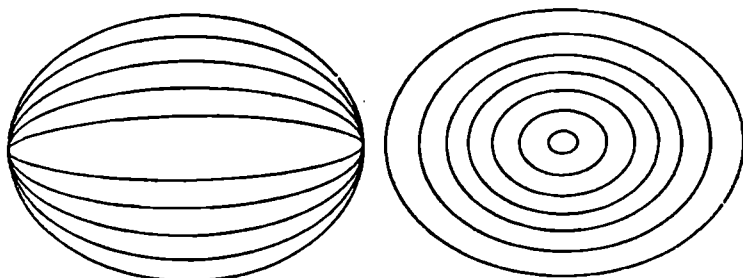
ყველა ეს მრუდი მიიღება წრიული კონუსის რაიმე სიბრტყითი კვეთით (ნახ. 284). თუ სიბრტყე კონუსის ფუძის პარალელურია, კონუსთან კვეთა გვაძლევს წრეს, არაპარალელობის შემთხვევაში—ელიფსს, ხოლო პარაბოლას, როცა სიბრტყე კონუსის მსახველის პარალელურია; თუ მკვეთი სიბრტყე კონუსის ფუძის მართობულია, მიიღება ჰიპერბოლა.

წრე და ელიფსი ჩაკეტილი მრუდებია და მათ გასწვრივ მოძრავი სხეული პერიოდულად გარემოქცევა 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 გაწეილი. 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. 285-ე ნახაზზე, მარცხნივ ვხედავთ ერთი და იმავე სიდიდის დიდი ღერძისა და სხვადასხვა ექსცენტრისიტეტის მქონე ელიფსებს; მარჯვნივ—ერთი და იმავე ექსცენტრისიტეტისა, მაგრამ სხვადასხვა სიდიდის დიდი ღერძის მქონე ელიფსებს.



ნახ. 285.

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 გარსმსროლავე სხეულების მასებია, შესაბამისად, ხოლო a —გარსმსროლავე 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, იმოდრავებს 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 მოძრავე 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 ირველივ. თუკი პარაბოლური სიჩქარით ან უფრო დიდი სიჩქარითაა გატყორცნილი, დედამიწას აღარ დაუბრუნდება.

პარაბოლურ სიჩქარეს უწოდებენ გაქრის სიჩქარეს. მართლაც, თუ სხეულმა ამ კრიტიკულ სიჩქარეს მიაღწია ან გადააქარბა, იგი სამუდამოდ გაიქრება მიწიდან და სხეულის მიზიდულობის სფეროდან. გაქრის სიჩქარე შეგვიძლია უკანასკნელი ტოლობიდან გამოვითვალოთ, თუ მასში უმნიშვნელოდ ჩავთვლით m მასას. თუ ლაპარაკი დედამიწაზეა, როგორც ცენტრალურ სხეულზე, მაშინ $M = 6 \cdot 10^{27}$ გრამს, $r = 6.37 \cdot 10^8$ სმ-ს, $G = 6.7 \cdot 10^{-8}$, აქედან

$$V_p = 1.12 \cdot 10^8 \text{ სმ/წმ} = 11.2 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}}$$

ეს ე. წ. მეორე კოსმოსური სიჩქარეა.

ზისათვის, რომელიც მასით დედამიწას 333.000-ჯერ აღემატება და რადიუსითაც მეტია დედამიწაზე (109-ჯერ), მის ზედაპირთან გაქრის სიჩქარე იქნება დედამიწასთან შედარებით $333.000 : 109 = 55.2$ -ჯერ მეტი ანუ 622 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.

გაქრის კრიტიკული სიჩქარის ასე მცირე მნიშვნელობა მთვარისათვის იმასაც ხსნის, თუ რატომ არის მთვარე მოკლებული ატმოსფეროს.

ზემით მოყვანილი ენერჯის განტოლებიდან და პარაბოლური სიჩქარის გამოსახულებიდან ადვილად გამოვიყვანთ შემდეგს:

$$a = \frac{r}{2} \left(\frac{V_p^2}{V_p^2 - V^2} \right)$$

$$\text{წრიული ორბიტისათვის (} a=r \text{) } V^2 = \frac{1}{2} V_p^2$$

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 286-ე ნახ. შზე წარმოვიდგინოთ F ფოკუსში. $FB = PC = a$ წარმოადგენს დიდ ნახევარღერძს. $FB' = CB = b$ მცირე ნახევარღერძია. ექსცენტრისიტეტი იქნება $FC : PC$.

როცა მსრბოლავი სხეული B წერტილშია, მაშინ $r = a$ და ენერჯის განტოლება დაიწერება ასე:

$$V^2 = G(M+m) \frac{1}{a}$$

$$V = \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}}$$

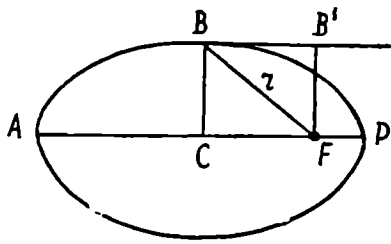
როგორც უნდა გვახსოვდეს, ფართობი სიჩქარე $P = \frac{1}{2} Vx$, სადაც x არის B წერტილზე გავლებულ მხებზე F წერტილიდან აღმართული მართობი FB' ანუ მცირე ნახევარღერძი b . მაშასადამე,

$$P = \frac{1}{2} \cdot b \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}}$$

რაკი ელიფსის მთელი ფართობი გამოიხატება πab -თი და ეს ფართობი შემოიწერება რადიუს-ვექტორის მიერ P_1 სიჩქარით, გარემოქცევის დრო ანუ პერიოდი იქნება:

$$T = \frac{\pi ab}{P} = \sqrt{\frac{2\pi a^3}{G(M+m)}}$$

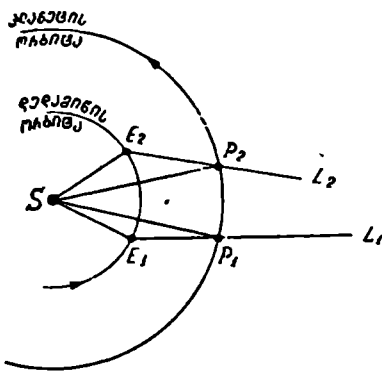
ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გარემოქცევის პერიოდი დამოკიდებულია მხოლოდ დიდ ნახევარღერძზე და დამოუკიდებელია, მაგალითად, ექსცენტრისიტეტისაგან. მაშასადამე, როგორი ექსცენტრისიტეტებიც უნდა ჰქონდეთ ელიფსებს, რომლებზეც მოძრაობენ პლანეტები ან დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრები, ისინი მაინც ერთი პერიოდით გარემოიქცევიან, თუკი მათ თანატოლი დიდი ღერძები აქვთ! დაეუბრუნდეთ ეფემერიდების საკითხს.



ნახ. 286.

აქამდე ვგულისხმობდით ისეთ მნათობთა ეფემერიდების გამოთვლებს, რომელთა ორბიტები ცნობილია, ე. ი. ცნობილია მათი ელემენტები. მაგრამ, პრაქტიკაში ვხვდებით აგრეთვე ახლად გამოჩენილი კომეტის ან ახლად აღმოჩენილი მცირე ცთომილის ორბიტის ელემენტთა განსაზღვრის აუცილებლობას. როგორ ხდება ორბიტის განსაზღვრა? იგი რომ წრთული ყოფილიყო, ეს ამოცანა შედარებით მარტივი იქნებოდა. მართლაც, ვთქვათ, რომ ახლად აღმოჩენილ ცთომილზე დაკვირვება ვაწარმოეთ ორ, ერთიმეორეს რამდენიმე დღით დაშორებულ t_1 და t_2 მომენტში და აქვე განვსაზღვრეთ მისი ეკვატორული კოორდინატები, რაც იმას ნიშნავს, რომ დავადგინეთ მიმართულებანი ჩვენს E_1 და E_2 მდებარეობებიდან პლანეტის P_1 და P_2 მდებარეობებისაკენ, ე. ი. დავეფიქსირეთ ორი ხაზი E_1P_1 და E_2P_2 (ნახ. 287). მაგრამ ჯერ უცნობია მანძილი მზიდან ცთომილამდე. სხვადასხვა მოსაზრების საფუძველზე შეგვიძლია სავარაუდოდ ავიღოთ დედამიწა-ცთომილის მანძილის რაღაც მნიშვნელობა— E_1P_1 —პირველი დაკვირვების მომენტისათვის. მეორე მომენტში ცთომილი E_2P_2 ხაზზე და მზიდან იმავე მანძილზე (ცთომილის წრთული ორბიტის რადიუსი) უნდა იმყოფებოდეს; ეს პირობა დააფიქსირებს P_2 წერტილს და დაადგენს P_1SP_2 კუთხეს. 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° -ს, როგორც დროის შუალედი ჩვენი დაკვირვების მომენტებს შორის. ($t_2 - t_1$)—ცთომილის ასე სავარაუდოდ გან-



ნახ. 287.

საზღვრულ გარემოქცევის პერიოდს. თუ ეს პროპორცია დამაყოფილდება, დავსკვნით, რომ სწორად 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 სიმამდვილეში წრიულ ორბიტებთან როდგვაქვს საქმე. ელიფსური ორბიტის განსაზღვრა კი უფრო რთული ამოცანაა და მოითხოვს ცთომილის სულ ცოტა 3 დაკვირვებას (3 განსხვავებული მდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრას) და სხე.

დამუშავებული მეთოდების წყალობით

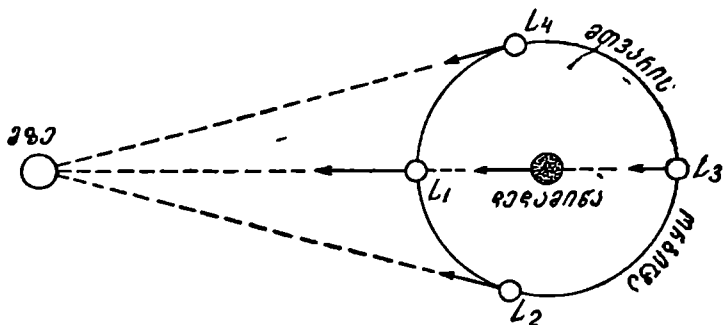
ორი სხეულის ამოცანა, როცა განიხილება ერთი მიშზიდველი სხეულის, მაგ., მზის გარს მეორე სხეულის (პლანეტის) მოქცევა, სრულად ამოიხსნება. უფრო რთული ამოცანაა მსრბოლავ სხეულზე სხვა მიშზიდველი სხეულების მიერ გრავიტაციული შეშფოთების გათვალისწინება. შეშფოთებათა გასათვალისწინებლად მიმართავენ ანალიზურ გამოსახულებებს, რომლებიც წარმოიდგინება უსასრულო მწკრივების სახით; გამოთვლებში შეჰყავთ მწკრივების წვერთა 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 დავსახელოთ; 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; აღმოჩინათ ახალი პლანეტა ნეპტუნი და სხვა ამოცანებიც გადაეწყვიტათ.

განსაკუთრებით საგრძნობ შეშფოთებებს განიცდიან 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 გაქრამდე, პრაქტიკულად გამორიცხულია. ამდენად მზის სისტემა შეიძლება ჩაითვალოს სტაბილურ ანუ მდგრად სისტემად. კერძოდ, მდგრადია ის სიბრტყე.

რომელიც გავივლება 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 ვარსკვლავებისმიერი შემშფოთებული გავლენა მზის სისტემაზე, და, მაშასადამე, ამ სიბრტყის მდებარეობაზე პრაქტიკულად სრულიად უმნიშვნელოა ვარსკვლავების ერთობ დიდი დაშორების გამო.

ცალკე განვიხილოთ მზისმიერი შემშფოთება მთვარისა. 288-ე ნახაზზე E -ს გარშემო შემოვლებული წრე მთვარის ორბიტას გამოხატავს. დედამიწის მიმართ მთვარის მოძრაობაზე მოქმედებს არა მზის მიერ მთვარის მიზიდულობის ძალა, არამედ მზისმიერი შემშფოთებული ძალა. იგი წარმოადგენს მზის მიერ მთვარისა და დედამიწის მიზიდულობის ძალების სხვაობას. ახალმთვარეობისას (L_1) მზე, როგორც ყოველთვის, თავისკენ მიიზიდავს დედამიწასაც და მთვარესაც.



ნახ. 288.

მაგრამ მთვარე მასთან უფრო ახლოა, ამიტომ მიზიდულობაც უფრო ძლიერია. ამის გამო მზისმიერი შემშფოთებული 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 შემშფოთების ზეგავლენით მთვარე უახლოვდება დედამიწას. სავსემთვარეობისას (L_3) მზისმიერი შემშფოთება რამდენადმე აშორებს დედამიწას მთვარიდან. საერთოდ, მზისმიერი მიზიდულობა მთვარისა უფრო მეტიც არის, ვიდრე დედამიწისმიერი მიზიდულობა. რომ წარმოვიდგინოთ, დედამიწა და მთვარე უცბად შეჩერდნენ თავიანთ გზებზე, მაშინ დედამიწაზე კი არა, მზეზე დაეცემა მთვარე, რადგანაც მზის მიერ იგი ორჯერ უფრო ძლიერად მიიზიდება, ვიდრე დედამიწის მიერ.

მზისმიერი შემშფოთებითი 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 შემშფოთებით გავლენას ახდენენ მთვარეზე. ამ

უშუალო გავლენის გარდა, ისინი დედამიწის ორბიტის პარამეტრებსაც ცვლიან და ეს, თავის მხრივ, იწვევს შემფოთებებს მთვარის გარემოქცევაში.

შემფოთებათა ამ არასრული დახასიათებიდანაც ვხედავთ, თუ რა რიგ 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 ღერძის გარს ბრუნვის პერიოდზე, ისე პლანეტის სიმკვრივეზე. სფეროსაგან განსხვავებული არაწესიერი ფორმა პლანეტისა, განპირობებული მისი შებრტყელებით, თავისებურ შემფოთებებს 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, შემფოთებათა 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-ის სიმაღლეზე საგანი 4-ჯერ ნაკლებს უნდა იწონიდეს, რამდენადაც დედამიწის ცენტრიდან იგი ორჯერ უფრო მეტად იქნება დამორებული, 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 სხვა-

დასხვა 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 მ/წმ^2 (იხ. ზემოთ); მთვარის აჩქარება, დედამიწის ცენტრისაკენ მიმართული, იქნება 0.00273 მ/წმ^2 . ახლა მთვარის აჩქარება სხვა გზით გამოვთვალოთ. ამისათვის დაეუშვათ, 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 $0.13 \text{ სმ-ით წაშში}^*$ (ნახ. 280). 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.

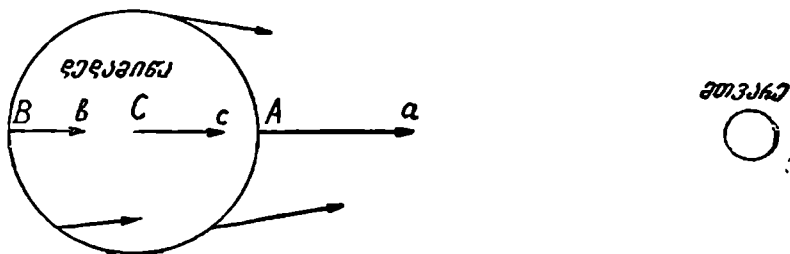
ზღვა-ოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევის მოვლენა. შემაშფოთებელი (გრა-ვიტაციული) ძალების ერთ-ერთი ყველაზე თვალსაჩინო და ამავე დროს პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი გამოვლინებაა ზღვა-ოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევა-ოკეანისა და ღია ზღვის ღრე მუდმივ რყევას განიცდის; დაახლოებით ყოველი $12\frac{1}{2}$ საათის შემდეგ წყალი ოკეანეში ან ღია ზღვაში ნაპირისაკენ მოიქცევა, გადმოდის ნაპირზე. ასე გრძელდება თითქმის $6\frac{1}{4}$ საათის განმავლობაში. ამ მოვლენას წყლის მოქცევა უწოდებენ. ამის შემდგომ წყალი იწყებს ნაპირიდან მიქცევას. ეს მიქცევაც $6\frac{1}{4}$ საათს გრძელდება და ამ დროის

* ვარდნის აჩქარება ისეთია, რომ 1 წამის დამლევს მანამდე უძრავი სხეული აჩქარებულია 0.26 სმ/წმ სიჩქარემდე, მაშასადამე, მისი საშუალო სიჩქარე ამ წამის განმავლობაში 0.13 სმ/წმ-ია .

შუალედის დამლევს კვლავ ნაპირისაკენ მოქცევა იწყება. დღე-ღამის განმავლობაში თითქმის ორჯერ ხდება მოქცევა და ორჯერ—მიქცევა. ვამბობთ თითქმის, 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 ყოველდღიურ ზედა კულმინაციაში მოსვლას. მართო ამ თანხვედრას 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 ექვემდებარებული. მაგრამ სრული ახსნა ამ მოვლენამ მხოლოდ XVII საუკუნეში მოიპოვა, მას შემდგომ რაც ნიუტონმა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ჩამოაყალიბა.

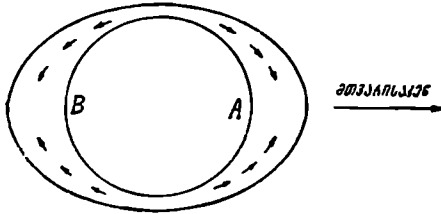


ნახ. 289.

დაეუშვათ, 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 მთვარედ. 289-ე ნახაზის მიხედვით, *A* წერტილში მდებარე ნაწილაკზე (უახლოესია, მთვარესთან) უდიდესი ძალა მოქმედებს, ხოლო *B* წერტილში მდებარეზე (უშორესია მთვარედან)—უმცირესი.

დედამიწის მთლიანად, როგორც მყარ სხეულს, მთვარე მიანიჭებს *Cc* აჩქარებას. ოკეანის წყლის მასები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზე მთვარის მხარეზეა *A* წერტილის მახლობლობაში, მიიზიდება მეტი ძალით. ამასთანავე

მასები, რომლებიც მთვარის მოპირდაპირე მხარეზეა, მიზიდება ნაკლები ძალით (აჩქარების სიდიდე Bb ნაკლებია, ვიდრე Cc). ამგვარად, მთვარის მხარეზე წყლის მასები თითქოს წინ უსწრებს დედამიწას მთვარის მიმართულებით, 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 მახლობლობაში: ჩნდება ერთგვარი „კუზები“ (ნახ. 290). ისიც ანგარიშვასაწვეია, რომ წყლის ნაწილაკები ერთობ მოძრავია და ადვილად ექვემდებარება მათზე მოქმედ ძალებს.

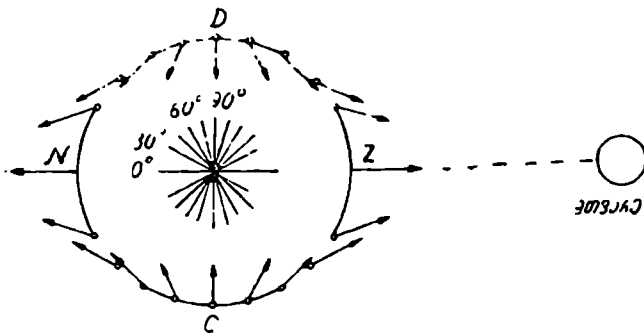


ნახ. 290.

291-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მიქცევა-მოქცევის ძალების სიდიდეები და მიმართულებანი დედამიწის ეკვატორის სიბრტყეში. მთვარე ამ სიბრტყეში ვიგულოთ. მიქცევა-მოქცევა

ყველაზე უფრო ინტენსიური იმ წერტილშია, რომლისთვისაც მთვარე ზენიტში (Z) იმყოფება, ან კიდევ—ამ წერტილის დიამეტრულად საწინააღმდეგო წერტილში ანუ ეგრეთ წოდებულ ნადირში (N). აქაც კი მიქცევა-მოქცევის წარმოშობი დიფერენციალური ძალები მიზიდულობის ძალის თითქმის მხოლოდ მეათმეფილიონედ ნაწილს შეადგენს. C და D წერტილებში ისინი კიდევ ორჯერ ნაკლებია. თითქოს ასე უმნიშვნელოა, მაგრამ ეს მაინც ქმნის წყლის მასების მძლავრს, თვალისათვის ნათლად შესამჩნევსა და პრაქტიკულად კვალისდამჩნევ მოვლენებს.

როგორ უნდა გვესმოდეს ზემოთ დანასიათებული მოვლენა—წყლის ანუ ოკეანის ზედაპირის „ამობურთვა“? თუ ძალა მოქმედებს წყლის ნაწილაკებზე

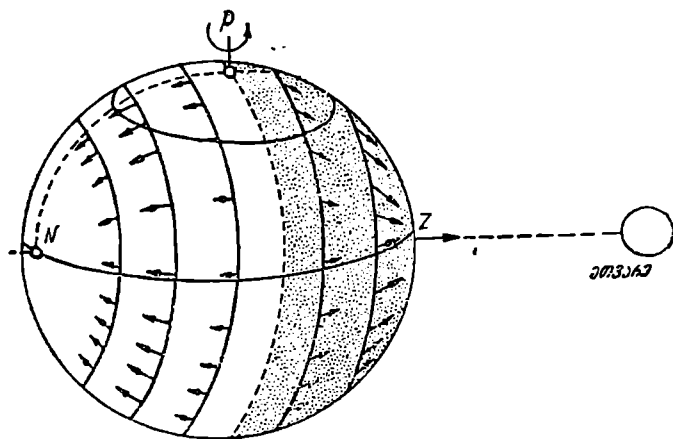


ნახ. 291.

ვერტიკალური მიმართულებით ქვევით—დედამიწის ცენტრისაკენ, წყალი უნდა კუმშავდეს მის ქვევით მოქცეულ ფენებს; თუ ზევით—ზენიტისაკენ, წყლის სიმკვრივე უნდა კლებულობდეს, მაგრამ ჰორიზონტალურ გადანაცვლებას წყალი თითქოს არ უნდა განიცდიდეს. თუკი ძალა ჰორიზონტალურად იქნება მოდებული, ცხადია, წყალი ღინებას დაიწყებს. ყოველი, ნებისმიერად მიმართული ძალა შეიძ-

ლება ორ მდგენელად დაიშალოს: ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მდგენელებად. ასევე შეიძლება დაეშალოს მიქცევა-მოქცევის გამომწვევი ძალაც. თუ მოცემული ადგილისათვის მთვარე არ იმყოფება აღებულ მომენტში ზენიტში, მაშინ ამ ძალის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური 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, ჰორიზონტალური მდგენელი მთლიანად წყლის გადაანაცვლებაში გამოვლინდება.

თვალსაჩინოებისათვის კვლავ ნახაზს მივმართოთ და ახლა 292-ე ნახაზი განვიხილოთ, რომელზეც მოცემულია მიქცევა-მოქცევის გამომწვევი ძალების ჰორიზონტალური მდგენელების სქემა, სურათი წარმოადგენს [დედამიწის, რომლის ბრუნვის პოლუსი ნაჩვენებია P ასოთი, დიდი წრეწირი ZN მისი ეკვატორია.



ნახ. 292.

იგულისხმება, რომ მთვარე ეკვატორის სიბრტყეში იმყოფება (ნახაზზე, ქალაქის სიბრტყეში ZN -ის გასწვრივ). როგორც ჰორიზონტალური მდგენელებისაგან შედგენილი ძალთა სისტემა გვიჩვენებს, წყალი ოკეანეში უნდა გროვდებოდეს Z და N 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 ამალმებული ზედაპირი, წყლის დონე, ცხადია, მატულობს, ე. ი. ადგილი აქვს მოქცევას. მოქცევით შევრილებს შორის წყლის დონე დაკმულია და იქ აკვირდებიან ამ დროს წყლის მიქცევას. ჩვენს ნახაზზე დაკლებული წყალი უნდა იყოს Z და N -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 შევხებოვართ 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° -ით, ამიტომ იქ, სადაც აქამდე აღიდებული წყალი იყო, ახლა დაკლებული წყალი იქნება. შემდგომი 6 საათის შემდეგ, როცა დედამიწა კიდევ 90° -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 გარემოეჭყევა დედამიწას და 6 საათში დაახლოებით 3 გრადუსით გადაინაცვლებს თავის ორბიტაზე. ეს გადაინაცვლება 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 მთვარისმიერ დედამიწის 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 სავესმთვარეობისას ხდება. კვადრანტურებში 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 მოქმედებაში 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 ინტენ-

სივობით კიდევ უფრო რთულად მიმდინარეობს, რამდენადაც მათზე სხვა ფაქტორებიც მოქმედებს, მაგალითად,—ისეთიც კი, როგორცაა მთვარის ორბიტის ეკლიპტიკისადმი დახრა, მისი ცვლილება და სხვ. ამასთანავე შეიმჩნევა, რომ მოქცევის აზვირთებული ტალღა მოცემულ ადგილას მთვარის მერიდიანში ყოფნის მომენტში კი არაა, არამედ აგვიანებს ზოგჯერ და ზოგ ადგილას რამდენიმე საათით. ასევე. მაქსიმუმი ტალღისა ზუსტად ახალმთვარეობისა ან საესემთვარეობის 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 სირთულითა 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 სრულად შეუმჩნეველია შემთხვევითი დამკვირვებლისათვის. ოკეანეში, ნაპირიდან მოშორებით, მიქცევა-მოქცევის მოვლენით გამოწვეული აზვირთება ანუ ტალღის ამალღება 1 მეტრს აღწევს, ხმელეთის ნაპირზე კი—გაცილებით უფრო დიდ სიმაღლეებსაც. ცნობილია პუნქტები ატლანტური ოკეანის ნაპირებზე, სახელდობრ, კანადაში, სადაც მოქცევის დროს წყლის ზედაპირის ამალღება 16—18 მეტრს აღემატება. ასევე საგრძნობლად მაღალია მოქცევითი ტალღა საბჰოთა კავშირის ტერიტორიაზე ოხოტის ზღვისპირას (თითქმის 13 მეტრამდე).

ზოგ ადგილას მიქცევა-მოქცევის მოვლენა მდინარეების ქვედა ნაწილზეც შეიმჩნევა. რამდენიმე მეტრის სიმაღლის მოქცევითი ტალღა დიდი სიჩქარით გადმონაცვლებს მდინარის კალაპოტში ზევით, წყლის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით. მდ. ჩრდილოეთის დენაში ეს მოვლენა შეიმჩნევა 100 კილომეტრზე მეტი დაშორებით იმ ადგილიდან, სადაც მდინარე ე. წ. თეთრ ზღვას უერთდება (ქ. არხანგელსკთან).

აქამდე ვლაპარაკობდით მიქცევა-მოქცევაზე, რომელსაც ვაკვირდებით ზღვა-ოკეანის წყლის გადანაცვლებაზე. ეს პირობებიც მთელი 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 დეფორმაციაში (ზოგან—შეკუმშვა, ზოგან—გაჭიმვა), რაც ამ მასების სიმკვრივეს ცვლის. დეფორმაციის სიდიდე და ხასიათი დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია დედამიწის შინაგანი აღნაგობა, როგორია მისი ღრეკადობა. მაშასადამე, დედამიწის მყარ სხეულში მიქცევა-მოქცევათა კანონზომიერების შესწავლა დედამიწის აგებულების საკითხს აშუქებს.

ადვილი 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 მგრძობიარობა დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურული ცვლილებებისადმი და, აგრეთვე, სხვა მოვლენებით მასში გამოწვეული რეზონანსული მოვლენები აძლევენ ატმოსფერული მიქცევა-მოქცევის კანონზომიერებათა შესწავლას.

გავრცელებულია შეხედულება, რომ ამინდის ვითარება დამოკიდებულია მთვარის ფაზებზე. მართალია, თვითონ ფაქტობრივი დაკვირვების მასალასულ მტკიცედ არ ადასტურებს 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 ცვლებადობა 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 ნახევარდსიხურ კონსისტენციას მისი ევოლუციის რომელიმე ეტაპზე, საერთოდ, მიმართულია ყოველთვის მთვარისაკენ. მაგრამ დედამიწა უფრო სწრაფად ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ, ვიდრე მოიქცევა მის გარს მთვარე. ამიტომ მიქცევა-მოქცევითი ტალღა, რომელიც, როგორც ვნახეთ, ყოველთვის მთვარის „ქვეშ“ უნდა იმყოფებოდეს, ფაქტიურად გადაინაცლებს დედამიწის ზედაპირზე მისი ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამის გამო წყლის ტალღა ზღვის ფსკერთან ხახუნს განიცდის, ასევე განიცდიან ხახუნს ერთიმეორესთან წყლის სხვადასხვა ფენები*.

ამ მიზეზით ხდება მბრუნავი დედამიწის ერთგვარი დამუხრუჭება, რაც მკლავდება დღე-ღამის ხანგრძლივობის ზრდაში. რა თქმა უნდა, ეს განხანგრძლივება დღე-ღამისა მეტისმეტად უზნიშვნელოა; სახელობრ, იგი წამის ერთ მათი-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 ცვლილება იმდენად შესამჩნევია, რომ გასათვალისწინებელი ხდება ძალიან შორეულ დაბნელებათა თარიღების გამოთვლისას.

ცხადია, რომ მიქცევა-მოქცევითი მოვლენები სხვა პლანეტებზეც, მზეზე და, საერთოდ, ყველა კოსმოსურ სხეულზე იჩენს თავს. დედამიწა-მთვარის შემთხვევაში არა მარტო მთვარე მოქმედებს დედამიწაზე და მის ჰიდრო-და ატმოსფეროზე, არამედ დედამიწა—მთვარეზე. რამდენადაც დედამიწის მასა აღემატება მთვარისას, დედამიწა უფრო ძლიერად ამუხრუჭებს მთვარეს, ვიდრე მთვარე—დედამიწას. ამით

* მკოხეველს შემჩნეული ექნება, რომ შუა მდინარეში წყალი უფრო ჩქარა მიედინება, ვიდრე მდინარის ნაპირებთან (შუა მდინარეში გადავლებულ მოტივტოე საგანს უფრო სწრაფად გაიტაცებს წყალი, ვიდრე ნაპირთან ახლო გადავლებულს). ეს შედეგია წყლის მდინარის ფსკერთან და ნაპირთან ხახუნისა, რომელიც უფრო საგრძნობია ფსკერთან ან ნაპირთან ახლო, ხოლო მათგან დაშორებისას მცირდება.

შეიძლება აიხსნას ის გარემოება, რომ დროის მსვლელობაში მთვარის ბრუნვა იმდენად შენედა, რომ ჩვენს დროში მისი ხანგრძლივობა მთელი 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 ლეროთი შეერთებული ორი სხეული. როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, ეს შეიძლება მოხდეს 50 მილიარდი წლის შემდეგ.

მექანიკა გვასწავლის, რომ განმხოლოებულ სისტემაში დაცულია ე. წ. მოძრაობის რაოდენობის მომენტის შენახვის კანონი. აქედან კი ის გამოდინარობს, რომ ორ, ერთიმეორის გარს მბრუნავ სისტემაში თუ კლებულობს ცენტრალური 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 როლი მიქცევა-მოქცევისა, რომელიც, როგორც ვნახეთ, ცის სხეულების (ცთომილებისა და მათი თანამგზავრების ან ჭერადი ვარსკვლავების კომპონენტების) ბრუნვის სიჩქარესა და ურთიერთმანძილებს ცვლის. ზოგიერთ კრიტიკულ პირობებში მიქცევა-მოქცევით ძალებს შეუძლია დაარღვიოს კიდევ ჭერადი სისტემის მდგრადობა.

ჩვენს დროში დაისახა მიზნად მიქცევა-მოქცევითი ძალების გამოყენება კაცობრიობის პრაქტიკული საჭიროებისათვის. მართლაც, მიქცევა-მოქცევით ტალღას მოძრაობისას დიდი ენერგია აქვს, სწორედ ისე, როგორც სიმალლიდან ვარდნილ ან მომდინარე წყალს. მას, როგორც ვარდნილ წყალს, იყენებენ ჰიდროელექტროსადგურებში ტურბინების საბრუნებლად და ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად. ასევე შეიძლება მიქცევა-მოქცევითი მოძრაი ტალღის გზაზე მისი ენერჯის გამოყენება. სათანადო სადგურების მოწყობა მოხერხებულია შედარებით მცირე ყურეებში, რომელნიც ზღვასთან ან ოკეანესთან დაკავშირებულნი არიან ვიწრო სრუტეებით. ამაგვარ ელექტროსადგურებს დიდი სირთულე ახლავს, განპირობებული მით, რომ მიქცევა-მოქცევითი ტალღის მოძრაობის მიმართულება იცვლება, თვით ეს მოვლენაც პერიოდულია და ვერ უზრუნველყოფს ელექტროსადგურის რეგულარულ, რითმულ მუშაობას. მიუხედავად ამისა, ასეთ სადგურებს აქვთ გამოყენების პერსპექტივა*.

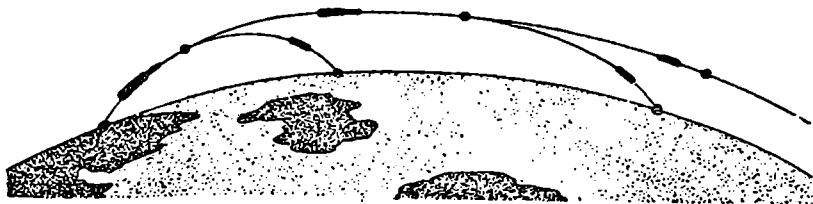
დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის შესახებ. იმისათვის, რომ ესა თუ ის სხეული დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად გადაიქცეს, საჭიროა მისი ვატუორცნა (გასროლა, გაქრა) კო რ ი ზ ო ნ ტ ი ს პ ა რ ა ლ ე ლ უ რ ა დ რ ა დ ა ც გარკვეული სიჩქარით, რომელიც არ იქნება იმდენად მცირე, რომ იგი, როგორც ბალისტიკური სხეული ან ჭურვი, დედამიწის ზედაპირზე დაეცეს (ნახ. 293); არ იქნება არც იმდენად დიდი, რომ სხეული სრულიად მოწყდეს დედამიწის მიზიდულობის სფეროს და უსასრულო სივრცეში გაიჰრას. საჭირო სიჩქარე შემდეგნაირად გამოითვლება.

* ქ. მურმანკის მაზლობად, ბარენცის ზღვის ნიბას, რთულად დასერილი ნაპირის ერთ-ერთ უბრეში, სახელად—ისლაია, ამჟამად შენდება ასეთი ელექტროსადგური.

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, r —სხეულის სიჩქარე, ხოლო r —დედამიწის რადიუსი (იგულისხმება, რომ r ამავე დროს გატყორცნილი სხეულის დაშორებაა დედამიწის ცენტრიდან,



ნახ. 253.

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 გაიწვლება ელიფსი. მაგრამ, როგორც ცნობილია მექანიკიდან, თუ ეს სიჩქარე $\sqrt{2}$ -ჯერ მეტად გაიზარდა, მიღწეულ იქნება მისი კრიტიკული მნიშვნელობა, როცა ელიფსი პარაბოლად იქცევა და, მაშასადამე, სხეული სრულიად მოსცილდება დედამიწას. ეს მეორე კოსმოსური სიჩქარე იქნება:

$$v \approx \sqrt{2} \cdot 8 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}} \approx 11.2 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}}$$

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, უგულვებელყოფდით დედამიწის ატმოსფეროს და მის ხახუნსა და წინააღმდეგობას მოძრავე სხეულისადმი. პრაქტიკულად, თანამგზავრის გასა-

შეებად უპირველეს ყოვლისა საჭიროა მისი ატანა საკმარისად დიდ სიმძლავრე-
ატმოსფეროს საკმაოდ გაიშვიათებულ ფენებში (რამდენიმე ასეულ კმ სიმძლავრეზე).
ხელოვნურ თანამგზავრად გადასაქცევი სხეული ააქვთ სიმძლავრეზე რამდენიმე სა-
ფეხურისანი მატარებელი-რაკეტით და იქ ანიჭებენ მას ჰორიზონტალურ ან მის ახლო
სიჩქარეს. რაკეტის საწვავის შემცველი საფეხურები საწვავის სრულად გამოწვის
შემდეგ თანმიმდევრულად შორდებიან რაკეტას, რათა შემციოდეს უსარგებლო
ტვირთი და მომდევნო საფეხურებმა, რომლებიც თავის დროზე ავტომატურად
ჩაირთვებიან, ადვილად განაეითარონ სიჩქარე და გაუტოლონ იგი პირველ კოს-
მოსურს. ამასთანავე გაშვებას, ჩვეულებრივ, აწარმოებენ დასავლეთიდან აღმოსავ-
ლეთისაკენ, რათა დედამიწის ღერძული ბრუნვის სიჩქარეც გამოიყენონ კოსმოსური
სიჩქარის უფრო ადვილად მისაღწევად. უკანასკნელ საფეხურს თანამგზავრი გაჰყავს
განგარიშებულ ორბიტაზე, თვით მატარებელი-რაკეტა კი დაეშვება, შემოიჭრება
ატმოსფეროს მკვერივ ფენებში, სადაც იწყებს ატმოსფეროს მოლეკულებთან ხახუნისა
და გადახურების გამო დაშლასა და დედამიწაზე ცვენას.

თანამგზავრ-ხომალდის შიგნით მოთავსებული ადამიანი-კოსმონავტი, როგორც
ვიცით, უწყონ ობის პირობებში აღმოჩნდება. ამის მიზეზი ისაა, რომ ორბი-
ტულ მოძრაობაში მყოფი სხეულისათვის დედამიწისაკენ მიზიდულობის ძალას
აწონასწორებს ცენტრიდანული ძალა.

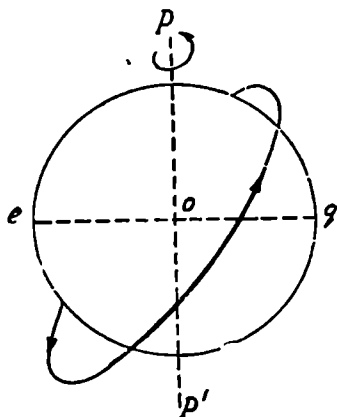
სიბრტყე, რომელშიც დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტა
ქვს, დედამიწის ცენტრზე გადის, საიდანაც ორბიტა ცაზე დიდი წრეწირის
სახით წარმოგვიდგებოდა. დედამიწის ზედაპირიდან ხილვა კი სხვაგვარ სუ-
რათს გვაძლევს. დედამიწის დღელამური ბრუნვის გამო რომელიმე პუნქტი
მხოლოდ ორჯერ გაივლის ორბიტის წრეწირის ქვეშ. ვთქვათ, ვაკვირდებით ისეთ
თანამგზავრს, რომლის გარემოქცევის პერიოდი 2 საათია. რაკი ყოველ საათში
დედამიწა 15°-ით შემოტრიალდება, ამიტომ ყოველი 2 საათის შემდეგ თანამგზავ-
რის ორბიტის ქვეშ მოიქცევა დასავლეთით 30°-ით მდებარე პუნქტი. ეს მართებუ-
ლია ყველა პუნქტისათვის, რომელთა გეოგრაფიული განედები ნაკლებია, ვიდრე
თანამგზავრის ორბიტის დახრა დედამიწის ეკვატორისადმი (ნახ. 294). პუნქტი,
რომლის განედი ორბიტის დახრის ტოლია, მხოლოდ ერთხელ მოექცევა ორ-
ბიტის 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, შეიძ-
ლება ვთქვათ, რომ დაბალი თანამგზავრის ხილვა იშვიათად თუ შეიძლება. მაგ-
რამ ჩვენ თვალწინ ხომ გადაშლილია ცის კამარა ჰორიზონტიდან ჰორიზონტამდე
და როდია აუცილებელი თანამგზავრის ხილვისათვის მისი ორბიტა უთუოდ ჩვენს
ზენიტზე გადაიოდეს. რაკი თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი, მაგალითად,
2 საათია, ამ ხნის განმავლობაში თანამგზავრი უთუოდ გამოჩნდება ჩვენს ცაზე,
ოღონდ 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 დამოკიდე-
ბულია 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.

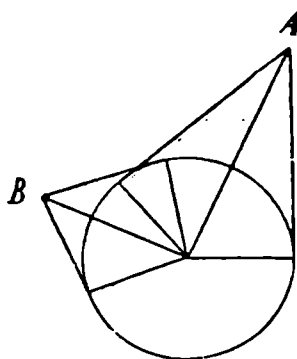
თანამგზავრის ხილვადობის პირობებს მისი სიმალლევ ანუ ორბიტის ნახევარღერძის სიდიდევ განსაზღვრავს. ეს 295-ე ნახაზზე ჩანს: *A* წერტილი დედამიწის ზედაპირის ვაცილებით უფრო ფართო არიდან მოჩანს, ვიდრე *B*.

შორეული ცის სხეულები—მთვარე, მზე, ვარსკვლავები—საშუალოდ ნახევარი დღე-ღამის განმავლობაში ჩვენი პორიზონტის ზემოთ არიან; ახლო მსრბოლავი სხეულები კი—შეუდარებლად უფრო ნაკლები დროის განმავლობაში.

ხელოვნურ თანამგზავრს ეხედავთ იმის წყალობით, რომ მისი ზედაპირი არეკლავს მასზე ვარდნილ მზის სხივებს. დღისით იგი არ მოჩანს, ისევე როგორც მზის სინათლეზე ყველა სხვა ციური სხეული. შუალამეზეც არ ჩანს იგი, რადგანაც დედამიწის ჩრდილის კონუსის სიღრმეშია და—მზით გაუნათებული. მისი ხილვა



ნახ. 294.



ნახ. 295.

შეიძლება ღამის პირველ და უკანასკნელ საათებში, როცა დაკვირვების ადგილას ღამეა, მაგრამ მისი ზენიტის მახლობლობაში, დიდ სიმალლეზე 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 აღქურვილი ორიენტაციის ფიქსირების საშუალებებით. დე 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 წინააღობით, 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 წინააღობის 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.

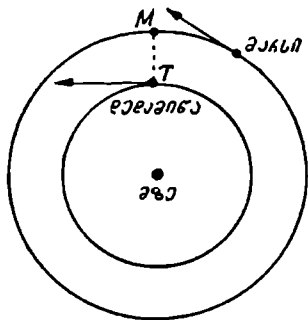
ხელოვნური თანამგზავრის „სიცოცხლის“ ხანგრძლივობა დამოკიდებულია მისი ორბიტის პერიგეუმის სიმაღლეზე დედამიწის ზედაპირიდან. 200—250 კმ სიმაღლის აპოგეუმის მქონე თანამგზავრი სულ მხოლოდ რამდენიმე კვირას ძლებს, 600—700 კმ სიმაღლისა კი—რამდენიმე ათეულ წელიწადს.

კოსმოსური ზონდი ან კოსმოსური ხომალდი, რომელმაც მთვარეს უნდა მიადწიოს, გაშვებულ უნდა იქნეს ისეთი სიჩქარით, რომ მისი ელიფსური ორბიტა მთვარის მანძილამდე იყოს გაწეილი. 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°-ით მოტრიალდეს (ორიენტაცია ავტომატურად ხორციელდება მზის ან რომელიმე კამკაშა 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 უატმოსფერობის გამო.

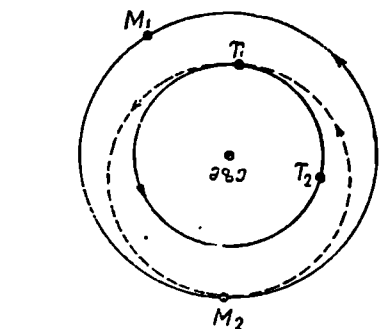
მთვარეზე დაშვება შუალედური მანევრირების გზითაც შეიძლება, მაგალითად, ჯერ მთვარის ირგვლივ ორბიტაზე ხომალდის გაყვანით და შემდგომ—ორბიტიდან დაშვებით. ყველა შემთხვევაში ხომალდი (ან სხვა დასაშვები აპარატი) უზრუნველყოფილ უნდა იქნეს საწვავითა და აღჭურვილი—სათანადო დამატებითი ძრავებით, რომლებიც საჭირო დროს და ხომალდის საჭირო ორიენტაციის პირობებში სათანადო სიმძლავრითა და ხანგრძლივობით იმუშავენ. 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 გამოიყენოთ თვით შიხსმიერი მიზიდულობა აპარატის ტრაექტორიის გაანგარიშებაში. შეიძლება მოგვეჩვენოს, მაგალითად, რომ მარსისაკენ აპარატის გაშვება $T M_1$ გზით (ნახ. 296) ხდება, რადგანაც ეს უმოკლესი გზა მარსის ორბიტამდე. მაგრამ აპ-

რატის მოძრაობის ამ გზით განხორციელება მოითხოვს, გადაალახენო მას დედამიწის ორბიტული სიჩქარე, რომელიც თითქმის 30 კმ/წმ-ია, და ამას გარდა, კიდევ მიანიჭო მას მზიდან დაშორების სიჩქარე. ეს სიჩქარე პლანეტასთან მიახლოებისას ჩაქრობილ უნდა იქნეს. ყველა ამას საწვავის ღირი 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 ამოძრავებს, აპარატი მიაღწევს მარსს, მართალია, უფრო გრძელი გზით, მაგრამ ინერციით, ძრავების შემდგომი მუშაობის გარეშე, და თითქმის პლანეტის კუთვნილი სიჩქარით. როგორც ეს 297-ე ნახაზზეა გამოსახული, მზის ირგვლივ უნდა შეიქმნას ელიფსური (თითქმის წრიული) ორბიტა, რომლის პერიოდიუმი 1 ასტრონომიული ერთეულითაა დაშორებული მზეს, ხოლო აფელიუმი—1.52 ასტრ. ერთეულით, რაც მზე-მარსის მანძილს ეტოლება.



ნახ. 296.



ნახ. 297.

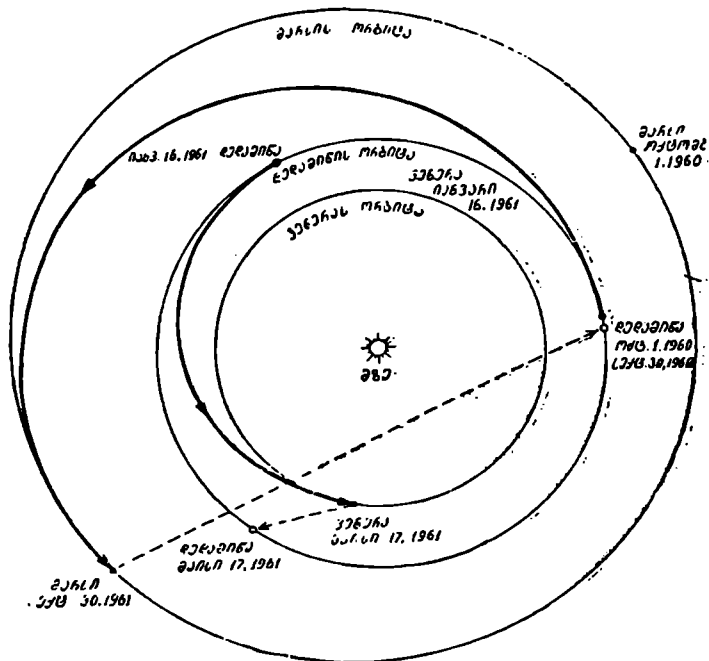
კმ/წმ-ით. დედამიწის ორბიტულ სიჩქარეს ეს მხოლოდ 3 კმ/წმ-მდე სიჩქარით აღემატება. 11.2 კმ/წმ სიჩქარით გატყორცნილი აპარატი მალე მოექცევა მზის მიზიდულობის ქვეშ. მარსთან მიახლოებისას მისი სიჩქარე მარსის მიმართ 3 კმ/წმ-ს არ აღემატება. თვით მარსის ორბიტული სიჩქარე 24 კმ/წმ-ია.

მარსისაკენ აპარატის გაშვების ეს გზა ნებისმიერ მომენტში ვერ განხორციელდება. მისი განხორციელება მხოლოდ ერთხელ შეიძლება ერთი სინოდური წლის განმავლობაში—მარსის ოპოზიციამდე სამი თვით აღრე. სხვა დროს გაშვებულ აპარატს მარსი არ დახვდება ორბიტის აფელიუმში. ასეთ შემთხვევაში აპარატმა უნდა განაგრძოს მოძრაობა და მივიდეს თავის პერიპელიუმში, მაგრამ ახლა აქ მას დედამიწაც არ დახვდება.

აღწერილი ვზით (მას ტანგენსურ გზას უწოდებენ) პლუტონისაკენ გაშვებულ აპარატს მიზნის მისაღწევად 43 წელი დასჭირდებოდა.

ამ პარაგრაფის დასასრულს განვიხილოთ ნახ. 298. 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 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° -ით.



ნახ. 298.

თუმცა მცირეა ეს კუთხეები, მაგრამ მაინც შემოაქვთ შესამჩნევი ცვლილება, თუ სადგურის ტრაექტორიის გამოთვლაში მზის სისტემის „ბრტყელ სურათს“ დაემყარებით. 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 მალე განმეორდება. შედარებით ხელსაყრელი სიტუაციები რამდენიმე წელიწადში ერთხელ იქმნება.

მ თ მ ა რ ე

მანძილი მთვარემდე. მანძილი მთვარემდე განისაზღვრება ან კლასიკური პარალაქსური მეთოდით, ან რადიოლოკაციური საშუალებით (იხ. ზემოთ).

მთვარის პარალაქსის საშუალო მნიშვნელობა ეტოლება $57'$ -ს. ეს შეესაბამება 384.400 კმ მანძილს. დედამიწიდან მთვარემდე დაშორების მაქსიმალური (აპოგეუმში) და მინიმალური (პერიგეუმში) მნიშვნელობებია:

406.500 კმ,

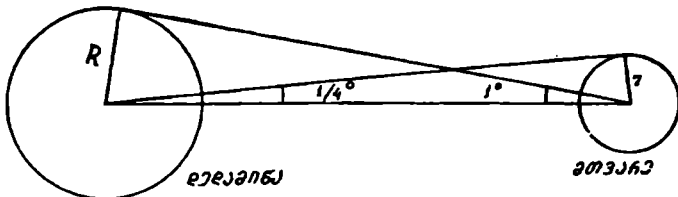
366.300 კმ,

შესაბამისად.

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 მეოთხედიანია. მოცულობით მთვარე 49 -ჯერ ნაკლებია დედამიწაზე, დედამიწის მოცულობა კი $1.1 \cdot 10^{12}$ კმ³-ს ეტოლება.



ნახ. 299.

მთვარის რადიუსი შეგვიძლია სახელდახელოდ დაახლოებით შევადგასოთ, თუ ვიცით მისი პარალაქსი, რომელიც, დაახლოებით, 1° -ის ტოლად შეგვიძლია ჩავთვალოთ. 299-ე ნახაზის მიხედვით, სადაც დედამიწის რადიუსით „შეკრული“ კუთხე მთვარის გეოცენტრული პარალაქსია (1°), ხოლო მთვარის რადიუსით შეკრული — მისი რადიუსის ხილული სიდიდე ($0^\circ.25$), უბრალოდ დაიწერება:

$$\frac{r}{R} = \frac{0^{\circ},25}{1^{\circ}} = \frac{1}{4},$$

$$r = 0,25R.$$

მთვარის მასა. მიზიდულობის ძალის სიდიდე მთვარის ზედაპირზე. მთვარის მასა ღედამიწის მასის 1/81 ნაწილს წარმოადგენს. სხვა სიტყვებით, მთვარე $7.4 \cdot 10^{22}$ ტონას „იწონის“.

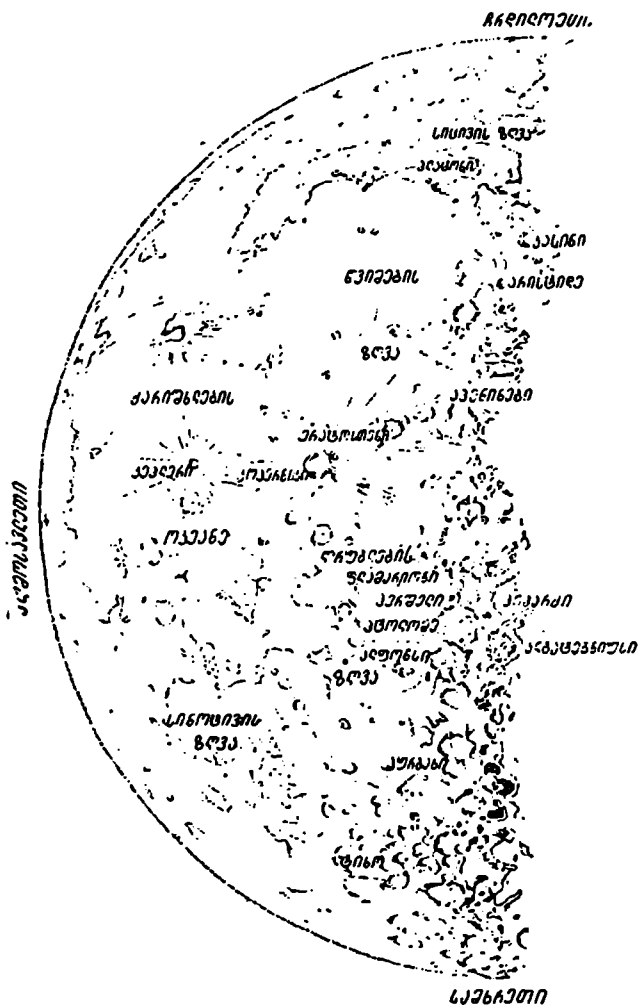


ნახ. 300.

მთვარის ზედაპირზე მიზიდულობის ძალა თითქმის ექვსჯერ ნაკლებია, ვიდრე ღედამიწის ზედაპირზე. ადვილი მისახვედრია, რატომაა ეს ასე. ღედამიწის ზედაპირზე მდებარე m მასის მქონე რაიმე ნივთიერი ნაწილაკის ღედამიწისმიერ მიზიდულობა გამოიხატება ძალით:

$$F_1 = g \frac{M_1 \cdot m}{R_1^2}$$

სადაც M_1 და R_1 დედამიწის მასა და რადიუსია.



ნახ. 301.

მთვარის მიერ მიზიდულობის ძალა კი იმავე m მასის მქონე ნაწილაკზე, რომელიც მოთავსებულია მთვარის ზედაპირზე, ასე დაიწერება:

$$F_2 = g \frac{M_2 \cdot m}{R_2^2}$$

სადაც M_2 და R_2 მთვარის მასა და რადიუსია.



ნახ. 302.

რადგანაც $M_2 = \frac{1}{81} M_1$, ხოლო $R_2 = \frac{1}{4} R_1$ (დაახლოებით), შეიძლება და-
ვწერათ:

$$F_2 = g \frac{\left(\frac{1}{81} M_1 \right) \cdot m}{\left(\frac{1}{4} R_1 \right)^2}$$

ამგვარად, მთვარე ექვეყნურ ნაკლები ძალით მიიზიდავს თავისკენ ნაწილს, საგანს, სხეულს, ადამიანს, რომელიც მის ზედაპირზეა. ეს პრაქტიკულად განიცადეს კოსმონავტიკაში, რომლებიც მთვარის ზედაპირზე დაეშენენ. მთვარის ზედაპირზე პირველი კოსმოსური სიჩქარე ეტოლება 2.38 კმ/წმ-ს.

მთვარის სიმკვრივე. იგი ადვილად გამოითვლება, რაკი ვიცით მთვარის მოცულობაცა და მასაც. იგი ეტოლება 3.3 გრ/სმ³-ს, ე. ი. 3.3-ჯერ აღემატება წყლის სიმკვრივეს. დედამიწის სიმკვრივესთან შედარებით, რომელიც ეტოლება 5.5 გრ/სმ³-ს, მთვარის სიმკვრივე 3/5-ს წარმოადგენს. ეს განსხვავება საგულისხმოდ უნდა ჩაითვალოს, მეტადრე, თუ დაუკავშირებთ მას დედამიწასა და მთვარის ერთობლივ თუ არაერთობლივ წარმოშობასა და ევოლუციას; ორივე შემთხვევაში სიმკვრივეთა შორის განსხვავება მოითხოვს ახსნას. იგი მიუთითებს იმას, რომ დედამიწისა და მთვარის შიგა აღნაგობა სხვადასხვაგვარია. დედამიწის ქერქის მასალის სიმკვრივე საშუალოდ მხოლოდ 3 გრ/სმ³-ია, მაშინ როცა მთლიანად დედამიწისა— 5.5 გრ/სმ³. მაშასადამე, დედამიწის გული ძალიან მკვრივია. მთვარე კი უფრო მარტივი აღნაგობის ანუ უფრო ერთგვაროვან სხეულად უნდა ჩავთვალოთ, თუმცა, რა თქმა უნდა, საესებით შესაძლებელია, რომ იქაც იყოს განსხვავებული სიმკვრივე გარე და შიგა ფენებს შორის. ამ საკითხს საბოლოოდ გამოარკვევენ ან აეტომბატური სადგურები (რომლებიც ახლო მომავალში მრავლად დაეშებიან მთვარეზე მისი თვისებების შესასწავლად), ან თვით ადამიანი-მკვლევარი, რომლისთვისაც მთვარე უკვე მისაღწევი გახდა.

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 გამორიცხულია. მთვარის „ზღვები“ წარმოადგენს, უბრალოდ, შედარებით გლუვ, ბრტყელ, უწყლო სირვეცებს 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 „სხივე-ბით“, რომლებიც ცალკეული მთებიდან რადიალურად გამოდიან და სხვ. ზოგი ამ სხივის სიგრძე 1500 კმ-ს ქარბობს. ერთი სიტყვით, ტელესკოპში მთვარის ზედაპირი ერთობ რთული, არაერთგვაროვანი, „აჭრელებულია“.

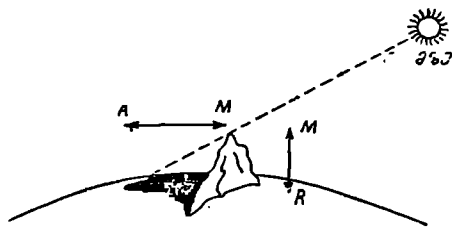
მე-300 და 302-ე ნახაზები წარმოგვიდგენს მთვარის სურათს ისე, როგორც იგი ზომიერი სიდიდის ტელესკოპში ჩანს. მათგან პირველი მთვარის აღმოსავლეთ, მეორე—დასავლეთ ნახევარს გამოხატავს. სურათებს ახლავს მთვარის სქემატური რუკებიც (ნახ. 301, ნახ. 303), რომლებზეც აღნიშნულია მთვარის ძირითადი წარმონაქმნები: ზღვები (მაგალითად, წვიმების ზღვა, სიწყნარის ზღვა) და მთები (მაგალითად, კავასიონი), 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.

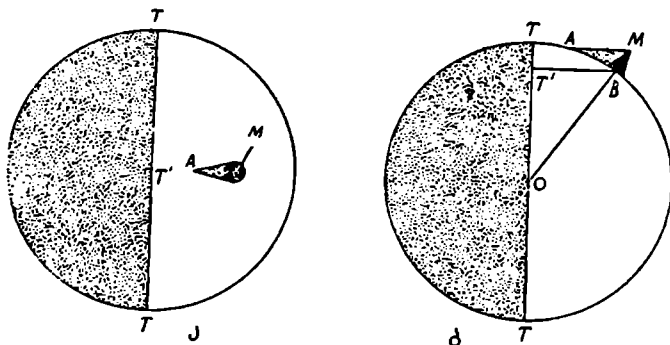
კრატერები გარშემორტყმულნი არიან რგოლის ფორმის „კედლებით“, რომელთა სიმაღლე რამდენიმე (5—7) კილომეტრს აღწევს. კრატერების რიცხვი მთვარეზე ძალიან დიდია. ზომიერი სიმძლავრის ტელესკოპის მეშვეობით მიღებულ ფოტოგრაფიაზე შეგვიძლია რამდენიმე ათასი კრატერი დავთვალოთ. მთვარის ზედაპირის ფოტოგრაფიებზე, რომლებიც ძალიან ახლო მანძილიდან მიიღეს კოსმონავტებმა ან შეასრულეს ავტომატურმა სადგურებმა, მრავლად მოჩანან უფრო მცირე ზომის კრატერები. უდიდესი კრატერები განიკვეთილი 200 კმ-ს აღემატებიან. კრატერი ყველაზე უფრო დამახასიათებელი წარმონაქმნია მთვარის ზედაპირისათვის.

უფრო იშვიათია მთვარეზე მთაგრეხილები. ერთ მხარეზე ისინი უფრო ციცაბონი არიან, ვიდრე მეორეზე, 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: განსაზღვრება ჩრდილის კუთხური სიდიდე, რომელიც შემდგომ—მთვარემდე მანძილის მიხედვით—გამოიხატება კილომეტრებით. მაგრამ მთის ჩრდილის სიგრძე დამოკიდებულია არა მარტო მთის სიმაღლეზე, არამედ მზის სიმაღლეზეც იმ



ნახ. 304.



ნახ. 305.

ადგილის ჰორიზონტიდან, სადაც მთა იმყოფება (ნახ. 304). მთვარის ფაზის მიხედვით ადვილია ამ უკანასკნელის განსაზღვრა.

305-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მთვარეზე მთის სიმაღლის განსაზღვრის ხერხი, რომელიც არ მოითხოვს მთვარის ჰორიზონტზე მზის სიმაღლის ცოდნას. „ა“ წარმოადგენს მთვარის დისკოს, რომელიც მეოთხედ ფაზაშია. *M* არის მთის

წვერო, რომლის ჩრდილი გაქიმულია *A*-მდე. „ბ“ გამოხატავს იმავე სურათს პირველის მართობული სიბრტყის პროექციაში. *O* მთვარის ბადროს ცენტრია.



ნახ. 306.

AM მართობულია *OT*-სი. *AB*-ც შეგვიძლია ჩავთვალოთ (მთვარის რადიუსთან შედარებით სიმკირის გამო) *OM*-ის მართობულად და დავწეროთ:

$$\frac{BM}{AM} = \frac{T'B}{OB}$$

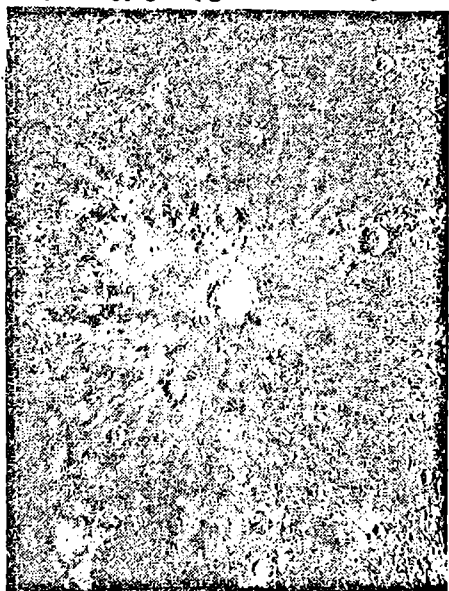
AM და *T'B* გაიზომება მიკრომეტრით და გამოიხატება კმ-ბით, *OB* ცნობილია. ამგვარად გამოითვლება *BM*.

ზოგიერთი მწვევრვალის სიმაღლე მთვარეზე 9 კილომეტრს აღწევს. როგორც გვხსოვს, დედამიწის უმაღლესი მწვევრვალის ჯომოლუნგმას (ევერესტი) სიმაღლე 8848 მეტრია. მაშასადამე, რადიუსთან

შედარებით მთვარის მთები უფრო მაღალია, ვიდრე დედამიწისა.

სასესემთვარეობისას მთვარის ბადროს ცენტრალურ ზონაში მთვარის მთები

არ იძლევა ჩრდილს, რამდენადაც ამ დროს მზე მათ ზენიტშია. ამით და ზედაპირის ფოროვანი აგებულებით აიხსნება ის, რომ სასესემთვარეობისას 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 საღამოს), როცა მზე პორიზონტის ახლოა ჩრდილები უფრო კონტრასტულია.



ნახ. 307.

306-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მთვარის ზედაპირის შედარებით მცირე ნაწილი (დაახლოებით, 640 · 830 კმ) ტერმინატორის ახლო. შუაში კრატერია, სახელწოდებით ალფონსი.

307-ე ნახაზზე ეხედავთ კრატერს, სახელწოდებით კოპერნიკი. მისი დიამეტრი 90 კმ-ს აღწევს. კრატერისათვის დამახასიათებელია მის გარს რადიალურად გაფრცვლებული სხივებისებრი წარმონაქმნები, რაც კრატერის ვულკანურ წარმოშობაზე მიგვიანიშნებს.

308-ე ნახაზი წარმოადგენს ე. წ. წვიმების ზღვის ფოტოგრაფიას. მარჯვენა კვედა კუთხეში ე. წ. აპენინების მთაგრეხილია, მის ზემოთ—არქიმედესა და



ნახ. 308.

არისტოტელეს კრატერები. ზღვის ჩრდილოეთ კიდეზე მდებარე ღრმა, ჩრდილით მოცული კრატერი პლატონის სახელს ატარებს.

მთვარის ალბედო. სითბური და რადიოგამოსხივება. ალბედო ახასიათებს ნივთიერების მიერ სინათლის არეკვლის უნარს. იგი გამოხატავს ზედაპირიდან არეკვლილი სინათლის რაოდენობის ფარლობას 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 დაახ-

ლოებით მხოლოდ მეხუთედს არეკლავს; დანარჩენს იგი შთანთქავს, 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 გეინტერესებს მთვარის ალბედო. მას შეუძლია ერთგვარი მითითება მოგვეცეს 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%-ია, ე. ი. მთვარის ზედაპირი მასზე დაცემული მზის სხივების მხოლოდ 7%-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%-ს. მაგრამ დანარჩენ ენერგიასაც, რომელიც შთანთქა, ნაწილობრივ კვლავ გამოასხივებს სივრცეში, ერთგვარი გარდაქმნის შემდგომ. ეს გამოსხივება ინფრაწითელი ბუნებისაა, და მის გაზომვას ახერხებენ ე. წ. თერმოწყვილებით (იხ. ქვევით), ნაწილობრივ კი იგი რადიოტალღების სახისაა. ცის სხეულებისაგან გამოსხივებული 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 ზდება გამოსხივებული 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.

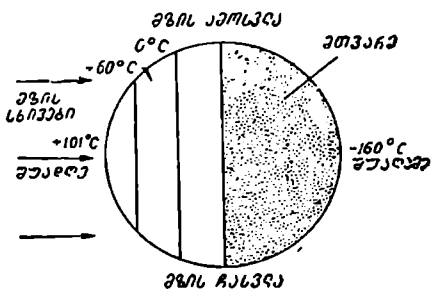
ტემპერატურა მთვარეზე. მთვარის ზედაპირი მზის სხივებით თბება 120—130°-მდე ცელსიუსით იმ დროისათვის, როცა მზე სათანადო ადგილის ზენიტს აღწევს. ვაგისენით აქ, რომ დღე მთვარეზე გრძელდება თითქმის ორ კვირას (მთვარის დღე-ღამე დაახლოებით 4 კვირის ხანგრძლივობისაა, ლერძის ირგვლივ მისი წელი ბრუნვის შესაბამისად). მაშასადამე, 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.

309-ე ნახაზზე ვხედავთ, რომ მთვარის იმ წერტილში, რომლის ზენიტში მოთავსებულია მზე (საცემთვარეობის 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 დაბ-

ნელემა მთვარეზე მაშინ ხდება, როცა ჩვენთვის მთვარის დაბნელებაა. ამ დროს მთვარის ზედაპირს ეცემა დედამიწის ჩრდილი და, მაშასადამე, წყდება მასი ვთბობა 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 სითბოვამტარიანობა ახასიათებს, რასაც რადიოგაზომებიც ადასტურებს.



ნახ. 309.

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 დიდფუჭურია და წაგრძელებული მისი ატმოსფეროს მიერ სინათლის გაბნევის გამო. ამის მიზეზი ვენერას სქელი ატმოსფეროა (იხ. ქვემოთ). 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 შთანთქმა 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-მეასემედილიონედი. ეს კი სწორედ იმას ნიშნავს, რომ პრაქტიკულად მთვარეზე ატმოსფერო არაა.

მაგრამ თვლიან, რომ აღნიშნული, ერთობ უმნიშვნელო სიმკვრივის ატმოსფერო მაინც მოიპოვება მთვარეზე. ასეთი მტკიცებების საფუძველი ისაა, რომ ზოგიერთი რადიოტელესკოპური დაკვირვება მთვარეზე და მის მიმართულებით

მყოფ გალაქტიკურ ნისლეულებზე ამკლავნებს ისეთ მოვლენებს, რომელთა ახსნა-ჯერჯერობით მხოლოდ იმის დაშვებით ხერხდება, რომ მთვარის უშუალო მახლობლობაშია იონიზებული გაზის მასები, თუმცა ერთობ გაიშვიათებული. აგრეთვე დასაშვებია, რომ მთვარეს ეს გაზი სტაბილური გარსის სახით კი არ აკრავს, არამედ მხოლოდ დროგამოშვებით ჩნდება. სად არის ასეთ შემთხვევაში მისი წარმოშობის წყარო? მიაჩნიათ, რომ ასეთ გაზს, უმთავრესად ჰელიუმისა და აზოტის ატომებისაგან შედგენილს, წარმოშობს—რადიოაქტიური პროცესების შედეგად—თვით მთვარის ქერქი. უკანასკნელ წლებში, საბჭოთა კავშირში ნ. კოზინიჩის 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.

რაგორც უკვე ვიცით, მთვარის ზედაპირზე ნაწილაკის მთვარისმიერი მიზიდულობა ნაკლებია, ვიდრე მიზიდულობა დედამიწის ზედაპირზე. თუ დედამიწაზე კოსმოსურ სივრცეში გაქრის 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 წაშში. მძიმე ელემენტებისა კი შესაძინევედ 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 მძიმე ელემენტი—გაიჭრან კოსმოსურ სივრცეში. დედამიწაზე კი მხოლოდ მსუბუქი გაზის—წყალბადის—მოლეკულებისათვის იქმნება სათანადო პირობები.

მზის სისტემაში კნობილია სხვა ისეთი მთვარე, რომელსაც ატმოსფერო ახლავს. ეს არის სატურნის თანამგზავარი ე. წ. ტიტანი — ერთ-ერთი სატურნის 10 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 მინც ვერ აღწევს კრიტიკულ სიჩქარეს. უკანასკნელი მზეზე—ნისი ვეება მასის გამო—ეტოლება 617 კმ/წმ. მართალია, ცნობილია, რომ მზისაგან გამოფრქვევა გაზის ნა-

წილაკები, მაგრამ ეს „თავისუფალი“ ლტოლვა კი არ არის, განპირობებული მხოლოდ მოლვეკულების საკუთარი სიჩქარეებით, არამედ შედეგაა მზის ცალკეულ ზონებში ან უბნებში სხვადასხვა ძალების ღრობებით გააქტივებისა.

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 გამოვიცხოთ ორივე დასახელებული აგენტის მოქმედება. მართლაც, ადვილად დასაჯერებელია, რომ ევოლუციის რომელიმე ეტაპზე მთვარე იმდენად გახურებული იყო წიაღში, რომ ვულკანური პროცესები მასზე ხშირი იყო, ღედამიწის მსგავსად. ამასთანავე სითბო მთვარეს შეიძლებოდა თანდაყოლილი ჰქონოდა თავისი წარმოშობის თავდაპირველი სტადიებიდან. მეორე მხრივ, ისიც შეიძლებოდა, რომ სითბო უფრო გვიან განვითარებულიყო წიაღში მოქცეული ურანიუმის, თორიუმისა და სხვა რადიოაქტიური ნივთიერების მიერ გამოყოფილი ენერჯის 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 „მუხრუჭვდებოდნენ“ ატმოსფეროს გარემოში და მთელი მასითა და სიჩქარით ეცემოდნენ მას. დედამიწის შემთხვევაში, ატმოსფერო ერთგვარ აბჯარს ქმნის, რომელიც დიდად აქვშემაყებს მეტეორიტებს და ანელებს მათ სიჩქარეებს. გეულისხმობით 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. 307). ცხადია, „სხივებში“ თავმოყრილია ისეთი ნივთიერება, რომელსაც შედარებით უფრო მაღალი არეკვლის უნარი აქვს. სწორედ ამით 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 ლავა.

თვალში გვეცემა დიდი განსხვავება კრატერების სიმრავლეში დედამიწისა და მთვარეზე. მთვარეზე ისინი მრავალია, ღედამიწის ზედაპირზე კი საკუთარივე მეტეორიტული წარმოშობის კრატერები სულ რამდენიმეა. 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. ეროზია), რასაც მთვარეზე ადგილი არა აქვს. მთვარეზე მხოლოდ ტემპერატურის მკვეთრ ცვლილებებს თუ შეაქვს რაიმე ცვლილება ზედაპირში (მაგალითად, დასკდომა, ნაპრალების გაჩენა). თუმცა, თავის გაუღუნას ახდენს აგრეთვე მზისმიერი რადიაცია, ამასთანავე—მოკლეტალღიანი რადიაციაც, რომლისგანაც მთვარე დაცული არაა ისე, როგორც დედა-

მიწა მისი ატმოსფეროს წყალობით. ესეც ერთგვარ ეროზიას იწვევს, თუმცა— განსხვავებული ბუნების ეროზიას. მაინც საფიქრებელია, რომ მთვარის ზედაპირი, როგორცაც მას ვხედავთ, უფრო „შენახულია“, ვიდრე დედამიწისა, სწორედ იმიტომ, რომ მასზე ატმოსფერულ მოვლენებს არ უმოქმედნია. შეიძლება დავუშვათ, რომ რაჰდენიმე ასეული მილიონი ან მილიარდი წლის წინათ, როცა მეტეორული მოვლენები უფრო ხშირი იყო (ამის დაშვებაც მართებელია), 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.

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 გადასაჭრელად 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 განსხვავებულია 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 მარტო 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 დაკვირვება მნათობთა ინფრაწითელი, ულტრაიისფერი, რენტგენისა და გამა-გამოსხივება. მთვარიდან ყოველთვის მოჩანს მზის კორონა (იხ. ქვემოთ), ზოლიაყური ნათება და პირისპირნათება (იხ. ქვემოთ). 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 ღა საბანთა საძინებელი

- ბბერაცია 241—247
 აბერაციის მუღმზვა 245
 აბსოლუტური ნული 29, 30
 ადგილის განედის განსაზღვრა 13, 87, 88, 165, 166 .
 ადგილის გრძედის განსაზღვრა 166, 167
 აერონავიგაცია 13, 168
 აზიმუტი 73, 75
 აზიმუტი გეოდეზიური 74
 აღბედო 379, 380
 აღმუქანტარატი 73, 75
 ამოსვლა-ჩასვლის (მნათობისა) გამოთვლა 169—171
 ანგსტრემი 28
 ანდრომედას გალაქტიკა 5, 20, 254
 ანომალისტური თვე 278, 283
 ანტიპოდი 52, 55
 ანტიციკლონი 222
 აპექსი 243
 აპოგეუმი 276, 277
 არისტარქე 316
 არისტოტელი 316
 ასტროგრაფი 198
 ასტროდინამიკა 13
 ასტრომეტრია 13, 14, 253
 ასტრონომია 3—8, 12, 15, 333, 334
 ასტრონომია და ფილოსოფია 8, 9
 ასტრონომია გარეატმოსფერული 11, 15
 ასტრონომია თეორიული 13
 ასტრონომია პრაქტიკული 12, 13, 161
 ასტრონომია რენტგენული 15
 ასტრონომია საავიაციო 169
 ასტრონომია საზღვარსნი 13, 51, 169
 ასტრონომია სფერული 12, 13
 ასტრონომიის ისტორია 9—12
 ასტრონომიული ერთეული 28, 323
 ასტრონომიული კოორდინატები 13
 ასტრონომიული პუნქტის განსაზღვრა 167
 ასტრონომიული ყოველწლიური (წელიწდეული ანუ კალენდარი) 151, 153, 260, 280, 281, 310, 312, 323
 ასტროსპექტროსკოპია 14
 ასტროფიზიკა 7, 13, 14
 ასტროფიზიკა თეორიული 13, 14
 ასტროფოტომეტრია 14, 64
 აფელიუმი 323
 აფსიდების ხაზი 277, 278, 323
 „აღმოსავლეთი 4“ (კოსმოს. ხომალდი) 276
 ახალი მთვარე 261
 ახალი სტილი 156, 157
 ახალმთვარეობა 264
 ზადროიანი მნათობის ამოსვლა-ჩასვლა და გავლა მერიდიანზე 171, 172
 ზადროიანი მნათობის სიდიდე 257
 ბერი კ. (რუსი მეცნიერი) 223
 ბერის კანონი 223
 ბესელი 10, 208, 240
 ბესელისეული ელემენტები (დედამიწის ფიგურისა) 208
 ბინდი 185—188
 ბინდი ასტრონომიული 186—188
 ბინდი სამოქალაქო 186—188
 ბინდის სინათლე 185
 ბიუსი ე. ა. 315
 ბრადლეი 247
 ბრაჟე ტიხო 315
 ბრუნო ვ. 10, 335
 ბუნიობა 81, 122
 ზავლა პლანეტისა შხის დსკოზე 320
 გავომეის წონა 45
 გალაქტიკა (ჩეენი) 4, 11, 14, 20, 24
 გალაქტიკები 4, 5, 20, 25
 გალაქტიკის ბრუნვა 24
 გალილეი ვ. 10, 335, 357
 გამა-ასტრონომია 15
 განედის ვარაიციები 231
 გარეატმოსფერული დაკვირვებანი (ასტრონომია) 11, 15, 316
 გაუსის მუღმზვა 341
 გაქრის (კრიტიკული) სიჩქარე 352

ვაკრის (კრიტიკული) სიჩქარე მზეზე და მთვა-
რებზე 382

გეოდეზია 168, 207

გეოდეზია კოსმოსური 208

გეოიდი 206, 207

გეოცენტრული კოორდინატები 252, 343

გეოცენტრული მოძვრება 219, 238, 332, 333,
335

გრაფიკობა 168, 207

გრაფიტაციის მუდმივა 341

გრაფიტაციული შემოთება 26, 260, 263, 276,
280

გრაფიტაციული ძალა 25, 26, 341

გრიგორიუს X III (რომის პაპი) 155

გრინვიჩის მერიდიანი 108

ღაბნელება მკრთალჩრდილოვანი (მთვარისა)
304, 305

ღაბნელება რგოლისებრი 294

ღაბნელება ცენტრალური 298

ღაბნელებათა ისტორიიდან 315—317

ღაბნელებათა (მოშავალ) ცხრილი 311

ღაბნელებათა წინასწარმეტყველება 309, 310

ღაბნელების ეკლიპტიკური სახლვარი 306

დაბრლობა (ეკვატ. კოორდინატი) 80—83, 88

დაბრლობის წრე 80

დედამიწა 4, 9, 16, 17, 33, 34, 132, 133, 201,
202, 205—207, 209, 210, 348, 349

დედამიწის ატმოსფერო 212, 213, 216, 217, 363

დედამიწის მაგნიტური ველი 211, 212

დედამიწის მასა 209, 210

დედამიწის მოძრაობანი 131, 132, 218—224, 238,
243, 277, 322, 338

დედამიწის პოლუსების გადაადგილება 231, 232

დედამიწის სიდიდე 207, 208

დედამიწის სიმკვრივე 210

დედამიწის ფიგურა 206, 227

დედამიწის შინაგანი აგებულება 210, 362

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი 6, 13, 189,
203, 205, 208, 209, 212, 213, 215, 217, 263,
276, 316, 347, 348, 351, 352, 364—368

დეფერენტი 332, 333

დიგრესია 96

დიდი პირისპირდგობა (მარსისა) 329

დილისა და საღამოს ხანგრძლივობა 129, 130

დიოკონული თვე 278, 284, 291, 292

დრო ადგილობრივი 105—107, 111, 152

დრო გრინვიჩისა (ნულოვან მერიდიანზე) 107,
110, 152

დრო დეკრეტული 112, 113

დრო ვარსკვლავთმომიერი 99, 101, 148—152

დრო ზოლური 108, 109, 111, 112, 152

დრო თბილისისა 110

დრო მზისმომიერი 97, 101, 102, 148—152

დრო მოსკოვისა 108, 110, 112

დრო შსოფლიო 107, 109, 111

დრო ორმაგი საზაფხულო 113

დრო საზაფხულო 113

დროს აღრიცხვა 7, 9, 12

დროს გაზომვა 97, 104

დროს განტოლება 102, 103, 130, 324, 325

დროს სამსახური 162

დროს სკალა 26

დღე-ღამე ვარსკვლავთმომიერი 98, 99, 104, 120,
121

დღე-ღამე მზისმომიერი 98, 99, 102, 103, 120, 121

დღე-ღამის ხანგრძლივობა 228, 229, 231

დღელამტოლობა 116, 122, 138, 157, 235, 237

დღელამტოლობის კოლური 81

დღელამტოლობის წერტილები 81, 82, 122

დღელამტური პარალელი 65, 66

დღისა და ღამის ხანგრძლივობა 115, 116, 126,
137, 139

მგოროვი ბ. ბ. (კოსმონავტი) 50

ეკვატორიული (ეკვატორული დანადგარი) 84—
87, 192

ეკვატორის დახრა ეკლიპტიკისადმი 143

ეკვატორული სისტემა კოორდინატებისა 80,
82—85, 91, 93

ეკვოსფერო 215

ეკლიპტიკა 9, 121, 140, 142—145

ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი 144

ეკლიპტიკის პოლუსი 234

ეკლიპტიკური კოორდინატები 322, 342

ელექტრო-მაგნიტური გამოსხივების სპექტრი
214

ელონგაცია 96, 328

ენერჯის განტოლება 351, 352

ეპიციკლი 332, 333

ეპიციკლოდა 275

ეპოქა 344

ეროსი (მცირე ცთომილი) 257

ეროსის პარალაქსი 257

ეროსის პირისპირდგობა 257

ეფემერიდები 13, 344, 353

ეფემერიდული დრო 230, 231

ექსტრაპოლაცია 41

ზარსკვლავები 4, 5, 6, 11, 19

ვარსკვლავები ამოსულელი 92

ვარსკვლავები ჩაუსვლელი 92

ვარსკვლავთა ასტრონომია (სამეცნიერო დის-
ციპლინი) 14, 253

ვარსკვლავთა გროვები 5
 ვარსკვლავთა დინამიკა 14
 ვარსკვლავთა ევოლუცია 14
 ვარსკვლავთა კატალოგები 11, 83
 ვარსკვლავთა კოორდინატების განსაზღვრა 161, 162
 ვარსკვლავთა მანძილები 10, 254
 ვარსკვლავთა მოძრაობა 10, 24
 ვარსკვლავთა სისტემები 13, 14
 ვარსკვლავთმშობისეთი 8, 30, 211
 ვარსკვლავთმშობისეთის გაზი 22
 ვარსკვლავთმშობისეთის შტეერი 22, 30
 ვარსკვლავთმშობისეთული მატერია 4, 5, 11, 25
 ვარსკვლავი ანთებადი 26
 ვარსკვლავი არამდგრადი 5
 ვარსკვლავი ახალი 5, 24
 ვარსკვლავი ზეახალი 5, 24
 ვარსკვლავი ზეგიგანტი 24
 ვარსკვლავი ორჯერადი 5
 ვარსკვლავი პოლარული (პოლუსის) 64
 ვარსკვლავი ფეთქებადი 5
 ვარსკვლავი ცვალებადი 5, 24, 26, 159
 ვარსკვლავი ჭერადი 5, 13, 64
 ვარსკვლავი „გედის 61“ 240
 ვარსკვლავი „ვეგა“ („ჰენარის α (ალფა)“) 234, 240, 315
 ვარსკვლავი „ვოლფის 457“ 23, 24
 ვარსკვლავი „ვოლფის 1055“ 23
 ვარსკვლავი „ლომის α (ალფა)“ 319
 ვარსკვლავი „შეეტლის α (ფესილონი)“ 23
 ვარსკვლავი „შიცარი“ 64, 65
 ვარსკვლავი „ორიონის ბ (დელტა)“ 86
 ვარსკვლავი „პროქსიმა“ 23, 240
 ვარსკვლავი „რიგელი“ 22
 ვარსკვლავი „სირიუსი“ 22, 322
 ვარსკვლავი „ცენტავრის α (ალფა)“ 19, 23, 240
 ვარსკვლავი „ცეფეუსის VV“ 24
 ვარსკვლავის გავლის ფოტოეპქურული რეგისტრაცია 165
 ვარსკვლავის დაფარვა მთვარის მიერ 317—319
 ვენერა 6, 10, 16—18, 145, 286, 315, 319, 320, 328, 335, 349, 370
 ვერცხლისებრი (მეზოსფერული) ღრუბელი 215
 ვერძის წერტილი 81, 99, 100, 101, 122, 141, 237
 ზენიტი 51—53, 68
 ზენიტური მანძილი 74
 ზოლიაკო 141
 ზოლიაკური თანავარსკვლავედები 141, 142, 235
 შალესი მილეული 315
 თანავარსკვლავედები ზოლიაკური 141, 235

თანავარსკვლავედი 9, 55
 თანავარსკვლავედი „გელი“ 234
 თანავარსკვლავედი „დიდი დათვი“ 55, 63, 64, 72, 234
 თანავარსკვლავედი „ეერი“ 81, 235
 თანავარსკვლავედი „ფეხები“ 235
 თანავარსკვლავედი „ორიონი“ 22, 86, 234
 თანავარსკვლავედი „პატარა დათვი“ 64, 234
 თანავარსკვლავედი „სასწორი“ 122, 235
 თანავარსკვლავედი „ქალწული“ 235
 თანავარსკვლავედი „ცეფეუსი“ 234
 თანამგზავრი ცთომილისა 4, 5, 13, 18
 თარიღის გამოცეკის ხაზი 111
 თეთრი ღამე 187, 188
 თეოდოლიტი 76, 77

ინტერპოლაცია 40
 ინტერპოლაცია (ინტერპოლოზა შუაზე) 43
 ინტერპოლაცია (სტირლინგის ფორმულა) 42, 43
 იონოსფერო 214, 215
 ირმის ნახტომი (რძიანი გზა) 21
 იულიუსი (რომაელი კეისარი) 155
 იულიუსისეული დღეები 158, 159
 იუპიტერი 16—18, 24, 211, 227, 228, 315, 319, 335, 349, 354
 იუპიტერის თანამგზავრების დაბნელება 167
 იუპიტერის თანამგზავრების დაფარვა 319

კალენდარი 154, 157—160
 კალენდარი გრიგორიუსისეული (ახალი სტილი) 155, 156
 კალენდარი იულიუსისეული (ძველი სტილი) 155
 კალენდარი შზისმიერი 159, 160
 კალენდარი მთვარისმიერი 159
 კალენდარი მუსლიმანური (ჰიჯრა) 159
 კალენდარი ძველბაბილონური 160
 კალენდარი ძველბერაული 160
 კანტი 10
 კარტოგრაფია 167
 კეპლერი 10, 316
 კეპლერის კანონები 13, 346, 347, 348
 კვარტარტა 265, 329
 კვანძი (ორბიტისა) 277, 278, 344
 კილოპარსეკი 254

კლასიფიკაცია ცის სხეულებისა 4, 5
 კლიმატური სარტყელები 128, 138
 კოზირევი ნ. ა. 382
 კომაროვი ვ. (კოსმონავტი) 50
 კომეტა 4, 5, 13, 17
 კონტაქტები დაბნელების დროს 297
 კონფიგურაცია პლანეტებისა 331
 კოორდინატები გეოცენტრული 343
 კოორდინატები ტოპოცენტრული 252

კოორდინატები ჯეოლოცენტრული 343
კოორდინატთა გარდაქმნის ფორმულები 93—95
კოპერნიცი 10, 158, 233, 331, 334, 335
კოპერნიციული მოძღვრება 219, 238, 239, 240, 332, 333, 335
კორელაცია 45, 46
კოსინუსის ფორმულა 37
კოსმოგონია 14
კოსმოლოგია 8
კოსმონავიგაცია 13, 169
კოსმონავტიკა 13, 384
კოსმოსური გეოდეზია 208
კოსმოსური ტრიანგულაცია 203, 205
კრასოვსკი თ. ფ. 207
კრასოვსკიული ელემენტები (დედამიწის ფიგურის) 208
კრატერები მთვარეზე: „ალფონსი“, „არისტოტელი“, „არქიმედი“, „პლატონი“ 379
კუთხეზომი იარაღები 9
კუთხური მანძილები ცაზე 70—72
კულმინაცია 89
კულმინაციის მომენტი 89
ლაპლასი 10
ლიბრაცია 282—284
ლომონოსოვი მ. ვ. 10, 320, 335
„ლუნა-3“ 270
მაკსუტოვი დ. დ. 196
მანძილები მნათობებამდე 250, 251
მანძილები პლანეტებამდე 330
მარსი 16, 17, 255, 256, 316, 328—332, 346, 369, 370
მეგაპარსეი 254
მეორე კოსმოსური სიჩქარე 352
მერიდიანული წრე 163
მერკური 16—18, 25, 320, 328, 349, 354
მეტაგალაქტიკა 4, 20
მეტეორი 4, 5, 216
მეტეორიტი 17
მზე 4, 5, 8, 17—20, 22, 23, 258
მზებუდობა (მზედგომა) 123, 125, 138, 157
მზებუდობათა კოლური 123
მზისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან 315—317
მზის ამოვლა-ჩასვლის წერტილები პორიზონტზე 114, 115
მზის დაბნელება 8, 9, 12, 242, 285—302, 307—310
მზის დაბნელებათა სიხშირე 301, 302, 308
მზის ზემოქმედება 212, 213
მზის კორონა 8
მზის პარალაქსი 257
მზის საშუალოდრო სიმაღლე 116, 135

მზის სისტემა 4
მზის სისტემის წარმოშობის ჰიპოთეზები 10
მზის ხილული გადაადგილება ცაზე 114—121, 143
მთავრებილი „აპენინები“ მთვარეზე 379
მთვარე 4—6, 16, 18, 258, 259, 371, 372, 384
მთვარეზე ატმოსფერო 381, 382
მთვარის ალბედო 379, 380
მთვარის ბრუნვა 268—270
მთვარის დაბნელება 9, 12, 167, 302—310
მთვარის დაბნელებათა, სიხშირე 307, 308
მთვარის დაბნელებათა წინასწარგამოთვლა 312—314
მთვარის დღე-ღამე 361
მთვარის ზედაირი 373—376, 383
მთვარის მთის სიმაღლის გამოთვლა 377, 378
მთვარისმიერი დღე-ღამე 361
მთვარის მოძრაობა სივრცეში 261—263, 275, 277, 278
მთვარის მოძრაობის თეორია 356
მთვარის ორბიტის თვისებები 276—280
მთვარის პარალაქსი 318
მთვარის რადიოგამოსხივება 380
მთვარის სითბური გამოსხივება 380
მთვარის ტემპერატურა 380
მთვარის ფაზები 9, 261—263
მთვარის შემამოთხებელი (გრავეიტაციული) მოქმედება 355
მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე 260, 261
მიზიდულობის კანონი 337, 341
მიკრომეტრი კონტაქტიანი (ჟიპიროვნი) 164
მიკრომეტრი მარევისტრირებელი 164
მირაჟი 180, 181
მიქცევა-მოქცევა 13, 259, 357—364
მიქცევა-მოქცევა დედამიწის ატმოსფეროში 363
მიქცევა-მოქცევა დედამიწის წიაღში 362
მსოფლიო მიზიდულობის კანონი (თეორია) 10, 13, 25, 209, 230, 341, 350
მცირე პლანეტა (მცირე ცთომილი) 17, 256, 326

ნადირის წერტილი 52, 68
ნაკიანი წელიწადი 156
ნახევარჩრდილის არე (დაბნელებაში) 295
ნებტუნი 11, 16, 18
ნიუტონი 10, 208, 316
ნიუტონის კანონები 339, 340, 350
ნუტაცია 236—238, 245

ოზბერვატორია 9, 10, 12, 15, 97, 197—199
ოზბერვატორია აბასთუმნის ასტროფიზიკური 12, 196, 198
ოზბერვატორია ბიურაკანის ასტროფიზიკური 199

ობსერვატორია გრინვიჩის ასტრონომიული 10, 34, 107

ობსერვატორია პალომარის მთაზე 199

ობსერვატორია პულკოვოს ასტრონომიული 10, 198, 199, 202

ობსერვატორია უილსონის მთაზე 200

ობსერვატორია ყირიმის ასტროფიზიკური 195, 199

ობსერვატორია ჰამილტონისა (ლიკისა) 200

ოზონი 213, 215

ოპოზიცია (იხ. პირისპირდგომა)

ოპოლცერი თ. 316

ორბიტა 13

ორბიტის ელემენტები 343—345

პარალაქსი 248 — 253

პარალაქსი მარსისა 255, 256

პარალაქსი მზისა 255, 257

პარალაქსი მთვარისა 249, 251

პარალაქსური გადაადგილება 239, 246—248

პარალაქსური კუთხე 95

პარალაქსური სამუთხბელი 95

პარსეკი 254

პასატები 221

პერიგეუმი 276, 277

პერიპელიუმი 323, 344

პეტრუზბაციები 354

პირდაპირი აღელვა 81—83

პირდაპირი მოძრაობა 278

პირველი ვერტიკალი 67, 68

პირველი კოსმოსური სიჩქარე 365, 366

პირისპირდგომა 257, 265, 328, 329

პირისპირდგომა მარსისა 255

პირუკუ მოძრაობა 278

პლანეტა (ყოშილი) 4—6, 10, 13, 17, 18, 325, 336, 347, 348

პლანეტა გარე, ზედა, შიდა, ქვედა 327

პლანეტათშორისი ნივთიერება 4

პლანეტების კონფიგურაცია 331

პლანეტების მოძრაობის თეორია 9

პლანეტების მოძრაობის საერთო თვისებები 342

პლანეტის გავლა მზის დისკოზე 320, 321

პლანეტის დაფარვა მთვარის მიერ 319

პლანეტის მასა 349

პლანეტოიდი 326

პლანეტური სისტემა 4

პლატონის წელიწადი 234

პლუტონი 16, 18

პოლარული დღე 126

პოლარული (პოლუსის) ვარსკვლავი 63, 64, 234

პოლარული მანძილი (კოორდინატი) 82

პოლარული დამე 126

პოლარული ციალი 215, 216

პოლარული წრე 127

პოლუსისაბლო ვარსკვლავი 96

პოლუსის სიმაღლე 87

პოლუსის წერტილი 237

პოპოვიჩი პ. რ. (კოსმონავტი) 276

პრეცესია 12, 233—235, 237, 238, 245, 278

პრეცესიის მუდმივა 237

პროტუბერანტი 18, 19, 26

პროქსიმა 23, 240

პტოლემეოსი 158, 333

პტოლემეოსისეული მოძღვრება (სისტემა) 219, 238, 335

რადიოასტრონომია 14, 196

რადიოტელესკოპი 6, 11, 12, 15, 196, 197

რეგრესია ორბიტის ევანძისა 278

რეფლექტორი 195, 199

რეფრაქტორი 195

რეფრაქცია 12, 173—178

რეფრაქციის მუდმივა 177

საათი 161, 162, 229

საათის სვლა 162

საათის შესწორება 162, 166

საათის წრე 80

საათ-კუთხე 90, 91, 99

საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირი 12

სავსეშთვარება 261, 263

სამყაროს აგებულების სისტემა 9

სამყაროს ბრუნვის ღერძი 61, 68

სამყაროს პოლუსები 61, 68

სამასაჟო ინსტრუმენტი 164, 165

საროსი 290—292

სატურნი 16, 17, 18

სიღერული თვე 260, 267, 274, 278

სიღერული პერიოდი 337

სიზიგიები 265

სიმაღლე (ასტრონომიული კოორდინატი) 73, 75

სიმძიმის ძალის ცვლილებანი დედამიწის ზედა-

პირზე 208

სინათლის წელი 4, 20, 28

სინოდური თვე 261, 266, 267, 274, 277, 291

სინოდური მოძრაობის განტოლება 274

სინოდური პერიოდი 336, 337

სინუსების ფორმულა 38

სიჩქარე კუთხური 345

სიჩქარე პარაბოლური 351

სიჩქარე ფართითი 345

სიჩქარე წრფივი 345

სოზიგენი (ეგვიპტელი ასტრონომი) 155

სპექტრი მნათობისა 14

სპექტროგრაფი 198

სპექტრული ანალიზი 11, 14, 26

სტრატოგეოგრაფია 215
სტრუქტურა 10, 240
სფერული კუთხე 32
სფერული საკუთხედი 32, 35
სფერული ტრიგონომეტრია 35
სფერული ტრიგონომეტრიის პირველი ძირითადი ფორმულა 37
სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულები 35—39

ტელესკოპი 4, 6, 10—12, 20, 85, 86, 190, 193—196, 199

ტელესკოპი ლინზა-სარკოვანი 195
ტელესკოპი მაქსუტოვისეული (მენისკური) 196
ტელესკოპი შმიდტისეული 195
ტელესკოპის გამაღიდებლობა 194
ტელესკოპის გარჩევის უნარი 193
ტელესკოპის ობიექტური ღერძი 192
ტელესკოპის შეღწევის უნარი 193
ტელესკოპის ფოკუსი 191, 192
ტელესკოპის ფოკუსის მანძილი 191
ტემპერატურული სკალა 29, 30
ტერმინატორი 271, 272
ტიტანი (სატურნის თანამგზავრი) 382
ტრიანგულაცია 202
ტრიანგულაცია კოსმოსური 203, 205
ტროიკი 127, 128
ტროპოსფერო 215

უნივერსალური ინსტრუმენტი 76, 77, 86
ურანი 16, 18, 349
უწყონადობა 366

ფარდობითობის თეორია 825
ფეოდოროვი ე. კ. 209
ფეოქსისტოვი კ. პ. (კოსმონავტი) 50
ფერფლისფერი სინათლე 272, 273
ფოტოგრაფია 11
ფოტოგრაფიული პატრული 204
ფოტოელექტრული რეგისტრაცია 165

ძანქარა 223—227
ქრონოგრაფი 164
ქრონოლოგია 158
ქრონომეტრი 164

შეერთება მთვარისა მზესთან 264
შეერთება პლანეტისა მზესთან 328
შეშფოთება გრავიტაციული 260, 263, 280, 354, 355

შეშფოთებათა თეორია 350, 353, 356
შუადღის ხაზი 66, 68

ჩრდილის სიგრძე შუადღისას 129

მა 47, 48, 55

კამბეკვალის ილუზორული შებრტყელება 179, 180

ცდომილება ალბათი 45
ცდომილება დამზერის 43
ცდომილება საშუალო 44
ცდომილება საშუალო კვადრატული 44
ცდომილება სისტემატური 43
ცდომილება შემთხვევითი 43
ცენტრის განტოლება 326
ცთომილი (იხ. პლანეტა)
ციკლონი 221
ციმციმი 183
ცისარტყელა 181, 182
ცის ეკვატორი 61, 68
ცის მერიდიანი 67, 68
ცის მექანიკა 13, 14, 280, 290, 356
ცის სფერო 31, 32, 48, 69
ცის სხეულების წარმოშობა-განვითარება 11
ცის ფერი 183, 184

ძაფბადე (ძაფჯვარი) 163, 165
ძველი მთვარე 265

წელთაღრიცხვა 154
წელთაღრიცხვა ძველი და ახალი 158
წელიწადი ნაკიანი 155—157
წელიწადის დრონი (სეზონები) 134—137, 238
წელიწადი ტროპიკული 28, 147, 148, 154, 156
„წვიმების ზღვა“ (მთვარეზე) 379

ხელოვნური კოსმოსური სხეულები 11—13, 15

ჯავახიშვილი ი. 315

ჭალეი 10
პალო 181
პელიომეტრი 258
პელიოფიზიკა 14
პელიოცენტრული კოორდინატები 343
პელიოცენტრული მოძღვრება 332—335
პენდერსონი თ. 10, 240
პიპარქი 158, 235, 316
პორიზონტი 47, 50—53
პორიზონტის დაწვევა 50, 51
პორიზონტის სიშორე 48—50
პორიზონტული კოორდინატების სისტემა 74, 75, 78—80, 93

შ ი ნ ა პ რ ს ი

წინასიტყვაობა	III
შესავალი	3
ასტრონომიის საგანი (3). ცის სხეულების კლასიფიკაცია (4). ასტრონომიული კვლევის მეთოდები (5). ასტრონომია და ცხოვრება (6). ასტრონომიის ისტორია სულ მოკლედ (9). ასტრონომიის დაყოფა დარგებად (12). ასტრონომიის კავშირი სხვა მეცნიერებებთან (15). სამყაროს ზოგადი მიმოხილვა (15).	
წინასწარი და დამხმარე ცნობები	27
დიდი და მცირე რიცხვების ჩაწერის შესახებ (27). ძირითადი ერთეულები (28). სფეროს გეომეტრია (31). დედამიწის სფერო (33). სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულები (35). ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია (40). დამზერის ცდომილებათა შესახებ (43). კორელაციის შესახებ (45).	
ცა. ცის სფერო. მთავარი წერტილები და წრეწირები ცის სფეროზე	47
პორიზონტი (47). ცა. ცის სფერო (48). პორიზონტის სიშორე (48). პორიზონტის დაწვევა (50). ზენიტი (51). მნათობების ამოსვლა-ჩასვლა და ხილული მოძრაობა ცაზე (53). სამყაროს ბრუნვის ღერძი. სამყაროს პოლუსები. ცის ეკვატორი (59). პოლუსის ვარსკვლავი (63). დღელამური პარალელი (65). შუადღის ხაზი (66). ცის მერიდიანი (66). პირველი ვერტიკალი (67).	
ასტრონომიული კოორდინატები	69
დამკვირვებელი და ცის სფერო (69). ხილული კუთხური მანძილები (70). პორიზონტული კოორდინატები. სიმაღლე და აზიმუტი. ზენიტური მანძილი (72). პორიზონტული კოორდინატების განსაზღვრა კუთხზომი იარაღით (75). უნივერსალური ინსტრუმენტი და თეოდოლიტი (76). პორიზონტულ კოორდინატთა სისტემის თავისებურება (78). ეკვატორული კოორდინატები. დახრილობა და პირდაპირი ადგილენა (80). ეკვატორიალი (84). ჩრდილოეთ პოლუსის წერტილის სიმაღლე პორიზონტიდან და დამკვირვებლის ადგილის განედი (87). მნათობის დახრილობის განსაზღვრა ერთ კერძო შემთხვევაში. ადგილის გეოგრაფიული განვლის განსაზღვრა (88). მნათობის კულმინაცია (89). საათ-კუთხე (90). ჩასუსვლელი და ამოსუსვლელი ვარსკვლავები (92). დამოკიდებულება პორიზონტულ და ეკვატორულ კოორდინატთა შორის (93). პარალაქსური სამკუთხედი. პარალაქსური კუთხე (95). პოლუსისაბლო ვარსკვლავის დვარცხია (96).	
დროის გაზომვა	97
ვარსკვლავთმზიერი და მზისმზიერი დღე-ღამე (97). ვარსკვლავთმზიერი დრო (99). მზისმზიერი დრო (101). დროის განტოლება (102). დროის გაზომვის პრიზმები (104). ადგილობრივი დრო (105). მსოფლიო დრო (107). ზოლური დრო (108). თარიღის გამოცეცის ხაზი (111). დეკრეტული დრო (112).	
მზის ხილული წლიური გადაადგილება ცაზე ვარსკვლავებს შორის	114
მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილების გადაადგილება პორიზონტზე წლის განმავლობაში (114). დღისა და ღამის ხანგრძლივობის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში (115). მზის საშუალოდ სიმაღლის ცვალებადობა წელიწადის განმავლობაში (116). მზის გადაადგილება ცაზე, ვარსკვლავების ფონზე (117). ეკლაპტიკა (121).	

გაზაფხულისა და შემოდგომის დღეღამტოლობის წერტილები (122). ზაფხულისა და ზამთრის მხებედობის წერტილები (123). მზის პირდაპირი აღვლენისა და დახრილობის ცვლილება წელიწადის განმავლობაში (123). პოლარული დღე და პოლარული ღამე (125). პოლარული წრეები და ტროპიკები დედამიწის ზედაპირზე (126). ჩრდილის სიგრძე შეადლისას (128). დღისა და საღამოს ხანგრძლივობათა შესახებ (129).

დედამიწის სრბოლა-მზის-გარშემო

დედამიწის წლიური გზა მზის გარშემო (131). დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრა ეკლიპტიკისადმი (132). წელიწადის დრონი (სეზონები) (134). მზის თანმიმდევრული მდებარეობანი ეკლიპტიკაზე. ზოლიაქოს თანავარსკვლავედები (139). ეკლიპტიკის ეკვატორისადმი დახრის განსაზღვრა მზის საშუალოდღეო სიმაღლეზე დაკვირვების საფუძველზე (143). ეკლიპტიკის დახრა პორიზონტისადმი (144).

წელთაღრიცხვა. კალენდარი

ისტორიული წელიწადი (147). დამოკიდებულება საშუალო მზისმიერ დროსა და ვარსკვლავთმეორ დროს შორის (148). დროის სხვადასხვა ანგარიშის ურთიერთმედარება (152). წელთაღრიცხვა. კალენდარი (154). იულიუსისეული კალენდარი (ძველი სტილი) (155). გრიგორიუსისეული კალენდარი (ახალი სტილი) (155). კალენდართან დაკავშირებული სხვა საკითხები (157).

პრაქტიკული ასტრონომიის ელემენტები

პრაქტიკული ასტრონომია (161). მნათობის კოორდინატების განსაზღვრა მერიდიანში დაკვირვებით. საათი (161). მერიდიანული წრე (163). საპასაყო ინსტრუმენტი (164). ადგილის განედის განსაზღვრა (165). ადგილის გრძედის განსაზღვრა (166). ასტრონომიის გამოყენება გეოდეზია-კარტოგრაფიაში, ზღვაოსნობაში, თეთმფრინავემძოლობასა და კოსმონავიგაციაში (167). მნათობის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტების გამოთვლა (169). დროის შუალედის განსაზღვრა, რომლის განმავლობაში ბაღროიანი მნათობი ვადის მერიდიანს (171). ასტრონომიული რეფრაქცია (172). ცამრგვალის ილუზორული შებრტყელება (178). მირაჟი. პალა. ცის სარტყელა (180). ვარსკვლავთ ციმციმი (183). ცის ფერი. ბინდის. ბინდის სინათლე (183). ტელესკოპი (189). რადიოტელესკოპი (196). ასტრონომიული ობსერვატორიები (197).

დედამიწა როგორც კოსმოსური სხეული

დედამიწის რადიუსის გაზომვა. ტრიანგულაცია (201). კოსმოსური ტრიანგულაცია (203). დედამიწის კემსპირიტი ფიგურა. მისი სიდიდე და შეკუმშულობა (205). სიმძიმის ძალის ცვლილება დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ (208). დედამიწის მასა და სიმკვრივე (209). დედამიწის შინაგანი აგებულება (210). დედამიწის ატმოსფერო (212). დედამიწის მოძრაობები (218). დედამიწის ბრუნვა და მისი დამამტკიცებელი მოვლენები (218). დედამიწის ხანგრძლივობის ცვლილებანი (228). ეფემერიდული დრო (230). განედის ვარიაციები. დედამიწის პოლუსების გადასაცვლება (231). პრეცესია და ნუტაცია (232). დედამიწის წლიური მოქცევა მზის გარშემო (დედამიწის ორბიტული გარემოქცევა) და მისი დამამტკიცებელი ფაქტები (238). სხივის აბერაციული გადაადგილების კანონზომიერებანი (243). წლიური და დედამიწური აბერაცია (247). წლიური და დედამიწური პარალაქსი (247). დამოკიდებულება მნათობის პარალაქსსა და მანძილს შორის (251). მნათობის პარალაქსის განსაზღვრა დაკვირვებიდან (252). ვარსკვლავთა მანძილები (254). მზის პარალაქსის განსაზღვრა (255). დისკოიანი მნათობის სიდიდის განსაზღვრა (257).

მთვარის ხილული და კემსპირიტი მოძრაობა

მთვარის ხილული გადაადგილება ცაზე. მთვარის სიღერული თვე (259). მთვარის ფაზები. მთვარის სინოდური თვე (261). მთვარის მოძრაობა სივრცეში. მისი ხილული მოძრაობისა და ფაზების ახსნა (261). მთვარის ბრუნვა ღერძის ირგვლივ (268). ტერმინატორი. ფერფლისფერი სინათლე (271). დამოკიდებულება მთვარის სიღერულსა და სინოდურ თვეთა შორის (274). მთვარის გზა საპლანეტოშორისო სივრცეში (274). მთვარის ორბიტის თვისებები და ცვლილებები. მთვარის დრაკონული თვე (276). ცაზე მთვარის ხილვადობის ზოგი თავისებურების ახსნა (280). მთვარის ლობრაცია (282).

131

147

161

201

259

მზისა და მთვარის დაბნელება

285.

მზის დაბნელება (285). მზის დაბნელების გამომწვევი მიზეზები (286). საროსი (290). მზის დაბნელების ვითარება (292). მზის დაბნელებათა სისშირე (299). მთვარის დაბნელება და მისი ვითარება (302). რა პირობებში ხდება მთვარის დაბნელება (305). მზისა და მთვარის დაბნელებათა ზოგადი დახასიათება. მათი წინასწარგამოთვლა (307). მთვარის დაბნელების წინასწარგამოთვლა (311). ცოტა რამ მზისა და მთვარის დაბნელებათა ისტორიიდან (315). მთვარის მიერ ვარსკვლავის დაფარვა (317). მეტეორისა და ენერჯის გავლა მზის ღისკოზე (320).

ღედამიწისა და სხვა ცთომილების მოძრაობა მზის ვარშემო

322

ღედამიწის ორბიტა (322). პლანეტები და მათი ბილული მოძრაობა (326). სამყაროს გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემა (332). პლანეტთა ორბიტების დახრა ეკლიპტიკისადმი (336). დამოკიდებულება პლანეტების გარემოქცევის სინოდურ და სიდერულ პერიოდებს შორის (336). მიზიდულობის კანონი (337). მზის სისტემის ცთომილების მოძრაობის საერთო მახასიათებელი (342). ეკლიპტიკური კოორდინატების სისტემის შესახებ (342). პლანეტთა ორბიტის ელემენტები (343). მოძრაობის ეპლურისეული კანონები (346). ეპლურის შესაშვ კანონის ზოგადი სახე (348). პლანეტების მასის გამოთვლა (349). მიზიდულობის თეორიასთან დაკავშირებული სხვა საკითხები (350). ზღვაოკეანეში წყლის მიქცევა-მოქცევის მოვლენა (357). ღედამიწის ზელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის შესახებ (364).

მთვარე

371

მანძილი მთვარემდე (371). მთვარის სიდიდე (371). მთვარის მასა. მიზიდულობის ძალის სიდიდე მთვარის ზედამირზე (372). მთვარის სიმკვრივე (376). მთვარის ზედამირის აღწერა (376). მთვარის ალბედო. სითბური და რადიოგამოსხივება (379). ტემპერატურა მთვარეზე (380). მთვარე მოკლებულია ატმოსფეროს (381). მთვარის ზედამირულ წარმონაქმნთა ბუნება (383). კოსმოსური სივრცის მეცნიერული ათვისება და მთვარე (384).

პირთა და საგანთა საქიბელი

385.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	1
Введение	3
Предмет астрономии (3). Классификация небесных тел (4). Методы астрономических исследований (5). Астрономия и жизнь (6). История астрономии в самом сжатом изложении (9). Деление астрономии на отдельные дисциплины (12). Связь астрономии с другими науками (15). Общее описание Вселенной (15).	
Предварительные и вспомогательные сведения	27
О записи больших и малых чисел (27). Основные единицы (28). Геометрия сферы (31). Земной шар (33). Основные формулы сферической тригонометрии (35). Интерполяция и экстраполяция (40). Об ошибках наблюдений (43). О корреляции (45).	
Небо. Небесная сфера. Основные точки и окружности на небесной сфере	47
Горизонт (47). Небо. Небесная сфера (48). Дальность горизонта (48). Понижение горизонта (50). Зенит (51). Восход и заход светил и их видимое движение по небосводу (53). Ось мира. Полюсы мира. Небесный экватор (59). Полярная звезда (63). Суточная параллель (65). Полуденная линия (66). Небесный меридиан (66). Первый вертикал (67).	
Астрономические координаты	69
Наблюдатель и небесная сфера (69). Видимые угловые расстояния (70). Горизонтальные координаты. Высота и азимут (72). Измерение горизонтальных координат с помощью угломерных инструментов (75). Универсальный инструмент и теодолит (76). Особенность горизонтальной системы координат (78). Экваториальные координаты. Склонение и прямое восхождение (80). Экваториал (84). Высота точки полюса над горизонтом и широта места наблюдателя (87). Определение склонения светила в одном частном случае. Определение географической широты места (88). Кульминация светила (89). Часовой угол (90). Незаходящие и невосходящие звезды (92). Связь между горизонтальными и экваториальными координатами (93). Параллактический треугольник. Параллактический угол (95). Дигрессия околополярной звезды (96).	
Исчисление времени	97
Звездные и солнечные сутки (97). Звездное время (99). Солнечное время (101). Уравнение времени (102). Проблема счисления времени (104). Местное время (105). Мировое время (107). Поясное время (108). Линия изменения даты (111). Декретное время (112).	
Видимое годовое перемещение Солнца на звездном небе	114
Смещение точек восхода и захода Солнца на горизонте в течение года (114). Изменение продолжительности дня и ночи в течение года (115). Изменение полуденной высоты Солнца в течение года (116). Перемещение	

- Солнца по небу на фоне звезд (117). Эклиптика (121). Точки весеннего и осеннего равноденствий (122). Точки летнего и зимнего солнцестояний (123). Изменения прямого восхождения и склонения Солнца в течение года (123). Полярный день и полярная ночь (125). Полярные круги и тропики на поверхности Земли (126). Длина полуденной тени (128). О продолжительности утра и вечера (129).
- Обращение Земли вокруг Солнца** 131
- Годовой путь Земли вокруг Солнца (131). Наклон оси вращения Земли к эклиптике (132). Времена года (сезоны) (134). Последовательные положения Солнца на эклиптике. Зодиакальные созвездия (139). Определение наклона эклиптики к экватору на основании наблюдений высоты Солнца (143). Наклон эклиптики к горизонту (144).
- Времяисчисление. Календарь** 147
- Тропический год (147). Зависимость между средним солнечным и звездным временем (148). Сравнение между собой различных систем времяисчисления (152). Времяисчисление. Календарь (154). Юлианский календарь (старый стиль) (155). Григорианский календарь (новый стиль) (155). Вопросы, связанные с календарем (157).
- Элементы практической астрономии** 161
- Практическая астрономия (161). Определение координат светил по наблюдениям в меридиане. Часы (161). Меридианный круг (163). Пассажный инструмент (164). Определение шпроты места (165). Определение долготы места (166). Применение астрономии в геодезии, картографии, кораблеводении, самолетовождении и в космонавтике (167). Вычисление моментов восхода и захода светила (169). Определение промежутка времени, в течение которого дискообразное светило проходит через меридиан (171). Астрономическая рефракция (172). Иллюзорная сплюснутость небосвода (178). Мираж. Гало. Радуга (180). Мерцание звезд (183). Цвет неба. Сумерки. Сумеречный свет (183). Телескоп (189). Радиотелескоп (196). Астрономические обсерватории (197).
- Земля как космическое тело** 201
- Измерение радиуса Земли. Триангуляция (201). Космическая триангуляция (203). Истинная фигура Земли. Ее величина и сжатие (205). Изменение силы тяжести по поверхности Земли (208). Масса и плотность Земли (209). Внутреннее строение Земли (210). Атмосфера Земли (212). Движения Земли (218). Вращение Земли и явления, доказывающие вращение (218). Изменения продолжительности суток (226). Эфемеридное время (230). Вариации широты; перемещение полюсов Земли (231). Прецессия и нутация (232). Годичное обращение Земли вокруг Солнца (орбитальное обращение Земли) и явления, доказывающие его (238). Закономерности аберрационного смещения луча (243). Годичная и суточная аберрации (247). Годичный и суточный параллакс (247). Связь между параллаксом и расстоянием светила (251). Определение параллакса светила из наблюдений (252). Расстояния до звезд (254). Определение параллакса Солнца (255). Определение размера дискообразных светил (257).
- Видимое и истинное движение Луны** 259
- Видимое перемещение Луны по небу. Сидерический месяц Луны (259). Фазы Луны. Синодический месяц Луны (261). Движение Луны в пространстве. Объяснение ее видимого движения и фаз (261). Вращение Луны вокруг ее оси (268). Терминатор. Пепельный свет (271). Связь между сидерическим и синодическим месяцем Луны (274). Путь Луны в межпланетном пространстве (274). Свойства и изменения орбиты Луны. Драконический месяц Луны (276). Объяснение некоторых особенностей условий видимости Луны на небе (280). Либрация Луны (282).

Затмения Солнца и Луны	285
Затмение Солнца (285). Причины, вызывающие затмение Солнца (286). Сарос (290). Течение солнечного затмения (292). Частота солнечных затмений (299). Лунное затмение и его течение (302). Условия, при которых происходит лунное затмение (305). Общая характеристика солнечных и лунных затмений. Их предвычисление (307). Предвычисление лунного затмения (311). Немного из истории солнечных и лунных затмений (315). Покрытия звезд Луной (317). Прохождение Меркурия и Венеры по диску Солнца (320).	
Движение Земли и планет вокруг Солнца	322
Орбита Земли (322). Планеты и их видимые движения (326). Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира (332). Наклон орбит планет к эклиптике (336). Зависимость между синодическим и сидерическим периодами обращения планет (336). Закон тяготения (337). Общие характеристики движения планет (342). Об эклиптической системе координат (342). Элементы планетных орбит (343). Кеплеровы законы движения (346). Общий вид третьего закона Кеплера (348). Вычисление массы планеты (349). Другие вопросы, связанные с теорией тяготения (350). Приливы и отливы воды в морях и океанах (357). О движении искусственных спутников Земли (364).	
Луна	371
Расстояние до Луны (371). Размеры Луны (371). Масса Луны. Сила притяжения на поверхности Луны (372). Плотность Луны (376). Описание поверхности Луны (376). Альbedo Луны. Тепловое и радиоизлучение Луны (379). Температура на Луне (380). Луна лишена атмосферы (381). Природа образований лунной поверхности (383). Научное освоение космического пространства и Луна (384).	
Именной и предметный указатель	385