

სტეფან ჰოუკინგი

1942

სტეფან უილიამ ჰოუკინგი თანამედროვეობის ერთ-ერთი ყველაზე გავლენიანი და ცნობილი კოსმოლოგი და თეორეტიკოსი ფიზიკოსია.

დაიბადა ინგლისის ქალაქ ოქსფორდში 1942 წლის 8 იანვარს (გალილეო გალილეის გარდაცვალების 300 წლისთავზე) ინტელექტუალურ ოჯახში. ჰოუკინგის მამა ექიმი იყო, დედა ლიბერალური პარტიის აქტივისტი. სანტ ალბანსის სკოლის დამთავრების შემდეგ სწავლა, მამის მსგავსად, ოქსფორდის საუნივერსიტეტო კოლეჯში განაგრძო. თუმცა, მამის სურვილის მიუხედავად და მისგან განსხვავებით, მედიცინის ნაცვლად, მათემატიკის შესწავლა გადაწყვიტა. რადგან საუნივერსიტეტო კოლეჯში მათემატიკური განათლების მიღება შეუძლებელი იყო, იგი ფიზიკით დაინტერესდა. სამი წლის შემდეგ მიიღო ბაკალავრის ხარისხი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში.

ამის შემდგომ, ვინაიდან ამ დროისთვის ოქსფორდში მსგავსი გამოკვლევებით არავინ იყო დაკავებული, ჰოუკინგი კოსმოლოგიის შესასწავლად კემბრიჯში გადავიდა.

კემბრიჯში მას ფილოსოფიის დოქტორის ხარისხი მიენიჭა და 1968 წელს მიიღო პროფესორის ადგილი კემბრიჯის ასტრონომიის ინსტიტუტში. 1973 წელს იგი გადავიდა კემბრიჯის უნივერსიტეტის გამოყენებითი მათემატიკისა და თეორიული ფიზიკის ფაკულტეტზე. 1979 წელს კი ლუკასის მათემატიკის პროფესორის პოსტი დაიკავა. ეს თანამდებობა კემბრიჯის უნივერსიტეტში 1669 წელს შემოიღო ღირსმა სერ ჰენრი ლუკასმა და 300 წლის წინ იგი სერ ისააკ ნიუტონს ეჭირა.

ფასდაუდებელია ჰოუკინგის კვლევები ფიზიკის, ასტრონომიისა და კოსმოლოგიის სფეროში. მისი სამეცნიერო მოღვაწეობა ძირითადად მიმართულია დიდი აფეთქების ფიზიკური საფუძვლების ახსნასა და შავი ხვრელების შიგნით სივრცისა და დროის მნიშვნელოვანი დეფორმაციის გამოკვლევისკენ. როჯერ პენროუბთან ერთად მან დაასკვნა, რომ აინ-



შტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორიის მიხედვით დრო და სივრცე შეიქმნა დიდი აფეთქების დროს. ამ შედეგებმა მოითხოვა ფარდობითობის თეორიისა და კვანტური მექანიკის სინთეზი. ჰოუკინგი იმედოვნებს, რომ ფიზიკის ამ ორი დიდი თეორიის გაერთიანებით შესაძლებელი იქნება განხორციელდეს XX საუკუნის ფიზიკოსთა მისწრაფება – შეიქმნას ბუნების ძალთა „დიდი გაერთიანების თეორია“.

სტეფან ჰოუკინგის პუბლიკაციებს შორის არის ცნობილი სამეცნიერო შრომები: „დროისა და სივრცის მსხვილმასშტაბური სტრუქტურა“, „ფარდობითობის ზოგადი თეორია: აინშტაინის 100 წლისთავისადმი მიძღვნილი მიმოხილვა“, „გრავიტაციის 300 წელი“. ხოლო მისი წიგნები: „დროის მოკლე ისტორია“, „შავი ხვრელები, ახალგაზრდა სამყარო“ და სხვა ნარკვევები ნამდვილ ბესტსელერებად იქცა.

პროფესორი ჰოუკინგი არის 12 საპატიო სამეცნიერო წოდების მფლობელი, მრავალი პრემიის, მათ შორის 1998 წლის ნობელის პრემიის ლაურეატი, მედლებისა და ორდენების კავალერი, დიდი ბრიტანეთის სამეფო სამეცნიერო საზოგადოებისა და ამერიკის შეერთებული შტატების მეცნიერებათა ნაციონალური აკადემიის წევრი.

ჰოუკინგს ჰყავს სამი შვილი და ერთი შვილიშვილი. დაქორწინებული იყო ორჯერ.

წარმატებული მეცნიერის ამ, ერთი შეხედვით, ჩვეულებრივ ბიოგრაფიას აკლია მნიშვნელობანი დეტალი: 21 წლის ასაკში მას ლუ გერინგის დაავადება ანუ გვერდითი ამიოტროფული სკლეროზი დაუდგინდა – მძიმე განუკურნებელი ნევროლოგიური დაავადება, რომელიც ნერვკუნთოვანი სისტემის დაზიანების გამო ადამიანს თანდათანობით უკარგავს მოძრაობის უნარს და მას სრულიად უმწეოს ხდის. კემბრიჯის უნივერსიტეტის 30 წლის ახალგაზრდა პროფესორი უკვე ინვალიდის სავარძელს იყო მიჯაჭვული.

1985 წლიდან მას დაკარგული აქვს მეტყველების უნარი, შეუძლია მხოლოდ მარჯვენა ხელის თითების მოძრაობა, რომლითაც იგი მართავს სპეციალურ კომპიუტერს. თანამედროვე ტექნიკის, კომპიუტერისა და სპეციალური ხმის სინთეზატორის დახმარებით პროფესორი ჰოუკინგი დღემდე აქტიურ სამეცნიერო მოღვაწეობას ეწევა: აქვეყნებს შრომებს, წერს საინტერესო წიგნებს, მოგზაურობს და კითხულობს საჯარო ლექციებს, რომლებზეც აკეთებს ფანტასტიურ პროგნოზებს კაცობრიობის მომავლისა და მეცნიერების განვითარების შესახებ.

ჰოუკინგი ამბობს: „ჩემი მიზანი მარტივია. სრულად შევიცნო სამყარო, რატომ არის ის ისეთი, როგორიც არის და რატომ არსებობს საერთოდ“.

დროის მოკლე ისტორია

დიდი აფეთქებიდან შავ ხვრელამდე

თავი პირველი

ჩვენი წარმოდგენა სამყაროს შესახებ

ერთხელ ერთი ცნობილი მეცნიერი (ზოგიერთი ამბობს, რომ ეს ბერტრან რასელი იყო) ატარებდა ლექციას ასტრონომიაში. იგი ყვებოდა, როგორ ბრუნავს დედამიწა მზის გარშემო და, თავის მხრივ, მზე – ჩვენი გალაქტიკის სახელით ცნობილ ვარსკვლავთა უზარმაზარი კრებულის ცენტრის გარშემო. ლექციის ბოლოს ოთახის ბოლოს მჯდარი პატარა მოხუცი ქალბატონი ადგა და თქვა:

– რასაც თქვენ ბრძანებთ სრული სისულელეა. სინამდვილეში, სამყარო ბრტყელი დისკია, რომელიც გიგანტური კუს ზურგზე დგას.

მეცნიერმა დამცინავად გაიღიმა და იკითხა:

– კუ რაღაზე დგას?

– თქვენ ძალიან ჭკვიანი ხართ, ახალგაზრდავ, ძალიან ჭკვიანი, – უპასუხა მოხუცმა ქალბატონმა, – მის ქვევით ბოლომდე სულ კუებია!

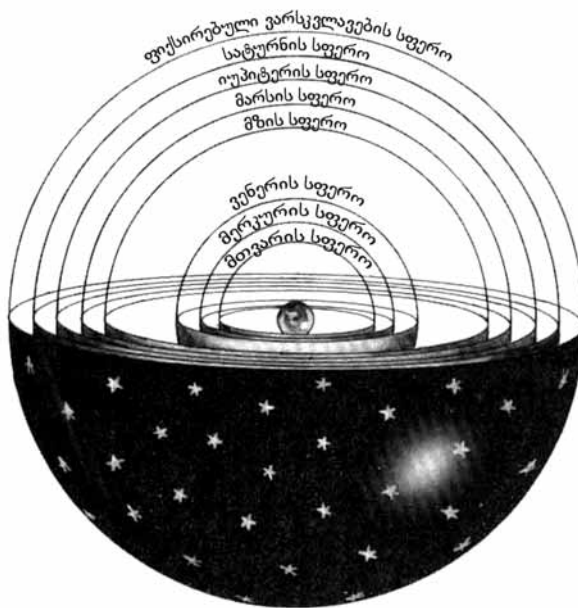
ადამიანთა უმრავლესობა ჩათვლის კუების უსასრულო კომეს სასაცილოდ, მაგრამ რატომ გვგონია, რომ ჩვენ ამაზე უფრო მეტი ვიცით? რა ვიცით სამყაროს შესახებ და როგორ ვიცით ეს? საიდან მოვიდა სამყარო და სად მიდის იგი? აქვს სამყაროს დასაწყისი და, თუ ასეა, რა მოხდა იქამდე? როგორია დროის ბუნება? დასრულდება იგი როდესმე? თანამედროვე გარღვევა ფიზიკაში ფანტასტიკური ახალი ტექნოლოგიების ხარჯზე შესაძლებელს ხდის, მოვიფიქროთ პასუხები ზოგიერთ ზემოდასმულ საკითხზე. დროის რაღაც პერიოდში ეს პასუხები შეიძლება ჭეშმარიტად მოგვეჩვენოს, როგორც დედამიწის ბრუნვა მზის გარშემო, ან სასაცილოდ, როგორც კუების კომედი. მხოლოდ დრო (რაც არ უნდა იყოს იგი) გასცემს პასუხს ამ კითხვებს.

ჯერ კიდევ ძველი წელთაღრიცხვით 340 წელს ბერძენმა ფილოსოფოსმა არისტოტელემ თავის წიგნში „ზეცაზე“, შეძლო წამოეყენებინა ორი კარგი არგუმენტი იმის დასამტკიცებლად, რომ დედამიწა მრგვალი სფეროა და არა ბრტყელი დისკი. ჯერ ერთი, მან გააცნო-

ბიერა, რომ მთვარის დაბნელება გამოწვეულია დედამიწის გავლით მზესა და მთვარეს შორის. დედამიწის ჩრდილი მთვარეზე ყოველთვის მრგვალია, რაც მართალია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დედამიწა სფერულია. დედამიწა ბრტყელი დისკი რომ იყოს, მისი ჩრდილი წაგრძელებული და ელიფსური იქნებოდა, იმ შემთხვევების გარდა, თუ დაბნელება მხოლოდ იმ დროს მოხდებოდა, როდესაც მზე ზუსტად დისკის ცენტრის ზევით მოექცეოდა. მეორე, ბერძნებმა თავისი მეზღვაურებისგან იცოდნენ, რომ პოლარული ვარსკვლავი უფრო დაბლა ჩანს სამხრეთში, ვიდრე ჩრდილოეთში (რადგან პოლარული ვარსკვლავი ჩრდილოეთ პოლუსის თავზე მდებარეობს, პოლუსზე იგი ზუსტად დამკვირვებლის თავზე უნდა იყოს, ხოლო იმათთვის, ვინც ეკვატორზეა, ვარსკვლავი ჰორიზონტზე უნდა გამოჩნდეს). ეგვიპტეში და საბერძნეთში პოლარული ვარსკვლავის მდებარეობის განსხვავების დახმარებით არისტოტელემ გამოთვალა, რომ მანძილი დედამიწის გარშემო შეადგენს 400 000 სტადიას. დღეს არ ვიცით, რა სიგრძისაა სტადია, მაგრამ ის დაახლოებით 200 იარდი უნდა იყოს, რაც არისტოტელეს შეფასებისათვის თანამედროვე რიცხვთან შედარებით ორჯერ უფრო დიდ რიცხვს იძლევა. ბერძნებს მესამე არგუმენტიც ჰქონდათ იმისა, რომ მიწა მრგვალია: პირველად, ნაპირისკენ მომავალი გემის აფრა გამოჩნდება ხოლმე და შემდეგ გემის კორპუსი.

არისტოტელე ფიქრობდა, რომ მიწა უძრავია და მზე, მთვარე, პლანეტები და ვარსკვლავები წრიულად მოძრაობენ მის გარშემო. მას ამისი სჯეროდა მისტიკური მოსაზრებიდან, რომლის მიხედვით დედამიწა სამყაროს ცენტრია, ხოლო წრიული მოძრაობა ყველაზე სრულყოფილია. ეს იდეა ჩვენს წელთაღრიცხვამდე მეორე საუკუნეში პტოლემემ გადაამუშავა სრულ კოსმოლოგიურ მოდელში. მოდელის მიხედვით დედამიწა იმყოფება ცენტრში, გარემოცული რვა სფეროთი, რომელთაც გადააქვთ მთვარე, მზე, ვარსკვლავები და იმ დროს ცნობილი ხუთი პლანეტა მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი (ნახ. 1.1). პლანეტები, თავის მხრივ, მოძრაობენ მათ შესაბამის სფეროებთან დაკავშირებულ მცირე წრეებზე, რაც საჭირო იყო მათი ცაზე საკმაოდ დახლართული მოძრაობის აღსაწერად. გარე სფეროზე განლაგებულია ე. წ. ფიქსირებული ვარსკვლავები, რომლებიც ყოველთვის ერთსა და იმავე პოზიციაში იმყოფებიან ერთმანეთის მიმართ, მაგრამ მერვე სფეროსთან ერთად ბრუნავენ დედამიწის გარშემო. არავინ ლაპარაკობდა იმაზე, რა იყო ამ სფეროს გარეთ,

მაგრამ, ცხადია, ეს არ იყო სამყაროს ის ნაწილი, რომელსაც ადამიანი აკვირდებოდა.



ნახ. 1.1

პტოლემეს მოდელი წარმოადგენს ციური სხეულების ადგილმდებარეობის წინასწამეტყველებისათვის შექმნილ რაციონალურ, ზუსტ სისტემას. ამ მდებარეობების ზუსტი განსაზღვრისათვის პტოლემეს მოუხდა იმის დაშვება, რომ ზოგჯერ მთვარის ტრაექტორიაზე მოძრაობისას იგი ორჯერ უფრო ახლო მანძილზე უახლოვდება დედამიწას, ვიდრე სხვა შემთხვევაში. ეს კი ნიშნავს, რომ მთვარე ზოგჯერ უფრო დიდი უნდა ჩანდეს, ვიდრე სხვა დროს! პტოლემემ იცოდა ეს ნაკლი, მაგრამ, ამისდა მიუხედავად, მისი მოდელი იყო ზოგადად, მაგრამ არა საყოველთაოდ, მიღებული. იგი აღიარებული იყო ქრისტიანული ეკლესიის მიერ, როგორც ბიბლიასთან შესაბამისი სამყაროს სურათი, რადგან მასში საკმაო ადგილი რჩებოდა ბოლო სფეროს გარეთ სამოთხისა და ჯოჯოხეთისათვის.

უფრო მარტივი მოდელი 1514 წელს შემოიღო პოლონელმა მღვდელმა ნიკოლას კოპერნიკმა (თავდაპირველად, იმის შიშით, რომ მწვალებლად არ გამოეცხადათ, კოპერნიკმა თავისი მოდელი ანონი-

მურად გაავრცელა). მისი იდეით უძრავი მზე მოთავსებულია ცენტრში და დედამიწა და პლანეტები მოძრაობენ წრიულ ორბიტებზე მზის გარშემო. დაახლოებით ერთი საუკუნე გახდა საჭირო, სანამ ამ იდეას სერიოზულად მიიღებდნენ. ეს მაშინ მოხდა, როცა ორმა ასტრონომმა: გერმანელმა იოჰანეს კეპლერმა და იტალიელმა გალილეო გალილემ დაიწყეს კოპერნიკის თეორიის სახალხო მხარდაჭერა, მიუხედავად იმისა, რომ თეორიით განსაზღვრული ორბიტები მაინცდამაინც არ ემთხვეოდნენ დაკვირვებულ ორბიტებს. სასიკვდილო დარტყმა არისტოტელე/პტოლემეს თეორიაზე 1609 წელს განხორციელდა. სწორედ ამ წელს დაიწყო გალილემ ღამის ცაზე ტელესკოპით დაკვირვება, რომელიც ახლად გამოგონილი იყო. როდესაც ტელესკოპით პლანეტა იუპიტერს აკვირდებოდა, გალილემ აღმოაჩინა, რომ პლანეტის გარშემო ბრუნავს რამდენიმე პატარა თანამგზავრი ან მთვარე. ეს ნიშნავდა, რომ ყველაფერი არ ბრუნავს დედამიწის გარშემო, როგორც ამას არისტოტელე და პტოლემე ფიქრობდნენ (ცხადია, ახლაც შეიძლება გჯეროდეს, რომ უძრავი დედამიწა მოთავსებულია ცენტრში და იუპიტერის მთვარეები მოძრაობენ ისეთ ურთულეს ორბიტებზე დედამიწის გარშემო, რომ იქმნება შთაბეჭდილება, თითქოს იუპიტერის გარშემო მოძრაობენ. რა თქმა უნდა, კოპერნიკის თეორია გაცილებით მარტივია). ამავე დროს იოჰანეს კეპლერმა გააუმჯობესა კოპერნიკის თეორია. მან ჩათვალა, რომ პლანეტები წრიულ ორბიტებზე კი არ მოძრაობენ, არამედ ელიფსურზე (ელიფსი წაგრძელებული წრეა). ამ მოსაზრებამ საბოლოოდ დააკმაყოფილა დაკვირვების შედეგები.

კეპლერს მიაჩნდა, რომ ელიფსური ორბიტები მხოლოდ მოხერხებული ჰიპოთეზაა და ამასთან საკმაოდ წინააღმდეგობრივი, რადგან ელიფსები, ცხადია, ნაკლებად სრულყოფილია წრეებთან შედარებით. მისთვის მოულოდნელი აღმოჩენა, რომ ელიფსური ორბიტები აკმაყოფილებენ დაკვირვების შედეგებს, კეპლერმა ვერ შეუთავსა თავის იდეას პლანეტების მზის გარშემო მაგნიტური ძალის გავლენით ბრუნვის შესახებ. ნათელი ამ საკითხს მოეფინა უფრო გვიან, 1687 წელს, როდესაც სერ ისააკ ნიუტონმა გამოაქვეყნა თავისი *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (ნატურფილოსოფიის მათემატიკური პრინციპები), ალბათ ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაშრომი ფიზიკაში ოდესმე გამოქვეყნებული შრომებიდან. მასში ნიუტონმა არა მარტო შექმნა თეორია იმის შესახებ, როგორ მოძრაობენ სხეულები სივრ-

ცესა და დროში, არამედ გამოიგონა ამ მოძრაობის ანალიზისათვის საჭირო რთული მათემატიკა. დამატებით ნიუტონმა ჩამოაყალიბა უნივერსალური გრავიტაციის კანონი, რომლის მიხედვითაც ყოველი სხეული სამყაროში იზიდავს თავისკენ ყველა სხვა სხეულს და ეს მიზიდვა მით უფრო ძლიერია, რაც უფრო მასიურია სხეული და რაც უფრო ახლოს არის ეს სხეულები ერთმანეთთან. ეს იგივე ძალაა, რომელიც აიძულებს სხეულებს დაეცნენ დედამიწაზე (თითქმის დაბეჭდებით შეიძლება ითქვას, რომ ამბავი იმის შესახებ, თითქმის ნიუტონი ამ აღმოჩენამდე მიიყვანა ვაშლმა, რომელიც თავზე დაეცა. თვით ნიუტონი წერდა, რომ იდეა გრავიტაციის შესახებ მაშინ მოუვიდა აზრად, როდესაც „ჩაფიქრებული იჯდა“ და „დაინახა, როგორ ჩამოვარდა ვაშლი“). ნიუტონი უფრო შორს წავიდა და აჩვენა, რომ მისი თეორიის შესაბამისად გრავიტაცია აიძულებს მთვარეს, იმოძრაოს ელიფსურ ორბიტაზე დედამიწის გარშემო და აიძულებს დედამიწასა და პლანეტებს იმოძრაონ ელიფსურ ორბიტებზე მზის გარშემო.

კოპერნიკის მოდელმა ბოლო მოუღო პტოლემეს ციურ სფეროებს და, მათთან ერთად, იდეას, რომ სამყაროს აქვს ბუნებრივი საზღვარი. რადგან „ფიქსირებული ვარსკვლავები“ არ იცვლიან თავის ურთიერთმდებარეობას და მხოლოდ ბრუნავენ დედამიწის ირგვლივ, რაც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით თავისი ღერძის გარშემო, ბუნებრივია ჩავთვალოთ, რომ ფიქსირებული ვარსკვლავები მზის მაგვარი ობიექტებია – უზარმაზარი მანძილებით დაშორებული ჩვენგან.

ნიუტონმა გააცნობიერა, რომ მისი თეორიის შესაბამისად ვარსკვლავებმა უნდა მიიზიდონ ერთმანეთი, ამიტომ ისინი არ უნდა იყვნენ უძრავი. ხომ არ ვარდებიან ყველანი ერთ წერტილში? 1691 წელს იმ დროის კიდევ ერთი წამყვანი მოაზროვნის რიჩარდ რენტლისადმი მიწერილ წერილში ნიუტონი ამტკიცებდა, რომ ეს შეიძლება მოხდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არსებობს სასრულო რაოდენობის ვარსკვლავები, განაწილებული სივრცის სასრულო არეში. მისი მსჯელობის მიხედვით, თუ, მეორე მხრივ, არსებობს უსასრულო რაოდენობის ვარსკვლავები ცოტად თუ ბევრად ერთგვაროვნად განაწილებული უსასრულო სივრცეში, ეს არ მოხდება, რადგან მაშინ არ იარსებებს რაიმე ცენტრალური წერტილი, რომელზედაც ისინი დაეცემა.

ეს არგუმენტი იმ ხაფანგის მაგალითია, რომელშიც შეიძლება მოხვდეს ადამიანი უსასრულობაზე ლაპარაკისას. მართლაც, უსას-

რულო სამყაროში ყველა წერტილი შეიძლება ცენტრად ჩაითვალოს, რადგან ყოველ წერტილს ყველა მხრიდან უსასრულო რაოდენობის ვარსკვლავი არტყია გარს. სწორი მიახლოება მოგვიანებით გაკეთდა და იგი იმაში მდგომარეობს, რომ განხილვა დავიწყოთ სასრული სიტუაციით, რომელშიც ვარსკვლავები ერთმანეთს ეცემიან, ამის შემდეგ დავსვათ შეკითხვა, როგორ შეიცვლება მდგომარეობა, თუ ამ არის გარეთ დაახლოებით ერთგვაროვნად კიდევ დავამატებთ ვარსკვლავებს. ნიუტონის კანონის ძალით, დამატებითი ვარსკვლავები საშუალოდ არავითარ გავლენას არ მოახდენენ საწყის სიმრავლეზე, ასე რომ, ვარსკვლავები ისევ დაეცემიან ერთმანეთს. ჩვენ შეგვიძლია ნებისმიერი რაოდენობის ვარსკვლავების დამატება, მაგრამ ეს არაფერს შეცვლის და ისინი ყოველთვის დაეცემიან ერთმანეთს, ანუ მოახდენენ კოლაპსს. ამგვარად, უკვე ვიცით, რომ შეუძლებელია სამყაროს უსასრულო სტატიკური მოდელის არსებობა, რომელშიც გრავიტაცია ყოველთვის მიზიდულობის ხასიათისაა.

ჩვენი აზროვნების საინტერესო დამახასიათებელი თვისებაა, რომ მეოცე საუკუნემდე არავის მოსვლია თავში აზრი იმის შესახებ, რომ სამყარო შეიძლება ფართოვდებოდეს ან იკუმშებოდეს. ყოველთვის ითვლებოდა, რომ სამყარო მუდამ არსებობს უცვლელ მდებარეობაში ან რომ იგი შეიქმნა სასრულო დროში წარსულში ისეთი სახით, როგორც ჩვენ ახლა ვაკვირდებით მას. ნაწილობრივ ეს გამოწვეულია ადამიანთა მისწრაფებით, დაიჯერონ ღვთაებრივი სიმართლე, ისევე როგორც, კომფორტულია ფიქრი იმაზე, რომ ჩვენი დაბერებისა და სიკვდილის მიუხედავად, სამყარო იქნება მუდმივი და შეუცვლელი.

იმათაც კი, ვისაც სჯეროდა, რომ გამომდინარე ნიუტონის გრავიტაციის თეორიიდან, სამყარო არ შეიძლება იყოს სტატიკური, ვერ წარმოედგინათ, რომ სამყარო შეიძლება ფართოვდებოდეს. ამის სანაცვლოდ ისინი ცდილობდნენ თეორიის გაუმჯობესებას გამზიდავი გრავიტაციული ძალის შემოყვანით ძალიან დიდ მანძილებზე. ეს დაშვება დიდ გავლენას არ ახდენდა პლანეტების მოძრაობაზე, სამაგიეროდ, ეს იძლეოდა საშუალებას, სასრული რაოდენობის ვარსკვლავი წონასწორობაში დარჩენილიყო: ახლომდებარე ვარსკვლავების მიზიდვა წონასწორდებოდა განზიდვის ძალით შორს მდებარე ვარსკვლავებიდან. ამის მიუხედავად, ჩვენ გვჯერა, რომ ეს წონასწორობა არასტაბილური იქნება. მართლაც, თუ ვარსკვლავები რაღაც არეში ოდნავ მაინც დაუახლოვდებიან ერთმანეთს, მიზიდვის ძალები მათ

შორის გაძლიერდება და გადააჭარბებს განზიდვის ძალებს, ასე რომ, ვარსკვლავები გააგრძელებენ ვარდნას ერთმანეთზე. მეორე მხრივ, თუ ვარსკვლავები ოდნავ მაინც დაშორდებიან ერთმანეთს, განზიდვის ძალები გადააჭარბებენ მიზიდვისას და ვარსკვლავები სულ უფრო და უფრო დაშორდებიან ერთმანეთს.

მეორე არგუმენტი უსასრულო სტატიკური სამყაროს წინააღმდეგ საერთოდ მიეწერება გერმანელ ფილოსოფოსს ჰაინრიხ ოლბერსს, რომელიც 1823 წელს წერდა ამ თეორიის შესახებ. ფაქტობრივად, ნიუტონის ბევრი თანამედროვე აყენებდა ამ საკითხს და ოლბერსის ნაშრომი პირველიც კი არ იყო მათ შორის, რომელიც შეიცავდა საიმედო არგუმენტებს სტატიკური სამყაროს წინააღმდეგ. უბრალოდ ის პირველი იყო, რომელსაც საყოველთაოდ მიაქციეს ყურადღება. სიძნელე იმაში მდგომარეობს, რომ უსასრულო სტატიკურ სამყაროში მხედველობის თითქმის ყოველი ხაზი მთავრდება ვარსკვლავის ზედაპირით. ამიტომ, მოსალოდნელია, რომ მთელი ცა ღამითაც ისეთივე კაშკაშა იყოს როგორც მზე. ოლბერსის კონტრარგუმენტი იყო, რომ სინათლე შორეული ვარსკვლავებიდან დაჩრდილულია კოსმოსში გაბნეული უხილავი მატერიის შთანთქმის გამო. მაგრამ, თუ ეს ასეა, მატერია საბოლოოდ გახურდება ვარსკვლავის სიკაშკაშემდე. ერთადერთი გზა, თავიდან ავიცილოთ დასკვნა, რომ ღამით მთელი ცა უნდა ისეთივე კაშკაშა იყოს, როგორც მზის ზედაპირი, იქნებოდა დაშვება, რომ ვარსკვლავები ყოველთვის კი არ ანათებდნენ, არამედ „ჩაერთნენ“ წარსულის რაღაც მომენტში. ამ შემთხვევაში მშთანთქმელი მატერია შეიძლება არ გახურებულიყო, რადგან სინათლეს შორეული ვარსკვლავებიდან ჯერაც არ მოუღწევია ჩვენამდე. ამას კი მივყავართ კითხვამდე: რამ ჩართო ვარსკვლავები პირველად?

სამყაროს შექმნის საკითხის შესახებ ამაზე გაცილებით უფრო ადრე მსჯელობდნენ. რიგი ადრინდელი კოსმოლოგიისა და ებრაულ/ქრისტიანულ/მუსლიმანური ტრადიციის თანახმად, სამყარო შეიქმნა წარსულის არცთუ ისე შორეულ მომენტში. ასეთი დასაწყისის დამადასტურებელი ერთ-ერთი არგუმენტი იყო იმის შეგრძნება, რომ სამყაროს არსებობის ასახსნელად აუცილებლად უნდა იყოს „პირველი მიზეზი“ (სამყაროში ერთი მოვლენის ახსნა ყოველთვის შესაძლებელია უფრო ადრე მომხდარი რაღაც მოვლენით, მაგრამ თავისთავად სამყაროს არსებობა შეიძლება აიხსნას მხოლოდ სამყაროს დასაწყისით). მეორე არგუმენტი წამოაყენა წმინდა ავგუსტინემ თავის წიგ-

ნში „ღმერთის ქალაქი“. მან აღნიშნა, რომ ცივილიზაცია პროგრესს განიცდის და ჩვენ გვახსოვს, ვინ იყო მორიგი პროგრესული ნაბიჯის ან ტექნიკური გამოგონების ავტორი. ამგვარად, შეუძლებელია, რომ ადამიანი და, ასევე, ალბათ, სამყაროც დიდი ხანია არ არსებობდნენ. წმინდა ავგუსტინემ სამყაროს დასაწყისად ჩათვალა 5 000 წელი ახალ ერამდე (საინტერესოა, რომ ეს არც ისე შორსაა უკანასკნელი გამყინვარების პერიოდის დამთავრებიდან, სხვაობა დაახლოებით 10 000 წელია, რაც, არქეოლოგების აზრით, ითვლება ცივილიზაციის რეალურ დასაწყისად).

არისტოტელესა და სხვა ბერძენ ფილოსოფოსებს, მეორე მხრივ, არ მოსწონდათ შექმნის იდეა, რადგან ასეთი დასაწყისი ღვთაებრივ ჩარევას უნდა გამოეწვია. ამიტომ მათ სჯეროდათ, რომ ადამიანთა მოდგმა მსოფლიოში არსებობდა და იარსებებს ყოველთვის. ძველი ფილოსოფოსები განიხილავდნენ ზემოთ აღწერილი პროგრესის საკითხს და ამბობდნენ, რომ პერიოდული წყალდიდობები ან სხვა უბედურებები დროდადრო აბრუნებდნენ ადამიანთა მოდგმას ცივილიზაციის დასაწყისისაკენ.

სამყაროს დროში დასაწყისისა და სამყაროს შემოსაზღვრულობის საკითხი მოგვიანებით ინტენსიურად შეისწავლებოდა ფილოსოფოს იმანუელ კანტის მიერ მონუმენტურ (და მეტად ბუნდოვან) წიგნში „წმინდა გონების კრიტიკა“, რომელიც გამოქვეყნდა 1781 წელს. მან ამ კითხვებს წმინდა გონების ანტინომები უწოდა (რაც წინააღმდეგობებს ნიშნავს), რადგან გრძნობდა, რომ თეზისს: „სამყაროს ჰქონდა დასაწყისი“ და ანტითეზისს: „იგი მუდამ არსებობდა“ – ერთნაირად დამაჯერებელი ხელოვნური არგუმენტები ჰქონდა. თეზისის დასამტკიცებლად მას ასეთი არგუმენტი მოჰყავდა: თუ სამყაროს არ ჰქონდა დასაწყისი, ყოველი მოვლენის წინ უსასრულოდ დიდი დროის მონაკვეთი უნდა ყოფილიყო, რაც მას უაზრობად მიაჩნდა. ანტითეზისის დასამტკიცებლად კი მას ასეთი არგუმენტი მოჰყავდა: თუ სამყაროს ჰქონდა დასაწყისი, მაშინ მის დასაწყისამდე უნდა ყოფილიყო დროის უსასრულოდ დიდი პერიოდი და, ამგვარად, გაუგებარი იყო, რატომ დაიწყო სამყარო ერთ გარკვეულ მომენტში? ფაქტობრივად მისი არგუმენტები თეზისის და ანტითეზისის დასამტკიცებლად ერთი და იგივე იყო. ორივე ეყრდნობა გამოუთქმელ მოსაზრებას, რომ დრო უსასრულოდ არსებობდა იმის მიუხედავად, არსებობდა თუ არა სამყარო მუდამ. როგორც ქვევით ვნახავთ, დროის

ცნებას სამყაროს დასაწყისამდე აზრი არა აქვს. ეს პირველად წმინდა ავგუსტინემ აღნიშნა. როცა იკითხეს: „რას აცეთებდა ღმერთი სამყაროს შექმნამდე?“ წმინდა ავგუსტინემ კი არ უპასუხა: „იგი ამზადებდა ჯოჯოხეთს იმათთვის, ვინც ასეთ კითხვებს სვამს“, არამედ თქვა, რომ დრო ღმერთის მიერ შექმნილი სამყაროს დამახასიათებელი თვისებაა და რომ დრო არ არსებობდა სამყაროს შექმნამდე.

იმ დროს, როცა ადამიანთა უმეტესობას სჯეროდა არსებითად სტატიკური და უცვლელი სამყაროსი, კითხვას – ჰქონდა თუ არა სამყაროს დასაწყისი – მხოლოდ მეტაფიზიკური ან თეოლოგიური ხასიათი ჰქონდა. შეიძლებოდა ახსნა, რა დაკვირვება ჩანდა ერთნაირად კარგად თეორიაში, რომელშიც სამყარო მუდამ არსებობს, ანდა თეორიაში, რომელშიც სამყაროს დასაბამი მიეცა დროის რაღაც მომენტში ისე, რომ იგი დღეს ისეთია, როგორსაც მას ვხედავთ. მაგრამ 1929 წელს ედვინ ჰაბლმა გააკეთა ფუნდამენტური აღმოჩენა, რომ დაშორებული გალაქტიკები დიდი სიჩქარით გარბიან ჩვენგან. ეს ნიშნავს, რომ ობიექტები ადრეულ ხანაში ერთმანეთთან ახლოს იყვნენ. ფაქტობრივად, ისე ჩანს, რომ ოდესღაც, ათი ან თორმეტი ათასი მილიონი წლის წინ, ისინი ყველანი ზუსტად ერთ ადგილას იყვნენ თავმოყრილნი და, შესაბამისად, სამყაროს სიმკვრივე უსასრულოდ დიდი იყო. ამ აღმოჩენამ სამყაროს დასაწყისის პრობლემა საბოლოოდ მოაქცია მეცნიერების სფეროში.

ჰაბლის დაკვირვება გულისხმობს, რომ რაღაც მომენტში, რომელსაც დიდი აფეთქება ეწოდა, სამყარო უსასრულოდ პატარა იყო და უსასრულოდ დიდი სიმკვრივე ჰქონდა. ამ პირობებში მეცნიერების ყველა კანონი და, მათთან ერთად, მომავლის წინასწარმეტყველების საშუალება, დარღვეული იყო. თუკი იყო რამე მოვლენა იმაზე ადრე, იგი არ მოქმედებს დღევანდელ დროზე. შეგვიძლია უგულებელვყოთ მათი გავლენა, რადგან მათ არა აქვთ დაკვირვებადი შედეგები. შეიძლება ითქვას, რომ დრო დაიწყო დიდ აფეთქებასთან ერთად იმ აზრით, რომ ადრინდელი დრო უბრალოდ განსაზღვრული არ იყო. უნდა ხაზი გაესვას, რომ დროის დაწყება სრულებით განსხვავდება იმისგან, რაც იქამდე განიხილებოდა. უცვლელ სამყაროში დროის დასაწყისი არის ის, რაც დადგინდა რაღაცის მიერ სამყაროს გარედან და არ არსებობს დროის დასაწყისის ფიზიკური აუცილებლობა. მეორე მხრივ, თუ სამყარო ფართოვდება, უნდა არსებობდეს ფიზიკური მიზეზი, რატომ უნდა ყოფილიყო დასაწყისი. შეიძლება

წარმოვიდგინოთ, რომ ღმერთმა შექმნა სამყარო მყისიერად დიდი აფეთქებით, ან შემდგომში და მისცა ასეთი სახე, რომ დღეს მოგვეჩვენოს, თითქოს დიდი აფეთქება მოხდა, მაგრამ უაზრობაა ჩავთვალოთ, რომ სამყარო არსებობდა დიდ აფეთქებამდე. განშლადი სამყარო არ გამოირიცხავს შემოქმედს, მაგრამ იგი აწესებს ზღვარს იმ დროზე, როცა მან ეს სამუშაო შეასრულა!

იმისთვის, რომ ვილაპარაკოთ სამყაროს ბუნებაზე და ვიმსჯელოთ საკითხზე, აქვს თუ არა მას დასაწყისი და დასასრული, უნდა გქონდეთ ნათელი წარმოდგენა, რა არის მეცნიერული თეორია. მე გამოვიყენებ უმარტივეს წარმოდგენას, რომ თეორია მხოლოდ სამყაროს მოდელია ან მისი შეზღუდული ნაწილი, და რომ იგი არის წესების კრებული, რომელიც მოდელის სიდიდეებს ჩატარებულ დაკვირვებებთან აკავშირებს. თეორია მხოლოდ ჩვენს გონებაში არსებობს და არა რეალურად (რასაც არ უნდა ნიშნავდეს ეს). თეორია კარგია, თუ იგი ორ პირობას აკმაყოფილებს: მან კარგად უნდა აღწეროს დაკვირვებათა დიდი კლასი ისეთი მოდელის საფუძველზე, რომელიც მხოლოდ რამდენიმე განუსაზღვრელ ელემენტს შეიცავს, და მან უნდა იწინასწარმეტყველოს მომავალი დაკვირვებების შედეგები. არისტოტელეს თეორია, რომ ყველაფერი ოთხი ელემენტისგან – დედამიწის, ჰაერის, ცეცხლისა და წყლისაგან შედგება, ხარისხობრივად მარტივია, მაგრამ მას არაფერი უწინასწარმეტყველია. მეორე მხრივ, ნიუტონის გრავიტაციის თეორია დაფუძნებული იყო კიდევ უფრო მარტივ საფუძველზე, რომელშიც სხეულები მიიზიდავენ ერთმანეთს ძალით, რომელიც პროპორციულია მასად წოდებული სიდიდეებისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა. ამის მიუხედავად, მან იწინასწარმეტყველა მზის, მთვარისა და პლანეტების მოძრაობა ძალიან დიდი სიზუსტით. ყველა ფიზიკური თეორია დროებითია, რადგან იგი მხოლოდ ჰიპოთეზაა: შეუძლებელია მისი დამტკიცება. არა აქვს მნიშვნელობა, რამდენჯერ დაემთხვევა რომელიმე თეორიის შედეგები ექსპერიმენტულ მონაცემებს, არ არსებობს იმის გარანტია, რომ ოდესღაც რაღაც ექსპერიმენტის შედეგი არ მოვა წინააღმდეგობაში თეორიასთან. მეორე მხრივ, შესაძლებელია უარის თქმა თეორიაზე, თუ ერთადერთი ექსპერიმენტი არ დაემთხვევა თეორიის შედეგებს. როგორც მეცნიერების ფილოსოფოსი კარლ პოპერი აღნიშნავდა, კარგი თეორია ხასიათდება იმით, რომ იგი იძლევა წინასწარმეტყველებათა რიგს, რომელიც, პრინციპში, შეიძლება

იყოს უარყოფილი ან გაყალბებული ექსპერიმენტით. იმ დროის განმავლობაში, სანამ ახალი ექსპერიმენტების შედეგები ემთხვევა თეორიას, იგი ცოცხლობს და ნდობა მის მიმართ სულ უფრო იზრდება. მაგრამ, თუ ერთი ახალი ექსპერიმენტი მაინც მოიძებნა, რომელიც ეწინააღმდეგება თეორიას, იგი უნდა უარყოფდეს ან მოვახდინოთ თეორიის მოდიფიკაცია. ეს ის არის, რაც შეიძლება მოხდეს, მაგრამ საბოლოო დასკვნის გამოტანამდე, უნდა შევამოწმოთ, რამდენად კომპეტენტურია ექსპერიმენტატორი.

პრაქტიკულად, ხშირად ხდება, რომ ახალი თეორია იქმნება, როგორც წინა თეორიის გავრცობა ან განზოგადოება. მაგალითად, პლანეტა მერკურიზე ძალიან ზუსტი დაკვირვებისას აღმოჩნდა განსხვავება მის მოძრაობასა და იმას შორის, რასაც ნიუტონის თეორია გვიჩვენებს. აინშტაინის ფარდობითობის (რელატივიზმის) ზოგადმა თეორიამ მოგვცა ნიუტონის თეორიისგან ოდნავ განსხვავებული შედეგი მერკურის მოძრაობისათვის. ფაქტია, რომ აინშტაინის წინასწარმეტყველება უკეთ აკმაყოფილებს დაკვირვების შედეგს, ვიდრე ნიუტონისა, რაც შესანიშნავად ასაბუთებს ახალი თეორიის სისწორეს. თუმცა ჩვენ დღემდე ვიყენებთ ნიუტონის თეორიას ყველა პრაქტიკულ შემთხვევაში, რადგან მისი შედეგები უმნიშვნელოდ განსხვავდება ზოგადი რელატივიზმისგან იმ შემთხვევებში, რომელთანაც, ჩვეულებრივ, გვაქვს საქმე (ამასთან ნიუტონის თეორიას აქვს ის დიდი უპირატესობა, რომ გათვლები მასში გაცილებით მარტივია აინშტაინისაზე).

მეცნიერების საბოლოო მიზანია ერთი თეორიის შექმნა, რომელიც აღწერს მთელ სამყაროს. ამის მიუხედავად, მეცნიერთა უმეტესობა იყენებს მიახლოებას, რომელიც გულისხმობს პრობლემის ორ ნაწილად გაყოფას. ჯერ ერთი, არსებობს კანონები, რომლებიც გვეუბნება, როგორ იცვლება სამყარო დროის მიხედვით (თუ ვიცით, როგორია სამყარო დროის მოცემულ მომენტში, მაშინ ეს ფიზიკური კანონები გვეუბნებიან, როგორი იქნება იგი მომავლის ნებისმიერ მომენტში). მეორე არის სამყაროს საწყისი მდგომარეობის საკითხი. ზოგიერთს ჰგონია, რომ საჭიროა ყურადღების გამახვილება მხოლოდ პირველ ნაწილზე; მათ მიაჩნიათ, რომ საწყისი მდგომარეობის საკითხი მეტაფიზიკის ან რელიგიის სფეროა. ისინი ამბობენ, რომ ყოვლისშემძლე ღმერთს შეეძლო, სამყარო შეექმნა ისეთი, როგორსაც მოინდომებდა. ეს, შეიძლება, ასეცაა, მაგრამ ამ შემთხვევაში,

დმერთს ასევე შეეძლო მისი განვითარება ნებისმიერი გზით. თუმცა, როგორც ვხედავთ, მან აირჩია განვითარების რეგულარული გზა გარკვეული კანონების მიხედვით. ამიტომ, ლოგიკურია ვიფიქროთ, რომ არსებობს კანონები, რომლებიც მართავენ სამყაროს საწყის მდგომარეობას.

აღმოჩნდა, რომ ძალიან ძნელია ისეთი თეორიის გამოგონება, რომელიც სამყაროს ერთიანად აღწერს. ამის მაგივრად, ჩვენ ვყოფთ თეორიას ნაწილებად და ვიგონებთ რამდენიმე ნაწილობრივ თეორიას. თითოეული ამ ნაწილობრივი თეორიიდან აღწერს და წინასწარმეტყველებს დაკვირვებათა შეზღუდულ კლასს ისე, რომ უგულებელყოფს სხვა სიდიდეებს ან უბრალოდ წარმოადგენს მათ, როგორც რიცხვების კრებულს. შესაძლებელია, რომ ასეთი მიახლოება არაფრად ვარგა. თუ სამყაროში ყველაფერი დამოკიდებულია რაღაცაზე ფუნდამენტური გზით, შეუძლებელია, მივუახლოვდეთ სრულ ამოხსნას პრობლემის ნაწილების დამოუკიდებლად შესწავლის გზით. ამის მიუხედავად, ეს ის გზაა, რომლითაც წარსულში ჩვენ წარმატებებს ვაღწევდით. ამის მაგალითია ნიუტონის გრავიტაციის თეორია, რომელიც გვეუბნება, რომ გრავიტაციული ძალა ორ სხეულს შორის დამოკიდებულია თითოეულ სხეულთან დაკავშირებულ მხოლოდ ერთ რიცხვზე – მასაზე – და არ არის დამოკიდებული იმაზე, რისგან არის გაკეთებული სხეული. ამიტომ არ გვჭირდება თეორია მზისა და პლანეტების აგებულებისა და შემადგენლობის შესახებ მათი მოძრაობის ორბიტების გამოსათვლელად.

დღეს მეცნიერები აღწერენ სამყაროს ორი ბაზისური ნაწილობრივი თეორიის საშუალებით – ფარდობითობის ზოგადი თეორია და კვანტური მექანიკა. ორივე ეს თეორია მეოცე საუკუნის პირველი ნახევრის უდიდესი ინტელექტუალური მიღწევაა. ფარდობითობის ზოგადი თეორია აღწერს გრავიტაციის ძალასა და სამყაროს დიდ-მასშტაბიან აგებულებას, რაც გულისხმობს ზომებს მხოლოდ რამდენიმე მილიდან მილიონ მილიონ მილიონ მილიონ (1 ოცდაოთხი ნულით მის შემდეგ) მილამდე, რაც დაკვირვებადი სამყაროს ზომას წარმოადგენს. კვანტური მექანიკა, მეორე მხრივ, სწავლობს მოვლენებს ძალიან მცირე მანძილებზე, როგორიცაა სანტიმეტრის მემილიონედის მემილიონედი. საუბედუროდ, ეს ორი თეორია არ არის ერთმანეთთან თავსებადი და, ამიტომ, არც ერთი არ შეიძლება სწორი იყოს. დღევანდელი ფიზიკის ერთ-ერთი მცდელობა და ამ წიგნის

ძირითადი თემა არის ამ ორი თეორიის ერთიან, გრავიტაციის კვანტურ თეორიაში გაერთიანება. ჩვენ ჯერ არა გვაქვს ასეთი თეორია და, შესაძლებელია, დიდი გზა გვაქვს გასავლელი მის შექმნამდე, მაგრამ დღეს უკვე ბევრი ვიცით იმ თვისებების შესახებ, რომლებიც მას უნდა ჰქონდეს. შემდგომ თავებში ჩვენ ვნახავთ, რომ უკვე ბევრი რამ ვიცით იმის შესახებ, რა უნდა იწინასწარმეტყველოს გრავიტაციის კვანტურმა თეორიამ.

თუ დავიჯერებთ, რომ სამყარო იმართება განსაზღვრული კანონებით, საბოლოოდ უნდა მოვახდინოთ ნაწილობრივი თეორიების გაერთიანება ერთიან თეორიაში, რომელიც აღწერს ყველაფერს სამყაროში. მაგრამ არსებობს ერთი ფუნდამენტური პარადოქსი ასეთი ერთიანი თეორიის ძიების გზაზე. ზემომოყვანილი თეორიების განხილვისას ვგულისხმობდით, რომ ჩვენ ვართ რაციონალური არსებანი, რომელთაც შეუძლიათ თავისუფლად, თავისი სურვილისამებრ, დაუუკვირდეთ სამყაროს და გამოვიტანოთ ლოგიკური დასკვნა ამ დაკვირვებიდან. სამართლიანია ვიგულისხმოთ, რომ შესაძლებელია, სულ უფრო მიგუხლოვდეთ სამყაროს მმართველ კანონებს. და კიდევ, თუ არსებობს სრული გაერთიანების თეორია, მან, შესაძლებელია, თვითონ უნდა განსაზღვროს ჩვენს ქმედებები, ე. ი. თეორიამ თვითონ უნდა განსაზღვროს ჩვენი ძიების შედეგები! თუ ასეა, საიდან ჩანს, რომ დაკვირვებიდან სწორ დასკვნას გამოვიტანთ? ასევე მოსალოდნელი არ არის, რომ იგი მიგვიყვანს მცდარ დასკვნამდე? ან, საერთოდ, არავითარ დასკვნამდე არ მიგვიყვანს?

ერთადერთი პასუხი, რომელიც შემიძლია გავცე ამ კითხვაზე, არის ბუნებრივი სელექციის დარვინისეული პრინციპი. მისი იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ ნებისმიერ თვითგანახლებად ორგანიზმთა პოპულაციაში არსებობს ვარიაციები გენეტიკურ მასალასა და აღზრდაში, რომელიც აქვთ ცალკეულ ინდივიდებს. ეს განსხვავებები ნიშნავს, რომ ზოგიერთ ინდივიდს სხვებზე უკეთესად შეუძლია გამოიტანოს დასკვნა მის გარემომცველ სამყაროზე და იმოქმედოს შესაბამისად. უფრო მოსალოდნელია, რომ ეს ინდივიდები გადარჩებიან და გამრავლდებიან და მათი ქცევისა და ფიქრის ნორმები გახდება განმსაზღვრელი. ალბათ, მართალი იყო წარსულში გამოთქმული აზრი, რომ ის, რასაც ჩვენ ინტელექტსა და მეცნიერულ აღმოჩენებს ვეძახით, მიღებული გვაქვს იმის შედეგად, რომ კაცობრიობა უპირატესობას აძლევს იმ გზებს, რომლებიც უკეთ არის მორგებული-

ლი ადამიანთა მოდგმის გადასარჩენად. თუმცა ნათელი არ არის, რომ ეს ნამდვილად იძლევა მოდგმის გადარჩენის უპირატესობას, რადგან ჩვენმა მეცნიერულმა აღმოჩენებმა შეიძლება გაგვანადგურონ, და ეს ასეც რომ არ იყოს, სრული გაერთიანების თეორიამ შეიძლება ვერ გამოარჩიოს ჩვენი გადარჩენის შანსი. მიუხედავად ამისა, თუ სამყარო ვითარდება რეგულარული გზით, შეიძლება ველოდოთ, რომ მსჯელობის უნარი, რომელიც მივიღეთ სელექციის შედეგად, გამოგვადგება სრული გაერთიანებული თეორიის ძიებაში და არ მიგვიყვანს მცდარ დასკვნამდე.

რადგან ნაწილობრივი თეორიები, რომლებიც ჩვენ უკვე გვაქვს, საკმარისია ყველა განსაკუთრებით ექსტრემალური სიტუაციის ზუსტი წინასწარმეტყველებისათვის, სამყაროს აგებულების საბოლოო თეორიის ძიება რთული უნდა იყოს პრაქტიკული თვალსაზრისით (შეიძლება ეს არ იყოს დასაბუთება, მაგრამ ანალოგიურ არგუმენტებს აყენებდნენ რელატივისტური და კვანტური თეორიის წინააღმდეგ, მაგრამ, საბოლოოდ, ამ თეორიებმა მოგვცეს ბირთვული ენერგია და მიკროელექტრონული რევოლუცია!). შესაძლებელია, რომ სრული გაერთიანების თეორიის აღმოჩენა არ იყოს მიმართული ჩვენი მოდგმის გადასარჩენად. მან, შესაძლებელია, ჩვენი ცხოვრების წესი არც შეცვალოს. მაგრამ ცივილიზაციის დასაწყისიდან ადამიანები არ კმაყოფილდებოდნენ აუხსნელი და გაუგებარი მოვლენების დაკვირვებით. მათ ყოველთვის იზიდავდა სამყაროს განვითარების წესრიგის გარკვევა. დღეს ჩვენ მივისწრაფვით, გავიგოთ რატომ ვართ აქ და საიდან მოვდივართ. კაცობრიობის უღრმესი მისწრაფება ცოდნისკენ ჩვენი დაუსრულებელი კითხვების საკმარისი გამართლებაა. და ჩვენი მიზანი სხვა არაფერია, თუ არა იმ სამყაროს სრული აღწერა, რომელშიც ვცხოვრობთ.

თავი მეორე

დრო და სივრცე

თანამედროვე წარმოდგენა სხეულთა მოძრაობის შესახებ მომდინარეობს გალილეოს და ნიუტონის შრომებიდან. მათზე ადრე ხალხს სჯეროდა არისტოტელესი, რომელიც ამბობდა, რომ სხეულის ბუნებრივი მდგომარეობა არის უძრავად ყოფნა და რომ იგი მოძრაობს

მხოლოდ ძალისა ან იმპულსის გავლენით. აქედან გამომდინარეობდა, რომ მძიმე სხეული უფრო სწრაფად უნდა დავარდნილიყო მიწაზე, ვიდრე მსუბუქი, რადგან მას დედამიწა უფრო ძლიერად იზიდავს თავისკენ.

არისტოტელეს ტრადიცია, აგრეთვე, ამტკიცებდა, რომ შესაძლებელია სამყაროს მმართველი ყველა კანონის გამოყვანა მხოლოდ გონების ძალით: სულ არ არის საჭირო მათი შემოწმება დაკვირვებათა საშუალებით. ამიტომ გალილეომდე არავის მოსვლია აზრად შეემოწმებინა, მართლაც სხვადასხვა სიჩქარით ვარდება დედამიწაზე განსხვავებული წონის სხეულები? ამბობენ, რომ გალილეომ აჩვენა არისტოტელეს რწმენის სიყალბე პიზის კოშკიდან სხვადასხვა სიმაღლის სხეულების ჩამოგდებით. ეს ამბავი ნამდვილად არ არის მართალი, მაგრამ გალილეომ რაღაც ანალოგიური გააკეთა: იგი აგორებდა განსხვავებული წონის ბურთებს დახრილ გლუვ ზედაპირზე. სიტუაცია მძიმე სხეულების ვერტიკალურად ვარდნის მსგავსია, მაგრამ დასაკვირვებლად გაცილებით მარტივია, რადგან სხეულთა სიჩქარეები ნაკლებია. გალილეოს გაზომვებმა აჩვენა, რომ წონისგან დამოუკიდებლად ყველა სხეული ერთნაირი სისწრაფით ზრდის თავის სიჩქარეს. მაგალითად, თუ ბურთს ისე დააგორებთ, რომ იგი ვერტიკალურად ერთი მეტრით ვარდება დამრეც ზედაპირზე ყოველი ათი მეტრის გავლისას, მაშინ ბურთის სიჩქარე მოძრაობის პირველ წამის ბოლოს იქნება დაახლოებით ერთი მეტრი წამში, მეორე წამის ბოლოს იგი გახდება ორი მეტრი წამში და ა. შ. ბურთის წონის მიუხედავად. რა თქმა უნდა, ფოლადის სხეული უფრო ჩქარა ჩამოვარდება მიწაზე, ვიდრე ბუმბულის, მაგრამ ამის მიზეზი ის არის, რომ ჰაერი ბუმბულს მეტ წინააღმდეგობას უწევს. თუ ორ სხეულს ჩამოვადებთ, რომელსაც ჰაერი ერთნაირ წინააღმდეგობას უწევს, მაგალითად, სხვადასხვა წონის ფოლადის ბურთებს, ისინი ერთნაირი სისწრაფით ჩამოვარდებიან.

გალილეოს გაზომვები დაუდო ნიუტონმა საფუძვლად თავისი მოძრაობის კანონების. გალილეოს ექსპერიმენტებში დამრეც ზედაპირზე დაგორებულ სხეულზე ყოველთვის მოქმედებს მუდმივი ძალა (მისი წონა), რის შედეგადაც ბურთი მუდმივად ჩქარდება. ეს აჩვენებს, რომ ძალის მოქმედების შედეგი არის სხეულის სიჩქარის შეცვლა და არა მისი მოძრაობაში მოყვანა, როგორც ამას ფიქრობდნენ წინათ. ეს, აგრეთვე, ნიშნავს, რომ, თუ სხეულზე არ მოქმედებს რამე

ძალა, იგი სწორი ხაზის გასწვრივ იმოძრავენს ერთნაირი სიჩქარით. პირველად ეს იდეა ზუსტად იყო ჩამოყალიბებული 1687 წელს გამოქვეყნებულ ნიუტონის *Principia Mathematica*-ში და იგი ცნობილია ნიუტონის პირველი კანონის სახით. ის, რაც მოუვა სხეულს მასზე ძალის მოქმედების შედეგად, მოცემულია ნიუტონის მეორე კანონში. იგი ამტკიცებს, რომ სხეული აჩქარდება, ანუ შეიცვლის თავის სიჩქარეს, ისეთი სისწრაფით, რომელიც ძალის პროპორციულია (მაგალითად, აჩქარება ორჯერ გაიზრდება, თუ ძალა გაორმაგდა). ამასთან, აჩქარება მით ნაკლებია, რაც დიდია სხეულის მასა (ანუ ნივთიერების რაოდენობა სხეულში. ძალა, მოქმედი ორმაგი მასის სხეულზე, ანიჭებს მას იმ აჩქარების ნახევარს, რასაც მიიღებს ამ ძალით ერთმაგი მასის სხეული). ცნობილი მაგალითია ავტომანქანის შემთხვევა: რაც უფრო ძლიერია ძრავა, მით მეტი სიჩქარე აქვს მას, მაგრამ უფრო მძიმე მანქანას იგივე ძრავა ნაკლებად ააჩქარებს.

ამ კანონების გარდა, ნიუტონმა აღმოაჩინა გრავიტაციული ძალის კანონი, რომელიც ამტკიცებს, რომ ყოველი სხეული მიიზიდავს სხვა სხეულს ძალით, რომელიც პროპორციულია თითოეული სხეულის მასისა. ამგვარად, ძალა ორ სხეულს შორის ორმაგდება, თუ ერთ-ერთი სხეულის მასა (ვთქვათ, A სხეულის) გაორმაგდა. ეს ბუნებრივია, რადგან ახალი A სხეული შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ორი პირველადი მასის მქონე სხეულისგან შედგენილ სხეულად. ყოველი შემადგენელი მიიზიდავს B სხეულს საწყისი ძალით. ამგვარად, სრული ძალა A -სა და B -ს შორის საწყის ძალაზე ორჯერ მეტი იქნება. და თუ, ვთქვათ, ერთ სხეულს გავუორმაგებთ მასას, ხოლო მეორეს – გავუ-სამმაგებთ, მაშინ ძალა გახდება ექვსჯერ დიდი. ახლა შესაძლებელია ახსნა, რატომ ვარდება ყველა სხეული ერთნაირი სისწრაფით: ორჯერ დიდი წონის სხეულს დედამიწა ორჯერ დიდი ძალით მიიზიდავს, მაგრამ მას მასაც ორჯერ მეტი აქვს. ნიუტონის მეორე კანონის ძალით ეს ორი ეფექტი ერთმანეთს აბათილებს და, ამგვარად, აჩქარება ერთნაირი იქნება ყველა შემთხვევაში.

ნიუტონის გრავიტაციის კანონი, აგრეთვე, გვეუბნება, რომ რაც უფრო შორს არიან სხეულები, მით ნაკლებია ძალა. ნიუტონის გრავიტაციის კანონი ამბობს, რომ ვარსკვლავის მიზიდვის ძალა ოთხჯერ ნაკლებია ნახევარ მანძილზე მყოფი ანალოგიური ვარსკვლავის მიზიდვასთან შედარებით. ეს კანონი იძლევა დედამიწის, მთვარისა და ვარსკვლავების ორბიტებს დიდი სიზუსტით. კანონის მიხედვით, გრა-

ვიტაციული მიზიდვის ძალა უფრო ჩქარა რომ მცირდებოდეს მანძილთან ერთად, პლანეტათა ორბიტები აღარ იქნებოდა ელიპტური და ისინი სპირალზე იმოძრაებდნენ მზის გარშემო. უფრო ნელა რომ მცირდებოდეს, მანძილის ზრდასთან ერთად, მაშინ დაშორებული ორბიტების მოქმედება უფრო მეტი იქნებოდა დედამიწისაზე.

ძირითადი განსხვავება არისტოტელეს იდეებსა და გალილეოსა და ნიუტონის იდეებს შორის იმაში მდგომარეობს, რომ არისტოტელეს სჯეროდა, თითქოს სხეულებს ურჩევნიათ უძრაობის მდგომარეობაში ყოფნა, თუ მათზე ძალა ან იმპულსი არ იმოქმედებს. მაგალითად, მას სჯეროდა, რომ დედამიწა უძრავ მდგომარეობაში იმყოფება. ნიუტონის კანონიდან კი გამომდინარეობს, რომ არ არსებობს უძრაობის ერთადერთი სტანდარტი. შესაძლებელია თქმა, რომ **A** სხეული უძრავია, ხოლო **B** სხეული მოძრაობს მის მიმართ მუდმივი სიჩქარით. ასევე სამართლიანია, თუ ვიტყვით, რომ **B** სხეული უძრავია, ხოლო **A** სხეული მოძრაობს **B**-ს მიმართ. მაგალითად, თუ არ განვიხილავთ დედამიწის ბრუნვასა და მის მოძრაობას მზის მიმართ ორბიტაზე, შეიძლება თქმა, რომ დედამიწა უძრავია და მატარებელი მოძრაობს ჩრდილოეთით 90 მილი/საათში სიჩქარით, ან რომ მატარებელი უძრავია, და დედამიწა მოძრაობს სამხრეთით 90 მილი/საათში სიჩქარით. თუ ჩავატარებთ ექსპერიმენტებს მატარებელში მოძრავ სხეულებთან, ნიუტონის ყველა კანონი დაცული იქნება. მაგალითად, მატარებელში პინგ-პონგის თამაშის დროს შეიძლება აღმოვაჩინოთ, რომ ბურთი ისევე ემოძრაობს ნიუტონის კანონებს, როგორც ბურთი, რომლითაც თამაშობენ ლიანდაგზე დადგმულ მაგიდაზე. ამგვარად, შეუძლებელია თქმა, რომელი მოძრაობს, დედამიწა თუ მატარებელი.

უძრაობის აბსოლუტური სტანდარტის არარსებობა ნიშნავს, რომ შეუძლებელია განვსაზღვროთ, მოხდა თუ არა სხვადასხვა დროს მომხდარი მოვლენები ერთსა და იმავე ადგილზე? მაგალითად, პინგ-პონგის ბურთი მატარებელში დახტის ზევით და ქვევით ისე, რომ ერთი წამის შემდეგ ვარდება იმავე ადგილზე, სადაც იგი მოხვდა ერთი წამით ადრე. ლიანდაგზე მყოფი დამკვირვებლისთვის კი ეს დაცემა ორმოცი მეტრით შორს მოხდება, რადგან მატარებელი ბურთის ორ დაცემას შორის დროში ამ მანძილს გაივლის ლიანდაგზე. აბსოლუტური უძრაობის არარსებობა, ამგვარად, ნიშნავს, რომ შეუძლებელია განისაზღვროს მოვლენის აბსოლუტური ადგილმდებ-

ბარეობა სივრცეში, როგორც ეს არისტოტელეს სჯეროდა. მოვლენების ადგილმდებარეობა და მანძილი მათ შორის სხვადასხვანაირი იქნება დამკვირვებლისთვის მატარებელში და მისთვის, ვინც მატარებელს გარედან აკვირდება და არ არსებობს არავითარი მიზეზი, უპირატესობა მიეცეს რომელიმე მათგანს.

ნიუტონი ძალიან განიცდიდა აბსოლუტური მდგომარეობის ან აბსოლუტური სივრცის ამ ნაკლის გამო, რადგანაც იგი წინააღმდეგობაში მოდიოდა მის იდეასთან აბსოლუტური ღმერთის შესახებ. ფაქტობრივად, მან არ მიიღო აბსოლუტური სივრცის არარსებობა, თუმცა იგი გამომდინარეობდა მისი კანონებიდან. იგი მკაცრად იყო გაკრიტიკებული მისი ირაციონალური რწმენის გამო ბევრი ადამიანის მიერ და, განსაკუთრებით, ეპისკოპოს ბერკლის მიერ. ბერკლი იყო ფილოსოფოსი, რომელსაც სჯეროდა, რომ ყველა მატერიალური ობიექტი, ასევე სივრცეც და დროც, არის ილუზია. როდესაც ცნობილ დრ. ჯონსონს აზრი ჰკითხეს ბერკლის თეორიის შესახებ, მან შეპყვირა: „მე ამას უარეყოფ! აი, ასე!“ და ფეხსაცმლის წვერი მიარტყა დიდ ქვას.

მაგრამ არისტოტელესაც და ნიუტონსაც სჯეროდათ აბსოლუტური დროის. ესე იგი, მათ სჯეროდათ, რომ შესაძლებელია ცალსახად განისაზღვროს დროის ინტერვალი ორ მოვლენას შორის და რომ ეს დრო ერთნაირი იქნება, ვინც არ უნდა გაზომოს იგი, თუ, ცხადია, მათ კარგი საათები ექნებათ. დრო იყო სრულად გამოყოფილი სივრცისაგან და არ იყო მასზე დამოკიდებული. ეს არის ის, რასაც ხალხის უმრავლესობა საღ აზრად თვლის. ამის მიუხედავად, ჩვენ უნდა შევიცვალოთ აზრი სივრცესა და დროზე. თუმცა ჩვენი საღი აზრი კარგად მუშაობს, როდესაც საქმე გვაქვს ვაშლების მსგავს საგნებთან ან ვარსკვლავებთან, რომლებიც შედარებით ნელა მოძრაობენ, იგი აღარ მუშაობს, თუ საქმე გვაქვს საგნებთან, რომლებიც მოძრაობენ სინათლის ან მასთან მიახლოებული სიჩქარით.

ფაქტი, რომ სინათლე მოძრაობს სასრულო, მაგრამ ძალიან დიდი, სიჩქარით, პირველად აღმოაჩინა 1676 წელს დანიელმა ასტრონომმა ოლე ქრისტიანსენ რიომერმა. მან აღმოაჩინა, რომ დრო, რომელშიც იუპიტერის მთვარე გაივლის იუპიტერის უკან ყოველთვის არ არის ერთნაირი, როგორც ეს უნდა იყოს, თუ მთვარე ერთნაირი სისწრაფით უვლის გარს პლანეტას. რადგან დედამიწაც და იუპიტერიც ბრუნავენ მზის გარშემო, მანძილი მათ შორის იცვლება. რიომერმა

შენიშნა, რომ რაც უფრო შორს ვართ იუპიტერისგან, იუპიტერის მთვარეთა დაბნელება მით უფრო გვიან ხდება. მისი აზრით ეს გამოწვეულია იმით, რომ სინათლეს მთვარეებიდან მით მეტი დრო სჭირდება ჩვენამდე მოსაღწევად, რაც უფრო შორს არიან ისინი ჩვენგან. იუპიტერსა და დედამიწის მანძილებს შორის განსხვავების მისი გაზომვები, რა თქმა უნდა, არ გამოირჩეოდა დიდი სიზუსტით და, ამიტომ, მის მიერ გაზომილი სინათლის სიჩქარე იყო 140 000 მილი წამში მაშინ, როდესაც თანამედროვე მონაცემებით იგი არის 186 000 მილი წამში. ამის მიუხედავად, რიომერის მიღწევა მარტო იმაში კი არ მდგომარეობს, რომ მან დაამტკიცა, რომ სინათლის სიჩქარე სასრულია, არამედ გაზომა კიდევაც ეს სიჩქარე და, რაც განსაკუთრებით აღსანიშნავია, მან ეს გააკეთა თერთმეტი წლით ადრე ნიუტონის *Principia Mathematica*-ს გამოქვეყნებამდე.

1865 წლამდე, სანამ ბრიტანელმა ფიზიკოსმა ჯეიმს კლარკ მაქსველმა არ გააერთიანა ნაწილობრივი თეორიები, რომლებიც აღწერდნენ ელექტრულ და მაგნიტურ ძალებს, სინათლის გავრცელების სწორი თეორია არ არსებობდა. მაქსველის განტოლებები წინასწარმეტყველებენ, რომ შესაძლებელია არსებობდეს ტალღების მსგავსი შემფოთებები კომბინირებულ ელექტრომაგნიტურ ველში და რომ ისინი უნდა მოძრაობდნენ ფიქსირებული სიჩქარეებით, გუბეში ზედაპირული ტალღების მსგავსად. თუ მათი ტალღის სიგრძე (მანძილი ორ მეზობელ ბურცობს შორის) უდრის ერთ მეტრს ან მეტს, მათ უწოდებენ რადიოტალღებს. ნაკლები სიგრძის ტალღებს (რამდენიმე სანტიმეტრის სიგრძის) უწოდებენ მიკროტალღებს ან ინფრაწითელს (სანტიმეტრის მეათათასედზე მეტი). ხილული სინათლის ტალღის სიგრძე მოთავსებულია სანტიმეტრის ორმოც მემილიონედსა და ოთხმოც მემილიონედს შორის. უფრო მოკლე ტალღის სიგრძეები ცნობილია ულტრაიისფერი ტალღების, X-სხივებისა და γ -სხივების სახელწოდებით.

მაქსველის თეორიის შესაბამისად როგორც რადიო, ისე სინათლის, ტალღები ერთი და იგივე ფიქსირებული სიჩქარით მოძრაობენ. მაგრამ ნიუტონის თეორია უარყოფს აბსოლუტური უძრაობის იდეას, ამიტომ, თუ იგულისხმება, რომ სინათლე ფიქსირებული სიჩქარით მოძრაობს, შეიძლება დაისვას შეკითხვა, რის მიმართ მოძრაობს ფიქსირებული სიჩქარით? მიიჩნიეს, რომ არსებობს გარემო სახელწოდებით „ეთერი“, რომელიც ყველგან არსებობს, „ცარიელ“

სივრცეშიც. სინათლის ტალღები მოძრაობენ მასში, როგორც ბგერა მოძრაობს ჰაერში და მათი სიჩქარე ათვლება ეთერის მიმართ. ეთერის მიმართ განსხვავებული სიჩქარით მოძრავი სხვადასხვა დამკვირვებლის მიერ გაზომილი სინათლის სიჩქარე ერთმანეთს არ დაემთხვევა, მაგრამ სინათლის სიჩქარე ეთერის მიმართ ფიქსირებული იქნება. კერძოდ, რადგან დედამიწა ეთერში მოძრაობს თავის ორბიტაზე მზის გარშემო, სინათლის სიჩქარე, გაზომილი დედამიწის მოძრაობის მიმართულებით (როცა ჩვენ ვმოძრაობთ სინათლის წყაროსკენ), უნდა იყოს მეტი, ვიდრე სინათლის სიჩქარე, გაზომილი მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით (როცა არ ვმოძრაობთ სინათლის წყაროსკენ). 1887 წ. ალბერტ მაიკელსონმა (რომელიც მოგვიანებით პირველი ამერიკელი აღმოჩნდა, რომელმაც მიიღო ნობელის პრემია ფიზიკაში) და ედვარდ მორლიმ კლივლენდის გამოყენებითი მეცნიერების ქეის სკოლაში ჩაატარეს ფაქიზი ექსპერიმენტი. მათ შეადარეს სინათლის სიჩქარე დედამიწის მოძრაობის მიმართულებით ამ მოძრაობის პერპენდიკულარულად მოსული სინათლის სიჩქარესთან. მათ გაკვირვებას საზღვარი არ ჰქონდა, როცა აღმოაჩინეს, რომ მიიღეს ზუსტად ერთი და იგივე სიდიდეები!

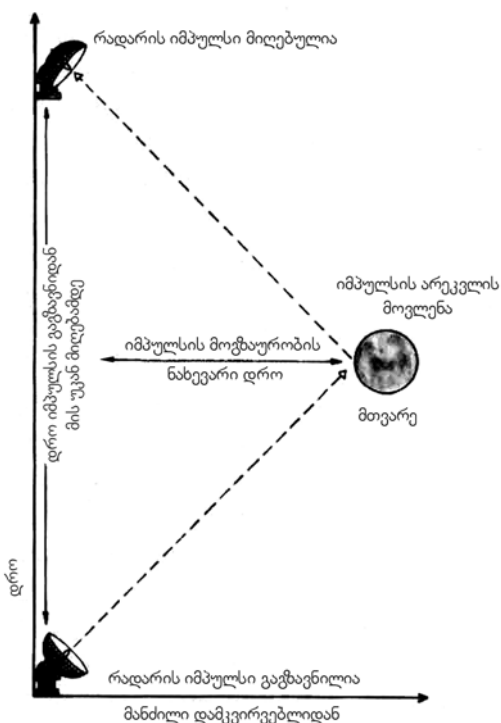
1887-იდან 1905 წლამდე რამდენიმეჯერ სცადეს, ძირითადად, ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა ჰენდრიკ ლორენცმა, აეხსნათ მაიკელსონ-მორლის ექსპერიმენტი; ეს ახსნა გულისხმობდა სხეულთა შეკუმშვასა და დროის შენელებას ეთერში მოძრაობის პროცესში. თუმცა 1905 წელს შვეიცარიის საპატენტო ოფისის იქამდე უცნობმა კლერკმა, ალბერტ აინშტაინმა, მიუთითა, რომ ეთერის იდეა, სულაც არ არის აუცილებელი და საკმარისია აბსოლუტური დროის იდეაზე უარის თქმა. ანალოგიური მითითება გააკეთა ფრანგმა მათემატიკოსმა ანრი პუანკარემ რამდენიმე კვირით გვიან. აინშტაინის არგუმენტები უფრო ახლოს იდგნენ ფიზიკასთან, ვიდრე პუანკარესი, მაგრამ პუანკარეს სახელი მაინც მჭიდროდ არის დაკავშირებული ამ აღმოჩენის მნიშვნელოვან ნაწილთან.

ფარდობითობის (რელატივიზმის) თეორიის ფუნდამენტური მტკიცებაა, რომ ფიზიკის კანონები მათი სიჩქარის მიუხედავად, ერთნაირი უნდა იყოს ყველა თავისუფლად მოძრავი დამკვირვებლისათვის. ეს სამართლიანი იყო ნიუტონის მოძრაობის კანონებისათვის, მაგრამ ახლა იგივე გავრცელდა მაქსველის თეორიისა და სინათლის სიჩქარისთვისაც: სინათლის სიჩქარის მნიშვნელობა ერთნაირი უნდა

იყოს ყველა დამკვირვებლისთვის მათი მოძრაობის სიჩქარისგან დამოუკიდებლად. ამ მარტივ იდეას რამდენიმე მნიშვნელოვანი შედეგი მოჰყვება. შესაძლებელია, ყველაზე ცნობილი მათ შორის არის ეკვივალენტობა მასასა და ენერგიას შორის, გამოხატული აინშტაინის ცნობილი ფორმულით $E = mc^2$ (სადაც E არის ენერგია, m – მასა, ხოლო c – სინათლის სიჩქარე), და კანონი, რომ არც ერთ სხეულს არ შეუძლია მოძრაობა სინათლის სიჩქარეზე სწრაფად. ენერგიისა და მასის ეკვივალენტობის გამო ენერგია, რომელიც სხეულს გააჩნია მოძრაობისას, ემატება მის მასას. სხვა სიტყვებით, ის მძიმდება სიჩქარის გაზრდასთან ერთად. ეს ეფექტი შესამჩნევია მხოლოდ სინათლის სიჩქარესთან დაახლოებული სიჩქარით მოძრავი სხეულებისათვის. მაგალითად, თუ სხეული მოძრაობს სინათლის სიჩქარის 10%-ის ტოლი სიჩქარით, მისი მასა ნორმალური მასის მხოლოდ 0.5%-ით იზრდება, მაშინ როდესაც, სინათლის სიჩქარის 90%-ით მოძრაობისას სხეულის მასა ნორმალურ მასაზე ორჯერ მეტი იქნება. სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებისას სხეულის მასა უფრო სწრაფად იზრდება და იგი სულ უფრო მეტ ენერგიას მოითხოვს სიჩქარის მოსამატებლად. მას, ცხადია, არ შეუძლია მიაღწიოს სინათლის სიჩქარეს, რადგან ამ შემთხვევაში მისი მასა უსასრულოდ დიდი გახდება და მას, მასისა და ენერგიის ეკვივალენტობის გამო, ამისათვის დასჭირდება უსასრულოდ დიდი ენერგია. ამ მიზეზით რელატივიზმში ყოველთვის ზღუდავს ნებისმიერი ნორმალური ობიექტის მოძრაობას სინათლის სიჩქარით. მხოლოდ სინათლესა და სხვა ტალღებს, რომელთაც არა აქვთ საკუთარი მასა, შეუძლიათ იმოძრაონ სინათლის სიჩქარის ტოლი სიჩქარით.

ფარდობითობის თეორიის შესანიშნავი შედეგია, რომ მან მოახდინა სივრცესა და დროზე ჩვენ წარმოდგენებში რევოლუციური გარდატეხის შეტანა. ნიუტონის თეორიაში, თუ სინათლის იმპულსი გაგზავნილია ერთი ადგილიდან მეორეში, სხვადასხვა დამკვირვებელს შეუძლიათ შეთანხმება ამ მოგზაურობის დროზე (რამდენადაც დრო აბსოლუტურია), მაგრამ ყოველთვის ვერ შეთანხმდებიან, რა მანძილი გაიარა ამ დროს სინათლემ (რადგან სივრცე არ არის აბსოლუტური). სინათლის სიჩქარე არის მანძილი გაყოფილი მის გასავლელად საჭირო დროზე, ამიტომ სხვადასხვა დამკვირვებელს უნდა მიეღო სხვადასხვა სიჩქარე სინათლის მოძრაობისათვის. რელატივიზმში, მეორე მხრივ, ყველა დამკვირვებელი უნდა შეთანხმდეს, რა სის-

წრფით მოძრაობს სინათლე. ისინი ისევ ვერ შეთანხმდებიან სინათლის მიერ გავლილ მანძილზე და, ასევე, ახლა ისინი ვერ შეთანხმდებიან ამისთვის საჭირო დროზეც (საჭირო დრო არის სინათლის მიერ გავლილი მანძილი – რაზეც დამკვირვებლები ვერ თანხმდებიან – გაყოფილი სინათლის სიჩქარეზე – რაზეც ისინი თანხმდებიან). სხვა სიტყვებით, ფარდობითობის თეორიამ ბოლო მოუღო აბსოლუტური დროის იდეას! აღმოჩნდა, რომ თითოეულ დამკვირვებელს დროის საკუთარი საზომი აქვს, რაც დაფიქსირდება მისი საათით და ერთნაირი საათები სხვადასხვა დამკვირვებლის ხელში სხვადასხვა შედეგს აჩვენებს.



ნახ. 2.1. დრო იზომება ვერტიკალურად, ხოლო მანძილი დამკვირვებლამდე გადაზომილია ჰორიზონტალურად. დამკვირვებლის ტრაექტორია სივრცეში და დრო ნაჩვენებია როგორც ვერტიკალური ხაზი მარცხნივ. სინათლის სხივის კვალი მოვლენამდე და მოვლენიდან არის დიაგონალური ხაზები.

ყოველ დამკვირვებელს რადარიდან სინათლის ან რადიო ტალღის იმპულსის გაგზავნის საშუალებით შეუძლია თქვას სად და როდის მოხდა ესა თუ ის მოვლენა. იმპულსის გარკვეული ნაწილი აირეკლება ამ მოვლენიდან და დაბრუნდება უკან. დამკვირვებელს შეუძლია დროის გაზომვა, რომელის განმავლობაშიც იმპულსის ექო დაბრუნდება უკან. მოვლენის დროს უწოდებენ იმ დროის ნახევარს, რომელშიც იმპულსი გაიგზავნა და ანარეკლი იქნა მიღებული უკან: მანძილი მოვლენამდე არის ეს ნახევარი დრო გამრავლებული სინათლის სიჩქარეზე (ამ აზრით, მოვლენა არის რაღაც, რაც ხდება სივრცის გარკვეულ წერტილში დროის განსაზღვრულ მომენტში). ეს იდეა ნაჩვენებია ნახ. 2.1-ზე, რომელიც წარმოადგენს სივრცე-დროის დიაგრამას. აღწერილი პროცედურის გამოყენებით ერთმანეთის მიმართ მოძრავი დამკვირვებლები დაადგენენ განსხვავებულ დროებს და ადგილმდებარეობას ერთსა და იმავე მოვლენისათვის. არც ერთი გამოყოფილი დამკვირვებლის გაზომვები არ არის უფრო ზუსტი, ვიდრე სხვისა, მაგრამ ყველა ეს გაზომვა დაკავშირებულია ერთმანეთთან. ნებისმიერ დამკვირვებელს შეუძლია ზუსტად გამოთვალოს რა დრო და ადგილი დააფიქსირა სხვა დამკვირვებელმა, თუ მან იცის მისი მოძრაობის სიჩქარე.

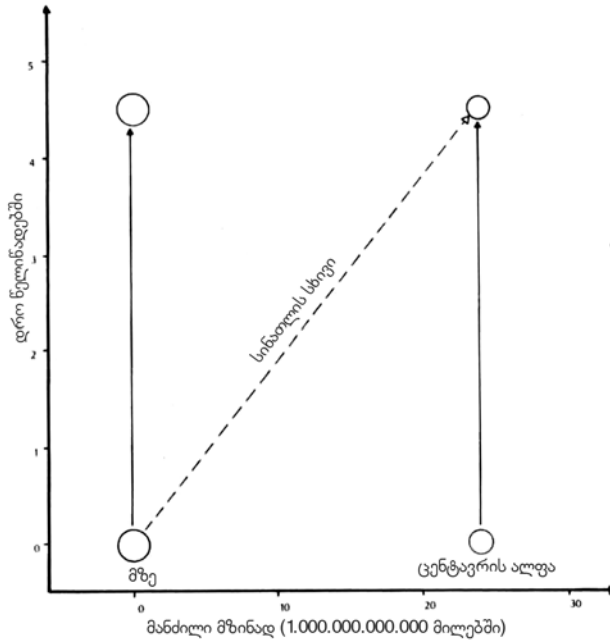
დღეს ჩვენ ვიყენებთ ამ მეთოდს, რადგანაც ჩვენ დროის გაზომვა უფრო ზუსტად შეგვიძლია, ვიდრე მანძილისა. არსებითად, მეტრი განსაზღვრულია როგორც მანძილი, რომელსაც სინათლე გადის ცეზიუმის საათით გაზომილ 0.000000003335640952 წამში (ამ კონკრეტული ციფრის აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ იგი დაემთხვეს მეტრის ისტორიულ განსაზღვრებას – პარიზში შენახული პლატინიუმის ძელზე ორ ნიშნულს შორის მანძილს). ანალოგიურად შეგვიძლია, შემოვიტანოთ სივრცის ახალი ერთეული – სინათლის წამი. ეს უბრალოდ ის მანძილია, რომელსაც სინათლე გადის ერთ წამში. ფარდობითობის თეორიაში მანძილს ჩვენ განვსაზღვრავთ დროისა და სინათლის სიჩქარის კატეგორიებში, ასე რომ, ავტომატურად გამოდის, რომ ყველა დამკვირვებელი სინათლის სიჩქარისათვის ერთსა და იმავე მნიშვნელობას მიიღებს (განსაზღვრებით, 1 მეტრს 0.000000003335640952 წამში) აღარ არსებობს ეთერის შემოყვანის აუცილებლობა, რომლის არსებობა არ დამტკიცდა მაიკელსონ-მორლის ექსპერიმენტში. ფარდობითობის თეორია, ამგვარად, გვაიძულებს, ფუნდამენტურად შევცვალოთ ჩვენი წარმოდგენები სივრცესა

და დროზე. ჩვენ უნდა ვადიაროთ, რომ დრო აღარ არის განცალკევებული სივრცისაგან და დამოუკიდებელი მასზე, არამედ მასთან ერთად ქმნის ობიექტს, რომელსაც სივრცე-დრო ჰქვია.

ზოგადი გამოცდილებიდან გამომდინარე შესაძლებელია წერტილის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა სამი წერტილით, ანუ კოორდინატით. მაგალითად, შეიძლება ვთქვათ, რომ წერტილი შვიდი ფუტით არის დაშორებული ერთი კედლიდან, სამი ფუტით – მეორე კედლიდან და ხუთი ფუტით არის აწეული იატაკიდან. ან შეიძლება ვთქვათ, რომ წერტილი მდებარეობს რაღაც გრძელსა და განედზე და გარკვეულ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან. შესაძლებელია ნებისმიერი სამი კოორდინატის გამოყენება, თუმცა მათ აქვთ გამოყენების შეზღუდული არე. არ არის საჭირო მთვარის მდებარეობის განსაზღვრა პიკადილის მოედნიდან ჩრდილოეთით და სამხრეთით დაშორებულ მიწებსა და ზღვის დონიდან ფუტებით გაზომილ სიმაღლეში. უძვობესია მისი მდებარეობის განსაზღვრა მანძილით მზიდან, სიმაღლით ორბიტების მოძრაობის სიბრტყიდან და კუთხით, რომელსაც ქმნის მთვარისა და მზის შემაერთებული ხაზი, მზისა და უახლოესი ვარსკვლავის ალფა ცენტავრის შემაერთებელ ხაზთან. მაგრამ მზის მდებარეობის განსასაზღვრავად ჩვენ გალაქტიკაში ამ კოორდინატებსაც არ ექნება დიდი გამოყენება, ან ჩვენი გალაქტიკის მდებარეობის განსასაზღვრავად გალაქტიკების ლოკალურ ჯგუფში. სინამდვილეში შესაძლებელია მთელი სამყაროს აღწერა გადამფარავი არეების კატეგორიებში. ყოველ არეში უნდა გამოვიყენოთ განსხვავებული სამი კოორდინატი წერტილის მდებარეობის განსასაზღვრად.

მოვლენა არის ის, რაც ხდება სივრცის რაღაც წერტილში რაღაც გარკვეულ მომენტში. ამიტომ მისი განსაზღვრა შეიძლება ოთხი რიცხვით, ანუ კოორდინატით. კვლავ კოორდინატთა არჩევანი ნებისმიერია, შეიძლება გამოვიყენოთ სამი კარგად განსაზღვრული სივრცული კოორდინატი და დროის ნებისმიერი საზომი. რელატივიზმში არ არსებობს განსხვავება სივრცულსა და დროით კოორდინატებს შორის, როგორც არ არის განსხვავება ორ ნებისმიერ სივრცულ კოორდინატს შორის. შეიძლება კოორდინატთა ახალი კრებულის შერჩევა რომელშიც, ვთქვათ, პირველი ახალი სივრცული კოორდინატი წარმოადგენს ძველი პირველი და მეორე სივრცული კოორდინატის კომბინაციას. მაგალითად, იმის ნაცვლად, რომ გავზომოთ წერტილის ადგილმდებარეობა დედამიწაზე მიწებში ჩრდილოეთით პიკადილი-

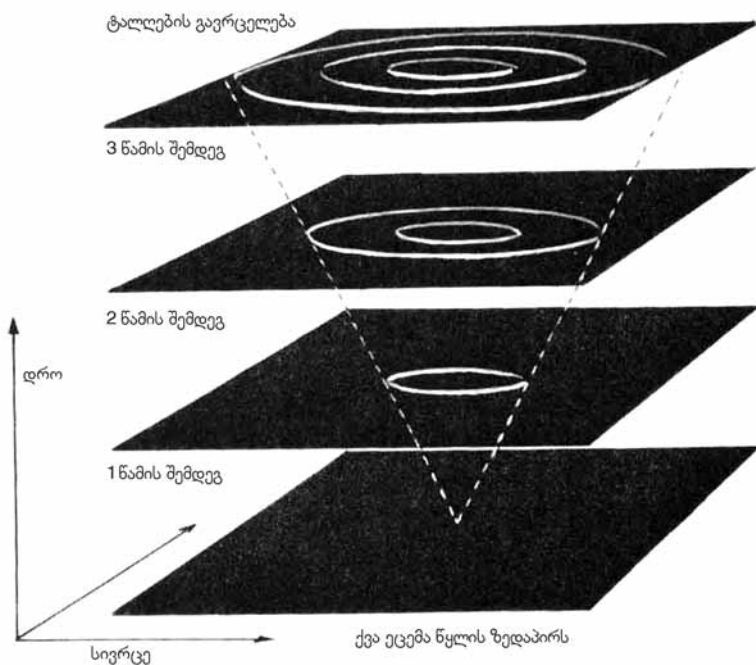
დან და დასავლეთით პიკადილიდან, შეგვიძლია, გამოვიყენოთ მილები პიკადილიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთით ანდა მილები პიკადილიდან ჩრდილო-დასავლეთით. ანალოგიურად, რელატივიზმში შესაძლებელია დროის ახალი კოორდინატის გამოყენება, რომელიც წარმოადგენს ძველ დროს პლუს მანძილი (სინათლის წამებში) ჩრდილოეთით პიკადილიდან.



ნახ. 2.2

ხშირად მოსახერხებელია მოვლენის ოთხი კოორდინატის განხილვა მისი მდებარეობით ოთხგანზომილებიან სივრცეში, რომელსაც სივრცე-დროს უწოდებენ. შეუძლებელია ოთხგანზომილებიანი სივრცის გამოსახვა გრაფიკულად. პირადად ჩემთვის სამგანზომილებიანი სივრცის გამოსახვა კი საკმაოდ რთულია! ამავე დროს, ადვილია ორგანზომილებიანი დიაგრამის დახატვა როგორიცაა დედამიწის ზედაპირი (დედამიწის ზედაპირი ორგანზომილებიანად ითვლება, რადგან მასზე წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა ორი კოორდინატით, გრძელთა და განედით, შეიძლება). მე, ზოგადად, ვიყენებ დიაგრამას, რომელშიც დრო იზრდება ვერტიკალურად ზევით, ხოლო ერთ-ერთი სივრცული განზომილება ნაჩვენებია ჰორიზონტალურად. ორი

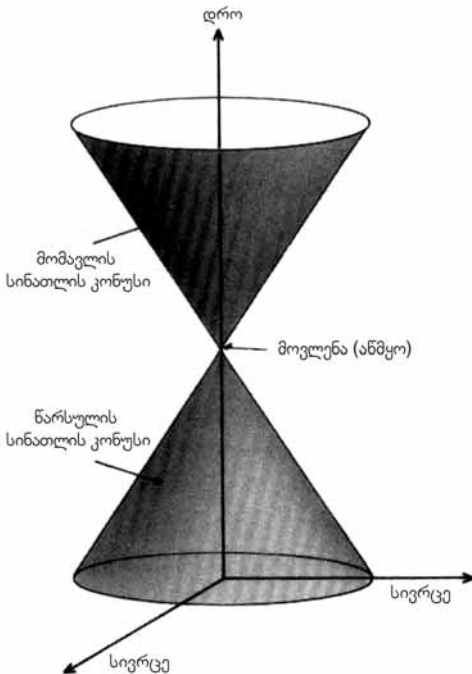
დანარჩენი სივრცული განზომილება უგულებელყოფილია ან ერთ-ერთი მათგანი მითითებულია პერსპექტივაში (ამას სივრცე-დროის დიაგრამა ეწოდება, როგორცაა ნახ. 2.1.). მაგალითად, 2.2 ნახაზზე დრო წელიწადებში გადაზომილია ვერტიკალურად ზევით, მანძილი მზიდან ალფა ცენტავრამდე გადაზომილია მილებში ჰორიზონტალურად. მზისა და ალფა ცენტავრის გზა სივრცე-დროში ნაჩვენებია ვერტიკალური ხაზებით დიაგრამის მარცხენა და მარჯვენა მხარეს, შესაბამისად. სინათლის სხივი მზიდან ალფა ცენტავრამდე მიჰყვება დიაგონალურ ხაზს და ამ მანძილის გავლას ანდომებს ოთხ წელიწადს.



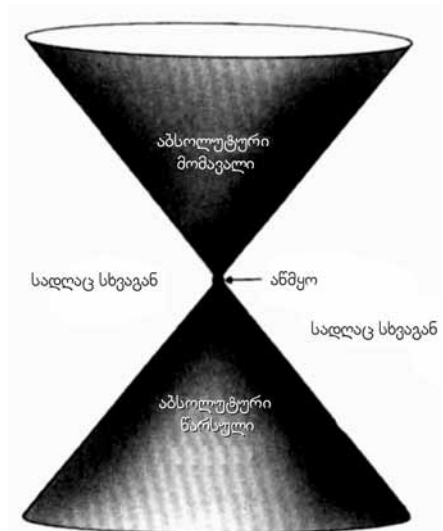
ნახ. 2.3

როგორც ვნახეთ, მაქსველის განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ სინათლის სიჩქარე წყაროს მოძრაობისაგან დამოუკიდებლად ერთი და იგივეა და ეს დამტკიცდა ზუსტი გაზომვებით. აქედან გამომდის, რომ, თუ სინათლე გამოსხივდა გარკვეულ დროს სივრცის გარკვეულ წერტილში, მაშინ დროის გავლასთან ერთად ის გავრცელდება სინათლის სფეროს სახით, რომლის ზომა და მდებარეობა დამოუკი-

დებელია წყაროს სიჩქარეზე. წამის მემილიონედში სინათლე გაფართოვდება 300 მეტრი რადიუსის სფეროდ, ორი მემილიონედი წამის შემდეგ რადიუსი გახდება 600 მეტრი და ა. შ. ეს ჰგავს ტალღებს, რომელიც ვრცელდება გუბის ზედაპირზე ქვის ჩაგდების შემდეგ. ტალღები ვრცელდება წრეების სახით, რომელთა რადიუსები იზრდება დროის გავლასთან ერთად. თუ წარმოვიდგენთ სამგანზომილებიან მოდელს, რომელიც შედგება გუბის ორგანზომილებიანი სიბრტყისა და ერთგანზომილებიანი დროისაგან, გაფართოების პროცესში მყოფი ტალღები იქნება გამოსახული კონუსით, რომლის წვერი იმ ადგილზე იმ დროში იმყოფება, როდესაც ქვა ჩავარდა წყალში (ნახ. 2.3). ასევე, სინათლე, რომელიც ვრცელდება რაღაც მოვლენიდან, ადგენს სამგანზომილებიან კონუსს ოთხგანზომილებიან სივრცე-დროში. ამ კონუსს მომავლის სინათლის კონუსი ეწოდება, რომელიც წარმოადგენს იმ მოვლენათა სიმრავლეს, რომელთაგან სინათლის იმპულსი აღწევს მოცემულ მოვლენას (ნახ. 2.4).



ნახ. 2.4



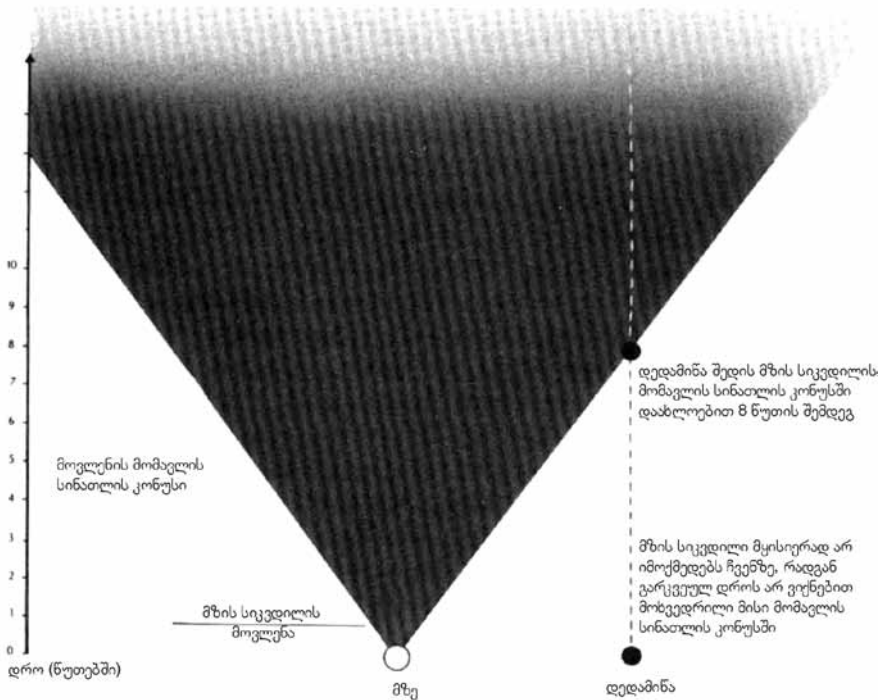
ნახ. 2.5

P მოვლენის მომავლისა და წარსულის სინათლის კონუსები სივრცე-დროს ჰყოფს სამ არედ (ნახ. 2.5). მოვლენის აბსოლუტური

მომავლის არე არის *P*-ს მომავლის კონუსის შიგნით მდებარე არე. ეს ყველა იმ მოვლენათა სიმრავლეა, რომელზეც გავლენა შეიძლება მოახდინოს იმან, რაც განხორციელდა *P*-ში. მოვლენები *P*-ს სინათლის კონუსის გარეთ ვერ მიიღებენ სიგნალს *P*-დან, რადგან არაფერს შეუძლია მოძრაობა სინათლეზე უფრო სწრაფად. ამგვარად, მათზე გავლენას არ ახდენს ის, რაც *P*-ში მოხდა. *P*-ს აბსოლუტური წარსული არის არე წარსულის სინათლის კონუსის შიგნით. ეს იმ მოვლენათა ერთობლიობაა, რომელთაგან სინათლის სიჩქარით ან მათზე მასზე ნაკლები სიჩქარით გავრცელებული სიგნალები მიაღწევნ *P*-ს. ეს, ამგვარად, იმ მოვლენათა კრებულია, რომელთაც შეეძლოთ გავლენა მოეხდინათ *P*-ზე. თუ ცნობილია, რა მოხდა რაღაც გარკვეულ დროს სადმე სივრცის არეში *P*-ს წარსულის სინათლის კონუსის შიგნით, შესაძლებელია ვიწინასწარმეტყველოთ, რა მოხდება *P*-ში. ამათ გარდა, არის სივრცე-დროის არე, რომელიც არ მდებარეობს მომავლისა და წარსულის კონუსის შიგნით. მოვლენები ამ არეში არ განიცდიან და არც ახდენენ გავლენას იმაზე, რაც მოხდა *P*-ში. მაგალითად, თუ მზე რაღაც მომენტში „გაითიშა“, ეს არ მოახდენს გავლენას დედამიწაზე, რადგან დედამიწა იმ მომენტში იქნება სწორედ ასეთ არეში (ნახ. 2.6). ამის შესახებ ჩვენ გავიგებთ მხოლოდ რვა წუთის შემდეგ, ანუ იმ დროში, რომელშიც სინათლე მზიდან აღწევს დედამიწას. მხოლოდ ამის შემდეგ მოვლენები დედამიწაზე მოხდება მზის ჩაქრობის მომავლის სინათლის კონუსში. ანალოგიურად, ჩვენ არ ვიცით რა ხდება ამჟამად სამყაროს დაშორებულ წერტილებში: სინათლე, რომელსაც ჩვენ ვხედავთ შორეული გალაქტიკებიდან, გამოსხივებულია იქიდან მილიონი წლების წინ, ხოლო სინათლე, მიღებული ყველაზე შორეული ობიექტიდან, რომელსაც ჩვენ ვხედავთ, არის გამოსხივებული რვა ათასი მილიონი წლის წინათ. ამგვარად, როდესაც ვუყურებთ სამყაროს, ჩვენ ვხედავთ იმას, როგორი იყო იგი წარსულში.

თუ უგულებელვყოთ გრავიტაციულ მოვლენებს, როგორც ეს გააკეთეს აინშტაინმა და პუანკარემ 1905 წელს, მივიღებთ, ე. წ. ფარდობითობის სპეციალურ თეორიას. ყოველი მოვლენისათვის შეგვიძლია ავაგოთ სინათლის კონუსი (სინათლის ყველა შესაძლო სხივი სივრცე-დროში გამოსხივებული მოცემული მოვლენიდან) და, რადგან სინათლის სიჩქარე ერთნაირია ყველა მოვლენისათვის ყველა მიმართულებით, სინათლის ყველა კონა იდენტური იქნება და იქნება მიმართული ერთ მხარეს. თეორია, აგრეთვე, გვეუბნება, რომ არა-

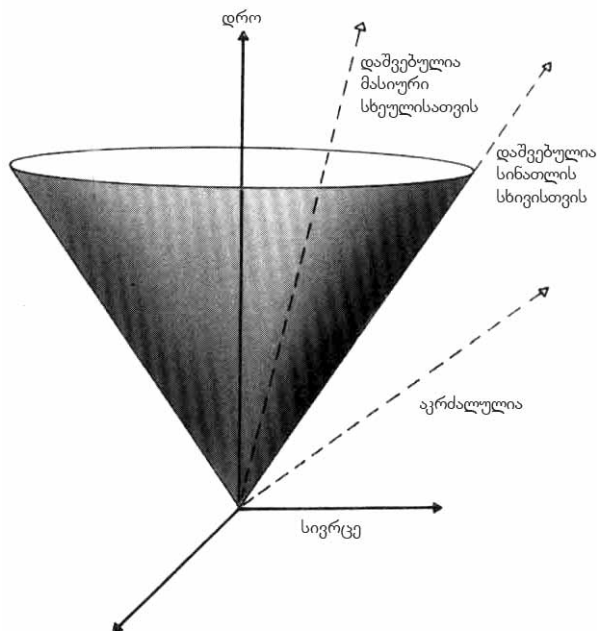
ფერს შეუძლია მოძრაობა სინათლის სიჩქარეზე დიდი სიჩქარით. ეს ნიშნავს, რომ ყველა ობიექტის კვალი სივრცესა და დროში უნდა იყოს წარმოდგენილი ხაზით, რომელიც დევს ყოველი მოვლენის სინათლის კონუსის შიგნით (ნახ. 2.7).



ნახ.2.6

ფარდობითობის სპეციალურ თეორიას დიდი წარმატება აქვს იმის ახსნაში, რომ ყველა დამკვირვებლის გაზომვა ერთნაირ შედეგს იძლევა სინათლის სიჩქარისათვის (როგორც ეს მაიკელსონ-მორლის ექსპერიმენტმა აჩვენა) და რა ხდება, როდესაც საგანი სინათლის სიჩქარესთან დაახლოებული სიჩქარით მოძრაობს. თუმცა იგი შეუთავსებელია ნიუტონის გრავიტაციის თეორიასთან, რომელიც ამბობს, რომ საგნები იზიდავენ ერთმანეთს მათ შორის მანძილზე დამოკიდებული ძალით. ეს ნიშნავს, რომ თუ ავამოძრაებთ ერთ-ერთ საგანს, მეორეზე მოქმედი ძალა მყისიერად შეიცვლება. ანუ სხვა სიტყვებით, გრავიტაციული ეფექტები უნდა ვრცელდებოდნენ უსასრულო სიჩქარით.

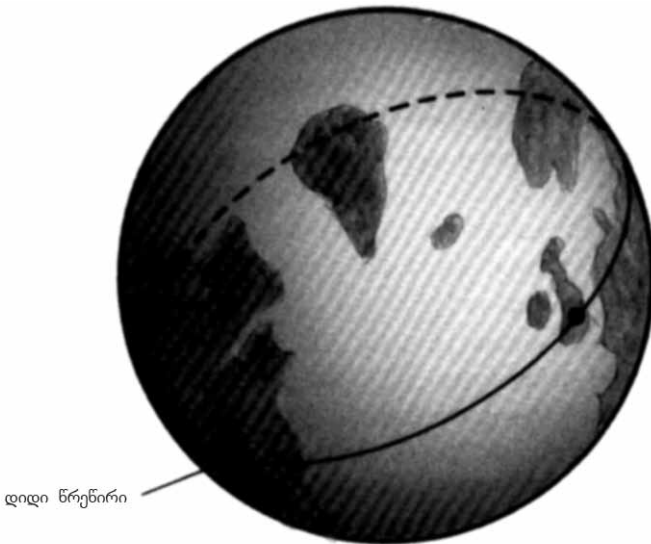
ქართ და არა სინათლის ან მასზე ნაკლები სიჩქარით, როგორც ამას ფარდობითობის სპეციალური თეორია მოითხოვს. 1908-1914 წლებში აინშტაინმა რამდენიმე წარუმატებელი მცდელობა ჩაატარა, რომ გრავიტაციის თეორია ფარდობითობის სპეციალურ თეორიასთან თავსებადი გაეხადა. საბოლოოდ მან შემოგვთავაზა ის, რასაც დღეს ფარდობითობის ზოგად თეორიას უწოდებენ.



ნახ. 2.7

აინშტაინმა გააკეთა რევოლუციური დაშვება, რომ გრავიტაცია არ ჰგავს სხვა ძალებს და არის იმის შედეგი, რომ სივრცე-დრო არ არის ბრტყელი, როგორც ეს იქამდე ითვლებოდა: იგი მრუდია ან „დეფორმირებული“ მასში მასის და ენერგიის განაწილების გამო. დედამიწის მსგავსი სხეულები მრუდწირულ ორბიტებზე მოძრაობენ არა გრავიტაციული ძალის გამო, არამედ მიჰყვებიან „სწორ“ ტრაექტორიას გამრუდებულ სივრცეში, რომელსაც გეოდეზიური წირი ეწოდება. გეოდეზიური წირი არის უმოკლესი (ან უმოკლესი) გზა ორ მეზობელ წერტილს შორის. მაგალითად, დედამიწის ზედაპირი ორ-

განზომილებიანი მრუდი ზედაპირია. გეოდეზიურ წირს დედამიწაზე უწოდებენ დიდ წრეწირს და იგი უმოკლესი მანძილია ორ წერტილს შორის (ნახ. 2.8). რადგანაც გეოდეზიური წირი უმოკლესი გზაა ორ აეროპორტს შორის, იგი, ნავიგატორების რჩევით, საფრენად გამოიყენება. ზოგად რელატივიზმში სხეულები ყოველთვის სწორი ხაზის გასწვრივ მოძრაობენ ოთხგანზომილებიან სივრცე-დროში, მაგრამ, ამის მიუხედავად, ჩვენი თვალსაზრისით, ისინი მოძრაობენ მრუდ წირებზე სამგანზომილებიან სივრცეში (ეს ჰგავს თვითმფრინავის მოძრაობას მთავორიანი ზედაპირის თავზე: თუმცა იგი მიჰყვება სწორ ხაზს სამგანზომილებიან სივრცეში, მისი ჩრდილი მიჰყვება დაკლანხილ ხაზს დედამიწის ორგანზომილებიან ზედაპირზე).



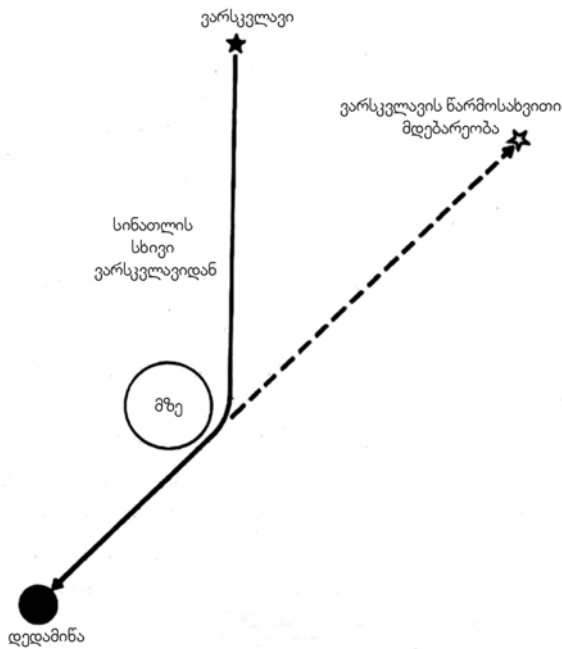
ნახ. 2.8

მზის მასა ისე ამრუდებს სივრცე-დროს, რომ თუმცა დედამიწა მიჰყვება სწორ ხაზს ოთხგანზომილებიან სივრცე-დროში, ჩვენ ვხედავთ, რომ იგი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე სამგანზომილებიან სივრცეში. სინამდვილეში, ზოგად რელატივიზმში გამოთვლილი ორბიტები თითქმის იგივეა, რაც გამოთვლილი ნიუტონის გრავიტაციის თეორიაში. თუმცა მზესთან უახლოესი პლანეტის – მერკურის – შემთხვევაში, რომელიც უდიდეს გრავიტაციულ ეფექტს

განიცდის და აქვს ძლიერ წაგრძელებული ორბიტა, ზოგადი რელატივიზმი წინასწარმეტყველებს, რომ ელიფსის დიდმა ღერძმა უნდა იტრიალოს მზის გარშემო დაახლოებით ერთი გრადუსით ათი ათას წელიწადში. თუმცა ეფექტი ძალიან მცირეა, იგი შეამჩნიეს 1915 წელს და ის იქცა აინშტაინის თეორიის პირველ დასაბუთებად. ბოლო წლებში იყო გაზომილი სხვა პლანეტების ორბიტების უფრო მცირე გადახრები ნიუტონის წინასწარმეტყველებიდან და აღმოჩნდა, რომ ისინი ეთანხმებიან ზოგადი რელატივიზმის გათვლებს. სინათლის სხივებიც უნდა მოძრაობდნენ გეოდეზიური წირების გასწვრივ სივრცე-დროში. სივრცის სიმრუდის გამო, აღმოჩნდება, რომ სინათლეც არ მოძრაობს სივრცეში სწორი ხაზის გასწვრივ. ამგვარად, ზოგადი რელატივიზმი ამტკიცებს, რომ გრავიტაციული ველი ამრუდებს სინათლის მოძრაობას. მაგალითად, თეორიის შესაბამისად წერტილების სინათლის კონუსები მზის მახლობლად იქნება ოდნავ შეწეული შიგნით. მზის მასის გამო. ეს ნიშნავს, რომ სინათლე დაშორებული ვარსკვლავიდან გადაიხრება სწორი ხაზიდან მცირე კუთხით, რის გამოც ვარსკვლავი გამოჩნდება გასხვავებულ პოზიციაში დედამიწაზე მყოფი დაკვირვებლისათვის (ნახ. 2.9). ცხადია, თუ სინათლე ვარსკვლავიდან ყოველთვის მზესთან ახლოს გადის, ჩვენ არ შეგვეძლება ვთქვათ, გადახრილია სხივი, თუ ვარსკვლავი მართლაც იმ ადგილზე მდებარეობს, სადაც ჩვენ მას ვხედავთ? თუმცა, დედამიწის მზის გარშემო ბრუნვის გამო სხვადასხვა ვარსკვლავები აღმოჩნდებიან ხოლმე მზის უკან და მათი სინათლის სხივები ამ დროს გადაიხრება. ამგვარად, ისინი შეიცვლიან მდებარეობას სხვა ვარსკვლავების მიმართ.

ამ ეფექტის აღმოჩენა ძალიან ძნელია, რადგან მზის სინათლე შეუძლებელს ხდის მის ფონზე გამოჩენილ ვარსკვლავზე დაკვირვებას. მაგრამ ამის გაკეთება შესაძლებელია მზის დაბნელების მომენტში, როდესაც მზის სინათლე დაბლოკილია მთვარის მიერ. აინშტაინის წინასწარმეტყველება სინათლის გადახრის შესახებ ვერ შემოწმდა დაუყოვნებლივ 1915 წელს პირველი მსოფლიო ომის გამო, და ეს ასე გაგრძელდა 1919 წლამდე, როდესაც ბრიტანულმა ექსპედიციამ მზის დაბნელების დროს დასავლეთ აფრიკაში აჩვენა, რომ სინათლე, მართლაც, გადაიხრება იმ სიდიდით, როგორც ეს თეორიიდან გამომდინარეობს. გერმანული თეორიის ბრიტანული დასაბუთება ჩაითვალი ომის შემდეგ ორი ერის შერიგების უდიდეს აქტად. მაგრამ ყველაზე კომიკური ამ სიტუაციაში ის იყო, რომ ექსპედიციის მიერ გადაღებუ-

ლი ფოტოსურათების განმეორებითმა შემოწმებამ აჩვენა, რომ ექსპერიმენტის ცდომილება გასაზომი ეფექტის სიდიდის იყო, რის გამოც შეუძლებელი იყო მისგან რაიმე დასკვნის გამოტანა. ეს შემთხვევა მეცნიერებაში არც თუ იშვიათ მოვლენათა იმ კატეგორიას განეკუთვნება, როდესაც ექსპერიმენტატორები ხედავენ იმას, რისი მიღებაც სურთ. სინათლის გადახრა კი, რა თქმა უნდა, დიდი სიზუსტით დადასტურდა შემდგომ დაკვირვებებში.



ნახ. 2.9

კიდევ ერთი დასკვნა, რომელიც გამომდინარეობს ზოგადი რელატივიზმიდან არის ის, რომ დრო ნელდება რაიმე სხეულის დედამიწის მსგავს მასიურ სხეულთან გავლის დროს. ეს ხდება იმიტომ, რომ არსებობს კავშირი სინათლის ენერგიასა და მის სიხშირეს შორის (სიხშირე არის სინათლის ტალღების რიცხვი ერთ წამში): რაც მეტია ენერგია, მით მეტია სიხშირე. როცა სინათლე მოძრაობს დედამიწის გრავიტაციულ ველში, იგი კარგავს ენერგიას და მისი სიხშირე მცირდება (ეს ნიშნავს, რომ მანძილი ორ მეზობელ ბურცობს შორის იზრდება). დედამიწის ზედაპირიდან ზევით მყოფი დამკვირვებლისთვის

ყველაფერი მის ქვემოთ უფრო ნელა ხდება. ეს წინასწარმეტყველება შემოწმებული იყო 1962 წელს ორი უზუსტესი საათის საშუალებით, რომლებიც მოთავსებული იყო წყლის კოშკის ძირში და სახურავზე. როგორც აღმოჩნდა, საათი ქვევით, რომელიც მიწასთან ახლოს იყო, უფრო ნელა მიდიოდა ზოგადი რელატივიზმის თეორიასთან სრულ თანხმობაში. განსხვავებას საათების სიჩქარეებში დედამიწის ზედაპირიდან სხვადასხვა სიმაღლეებზე დღეს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, თანამგზავრებიდან მიღებულ სიგნალებზე დაფუძნებული ძალიან ზუსტი სანავიგაციო სისტემების შექმნისათვის. თუ უგულებელვყოფთ ზოგადი რელატივიზმის წინასწარმეტყველებებს, ადგილმდებარეობის გათვლებში მოხდება შეცდომა რამდენიმე მილით!

ნიუტონის კანონებმა ბოლო მოუღო სივრცეში აბსოლუტური მდებარეობის იდეას. ფარდობითობის თეორიამ გადაადგო აბსოლუტური დრო. განვიხილოთ ტყუპების ცნობილი მაგალითი. ვთქვათ, ტყუპებიდან ერთ-ერთი ავიდა საცხოვრებლად მთის წვერზე მაშინ, როდესაც მეორე დარჩა ზღვის ზედაპირის დონეზე. პირველი მათგანი უფრო მალე შევა ასაკში, ვიდრე მეორე. ასე რომ, თუ ისინი შეხვდებიან ისევ, პირველი უფრო ხნოვანი იქნება მეორეზე. ამ შემთხვევაში განსხვავება ასაკში ძალიან პატარა იქნება, მაგრამ ეს განსხვავება შესამჩნევად გაიზრდება, თუ ერთ-ერთი ტყუპისცალი სინათლის სიჩქარესთან დაახლოებული სიჩქარით მოძრავი კოსმიური ხომალდით ხანგრძლივ მოგზაურობაში გაემგზავრება. როცა იგი დედამიწაზე დაბრუნდება, გაცილებით ახალგაზრდა იქნება დედამიწაზე დარჩენილ ტყუპისცალზე. ეს შემთხვევა ცნობილია ტყუპების პარადოქსის სახელწოდებით, მაგრამ ეს შემთხვევა პარადოქსია მხოლოდ მაშინ, თუ ვიაზროვნეთ აბსოლუტური დროის კატეგორიებით. რელატივიზმის თეორიაში არ არსებობს აბსოლუტური დრო, სამაგიეროდ თითოეულ პიროვნებას აქვს დროის საკუთარი საზომი, რომელიც დამოკიდებულია მისი მოძრაობის ხასიათზე.

1915 წლამდე სივრცე და დრო ითვლებოდა ფიქსირებულ ასპარეზად, რომელშიც ვითარდება მოვლენები და ეს მოვლენები არ ახდენენ გავლენას სივრცე-დროზე. ეს მართალია ფარდობითობის სპეციალურ თეორიაშიც. სხეულები მოძრაობენ, ძალები მიიზიდავენ და განიზიდავენ, მაგრამ დრო და სივრცე ამისგან დამოუკიდებლად არსებობს. ბუნებრივია ვიფიქროთ, რომ სივრცე და დრო არსებობდა მუდამ.

ფარდობითობის ზოგად თეორიაში მდგომარეობა საესეებით განსხვავებულია. სივრცე და დრო ახლა დინამიკური სიდიდეებია: როცა სხეული მოძრაობს, ან ძალა მოქმედებს, ეს გავლენას ახდენს სივრცისა და დროის სიმრუდეზე და, პირიქით, სივრცე-დრო ახდენს გავლენას სხეულის მოძრაობის ან ძალის მოქმედების ხარისხზე. სივრცე და დრო არა მარტო მოქმედებენ, არამედ თვითონ განიცდიან მოქმედებას ყველაფრისგან, რაც ხდება სამყაროში. შეუძლებელია ლაპარაკი მოვლენებზე სამყაროში ადგილისა და დროის მითითების გარეშე, ასევე არ შეიძლება ლაპარაკი სივრცესა და დროზე სამყაროს საზღვრებს გარეთ.

შემდგომ ათწლეულებში სივრცისა და დროის ახალი გაგება საფუძვლიანად ცვლიდა ჩვენს წარმოდგენებს სამყაროზე. ძველი იდეა არსებითად უცვლელი სამყაროს შესახებ, რომელიც არსებობდა და ყოველთვის იარსებებს, შეიცვალა დინამიკური გაფართოებადი სამყაროს ცნებით, რომელიც, როგორც ეტყობა, შეიქმნა სასრული დროის წინ და შეიძლება დასრულდეს რაღაცა დროის შემდეგ მომავალში. ამ რევოლუციის აღწერას ეძღვნება შემდეგი თავი. წლების წინ ეს იყო თეორიულ ფიზიკაში ჩემი მუშაობის დაწყების მიზეზი. როჯერ პენროუზმა და მე ვაჩვენეთ, რომ აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორია გულისხმობს, რომ სამყაროს უნდა ჰქონდეს დასაწყისი და, შესაძლოა, დასასრულიც.

თავი მესამე

სამყაროს გაფართოება

წმინდა უმთვარო ღამით თუ ცას შევხედავთ, ყველაზე ნათელი ობიექტები იქნება პლანეტები ვენერა, მარსი, იუპიტერი და სატურნი. იქ კიდევ დიდი რაოდენობით სხვა ვარსკვლავებიც იქნება, რომელიც ჩვენს მზეს ჰგავს, მაგრამ მასზე გაცილებით შორს არიან ჩვენგან. ფიქსირებული ვარსკვლავებიდან ზოგიერთი, სინამდვილეში, ძალიან ნელა იცვლის თავის მდებარეობას ერთმანეთის მიმართ, როცა დედამიწა ბრუნავს მზის გარშემო: ისინი რეალურად სულაც არ არიან ფიქსირებულნი! ეს იმიტომ ხდება, რომ ამ ტიპის ვარსკვლავები შედარებით ახლოს არიან ჩვენთან. მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობისას ჩვენ მათ სხვადასხვა პოზიციიდან ვუყურებთ უფრო შორი

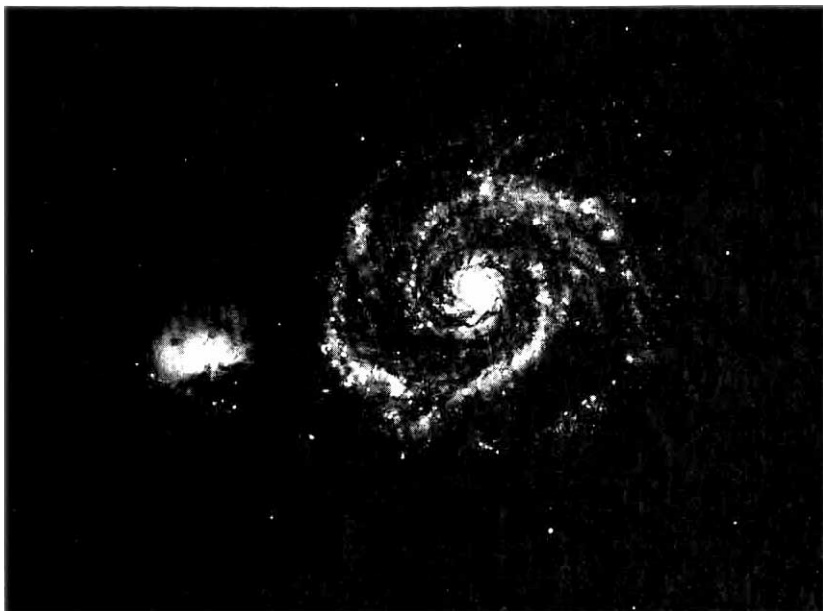
ვარსკვლავების ფონზე. ჩვენდა საბედნიეროდ, ეს იძლევა საშუალებას, გავზომოთ მანძილი ამ ვარსკვლავებამდე: რაც უფრო ახლოს არიან ჩვენთან, მით უფრო მოძრავი ჩანან ისინი. ცენტავრის პროქსიმად წოდებული, ჩვენთან უახლოესი ვარსკვლავი, დაახლოებით, ოთხი სინათლის წლით (სინათლეს სჭირდება, დაახლოებით, ოთხი წელიწადი იქიდან დედამიწამდე მოსალწევად), ან, დაახლოებით, ოცდასამი მილიონი მილით არის დაშორებული ჩვენგან. შეუიარაღებელი თვალით ხილული ვარსკვლავები მდებარეობს რამდენიმე ათასი სინათლის წელიწადის მანძილზე ჩვენგან. შედარებისათვის, ჩვენი მზე სულ რამდენიმე სინათლის წუთის მანძილზეა ჩვენგან! ხილული ვარსკვლავები მოფენილია ღამის მთელ ცაზე, მაგრამ, სინამდვილეში, ისინი ერთ ჯგუფში არიან გაერთიანებული, რომელსაც ირმის ნახტომი ჰქვია. 1750 წლიდან დაწყებული ზოგიერთ ასტრონომს მიაჩნდა, რომ ირმის ნახტომის არსებობა შეიძლება აიხსნას, თუ ხილული ვარსკვლავები მოთავსებული იქნება დისკისმაგვარ კონფიგურაციაში, ერთ-ერთ ასეთ მაგალითს ჩვენ დღეს სპირალურ გალაქტიკას ვეძახით. მხოლოდ რამდენიმე ათწლეულის შემდეგ ასტრონომმა სერ ვილიამ ჰერშელმა დაამტკიცა თავისი იდეა იმით, რომ სკრუპულოზურად შეადგინა უამრავი ვარსკვლავის მდებარეობისა და მანძილების კატალოგი. ამის მიუხედავად, ამ იდეის სრული აღიარება მოხდა მხოლოდ მეოცე საუკუნის დასაწყისში.

სამყაროს თანამედროვე სურათის დათარიღება შეიძლება მხოლოდ 1924 წლით, როდესაც ამერიკელმა ასტრონომმა ედვარდ ჰაბლმა აჩვენა, რომ ჩვენი გალაქტიკა ერთადერთი არ არის სამყაროში. სინამდვილეში, არსებობს ბევრი სხვაც, უზარმაზარი ცარიელი სივრცეებით მათ შორის. ამის დასამტკიცებლად მას დასჭირდა, განესაზღვრა მანძილები ამ გალაქტიკებამდე, რომლებიც ისე შორს არიან, რომ ახლომდებარე ვარსკვლავებისაგან განსხვავებით, ისინი მართლაც ფიქსირებულად ჩანან. ჰაბლი იძულებული იყო გაეზომა ეს მანძილები არაპირდაპირი მეთოდით. ასე, ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშე დამოკიდებულია ორ ფაქტორზე: რამდენ სინათლეს გამოასხივებს (სინათლის ძალა) და რამდენად არის იგი დაშორებული ჩვენგან. ახლომდებარე ვარსკვლავებისათვის შესაძლებელია სიკაშკაშისა და მანძილის გაზომვა, რაც საშუალებას იძლევა, განესაზღვროთ მათი სინათლის ძალა. პირიქით, თუ ვიცით ვარსკვლავის სინათლის ძალა, სხვა გალაქტიკებში შეგვიძლია ვიპოვოთ მანძილები მათი ხილული

სიკაშკაშის გამოყენებით. ჰაბლმა შენიშნა, რომ ჩვენთან გაზომვის ჩასატარებლად საკმაოდ ახლოს მყოფ გარკვეული ტიპის ვარსკვლავებს ყოველთვის ერთნაირი სინათლის ძალა აქვთ. ამგვარად, მსჯელობდა იგი, თუ ჩვენ ანალოგიურ ვარსკვლავებს ვნახავთ სხვა გალაქტიკებში, შეგვიძლია დავუშვათ, რომ მათ იგივე სინათლის ძალა აქვთ და ამ მიახლოებაში დავთვალოთ მანძილი ამ გალაქტიკებამდე. თუ შესაძლებელია ამის გაკეთება მოცემული გალაქტიკის რამდენიმე ვარსკვლავისათვის, და ყოველთვის მივიღეთ ერთი და იგივე მანძილი, ჩვენ შეგვიძლია დარწმუნებულები ვიყოთ ჩვენი შეფასებების სისწორეში. ედვინ ჰაბლმა ასე გამოთვალა მანძილები ცხრა გალაქტიკამდე. დღეს ჩვენ ვიცით, რომ ჩვენი გალაქტიკა არის ერთ-ერთი რამდენიმე ასეულ ათას მილიონ გალაქტიკას შორის, რომელთა დანახვა შესაძლებელია თანამედროვე ტელესკოპებით, ხოლო ყოველი გალაქტიკა თვითონ შეიცავს რამდენიმე ასეულ ათას მილიონ ვარსკვლავს. ნახ. 3.1 გვიჩვენებს ერთ-ერთი სპირალური გალაქტიკის სურათს, რომელიც, ჩვენი აზრით, უნდა ჰგავდეს იმას, როგორსაც ხედავენ სხვა გალაქტიკის მცხოვრებნი ჩვენს გალაქტიკას. ჩვენ ვცხოვრობთ გალაქტიკაში, რომლის სიგანე დაახლოებით ასი ათასი სინათლის წელიწადია და იგი ნელა ბრუნავს. ვარსკვლავები მის სპირალურ მკლავებში გალაქტიკის ცენტრის გარშემო შემოწერენ ერთ წრეს რამდენიმე ასეულ მილიონ წელიწადში. ჩვენი მზე ჩვეულებრივი, საშუალო ზომის, ყვეთელი ვარსკვლავია, მოთავსებული ერთ-ერთი სპირალური მკლავის შიდა კიდეზე. მართლაც, დიდი მანძილი გაგვივლია არისტოტელესა და პტოლემედან, როდესაც ვფიქრობდით, რომ დედამიწა სამყაროს ცენტრია!

ვარსკვლავები ისე შორს არიან ჩვენგან, რომ წერტილოვან სინათლის წყაროებად გვეჩვენებიან. ჩვენ ვერ ვხედავთ მათ ზომებსა და ფორმებს. მაშ, როგორ ვლაპარაკობთ სხვადასხვა ტიპის ვარსკვლავებზე? ვარსკვლავთა უდიდესი უმრავლესობისათვის არსებობს ერთადერთი მახასიათებელი, რომლის დაკვირვებაც შეგვიძლია – მათი სინათლის ფერი. ნიუტონმა აღმოაჩინა, რომ თუ სინათლე მზიდან გაივლის მინის სამკუთხა ნაჭერს, რომელსაც პრიზმა ეწოდება, ის დაიშლება ცისარტყელას მსგავს სხვადასხვა ფერებად (სპექტრად). თუ მივმართავთ ტელესკოპს ცალკეული ვარსკვლავისა ან გალაქტიკისაკენ, შესაძლებელია ამ ვარსკვლავისა ან გალაქტიკის სპექტრის დაკვირვება. სხვადასხვა ვარსკვლავს სხვადასხვა სპექტრი აქვს, მაგრამ

სხვადასხვა ფერის ფარდობითი სიკაშკაშე ყოველთვის ზუსტად ისეთია, როგორც მოსალოდნელია სიწითლემდე გახურებული სხეულის მიერ გამოსხივებული სინათლის სპექტრში (ფაქტობრივად, სინათლეს, გამოსხივებულს სიწითლემდე გახურებული გაუმჟვირვალე სხეულიდან, აქვს დამახასიათებელი სპექტრი, რომელიც მხოლოდ მის ტემპერატურაზე არის დამოკიდებული – თერმული სპექტრი. ეს ნიშნავს, რომ შეგვიძლია ვარსკვლავის ტემპერატურაზე ვიმსჯელოთ მისი სინათლის სპექტრის მიხედვით). მეტიც, აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთი სპეციფიკური ფერები არის ამოვარდნილი ვარსკვლავთა სპექტრიდან და ეს ამოვარდნილი ფერები იცვლება ვარსკვლავიდან ვარსკვლავამდე. რადგან ვიცით, რომ ყოველი ქიმიური ელემენტი შთანთქავს მისთვის დამახასიათებელ სპეციფიკურ ფერთა კრებულს, ვარსკვლავიდან მიღებული სინათლის სპექტრის შესწავლით შესაძლებელია, ზუსტად განვსაზღვროთ, რა ელემენტებია წარმოდგენილი ვარსკვლავის ატმოსფეროში.



ნახ. 3.1

20-იან წლებში, როდესაც ასტრონომებმა დაიწყეს სხვა გალაქტიკების ვარსკვლავთა სპექტრების შესწავლა, მათ აღმოაჩინეს ერთი

საინტერესო რამ: მათ სპექტრში ამოვარდნილი იყო ფერების ისეთივე დამახასიათებელი ერთობლიობები, როგორც ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავების სპექტრში, მაგრამ ისინი ყველა წანაცვლებული იყვნენ სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ. ამ წინადადების გასაგებად ჯერ უნდა განვიხილოთ დოპლერის ეფექტი. როგორც ვნახეთ, ხილული სპექტრი შედგება ელექტრომაგნიტური ველის ფლუქტუაციებისგან, ანუ ტალღებისაგან. სინათლის სიხშირე (ანუ ტალღების რიცხვი წამში) არაჩვეულებრივად დიდია და უდრის ოთხიდან შვიდ ასეულ მილიონ მილიონ ტალღას წამში. სხვადასხვა სიხშირეები ეს არის ის, რასაც ადამიანის თვალი ხედავს ფერების სახით: სპექტრის უმცირეს სიხშირეს აღიქვამს წითლად, ხოლო ყველაზე დიდ სიხშირეს – იისფრად. ახლა წარმოვიდგინოთ ჩვენგან მუდმივ მანძილზე დამორებული სინათლის წყარო, მაგალითად, ვარსკვლავი, რომელიც გამოასხივებს სინათლის ტალღებს მუდმივ სიხშირეზე. ცხადია, ჩვენ მიერ მიღებული ტალღის სიხშირე ისეთივეა, როგორსაც გამოასხივებს ვარსკვლავი (სამყაროს გრავიტაციული ველი არ არის საკმაოდ ძლიერი მნიშვნელოვანი ეფექტის მოსახდენად). ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ ეს ვარსკვლავი ჩვენკენ მოძრაობს. როდესაც წყარო გამოასხივებს ტალღის შემდგომ ბურცობს, ვარსკვლავი უფრო ახლოს იქნება ჩვენთან, ამგვარად, დრო, რომელშიც ეს ბურცობი ჩვენამდე მოაღწევს, ნაკლები იქნება იმასთან შედარებით, როდესაც ვარსკვლავი უძრავი იყო. ეს ნიშნავს, რომ დრო, რომელშიც ორი მეზობელი ბურცობი ჩვენამდე აღწევს ნაკლები იქნება და, შესაბამისად, ყოველ წუთში მიღებული ტალღების რიცხვი (ე. ი. სიხშირე) უფრო მაღალი იქნება, ვიდრე უძრავი ვარსკვლავის შემთხვევაში. ასევე, თუ წყარო გვმორდება, მიღებული ტალღების სიხშირე უფრო დაბალი იქნება. სინათლის შემთხვევაში ეს ნიშნავს, რომ სპექტრი ვარსკვლავებისა, რომლებიც გვმორდებიან, წანაცვლებული იქნება სპექტრის წითელი ბოლოსაკენ (წითელი წანაცვლება), ხოლო ჩვენკენ მოძრავი ვარსკვლავების სპექტრს ექნება იისფერი წანაცვლება. კავშირს სიხშირესა და სიჩქარეს შორის, რომელსაც დოპლერის ეფექტი ჰქვია, ჩვენ ვაკვირდებით ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ყური დაუგდეთ გზაზე მომავალ მანქანას: როცა მანქანა გვიახლოვდება, მისი ძრავის ხმა ისმის მაღალ ტონებში (რაც ბგერითი ტალღების მაღალ სიხშირეებს შეესაბამება), და როცა ის გვმორდება ძრავის ხმა დაბალ ტონებში ისმის. სინათლის ან რადიო ტალღების ყოფაქცევა ანალოგიურია. პოლიცია იყ-

ნებს დობლერის ეფექტს მანქანის სიჩქარის განსასაზღვრავად მისგან არეკლილი რადიო იმპულსების სინშირეების გაზომვით.

გალაქტიკების აღმოჩენის შემდეგ, ჰაბლმა მომდევნო წლები მიუძღვნა გალაქტიკებამდე მანძილებისა და მათი სპექტრების კატალოგის შედგენას. იმ დროს უმეტესობას ეგონა, რომ გალაქტიკები სამყაროში უწყსრიგოდ მოძრაობენ, ამიტომ ელოდნენ იმდენივე იისფერი წანაცვლებიანი გალაქტიკის აღმოჩენას, რამდენიც წითელ წანაცვლებიანია. დიდი გაკვირვება გამოიწვია იმის აღმოჩენამ, რომ გალაქტიკების უმეტესობას წითელი წანაცვლება ახასიათებს: თითქმის ყველა გალაქტიკა გაგვირბის! უფრო საკვირველი იყო ის, რაც ჰაბლმა გამოაქვეყნა 1929 წელს: თურმე გალაქტიკების წითელი წანაცვლებაც არ არის უწყსრიგო, არამედ ისინი პირდაპირპროპორციულია მანძილისა ჩვენამდე. ან, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, რაც უფრო შორს არის გალაქტიკა, მით უფრო დიდი სიჩქარით გარბის ის ჩვენგან! ეს კი ნიშნავდა, რომ სამყარო არ არის სტატიკური, როგორც ამას იქამდე ფიქრობდნენ, არამედ იგი ფართოვდება; მანძილი სხვადასხვა გალაქტიკებს შორის სულ უფრო იზრდება დროის განმავლობაში.

აღმოჩენა, რომ სამყარო ფართოვდება, მეოცე საუკუნის უდიდესი ინტელექტუალური რევოლუციაა. უკანა რიცხვით ადვილია დავინტერესდეთ, ადრე რატომ არავინ ფიქრობდა ამაზე? ნიუტონი და სხვები აცნობიერებდნენ, რომ სტატიკური სამყარო უნდა შეიკუმშოს გრავიტაციის გავლენით. მაგრამ, ამის საწინააღმდეგოდ, სამყარო ფართოვდება. თუ გაფართოება საკმაოდ ნელა მიმდინარეობს, გრავიტაციის ძალა, საბოლოოდ, მის გაფართოებას შეაჩერებს და მაშინ დაიწყება შეკუმშვა ანუ კოლაფსი. თუმცა, თუ ეს გაფართოება საკმაოდ სწრაფია და აჭარბებს რაღაც კრიტიკულ ზღვარს, გრავიტაცია ვერასდროს შეძლებს მის გაჩერებას და სამყარო გააგრძელებს გაფართოებას მუდამ. ეს ცოტათი წააგავს იმ მდგომარეობას, როდესაც რაკეტას უშვებენ დედამიწიდან ზემოთ. თუ მას საკმაოდ პატარა სიჩქარე აქვს, იგი ჩამოვარდება დედამიწაზე. მეორე მხრივ, თუ რაკეტას კრიტიკულზე მეტი სიჩქარე აქვს (დაახლოებით შვიდი მილი წამში), გრავიტაცია აღარ იქნება საკმაოდ ძლიერი მის მიწაზე დასაბრუნებლად და რაკეტა მუდმივად დაშორდება დედამიწიდან. სამყაროს ასეთი ქცევა შეიძლება ნაწინასწარმეტყველები ყოფილიყო ნიუტონის გრავიტაციის თეორიის შესაბამისად ნებისმიერ დროს მეცხრა-

მეტე, მეთვრამეტე ან, თუ გინდა, მეჩვიდმეტე საუკუნის ბოლოშიც. მაგრამ სტატისტიკური სამყაროს რწმენა იმდენად ძლიერი იყო, რომ მან გაძლო მეოცე საუკუნის ადრეულ წლებამდე. აინშტაინიც კი, როცა 1915 წელს ქმნიდა თავის ფარდობითობის ზოგად თეორიას, ისე იყო დარწმუნებული სამყაროს სტატისტიკურობაში, რომ ამის განსახორციელებლად თავის განტოლებებში შემოიტანა, ე. წ. კოსმოლოგიური კონსტანტა. აინშტაინმა შემოიტანა ახალი „ანტიგრავიტაციული“ ძალა, რომელიც, სხვა ძალებისაგან განსხვავებით, არ წარმოიშობა რაღაც გარკვეული წყაროდან, არამედ ჩაშენებულია სივრცე-დროში. იგი აცხადებდა, რომ სივრცე-დროს აქვს თანდაყოლილი მისწრაფება გაფართოებისაკენ და ეს იმისთვის არის, რომ მოახდინოს სამყაროს მატერიის მიზიდვის ტენდენციის განეიტრალება, რაც იწვევს სამყაროს სტატისტიკურობას. როგორც ჩანს, ამ დროს ერთადერთ ადამიანს სურდა ზოგადი რელატივიზმის თავდაპირველი თვისებების შენარჩუნება, და როდესაც აინშტაინი და სხვა ფიზიკოსები ეძებდნენ ზოგადი რელატივიზმიდან გამომდინარე არასტატისტიკური სამყაროს თავიდან აცილების გზებს, რუსი ფიზიკოსი და მათემატიკოსი ალექსანდრე ფრიდმანი ამის მაგივრად ცდილობდა ამ მოვლენის ახსნას.

ფრიდმანმა სამყაროს შესახებ ორი ძალიან მარტივი დაშვება გააკეთა: სამყარო ყველა მიმართულებით იდენტურად გამოიყურება და ეს ძალაში რჩება, თუ დავაკვირდებით სამყაროს ნებისმიერი სხვა წერტილიდან. მარტო ამ ორ დაშვებაზე დაყრდნობით, ფრიდმანმა აჩვენა, რომ სამყაროს სტატისტიკურობა არ არის მოსალოდნელი.

დაშვება, რომ სამყარო ყველა მიმართულებით ერთნაირად გამოიყურება, სინამდვილეში მართალი არ არის. მაგალითად, როგორც ვნახეთ, ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავები ადგენენ განსაზღვრულ ჯგუფს, რომელსაც ირმის ნახტომი ჰქვია. მაგრამ, თუ შევხედავთ სხვა გალაქტიკებს, მათი რიცხვი ყველა მიმართულებით დაახლოებით ერთნაირი იქნება. ამგვარად, სამყარო არ არის ერთნაირი ყველა მიმართულებით, თუმცა გალაქტიკებს შორის მანძილზე დიდი მასშტაბებისათვის მცირემასშტაბიანი განსხვავებების უგულებელყოფით ეს მიახლოება სწორი იქნება. დიდი ხნის განმავლობაში ეს მსჯელობა კარგი დასაბუთება იყო ფრიდმანის მიახლოებისათვის და, როგორც ფიქრობდნენ, იძლეოდა რეალური სამყაროს უხეში მიახლოებას. მაგრამ შემდგომმა ბედნიერმა აღმოჩენამ დაასაბუთა, რომ, ფაქტობრივად, ფრიდმანის მიახლოება საკმაოდ ზუსტად აღწერს ჩვენს სამყაროს.

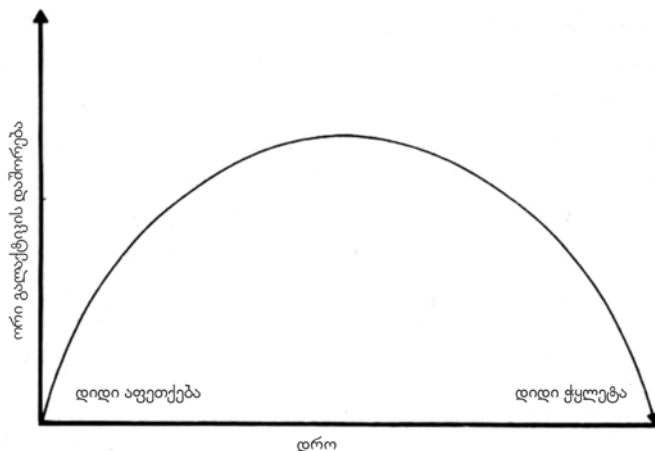
1965 წელს ორი ამერიკელი ფიზიკოსი: არნო პენზიასი და რობერტ ვილსონი, ნიუ ჯერსის ბელის სატელეფონო ლაბორატორიაში ცდინენ მეტად მგრძნობიარე მიკროტალღოვან დეტექტორს (მიკროტალღები ჰგავს სინათლის ტალღებს, მაგრამ მათი სიხშირეები წამში მხოლოდ ათეული ათასი მილიონი ტალღის რიგისაა). პენზიასი და ვილსონი ძალიან შეწუხდნენ, როცა აღმოაჩინეს, რომ მათი დეტექტორი აფიქსირებდა მეტ ხმაურს, ვიდრე ისინი ამას მოელოდნენ. ხმაური არ მოდიოდა რაღაც გარკვეული მიმართულებიდან. ჯერ მათ აღმოაჩინეს ფრინველებით გამოწვეული დამახინჯებები, შემდეგ სხვა შესაძლო დარღვევები და მალე მოაშორეს ისინი თავიდან. მათ იცოდნენ, რომ ყველა ხმაური მოსული ატმოსფეროდან უფრო ძლიერია, თუ დეტექტორი არ არის მიმართული ვერტიკალურად ზევით, მაშინ როდესაც ვერტიკალურად ზევით მიმართული ტელესკოპისთვის ხმაური მცირდება. ამის მიზეზი ის, რომ მაშინ, როდესაც ხდება მათი დეტექტირება ჰორიზონტთან ახლოს, სინათლის სხივები გადიან ატმოსფეროს გაცილებით ფართო შრეებს, ვიდრე როცა ისინი მიიღებიან პირდაპირ ზემოდან. ზემონახსენებ ცდაში კი დამატებითი ხმაური ერთნაირი იყო რა მიმართულებითაც არ უნდა მოეტრიებინათ დეტექტორი, ასე რომ, ეს ხმაური უნდა მოსულიყო ატმოსფეროს გარედან. იგი ერთნაირი იყო დღისით და ღამით, მთელი წლის განმავლობაში, იმისგან დამოუკიდებლად, რომ დედამიწა ბრუნავდა თავისი ღერძისა და მზის გარშემო ეს უჩვენებდა, რომ გამოსხივება მოდიოდა მზის სისტემის გარედან და გალაქტიკის გარედანაც კი, რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში, ის უნდა შეცვლილიყო დედამიწის ადგილმდებარეობის შეცვლასთან ერთად. ფაქტობრივად ჩვენ ვიცით, რომ რადიაცია ჩვენამდე აღწევს მთელი დაკვირვებადი სამყაროდან და, შესაბამისად, სამყარო ყველა მიმართულებით ერთნაირი უნდა იყოს დიდმასშტაბიანი სკალით. ახლა ცნობილია, რომ ნებისმიერი მიმართულებით ხმაური ერთნაირია და შეიძლება იცვლებოდეს მხოლოდ ერთი მეათიათასედით – ამგვარად, პენზიასმა და ვილსონმა მათთვის მოულოდნელად აღმოაჩინეს ფრიდმანის პირველი დაშვების საკმაოდ ზუსტი დასაბუთება.

დაახლოებით იმავე დროს ორმა ამერიკელმა ფიზიკოსმა ახლომდებარე პრინსტონის უნივერსიტეტიდან – ბობ დიკმა და ჯიმ პიბლსმა – გამოიჩინეს ინტერესი მიკროტალღების მიმართ. ისინი მუშაობდნენ გიორგი გამოვის (ერთ დროს ალექსანდრე ფრიდმანის

მოწაფის) წინადადებაზე, რომ ადრეული სამყარო იყო ძალიან ცხელი და ძალიან მკვრივი, გავარვარებული სითეთრემდე. დიკი და პიბლსი თვლიდნენ, რომ შესაძლებელია ამ ვარვარების დაკვირვება ამჟამადაც, რადგან სინათლე სამყაროს ძლიერ დაშორებული ნაწილებიდან მხოლოდ ახლა მოაღწევს ჩვენამდე. მაგრამ სამყაროს გაფართოების გამო ამ სინათლეს ისეთი დიდი წითელი წანაცვლება ექნება, რომ ჩვენ მას დავინახავთ, როგორც მიკროტალღოვან გამოსხივებას. დიკი და პიბლსი აპირებდნენ ამ რადიაციის დაკვირვებას, როდესაც პენზიასმა და ვილსონმა გაიგეს მათი სამუშაოს შესახებ და მიხვდნენ, რომ მათ უკვე აღმოაჩინეს ეს გამოსხივება. ამის გამო პენზიასმა და ვილსონმა 1978 წელს ნობელის პრემია დაიმსახურეს (რაც ცოტა უსამართლოდ ჩანს დიკისა და პიბლსის მიმართ, არაფერი რომ არ ეთქვათ გამოვის შესახებ).

ერთი შეხედვით, ყველაფერი ეს მეტყველებს იმაზე, რომ სამყარო ყველა მიმართულებით ერთნაირი ჩანს, რადგან ჩვენ მას ვაკვირდებით სამყაროს მეტად სპეციფიკური წერტილიდან. კერძოდ, შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ რადგან ყველა გალაქტიკა გაგვირბის, ჩვენ სამყაროს ცენტრში უნდა ვიყოთ მოთავსებულები. თუმცა არსებობს ალტერნატიული ახსნაც: სამყარო ერთნაირი ჩანს, აგრეთვე, ყველა სხვა გალაქტიკიდანაც. ეს, როგორც ვხედავთ, ფრიდმანის მეორე დაშვებაა. არ არსებობს, მეცნიერული მტკიცებულება ამ დაშვების საწინააღმდეგოდ ან მხარდასაჭერად. ჩვენ გვჯერა ამისა, გამომდინარე ჩვენი თავმდაბლობიდან: მეტად განსაცვიფრებელი იქნებოდა, რომ სამყარო ჩვენგან ერთნაირი ჩანდეს ყველა მიმართულებით, ხოლო სხვა წერტილებიდან ასე არ ყოფილიყო! ფრიდმანის მოდელში ყველა გალაქტიკა ერთმანეთს გაუბრის. მდგომარეობა ისეთივეა, როგორც ბუშტის ზედაპირზე დახატული ლაქების შემთხვევაში. როდესაც ბუშტი იბერება, მანძილი ყოველ ორ ლაქას შორის იზრდება, და არ არსებობს ლაქა, რომელზედაც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სწორედ ის არის გაფართოების ცენტრი. უფრო მეტიც, რაც უფრო შორს არიან ლაქები ერთმანეთისაგან, მით უფრო სწრაფად შორდებიან ისინი ერთმანეთს. ანალოგიურად, ფრიდმანის მოდელში სიჩქარე, რომლითაც ორი გალაქტიკა ერთმანეთს შორდება, მათ შორის მანძილის პროპორციულია. ამგვარად, ამის საფუძველზე გალაქტიკის წითელი წანაცვლება პირდაპირ პროპორციულია ჩვენგან ამ გალაქტიკამდე მანძილისა, ზუსტად ისე, როგორც ეს ჰაბლმა აღმოაჩინა. მიუხედავად

მისი მოდელის წარმატებისა და ჰაბლის დაკვირვების წინასწარმეტყველებისა, ფრიდმანის შრომა, პრაქტიკულად, არ იყო ცნობილი დასავლეთში, სანამ 1935 წელს ასეთივე მოდელი არ იყო აღმოჩენილი ამერიკელი ფიზიკოსის ჰოვარდ რობერტსონისა და ბრიტანელი მათემატიკოსის არტურ ვოლკერის მიერ, ჰაბლის მიერ სამყაროს ერთგვაროვანი გაფართოების აღმოჩენის საპასუხოდ.



ნახ. 3.2

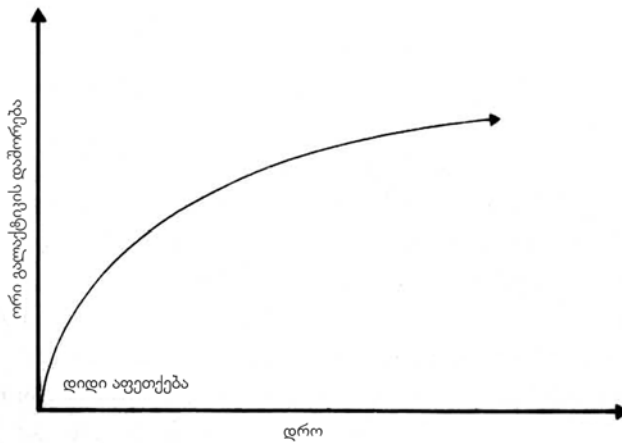


ნახ. 3.3

მართალია, ფრიდმანმა იპოვა მხოლოდ ერთი, მაგრამ, სინამდვილეში, არსებობს სამი განსხვავებული მოდელი, რომელიც აკმაყოფ

ფილებს ფრიდმანის ორ ფუნდამენტურ დაშვებას. პირველ მათგანში (რომელიც აღმოჩენილი იყო ფრიდმანის მიერ) სამყარო საკმაოდ ნელა ფართოვდება და გრავიტაციულ მიზიდვას სხვადასხვა გალაქტიკებს შორის შეუძლია შეანელოს გაფართოება და, საბოლოოდ, გააჩეროს იგი. მაშინ გალაქტიკები დაიწყებენ მოძრაობას ერთმანეთისაკენ და სამყარო შეიკუმშება. ნახ. 3.2 გვიჩვენებს, როგორ იცვლება მანძილი ორ მეზობელ გალაქტიკას შორის დროის მიხედვით. იგი იწყება ნულიდან, იზრდება მაქსიმუმამდე და, შემდეგ, კვლავ ნულამდე მცირდება. მეორე ტიპის ამონახსნში სამყარო ისე ჩქარა ფართოვდება, რომ გრავიტაციულ მიზიდულობას არასოდეს შეუძლია მისი გაჩერება, თუმცა იგი მას ცოტათი შეამცირებს. ნახ. 3.3 გვიჩვენებს მანძილის ცვლილებას მეზობელ გალაქტიკებს შორის ამ მოდელში. მანძილი ნულიდან იწყება და, საბოლოოდ, გალაქტიკები შორდებიან ერთმანეთს მუდმივი სიჩქარით. ბოლოს, არსებობს მესამე ტიპის ამონახსნა, რომელშიც სამყარო ფართოვდება ისეთი სიჩქარით, რომელიც ხელს უშლის მის ხელახალ კოლაფსს. ამ სახის დაშორება ნაჩვენებია ნახ. 3.4-ზე, სადაც მანძილი იწყება ნოლიდან და იზრდება ყოველთვის. ამასთან, სიჩქარე, როლითაც გალაქტიკები შორდებიან ერთმანეთს, სულ უფრო და უფრო მცირდება, მაგრამ ნულის ტოლი არასდროს ხდება.

ფრიდმანის პირველი მოდელის შესანიშნავი თვისებაა, რომ მასში სამყარო არ არის სივრცულად უსასრულო, მაგრამ სივრცეს არა აქვს საზღვარი. გრავიტაცია იმდენად ძლიერია, რომ სივრცე ჩახვეულია თავის თავში ისე, როგორც დედამიწის ზედაპირი. თუ ვინმე განახორციელებს მოძრაობას გარკვეული მიმართულებით დედამიწის ზედაპირზე, იგი ვერასდროს მიაღწევს გადაულახავ ბარიერს ან კიდეს საზღვარზე, არამედ დაბრუნდება იქ, საიდანაც დაიწყო მოგზაურობა. ფრიდმანის პირველ მოდელში სიტუაცია ამგვარია, მაგრამ ეს შემთხვევა სამგანზომილებიანია დედამიწის ორგანზომილებიანი შემთხვევისაგან განსხვავებით. მეოთხე დროითი განზომილებაც უსასრულოა, მაგრამ იგი წრფის მაგვარია, რომელსაც ორი ბოლო ანუ საზღვარი აქვს – დასაწყისი და დასასრული. შემდეგში ვნახავთ, რომ ფარდობითობის ზოგადი თეორიის შერწყმა კვანტური მექანიკის განუზღვრელობის პრინციპთან შესაძლებლობას იძლევა დროცა და სივრცეც გაეხადოთ სასრული ყოველგვარი ბოლოებისა და საზღვრების გარეშე.



ნახ. 3.4

იდეა, რომ შესაძლებელია შემოუარო სამყაროს და დაასრულო მოგზაურობა იქ, სადაც დაიწყე, მშვენიერია მეცნიერული ბელეტრისტიკისთვის, მაგრამ მას არავითარი პრაქტიკული გამოყენება არა აქვს, რადგან შეიძლება ჩვენება, რომ სამყარო შეიკუმშება ნულოვან ზომამდე იქამდე, სანამ მოგზაურობა დასრულდება. საჭიროა სინათლის სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით მოძრაობა, რომ მოესწროს სამყაროს გარშემოვლა სანამ სამყაროს დასასრული მოხდება – ეს კი შეუძლებელია!

ფრიდმანის პირველი ტიპის მოდელში, რომელშიც სამყარო ფართოვდება და კოლაფსირდება, სივრცე გამრუდებულია და ჩაკეტილია დედამიწის ზედაპირის მსგავსად. ამგვარად, მას სასრული განვრცობა აქვს. მეორე ტიპის მოდელში, რომელიც ყოველთვის ფართოვდება, სივრცე სხვაგვარად არის გამრუდებული და მას უნაგირის ფორმა აქვს. ამგვარად, ამ შემთხვევაში სივრცე უსასრულოა. ბოლოს, მესამე სახის ფრიდმანის მოდელში გაფართოების კრიტიკული სისწრაფით, სივრცე ბრტყელია (ე. ი. უსასრულო).

ისმის საკითხი, ფრიდმანის რომელი მოდელი აღწერს სინამდვილეში ჩვენს სამყაროს? სამყარო შეაჩერებს თავის გაფართოებას და დაიწყებს შეკუმშვას, თუ მუდამ გააგრძელებს გაფართოებას? ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად საჭიროა ვიცოდეთ გაფართოების დღევანდელი სიჩქარე და მისი დღევანდელი საშუალო სიმკვრივე. თუ სიმკვრივე ნაკლებია გარკვეულ კრიტიკულ მნიშვნელობაზე გაფართოების სიჩქარე ე დამოკიდებულებით, გრავიტაციული ძალა სუს-

ტი იქნება იმისთვის, რომ შეაჩეროს გაფართოება. თუ სიმკვრივე მეტია ამ კრიტიკულ ზღვარზე, რის გამოც გრავიტაცია გააჩერებს გაფართოებას მომავლის რაღაც მომენტში და დაიწყება სამყაროს შეკუმშვა (კოლაფსი).

გაფართოების ახლანდელი სისწრაფე შეიძლება განისაზღვროს დოპლერის ეფექტის გამოყენებით იმ სიჩქარეების გაზომვით, რომლითაც სხვა გალაქტიკები შორდებიან ჩვენსას. ამის გაკეთება შესაძლებელია დიდი სიზუსტით. ცხადია, გალაქტიკებამდე მანძილები არ არის კარგად ცნობილი, რადგან მათი გაზომვა შესაძლებელია არაპირდაპირი გზით. ასე, რომ ყველაფერი, რაც ჩვენ ვიცით, არის ის, რომ სამყარო ფართოვდება 5-დან 10 პროცენტამდე ყოველ ათას მილიონ წელიწადში. სამწუხაროდ, ჩვენი ცოდნა სამყაროს სიმკვრივის შესახებ გაცილებით ნაკლებია. თუ შევკრიბავთ ჩვენი და სხვა გალაქტიკების ყველა ხილული ვარსკვლავის მასებს, მიღებული სიმკვრივე იქნება იმ მასის ერთი მეათასედი, რომელიც საჭიროა სამყაროს გაჩერებისათვის გაფართოების უმცირესი სისწრაფის შემთხვევაშიც კი. ჩვენი გალაქტიკაც და სხვა გალაქტიკებიც, რა თქმა უნდა, შეიძლება შეიცავდნენ „ბნელი მატერიის“ დიდ რაოდენობას, რომლის პირდაპირ დანახვა შეუძლებელია, მაგრამ რომლის არსებობა მჟღავნდება მათი გრავიტაციული გავლენის გამო ვარსკვლავთა ორბიტებზე გალაქტიკებში. ამის გარდა, ნანახია გალაქტიკების გაერთიანებები (კლასტერები) და შესაძლებელია დასკვნის გამოტანა გალაქტიკებს შორის არსებულ ბნელ მატერიის შესახებაც, რომელიც გავლენას ახდენს კლასტერში გალაქტიკების მოძრაობაზე. თუ დავამატებთ ამ ბნელ მასებს, მივიღებთ შეჩერებისთვის საჭირო სიმკვრივის მხოლოდ ერთ მეათედს. თუმცა შეუძლებელია იმის გამორიცხვა, რომ სამყაროში არსებობს თანაბრად განაწილებული მატერიის სხვა სახეებიც, რომლებიც ჯერ არ არის დაფიქსირებული და რომ ამ მასას შეუძლია მიიყვანოს სიმკვრივე სამყაროს გაფართოების შემაჩერებელ კრიტიკულ მნიშვნელობამდე. თანამედროვე მდგომარეობა, შესაბამისად, გულისხმობს, რომ სამყარო გაფართოვდება მუდამ, მაგრამ ერთადერთი, რაც შეგვიძლია დაბეჯითებით ვთქვათ, თუ სამყარო შეკუმშვას დაიწყებს, ეს სულ ცოტა ათი ათასი მილიონი წლის შემდეგ მოხდება, იქამდე კი სამყარო გაფართოებას გააგრძელებს. ამან სულაც არ უნდა შეგვაწუხოს: იმ დროისთვის, თუ არ მოვახდინეთ მზის სის-

ტემის გარეთა სივრცის კოლონიზაციას, ადამიანთა მოდგმა დიდი ხანი უკვე აღარ იარსებებს მზის ჩაქრობის გამო!

ფრიდმანის ყველა ამონახსნის საერთო თვისებაა, რომ წარსულის რალაც მომენტში (ათი-ოცი ათასი მილიონი წლის წინათ) მანძილი ორ მეზობელ გალაქტიკას შორის ნულის ტოლი იყო. იმ დროს, რომელსაც დიდ აფეთქებას ვეძახით, სამყაროს სიმკვრივე და სივრცე-დროის სიმრუდე უსასრულოდ დიდი უნდა ყოფილიყო. რადგან მათემატიკოსები ვერ ოპერირებენ უსასრულო რიცხვებით, ეს ნიშნავს, რომ ფარდობითობის ზოგადი თეორია (რომელზედაც დაფუძნებულია ფრიდმანის ამონახსნები) წინასწარმეტყველებს ისეთ წერტილს, რომელშიც თეორია არ მუშაობს. ასეთი წერტილი იმის მაგალითია, რასაც მათემატიკოსები სინგულარობას უწოდებენ. ფაქტობრივად, ყველა ჩვენი თეორია აგებულია იმ მოსაზრებაზე, რომ სივრცე-დრო გლუვია და თითქმის ბრტყელი, ასე რომ, ისინი არ მუშაობენ დიდი აფეთქების სინგულარობაში, სადაც სივრცე დროის სიმრუდე უსასრულოდ დიდია. ეს ნიშნავს, რომ, თუ კი რაიმე მოვლენა მოხდა დიდი აფეთქების წინ, შეუძლებელია მისი გამოყენება იმის ასახსნელად, რა უნდა მომხდარიყო შემდგომში, რადგან დიდი აფეთქების დროს ირღვევა მიზეზობრივი კავშირი. შესაბამისად, თუ ვიცით ის, რაც მოხდა დიდი აფეთქების შემდეგ, შეუძლებელია იმის განსაზღვრა, რა მოხდა იმის წინ. ამგვარად, მოვლენებს დიდი აფეთქების წინ არავითარი გავლენა არა აქვთ მოვლენებზე მას შემდეგ, ამიტომ ისინი არ შეადგენენ მეცნიერული მოდელის ნაწილს. ამ მიზეზით ეს მოვლენები უნდა ამოვიღოთ მოდელიდან და ვთქვათ, რომ დრო დაიწყო დიდი აფეთქების მომენტიდან.

ბევრს არ მოსწონს აზრი დროის დასაწყისის შესახებ, რადგან მას ზებუნებრივი ძალის ჩარევის ელფერი დაჰკრავს (კათოლიკური ეკლესია, თავის მხრივ, ჩაეჭიდა დიდი აფეთქების მოდელს და 1951 წელს იგი ოფიციალურად გამოაცხადა ბიბლიასთან შესაბამისობაში მყოფ თეორიად). იყო, ცხადია, დიდი აფეთქების თავიდან აცილების ბევრი ცდა. დამეება, რომელმაც დიდი მხარდაჭერა მოიპოვა, ცნობილია მდგრადი სტატიკური თეორიის სახელწოდებით. იგი 1948 წელს შემოთავაზებული იყო ნაცისტებისგან ოკუპირებული ავსტრიიდან ლტოლვილი ორი მეცნიერის ჰერმან ბონდისა და თომას გოლდის მიერ, ბრიტანელ ფრედ ჰოილთან თანამშრომლობაში. ეს მეცნიერები ომის პერიოდში მუშაობდნენ რადარების დახვეწაზე.

მდგრადი სტატეკური თეორიის იდეა იმაში მდგომარეობდა, რომ, როცა ყველა გალაქტიკა შორდება ერთმანეთს, წარმოიშობილ თავისუფალ სივრცეში განუწყვეტლივ წარმოიშობა ახალი გალაქტიკები მატერიიდან, რომელიც ასევე განუწყვეტლივ წარმოიშობა. სამყარო ამის გამო ყოველთვის ერთნაირად გამოიყურება სივრცის ნებისმიერი წერტილიდან. მდგრადი სტატეკური თეორია მოითხოვს ზოგადი რელატივიზმის მოდიფიკაციას მატერიის მუდმივი შექმნის გასათვალისწინებლად, მაგრამ მატერიის წარმოშობის სისწრაფე ისეთი დაბალი იყო (დაახლოებით ერთი ნაწილაკი კუბურ კილომეტრზე წელიწადში), რომ იგი არ ეწინააღმდეგებოდა ექსპერიმენტს. პირველ თავში მოყვანილი კრიტერიუმების ჩარჩოებში ეს კარგი თეორიაა: იგი მარტივია და წინასწარმეტყველებს მოვლენებს, რომელთა შემოწმება შესაძლებელია ექსპერიმენტით. ერთ-ერთი ასეთი მოვლენა ის არის, რომ სამყაროში გალაქტიკების და მსგავსი ობიექტების რიცხვი სივრცის გამოყოფილ მოცულობაში ერთნაირი უნდა იყოს, რა მიმართულებითაც ან რა დროსაც არ უნდა ვაკვირდებოდეთ მას. გვიან 50-იან და ადრეულ 60-იან წლებში კემბრიჯში ასტრონომების ჯგუფმა მარტინ რაილის ხელმძღვანელობით (რაილი ომის დროს მუშაობდა ბონდისთან, გოლდთან და ჰოილთან ერთად რადარებზე) გააკეთა რადიოტალღების წყაროების მიმოხილვა. ამ ჯგუფმა აჩვენა, რომ ამ წყაროთა უმეტესობა ჩვენი გალაქტიკის გარეთ მდებარეობს (ცხადია, ბევრი მათგანი სხვა გალაქტიკებში მდებარეობს) და, აგრეთვე, რომ სამყაროში გაცილებით მეტი სუსტი წყაროა, ვიდრე ძლიერი. მათი ინტერპრეტაციით სუსტი წყაროები შორს მდებარეობენ, ხოლო ძლიერები ჩვენთან ახლოს. ამის გამო გამოვიდა, რომ წყაროების რაოდენობა ახლო სივრცეში ნაკლებია, ვიდრე ჩვენგან დაშორებულში. ეს კი ნიშნავდა, რომ ჩვენ იმ სივრცის ცენტრში ვართ, სადაც წყაროები უფრო იშვიათია, ვიდრე სხვაგან. შესაბამისად, ეს ნიშნავდა, რომ წყაროები წარსულში უფრო მრავალრიცხოვანი იყო, ვიდრე ამჟამად. შედეგი ეწინააღმდეგება მდგრად სტატეკურ თეორიას. უფრო მეტიც, მიკროტალღოვანი გამოსხივების აღმოჩენა პენზიასისა და ვილსონის მიერ 1965 წელს მიუთითებს, რომ სამყარო წარსულში უფრო მკვრივი იყო, ვიდრე დღეს. ამიტომ მდგრად სტატეკურ თეორიაზე უარი ითქვა.

დიდი აფეთქებისა და მასთან დროის დასაწყისის თავიდან აცილების მეორე ცდა გააკეთეს რუსმა მეცნიერებმა ევგენი ლივშიცმა და

ისაყ ხალატნიკოვმა 1963 წელს. მათი მოსაზრებით დიდი აფეთქება არის მხოლოდ და მხოლოდ ფრიდმანის მოდელის დამახასიათებელი თვისება, რაც, ამასთან, წარმოადგენს რეალური სამყაროს მხოლოდ გარკვეულ მიახლოებას. შესაძლებელია, რომ, რეალური სამყაროს მიახლოებით აღმწერი ყველა მოდელიდან, მხოლოდ ფრიდმანის მოდელები შეიცავს დიდი აფეთქების სინგულარობას. ფრიდმანის მოდელებში გალაქტიკები ერთმანეთს შორდებიან ზუსტად სწორი ხაზის გასწვრივ, ამიტომ გასაკვირი არ არის, რომ წარსულის რაღაც მომენტში ისინი თავს ერთ წერტილში იყრიდნენ. რეალურ სამყაროში, სინამდვილეში, გალაქტიკები პირდაპირ კი არ შორდებიან ერთმანეთს, არამედ მათ აქვთ მცირე გვერდითი სიჩქარეებიც. ამიტომ არ არის საჭირო, რომ ისინი ოდესღაც ყოფილიყვნენ თავმოყრილი ზუსტად ერთ წერტილში, გალაქტიკები, უბრალოდ, ახლოს იქნებოდნენ ერთმანეთთან. შესაძლებელია, რომ, ამჟამინდელი გაფართოება დიდი აფეთქების შედეგი კი არ არის, არამედ, უბრალოდ, წინა შეკუმშვის შემდგომი ფაზაა. სამყაროს შეკუმშვისას ნაწილაკები მასში შეჯახების მაგივრად, ჩაუვლიან ერთმანეთს და შემდეგ დაიწყებენ ერთმანეთისგან დაშორებას, რასაც დღეს ვაკვირდებით. ამ შემთხვევაში როგორ შეგვიძლია ვამტკიცოთ, რომ სამყარო დიდი აფეთქებით დაიწყო? ლივშიცმა და ხალატნიკოვმა შეისწავლეს სამყაროს მოდელები, რომლებიც მიახლოებით ჰგავდნენ ფრიდმანის მოდელებს, მაგრამ გაითვალისწინეს არარეგულარობები და გალაქტიკების ქაოსური სიჩქარეები რეალურ სამყაროში. მათ აჩვენეს, რომ ასეთი მოდელები შეიძლება დაიწყოს დიდი აფეთქებით, მიუხედავად იმისა, რომ გალაქტიკები ერთმანეთს არ შორდებიან წრფივად და აცხადებდნენ, რომ ეს შესაძლებელია მხოლოდ ზოგიერთ განსაკუთრებულ მოდელში, სადაც გალაქტიკები სწორი ხაზის გასწვრივ მოძრაობენ. მათი მტკიცებით, რადგან არსებობს უსასრულოდ მეტი ფრიდმანის მსგავსი მოდელები დიდი აფეთქების სინგულარობის გარეშე, ვიდრე მოდელები ამ სინგულარობით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ დიდი აფეთქება სინამდვილეში არ არსებობდა. მოგვიანებით, მათ გააცნობიერეს, რომ არსებობს სინგულარობის მქონე ფრიდმანის მსგავსი მოდელების გაცილებით მეტი რაოდენობა, რომლებშიც გალაქტიკების მოძრაობა შეზღუდული არ არის. ამიტომ 1970 წელს მათ უარი თქვეს თავის მოდელზე.

ლივშიცისა და ხალატნიკოვის შრომა იმით არის ღირსშესანიშ-

ნავი, რომ მან აჩვენა, სამყაროს შეიძლება ჰქონდეს სინგულარობა, დიდი აფეთქება, თუ ფარდობითობის ზოგადი თეორია სწორია. ცხადია, მან ვერ გადაწყვიტა ძირითადი საკითხი, ამტკიცებს თუ არა ზოგადი რელატივიზმი, რომ სამყაროს უნდა ჰქონოდა დიდი აფეთქება და დროის დასაწყისი? პასუხი ამ კითხვაზე მივიღეთ სულ სხვაგვარი მიდგომის შედეგად, რომელიც შემოიტანა ბრიტანელმა მათემატიკოსმა და ფიზიკოსმა როჯერ პენროუზმა 1965 წელს. ზოგად რელატივიზმში სინათლის კონუსის ყოფაქცევისა და იმ ფაქტის გამოყენებით, რომ გრავიტაციას მხოლოდ მიზიდულობა ახასიათებს, მან აჩვენა, რომ თავისი გრავიტაციის ძალით შეკუმშვის დროს ვარსკვლავი ჩაიჭირება ისეთ არეში, რომლის ზედაპირი შეიძლება შემცირდეს ნულამდე. რადგან ამ არის ზედაპირი ნულამდე იკუმშება, იგივე უნდა მოუვიდეს მის მოცულობასაც. ვარსკვლავის ნივთიერება შეიკუმშება ნულოვან მოცულობამდე, ამიტომ მატერიის სიმკვრივე და სივრცე-დროის სიმრუდე უსასრულო გახდება. სხვა სიტყვებით, არსებობს სინგულარობა სივრცე-დროის არეში, რომელიც შავი ხვრელის სახელით არის ცნობილი.

ერთი შეხედვით, პენროუზის შედეგი მხოლოდ ვარსკვლავებისათვის გამოიყენება და მას არა აქვს კავშირი კითხვასთან, ჰქონდა თუ არა მთლიან სამყაროს დიდი აფეთქება წარსულში? იმ დროს, როდესაც პენროუზმა თავისი თეორემა ჩამოაყალიბა, მე დოქტორანტურის სტუდენტი ვიყავი და გამწარებული ვეძებდი თემას ჩემი დისერტაციისთვის. ორი წლით ადრე დამისვეს გაფანტული სკლეროზის დიაგნოზი, რომელიც უფრო მამოძრავებელი ნეირონების ავადმყოფობით არის ცნობილი და გამაგებინეს, რომ ვიცოცხლებ ერთი ან ორი წელიწადი. ამ მდგომარეობაში დისერტაციაზე მუშაობის დიდი სურვილი არ უნდა მქონოდა – არ ველოდი, რომ ამდენ ხანს ვიცოცხლებდი. მაგრამ გაიარა ორმა წელმა, ჩემი მდგომარეობა კი არ გაუარესებულა. სინამდვილეში, საქმეები საკმაოდ კარგად მიმდიოდა და მე დავინიშნე შესანიშნავ გოგონაზე, ჯეინ ვაილდზე. დასაქორწინებლად მჭირდებოდა სამუშაო, ხოლო სამუშაოს მისაღებად კი *Ph.D*-ის მიღება იყო საჭირო.

1965 წელს წავიკითხე პენროუზის თეორემის შესახებ, რომელიც ამტკიცებდა, რომ ნებისმიერი სხეული, რომელიც განიცდის კოლაფსს, სინგულარობას უნდა ქმნიდეს. მე მაშინვე მივხვდი, რომ თუ პენროუზის თეორემაში დროს შევაბრუნებთ ისე, რომ კოლაფ-

სი გადაიქცეს გაფართოებად, მისი თეორიის პირობები შესრულებული იქნება, რაც დიდი მასშტაბით ფრიდმანის მოდელში შეიძლება გადავიდეს. პენროუზის თეორემამ აჩვენა, რომ ყველა ვარსკვლავი, რომელიც კოლაფსს განიცდის, უნდა დასრულდეს სინგულარობით. დროის შებრუნების საშუალებით ნაჩვენებია, რომ ფრიდმანის მსგავსი ნებისმიერი მოდელი უნდა დაიწყოს სინგულარობით. ტექნიკური მიზეზების გამო პენროუზის თეორემა მოითხოვს, რომ სამყარო სივრცულად უსასრულო იყოს. ასე რომ, მე შევძელი ამ ფაქტის გამოყენება იმის დასამტკიცებლად, რომ სინგულარობა არსებობს მხოლოდ მაშინ, თუ სამყარო ისე სწრაფად ფართოვდება, რომ შემდგომ კოლაფსს ადგილი არ ექნება (რადგან მხოლოდ ფრიდმანის ასეთი მოდელები არის სივრცულად უსასრულო).

შემდგომ, რამდენიმე წელიწადში, მე განვაავითარე ახალი მათემატიკური ტექნიკა თეორემიდან, ასეთი ტექნიკური პირობების გამოსარიცხად, რამაც დაამტკიცა, რომ სინგულარობა არსებობს. ფინალური შედეგი ჩამოყალიბდა ჩემი და პენროუზის შრომაში 1970 წელს, რამაც საბოლოოდ დაამტკიცა, რომ თუ ზოგადი რელატივიზმი სამართლიანია და სამყარო იმდენ მატერიას შეიცავს, რასაც დღეს ვაკვირდებით, უნდა არსებობდეს დიდი აფეთქების სინგულარობა. ჩვენს ნაშრომს დიდი წინააღმდეგობა შეხვდა, განსაკუთრებით რუსებისგან მათი მეცნიერული დეტერმინიზმის მარქსისტული რწმენის გამო, და ნაწილობრივ იმ პირებისგან, ვინც გრძნობდა, რომ სინგულარობა აუტანელია და აფუჭებს აინშტაინის თეორიის სილამაზეს. ამის მიუხედავად არ არსებობდა მათემატიკური არგუმენტები ჩვენი თეორიის წინააღმდეგ და, საბოლოოდ, ჩვენი ნაშრომი საყოველთაოდ აღიარეს და დღეს თითქმის ყველა მიიჩნევს, რომ სამყარო დიდი აფეთქების სინგულარობით დაიწყო. ამ სიტუაციაში ყველაზე სასაცილო ის არის, რომ მე შევიცვალე აზრი და ახლა ვცდილობ დავარწმუნო სხვა ფიზიკოსები, რომ სამყაროს დასაწყისში, სინამდვილეში, არავითარი დიდი აფეთქება არ არსებობდა. როგორც ამას ქვევით დავინახავთ, იგი ქრება თუ გავითვალისწინებთ კვანტურ ეფექტებს.

ამ თავში ვნახეთ, როგორ შეიცვალა ათასწლეულებით ჩამოყალიბებული ადამიანის წარმოდგენა ჩვენი სამყაროს შესახებ ნახევარ საუკუნეზე ნაკლებ დროში. ჰაბლის აღმოჩენა სამყაროს გაფართოების შესახებ და ჩვენი საკუთარი პლანეტის სამყაროში ყოვლად უმნიშვნელო როლის გაცნობიერება მხოლოდ დასაწყისი იყო. რაც

უფრო მეტი ექსპერიმენტული და თეორიული ფაქტები გროვდებოდა, უფრო და უფრო ნათელი ხდებოდა, რომ სამყაროს აქვს დასაწყისი დროში, სანამ 1970 წელს ეს პენროუზისა და ჩემ მიერ არ დამტკიცდა აინშტაინის ფარდობითობის ზოგადი თეორიის საფუძველზე. ამ მტკიცებამ აჩვენა, რომ ზოგადი რელატივიზმი არასრული თეორიაა: მას არ შეუძლია თქმა, როგორ დაიწყო სამყარო, რადგან იგი წინასწარმეტყველებს, რომ ყველა ფიზიკური თეორია, მისი ჩათვლით, მარცხს განიცდის სამყაროს დასაწყისში. მიუხედავად ამისა, ზოგადი რელატივიზმი აცხადებს პრეტენზიას მხოლოდ იმაზე, რომ იგი ნაწილობრივი თეორიაა, ხოლო როგორც ეს სინგულარობის თეორემამ აჩვენა, სამყაროს დასაწყისში უნდა ყოფილიყო ისეთი მომენტი, როდესაც სამყარო იმდენად პატარა იყო, რომ მისი განხილვისას შეუძლებელი ხდება მცირემასშტაბიანი ეფექტების უგულებელყოფა, რომელსაც სწავლობს მეოცე საუკუნის მეორე დიდი ნაწილობრივი თეორია – კვანტური მექანიკა. 70-იანი წლების დასაწყისში ჩვენ იძულებული გაგხდით, შემოგვებრუნებინა ჩვენი კვლევები განსაკუთრებულად დიდის თეორიიდან განსაკუთრებულად მცირის თეორიისაკენ. ეს თეორია, კვანტური მექანიკა, აღწერილი იქნება შემდგომში, სანამ შევეცდებით ამ ორი ნაწილობრივი თეორიის შეერთებას გრავიტაციის ერთიან კვანტურ თეორიაში.

