

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნანა მაისურაძე

ბუნებისმცოდნეობა



გამომცემლობა „უნივერსალი“
თბილისი 2018

წიხამდებარე სახელმძღვანელო განკუთვნილია უმაღლესი სკოლის განათლების, საბუნებისმეტყველო, ტექნიკური და ჰუმანიტარული ფაკულტეტების სტუდენტებისთვის, მაგისტრანტებისა და პედაგოგებისათვის. ასევე ის სასარგებლო იქნება მათთვის, ვინც დაინტერესებულია ბუნებისმეტყველებით, როგორც დამოუკიდებელი მეცნიერებით და ბუნებისმეტყველებით, როგორც ბუნების შესახებ მეცნიერებათა ერთობლიობით.

ნაშრომში წარმოდგენილია კონცეფციების ფართო პანორამა, რომელშიც გაშუქებულია ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნების სხვადასხვა პროცესები და მოვლენები, აღწერილია სამყაროს შეცნობის თანამედროვე მეცნიერული მეთოდები. ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობის კონცეფციების განხილვაზე, რომელთაც აქვთ მსოფლმხედველური და მეთოდოლოგიური მნიშვნელობა.

რედაქტორები: პროფ. ბერია რ.

რეცენზენტები: პროფ. ალფენიძე მ.
 პროფ. ზარქუა მ.
 პროფ. მსხილაძე ა.
 პროფ. პაპავა ი.

© ნ. მაისურაძე, 2018

გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2018

თბილისი, 0186, ა. ჰოლიბაოვსაიის №4, ☎: 5(99) 33 52 02, 5(99) 17 22 30
 E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversal@gmail.com

ISBN 978-9941-26-431-3

შესავალი.....	6
თავი I. ბუნებისმცოდნეობის საგანი და სტრუქტურა	
§1.1. მეცნიერება. მეცნიერების ფუნქცია	8
§1.2. ბუნებისმცოდნეობა - მეცნიერებათა კომპლექსი ბუნების შესახებ	20
§1.3. საბუნებისმეტყველო კვლევათა მეთოდები.....	32
თავი II. ფუნდამენტური ცნებები მატერიის შესახებ	
§2.1. მატერია და მისი თვისებები.....	41
§2.2. ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები.....	50
§2.3. სითბური გამოსხივება. კვანტური წარმოდგენების დაბადება	54
§2.4. დე ბროილის ჰიპოთეზა ნაწილაკთა თვისების კორპუსკულურ-ტალღურ დუალიზმის შესახებ	61
§2.5. რეზერფორდის ცდები. ატომის ბირთვული მოდელი ..	64
§2.6. ბორის თეორია წყალბადის ატომისათვის. ბორის პოსტულატები.....	69
§2.7. წყალბადის ატომი. ხაზოვანი სპექტრი.....	71
§2.8. მრავალელექტრონიანი ატომი. პაულის პრინციპი	80
§2.9. მენდელეევის პერიოდული კანონის კვანტურ- მექანიკური დასაბუთება	82
§2.10. რადიოაქტივობა	84
თავი III. სივრცე, დრო, ფარდობითობის პრინციპები	
§3.1. აბსოლუტური სივრცისა და დროის ნიუტონისეული კონცეფცია. მოძრაობის კანონები	96
§3.2. შენახვის კანონები.....	103
§3.3. თანამედროვე ფიზიკის პრინციპები კვანტური მექანიკის შესახებ	110

§3.4. ფარდობითობის სპეციალური თეორია.....	120
§3.5. შინაგანი ენერგია. სითბოს რაოდენობა. მუშაობა თერმოდინამიკაში. თერმოდინამიკის საწყისები	127
§3.6. თერმოდინამიკის პირველი კანონი.....	132
§3.7. იდეალური აირის სითბოტევადობა	137
§3.8. სითბური ძრავა. თერმოდინამიკური ციკლები. კარნოს ციკლი	144
§3.9. სითბური პროცესების შეუქცევადობა. თერმოდინამიკის მეორე კანონი. ენტროპიის ცნება	151

**თ ა ვ ი IV. საბუნებისმეტყველო ცოდნა ნივთიერების
შესახებ**

§4.1. ქიმია, როგორც მეცნიერება. მოკლე ისტორიული ცნობა. თანამედროვე ქიმიის პრობლემები და პერსპექტივები	163
§4.2. ქიმიური ელემენტი. ატომის აგებულება. პერიოდულობის კანონი.....	166
§4.3. ქიმიური ნაერთები, ქიმიური ბმა	176
§4.4. ქიმიური რეაქცია, მისი სიჩქარე, კინეტიკა და კატალიზი	182
§4.5. არაორგანული და ორგანული ნაერთების ქიმიური აგებულებისა და შედგენილობის ურთიერთკავშირი...	187
§4.6. ევოლუციური ქიმია - სამყაროში ქიმიური ელემენტების შერჩევა	192

თ ა ვ ი V. ნანოტექნოლოგიები

§5.1. ნანოტექნოლოგიები და მათი გამოყენების სფეროები ..	196
--	-----

თ ა ვ ი VI. მეგასამყარო და მისი თვისებები

§6.1. ზოგადი წარმოდგენები სამყაროზე.....	205
§6.2. გალაქტიკები.....	210
§6.3. ვარსკვლავები	234

§6.4. მზის სისტემა	257
თ ა ვ ი VII. დედამიწა	
§7.1. დედამიწის ფორმა და ზომები	267
§7.2. გეგმა და რუკა.....	275
§7.3. დედამიწის ზედაპირის გამოსახვა რუკაზე	287
§7.4. რისგან შედგება დედამიწის ფენები.....	292
§7.5. დედამიწის რელიეფი.....	301
თ ა ვ ი VIII. სწავლება ბიოსფეროს შესახებ	
§ 8.1. ბიოსფეროს წარსული	304
§8.2. გეოგრაფიული გარსის მთლიანობის კანონი.....	308
§8.3. ბიოსფეროს მომავალი.....	311
თ ა ვ ი IX. ცოცხალი ორგანიზმები	
§9.1. მცენარეთა სამყარო.....	315
§ 9.2. ცხოველთა სამყარო	329
თ ა ვ ი X. ეკოლოგიის საფუძვლები.....	339
§10.1. ეკოლოგიური ფაქტორები და მცენარეული საფარი	340
§10.2. ეკოლოგიური ფაქტორები და ცხოველთა სამყარო	344
§ 10.3. ბიოცენოზები	348
§10.4. ატმოსფეროს ეკოლოგიური პრობლემები.....	349
§10.5. ეკოლოგიური განათლება	357
და ს კ ვ ნ ა.....	361
ლი ტ ე რ ა ტ უ რ ა	363

შესავალი

ბუნებისმცოდნეობა არის მეცნიერება ბუნების მოვლენებისა და კანონების შესახებ. განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ბუნებისმცოდნეობა მოიცავს სხვადასხვა დარგს. ესენია: ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია, ბიოქიმია, გეოქიმია, ასტრონომია, გენეტიკა, ეკოლოგია და სხვა. ბუნებისმეტყველება მოიცავს საკითხების ფართო სპექტრს ბუნების ობიექტებისა და მოვლენების სხვადასხვა თვისებების შესახებ, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთიანი სისტემა. ბუნებისმცოდნეობის წარმატებებმა, განსაკუთრებით XVII-XVIII სს, ხანგრძლივი დროით განაპირობა ბუნებისმცოდნეობის პრინციპები რაციონალურობის ეტალონად. ბუნების შესწავლა იქცა ადამიანის ბუნებრივ სწრაფვად გარესამყაროს შეცნობისა და გახდა პრაქტიკული მოღვაწეობის საფუძველი. ბუნების ძირითადი ცნებები, მოვლენათა ცვლილების კანონზომიერებათა წარმოდგენები, კანონების გამოყენების ხერხები წარმოიშვა მისი გამოკვლევის შედეგად. ბუნებისადმი დამოკიდებულება, სამყაროში მისი ადგილის გათვითცნობიერება, მასში მიმდინარე მოვლენების შესახებ წარმოდგენები იყო საფუძველი მეცნიერული და ფილოსოფიური სისტემებისა სხვადასხვა ცივილიზაციებში. ამჟამად, ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს აქტიური მოქმედების სფეროს და მასზე დაფუძნებული თანამედროვე ტექნოლოგიები ახდენენ თანამედროვე ადამიანის ცხოვრების წესის ფორმირებას.

თანამედროვე ბუნებისმეტყველების ძირითადი ფილოსოფიური და მეთოდოლოგიური პრინციპები, მათი განვითარების წამყვანი მიმართულებები და ადგილი სამყაროს ზოგადკულტურულ სურათში, განიხილება „ბუნებისმცოდნეობის“ კურსში. თუმცა, ბუნებისმეტყველების ყველა დარგში დაგროვილი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ცოდნის დეტალური წარმოდგენა აუცილებელი, მაგრამ რთული პროცესია, რომლის გადასაჭრელად

გამოიყენება სამეცნიერო მასალების გადმოცემის კონცეპტუალობის პრინციპი.

სახელმძღვანელო მოიცავს ძირითად იდეებს, პრინციპებს, რაც შესაძლებლობას აძლევს სტუდენტებს მიიღონ ფუნდამენტალური ცოდნა ბუნების შესახებ და ამის საფუძველზე უფრო დეტალურად შეისწავლონ სპეციალიზირებული დისციპლინები. კონცეპტუალური აზროვნება და ბუნებისმცოდნეობის აღქმა საჭიროა საბუნებისმეტყველო, ტექნიკური და ჰუმანიტარული ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის, რადგან იგი გვიჩვენებს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა როლს თანამედროვე ცხოვრებაში, მისი პრინციპებისა და კანონების გამოყენებადობას ადამიანის თეორიული და პრაქტიკული საქმიანობის სხვადასხვა სფეროში.

თავი I. ბუნებათმცოდნეობის საგანი და სტრუქტურა

ტერმინი „ბუნებისმცოდნეობა“ წარმოიშობა ორი სიტყვის „ბუნებისა“ და „ცოდნის“ შერწყმით. ამგვარად, ტერმინის ლიტერატურული ინტერპრეტაცია ნიშნავს ცოდნას ბუნებაზე.

ბუნებისმცოდნეობა, თანამედროვე გაგებით, არის მეცნიერება, რომელიც წარმოადგენს მეცნიერებათა კომპლექსს ბუნების შესახებ აღებულს მათ ურთიერთკავშირში. თანაც, ბუნების ქვეშ იგულისხმება ყველაფერი, მთელი სამყარო მისი მრავალფეროვანი ფორმებით.

§ 1.1. მეცნიერება. მეცნიერების ფუნქცია

მეცნიერება არის ადამიანის საქმიანობის სფერო, რომლის მიზანია გარემომცველი სამყაროს შესახებ ობიექტური ცოდნის მიღება, დამუშავება და სისტემატიზაცია. მეცნიერული ცოდნის დაგროვება ხდება ბუნების, საზოგადოების ან სხვა ობიექტის სამეცნიერო მეთოდის საშუალებით სწავლის შედეგად. ამავე დროს მეცნიერება საზოგადოებრივი ცნობიერების ერთ-ერთ ფორმას წარმოადგენს.

მეცნიერებათა კლასიფიკაციას მიეძღვნა უამრავი გამოკვლევა და ნაშრომი, მაგრამ ამ თემაზე რაიმე საერთო თვალთახედვა არ არსებობს. კლასიფიკაციის კრიტერიუმის შესაბამისად, შესაძლებელია ესა თუ ის მეცნიერება განხილულ იქნეს როგორც ცოდნის განცალკევებული სფერო ან როგორც სხვა მეცნიერების დარგი, შტო. უკანასკნელ ათწლეულებში მრავალი ახალი დარგი ჩამოყალიბდა, როგორებიცაა მაგალითად: მათემატიკური ლინგვისტიკა, სოფლის მეურნეობის გეოგრაფია, ბიოქიმია, გეოფიზიკა და ა.შ., რომელთა ადგილის განსაზღვრა მეცნიერებათა სისტემაში არ არის მარტივი საქმე.

ყველაზე ხშირად მეცნიერებათა სისტემას შემდეგ ჯგუფებად ყოფენ:

1. ფორმალური მეცნიერებები;
2. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები;
3. საზოგადოებრივი მეცნიერებები;
4. კულტურული მეცნიერებები;
5. გამოყენებითი მეცნიერებები;
6. მეცნიერებათაშორისი დისციპლინები.

მეცნიერება ანტიკურ ხანაში წარმოიშვა საზოგადოების პრაქტიკული მოთხოვნილებებიდან გამომდინარე, მაგრამ ჩამოყალიბდა მე-16-17 საუკუნეებში. ამ დროიდან სამეცნიერო საქმიანობის მოცულობა ყოველ 10-15 წელში ორმაგდებოდა. მეცნიერების განვითარების პროცესში ერთმანეთს ენაცვლებოდა ექსტენსიური და რევოლუციური პერიოდები. სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბდა ერთიანი სისტემა „მეცნიერება – ტექნიკა – წარმოება“, რომელშიც წამყვანი როლი მეცნიერებას ეკუთვნის. ისტორიული განვითარების პროცესში მეცნიერება მნიშვნელოვანი სოციალური ინსტიტუტი გახდა და დიდი გავლენა მოიპოვა საზოგადოებრივი ცხოვრების ყველა სფეროზე. მეცნიერება მჭიდროდაა დაკავშირებული ფილოსოფიასთან, იდეოლოგიასთან და პოლიტიკასთან, რაც განსაზღვრავს მის საზოგადოებრივ როლს.

მეცნიერების სამი ძირითადი ჰიპოთეზის არსებობს. ესენია: კულტურის დარგი, სამყაროს შეცნობის გზა, სოციალური ინსტიტუტი.

მეცნიერება, როგორც კულტურის დარგი.

კულტურა – ერთ-ერთი ყველაზე ფართოდ გავრცელებული სიტყვაა, როგორც სამეცნიერო ლიტერატურაში, ისე ყოფით მეტყველებაში. მას მრავალი მნიშვნელობა აქვს, რაც თვით კულტურის ფენომენის სირთულითა და მრავალფეროვნებითაა განპირობებული.

თანამედროვე მნიშვნელობით, ტერმინი „კულტურა“ XVII საუკუნიდან იხმარება. მიჩნეულია, რომ დამოუკიდებელი ლექსიკური ერთეულის სახით იგი პირველად გამოიყენა გერმანელმა იურისტმა და ისტორიკოსმა სამუელ პუფენდორფმა (1632-1694), რომელიც კულტურას ადამიანის ბუნებრივ მდგომარეობას უპირისპირებდა.

ამერიკელი სოციოლოგების ა.კრიობერისა და კ. კლაკჰონის მიერ 1952 წელს ჩატარებული გამოკვლევის თანახმად, 1871 წლიდან 1919 წლამდე კულტურის ცნების სულ 7 დეფინიცია იყო შემოთავაზებული (პირველი, როგორც ითვლება, ცნობილ ინგლისელ მეცნიერს ე.ბ.ტილორს ეკუთვნის); 1920-დან 1950 წლამდე კი მათ სხვადასხვა ავტორთან იგივე ცნების 157 განსაზღვრება დათვალეს. 1963 წელს კრიობერმა და კლაკჰონმა ხელახლა გამოსცეს თავიანთი ნაშრომი. ამჯერად დეფინიციათა რიცხვი გაცილებით დიდი იყო, რადგან პირველი გამოცემიდან გასული ათი წლის განმავლობაში გაჩნდა კულტურის ცნების ახალი ინტერპრეტაციები. კულტურის განსაზღვრებათა ეს მიმოხილვა ყველაზე სრული იყო იმჟამად არსებულთაგან, თუმცა ზოგიერთი ნაკლი მაინც ჰქონდა: ავტორები, ძირითადად, ინგლისურ-ამერიკულ ლიტერატურაში არსებული მიდგომებით იფარგლებოდნენ და ნაკლებ ყურადღებას აქცევდნენ გერმანულ და ფრანგულენოვან ლიტერატურაში არსებულ მრავალფეროვან განსაზღვრებებსა და კონცეფციებს.

დროთა განმავლობაში ჩამოყალიბდა კულტურის სხვადასხვაგვარი ინტერპრეტაცია: ისტორიული, სტრუქტურული, სტრუქტურულ-ფუნქციური, სისტემური (ფ.ბოასი, კ.ლევისტროსი, ბ.მალინოვსკი, ა.რადკლიფ-ბრაუნი, ლ.უაიტი) და სხვა.

კულტურის ფენომენი სხვადასხვა მეცნიერების შესწავლის ობიექტია. თვით ცნების უნივერსალურობა და ყოვლისმომცველობა საშუალებას იძლევა, განხილულ იქნეს იგი მრავალ ასპექტში: როგორც

- საზოგადოებრივი ცხოვრების სფერო;
- სოციალური ინსტიტუტი;
- პიროვნების განვითარების დონის მახასიათებელი;
- საზოგადოების მარეგულირებელი ნორმების სისტემა;
- სოციალური გამოცდილების გადაცემის მექანიზმი;
- თვითდეტერმინაციის ფენომენი და ა. შ.

ამდენად, სრულიად ბუნებრივია ზემოთ ნახსენები განსაზღვრებათა სიმრავლეც. ზოგადად, კულტურის ცნება ხაზს უსვამს ადამიანის განსხვავებას ყველა სხვა ბიოლოგიური არსებისაგან. კულტურაში იგულისხმება არა ცალკეული შემოქმედებითი აქტი, არამედ შემოქმედება როგორც ადამიანის უნივერსალური დამოკიდებულება სამყაროსადმი, რომლის მეშვეობით იგი ქმნის „ახალ სამყაროს“ და საკუთარ თავს. თითოეული კულტურა განუმეორებელი სამყაროა, რომლის შიგნით არსებობს ადამიანის (ადამიანთა) სწორედ ასეთი დამოკიდებულება გარემომცველი სინამდვილისა და საკუთარი თავისადმი.

არსებობს კულტურის ცნების მრავალი საინტერესო და ორიგინალური დეფინიცია. ნებისმიერი განსაზღვრება მოიცავს ამ ფენომენის ერთ ან რამდენიმე მხარეს, კონკრეტული ინტერესის შესაძლო მრავალგვარი ხასიათიდან გამომდინარე, ყოვლისმომცველობისა და ამომწურავობის პრეტენზია კი ვერც ერთს ვერ ექნება.

კულტურის კვლევის, მისი სახის განსაზღვრის მცდელობისას გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ, ერთი მხრივ, „სხვა, ჩვენი კულტურისაგან განსხვავებული კულტურის ადამიანებთან დიალოგი თანამედროვე ცნობიერების განუყოფელი ფუნქციაა“, მეორე მხრივ კი – „კულტურა, ყველაზე ფართო მნიშვნელობით, არის ის, რის გამოც შენ უცხოდ იქცევი, როგორც კი შენს სახლს დატოვებ... როდესაც იმყოფები შენს ჯგუფში, იმ ადამიანებს შორის, რომლებთანაც საერთო კულტურა გაქვს, შენ არ გიხდება ფიქრი საკუთარ აზრებსა და ქცევაზე, რადგან შენც და ისინიც,

პრინციპში, ერთნაირად ხედავთ სამყაროს, იცით, რას შეიძლება მოელოდეთ ერთმანეთისაგან. მაგრამ უცხო საზოგადოებაში უსუსურობისა და დეზორიენტირებულობის გრძნობა გეუფლება“. ეს ეხება არა მხოლოდ ცოცხალ კონტაქტს ადამიანებს შორის, არამედ, კულტურის კვლევის პროცესსაც. ადამიანები კითხვებს უსვამენ წარსულში ან სხვა კულტურის ფარგლებში მცხოვრებ ადამიანებს, ცდილობენ გაშიფრონ მათ მიერ დატოვებული თუ მოწოდებული ინფორმაცია. მაგრამ კითხვები, რომლებზეც პასუხსაც ეძებენ, განსაზღვრულია თანამედროვე ცნობიერებით, კულტურით, რომლის მატარებელი არიან, სიტუაციით, რომელშიც ისინი იმყოფებიან.

კულტურათა ურთიერთქმედება ეწოდება უშუალო კავშირისა და ურთიერთობის სახეს, რომელიც ყალიბდება სულ მცირე, ორ კულტურას შორის, აგრეთვე ამ ურთიერთობათა შედეგად წარმოშობილ გავლენებსა და ორმხრივ ცვლილებებს. კულტურათა ურთიერთქმედების პროცესში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ფასეულობათა, მახასიათებელთა, კულტურული აქტივობის ფორმათა შეცვლას, ახალი ორიენტირების გაჩენას, რაც გარედან მომდინარე იმპულსების გავლენით ხდება. კულტურათა ურთიერთქმედება, როგორც წესი, ხანგრძლივი პროცესია (არანაკლებ რამდენიმე ათეული წლისა).

გამოყოფენ კულტურათა ურთიერთქმედების სხვადასხვა დონეს: 1) ეთნიკური დონე – ურთიერთობა ეთნოსებს, ისტორიულ-ეთნოგრაფიულ, ეთნოკონფესიურ და სხვა ჯგუფებს შორის; 2) ეროვნული დონე, სადაც რეგულაციურ ფუნქციას მნიშვნელოვანწილად სახელმწიფო – პოლიტიკური სტრუქტურები ასრულებენ; 3) ცივილიზაციური დონე.

კულტურათა ურთიერთქმედების პროცესში განარჩევენ კულტურა-დონორს და კულტურა-რეციპიენტს. პირველი მეტს გასცემს, ვიდრე იღებს, მეორე – პირიქით. დროთა განმავლობაში ეს როლები შეიძლება იცვლებოდეს.

ცნობილია ურთიერთქმედების როგორც მშვიდობიანი, ნებაყოფლობითი (თანასწორუფლებიანი თანამშრომლობა), ისე არამშვიდობიანი, ძალდატანებითი (კოლონიური, სამხედრო დაპყრობები) ფორმები.

კულტურული ურთიერთქმედების შედეგები არაერთგვაროვანია, მათი შეფასების კრიტერიუმების მოძებნა ძნელია. შესაბამისად, ძნელია საუბარი ცალსახად დადებით ან უარყოფით შედეგებზე, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც ერთი კულტურა იწყებს აშკარა დაქვეითებას, მეორეში გათქვეფას, ან უკვალოდ ქრება. ასეთი შედეგის თვალის მიდევნება ყველაზე უკეთ შეიძლება რელიქტური ან არქაული კულტურების მაგალითზე, რომლებიც თავიანთი ისტორიის რომელიღაც პერიოდში თანამედროვე ტიპის კულტურებს შეეჯახნენ და მზად არ აღმოჩნდნენ, აეთვისებინათ მათ მიერ შეთავაზებული კულტურული ფორმები.

უფრო რთულია მსჯელობა იმ კულტურათა ურთიერთქმედებაზე, რომლებიც ძირეულად არ განსხვავდებიან ტიპოლოგიური მახასიათებლებით.

ყოველ კულტურას აქვს დაცვითი მექანიზმების მთელი სისტემა, რომელიც იცავს მას სხვა კულტურათა განსაკუთრებით ინტენსიური ზემოქმედებისაგან.

კულტურათა ურთიერთქმედების პროცესისა და მისი შედეგების გადმოსაცემად გამოიყენება შემდეგი ტერმინები: კულტურული დიფუზია, კულტურული კონფლიქტი, ასიმილცია, კულტურული შოკი, აკულტურაცია, კულტურული ცვლილება.

გამოიყოფა კულტურათა ცივილიზაციათაშორისი ურთიერთობის სამი ძირითადი ტიპი:

- კონფრონტაცია
- სიმბიოზი
- სინთეზი

განასხვავებენ კულტურის რეაქციის ორ ძირითად ტიპს: ეთნოცენტრულსა და ეთნორელატიურს. პირველი, თავის მხრივ,

მოიგავს სამი სახის რეაქციას: 1) კულტურათაშორის არსებული განსხვავების უარყოფა, 2) საკუთარი კულტურული უპირატესობის დაცვა, 3) განსხვავებათა მინიმინზაცია; მეორე ტიპი ასევე სამგვარ რეაქციას აერთიანებს: 1) კულტურათა განსხვავების მიღება-აღიარება, 2) ახალ კულტურასთან ადაპტაცია, 3) ინტეგრაცია ორივე (მშობლიურ და ახალ) კულტურაში.

მეცნიერება, როგორც სამყაროს შეცნობის გზა

ამჟამად, შემეცნების ყველაზე განვითარებულ ფორმას წარმოადგენს მეცნიერება. ის იმეცნებს შესასწავლ მოვლენათა ობიექტურ კანონებს. სწორედ ამიტომ მეცნიერება ფლობს პროგნოზირების ფუნქციას, საშუალებას იძლევა წინასწარ განსაზღვროს მოვლენები. მეცნიერების ფორმულაა: ვიცოდეთ, რომ განვკვირვობთ, განვკვირვობთ, რომ ვიმოქმედოთ ცოდნით. მეცნიერების გვერდიგვერდ არსებობს არამეცნიერული შემეცნება, რომელსაც მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ადამიანის ცხოვრებაში. პრაქტიკაში შემეცნების არამეცნიერული ფორმები ხშირად შეუცვლელია. მათ შორის ყველაზე გავრცელებულია ყოფითი შემეცნება.

ყოფითი შემეცნების შედეგი, ისევე როგორც მეცნიერულის, შეიძლება იყოს ობიექტური ცოდნა სამყაროზე. ამასთან, მეცნიერულ და ყოფით შემეცნებას აქვს რიგი მნიშვნელოვანი განსხვავებები:

1. შემეცნების ობიექტის ხასიათი. ყოფით ცდას საქმე აქვს მთლიან ობიექტთან და მისი გარე კავშირების მთელ კომპლექსთან. მეცნიერებაში ობიექტს იმეცნებენ მისი ნაწილების შესწავლითა და მათ შორის კავშირის დადგენით, ამასთან თეორიულად საქმე აქვთ არა თვით ობიექტებთან, არამედ მათ იდეალურ მოდელებთან.

2. სისტემურობა და დასაბუთებულობა – მეცნიერული ცოდნის ყოფითი ცოდნისგან განმასხვავებელი ნიშანია. მეცნიერული ცოდნა დგინდება ერთი მტკიცებულების მეორედან ლოგიკური გამოყვანით.

3. მიღებული ცოდნის საიმედოობის შემოწმება. ყოფითი ცოდნის საიმედოობა შეიძლება დადგინდეს მხოლოდ ცდით ან წარმოების პროცესში. მეცნიერება კი იყენებს ცოდნის შემოწმების სპეციფიკურ საშუალებას – ექსპერიმენტს.

4. სპეციალური აპარატურის გამოყენება. ყოფითი შემეცნებისაგან განსხვავებით, მეცნიერება საჭიროებს სპეციალურ საშუალებებს კვლევისთვის – სამეცნიერო აპარატურას.

5. გამოყენებული ენა. ყოფითი შემეცნების პროცესში იყენებენ სალაპარაკო ენას. მეცნიერებაში გარდა სალაპარაკო ენისა გამოიყენება სპეციალურად შემუშავებული ენა სპეციფიკური ტერმინების, სიმბოლოების, სქემების, ფორმულებისათვის.

6. სპეციალური მომზადების აუცილებლობა. ყოფითი შემეცნებისაგან განსხვავებით, მეცნიერება ითხოვს სპეციალურ – თეორიულ, პრაქტიკულ, მეთოდურ მომზადებას.

მეცნიერულ შემეცნებაზე გადასვლა იყო ხანგრძლივი. მეცნიერული შემეცნების ჩასახვისა და საწყისი განვითარების ეტაპს შეიძლება მივაკუთვნოთ პერიოდი VII – VI საუკუნეებიდან ჩვ.წ. აღრიცხვამდე, როდესაც ძველ საბერძნეთში გაჩნდა სამყაროს შეცნობის ინტერესი, XVI – XVIII საუკუნეებამდე – მეცნიერების აღმოცენების დრომდე. მეცნიერების შემეცნებით წინაპირობად იქცა გონებისა და აბსტრაქტული აზროვნების კრიტიკული ფუნქციების განვითარება. ჯერ კიდევ უძველესი დროიდან ადამიანმა დაიწყო თავისი თავის გამოყოფა დანარჩენი ბუნებიდან, თავს დიდი ძალის პატრონად თვლიდა. მომავალში შრომის სოციალურმა დანაწილებამ განაპირობა რაციონალური ცოდნის დაგროვება და მამასადამე, შემეცნების მეცნიერული ხერხის განვითარება.

მეცნიერულ შემეცნებას სხვანაირად მეცნიერულ კვლევას უწოდებენ. მეცნიერება არ არის მხოლოდ მეცნიერული კვლევის შედეგი, არამედ თვით კვლევაცაა. მას გააჩნია გარკვეული სტრუქ-

ტურა. გამოყოფენ მეცნიერული კვლევის ორ დონეს – ემპირიულსა და თეორიულს.

ემპირიული კვლევა (ბერძნ. *empeiria* – ცდა) არის ექსპერიმენტული შემეცნება.

თეორიული კვლევა (ბერძნ. *theoria* – განვიხილავ, ვიკვლევ) წარმოადგენს ლოგიკური გამონათქვამების სისტემას, რომელიც მოიცავს მათემატიკურ ფორმულებს, სქემებს, გრაფიკებს და სხვას, შექმნილს ბუნებრივი, ტექნიკური და სოციალური მოვლენების კანონების დადგენისათვის.

ემპირიული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს ემპირიული განზოგადება. ემპირიულ განზოგადებაზე დაყრდნობით ხდება ჰიპოთეზის (ბერძნ. *hypothesis* – ვარაუდი) – მეცნიერული ვარაუდის ფორმულირება, რომელიც წამოყენებულია გარკვეული მოვლენების ასახსნელად და მოითხოვს ვერიფიცირებას (დამოწმებას).

ჰიპოთეზის საშუალებით, გარკვეული ფაქტების საფუძველზე, კეთდება დასკვნა ცალკეული ობიექტის, კავშირის ან მოვლენის მიზეზის შესახებ. ჰიპოთეზას ალბათური ხასიათი აქვს, ამიტომ განსხვავებით აქსიომისა და პოსტულატისაგან საჭიროა მისი შემოწმება და დასაბუთება. როგორც წესი, ჰიპოთეზა გამოითქმება მისი დამადასტურებელი მთელი რიგი დაკვირვებების საფუძველზე. ჰიპოთეზას შემდგომში ან საბოლოოდ ამტკიცებენ და მას იღებენ როგორც დადგენილ ფაქტს, ან უარყოფენ (მიუთითებენ კონტრმაგალითზე) გადაიქცევა რა მცდარ მტკიცებულებად.

დაუმტკიცებელ და არაუარყოფილ ჰიპოთეზას უწოდებენ ღია პრობლემას.

ჰიპოთეზა დიდ როლს ასრულებს მეცნიერული ცოდნის განვითარებაში. ის ნებისმიერი მეცნიერული კვლევა-ძიების აუცილებელი შემადგენელი ნაწილია.

ჰიპოთეზას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ემპირიულ მეცნიერებებში. ჰიპოთეზა არის ვარაუდი ფაქტების ორ ჯგუფს შორის მიზეზობრივი კავშირის შესახებ.

სოციოლოგიურ გამოკვლევებში ჰიპოთეზა ერთ-ერთი მთავარი მეთოდოლოგიური ინსტრუმენტია, რომელიც განსაზღვრავს კვლევის დაგეგმვას, კვლევის მეთოდების სწორ შერჩევას, მთელი პროცესის ორგანიზებას.

სოციოლოგიურ გამოკვლევებში ჰიპოთეზა წარმოადგენს დასაბუთებულ ვარაუდს შესასწავლი სოციალური ობიექტების, მათი სტრუქტურის, თავისებურებების, სოციალურ მოვლენებს შორის არსებული კავშირების არსისა და ხასიათის, ამ კავშირების განმაპირობებელი ფაქტორების შესახებ.

რამოდენიმე კანონის ერთობლიობას, რომელიც ცოდნის ერთ დარგს ეხება, თეორია ეწოდება.

თეორია (ბერძნ. *θεωρία* – განხილვა, გამოკვლევა) არის მოძღვრება, იდეებისა და პრინციპების სისტემა. თეორია გაერთიანებაა განზოგადებული მდგომარეობებისა, რომლებიც ქმნის მეცნიერებას ან მის რომელიმე განყოფილებას. იგი წარმოადგენს სინთეზური ცოდნის ფორმას, რომლის ფარგლებშიც ცალკეული წარმოდგენები, ჰიპოთეზები და კანონები კარგავენ პირვანდელ ავტონომიურობას და ხდებიან გლობალური სისტემის ელემენტები. თეორიაში ყოველი დასკვნა გამომდინარეობს სხვა დასკვნებისგან ლოგიკური აზროვნების ზოგიერთ წესზე დაყრდნობით. პროგნოზირების შესაძლებლობა თეორიული კონსტრუქციების შედეგია. ძირითადი აზრი ამა თუ იმ თეორიისა გამოიხატება კონცეფციაში.

კონცეფცია (ლათ. *conceptio* – გაგება, სისტემა) არის რაიმე საგნის, მოვლენის, პროცესის გაგების, განმარტების გარკვეული წესი, ძირითადი თვალსაზრისი, მათი სისტემატური ანალიზის სახელმძღვანელო იდეა. ტერმინ კონცეფციას ხმარობენ აგრეთვე

ადამიანთა ძირითადი ჩანაფიქრის, კონსტრუქციული პრინციპის აღსანიშნავად ხელოვნებაში, ტექნიკასა და სხვა დარგებში.

ამრიგად, ყოველ თეორიას თუ ჰიპოთეზას აქვს სამეცნიერო საქმიანობის თავისი კონცეფცია, თავისი აზრი და თავისი პრინციპი.

მეცნიერება, როგორც სოციალური ინსტიტუტი

XVII-XVIII საუკუნეებში ევროპაში შეიქმნა პირველი სამეცნიერო საზოგადოებები, აკადემიები, გამოიცა სამეცნიერო ჟურნალები. მეცნიერება შედგა, როგორც სოციალური ინსტიტუტი. მეცნიერების თითქმის ყველა დარგის განვითარებას ადგილი აქვს XX საუკუნეში. ამ პერიოდში ხორციელდება მსხვილი კვლევითი ინსტიტუტებისა და ლაბორატორიების მშენებლობა, მათი აღჭურვა სხვადასხვა მოწყობილობებით, გამოთვლითი და სხვა ტექნიკით. ამჟამად მეცნიერების კიდევ უფრო ინტენსიური ტემპებით განვითარება მიმდინარეობს.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ მეცნიერება კაცობრიობის განვითარების ძირითადი შემადგენელი კომპონენტია და მეცნიერებისადმი დამოკიდებულება ადეკვატურად აისახება ქვეყნის ცხოვრების დონეზე. მეცნიერება დიდი ხანია საწარმოო ძალაა და მის გარეშე შეუძლებელია უახლოესი ტექნოლოგიების შექმნა და ადამიანთა შესაძლებლობების გაფართოება, ყოველგვარი პროგრესი. საქართველოში მეცნიერების განვითარების საწყისები ადრინდელ საუკუნეებში არსებობდა. საქართველო ყოველთვის ფეხდაფეხ მიჰყვებოდა ევროპული კულტურის და ცივილიზაციის განვითარებას. ისტორიამ შემოგვინახა ცნობა ფაზისის მახლობლად III-II სს-ში კოლხეთის აკადემიის არსებობის შესახებ; საყოველთაოდ ცნობილია გელათის და იყალთოს აკადემიები (XI ს.) და მათი როლი. ქართველთა მონასტრები სინას მთაზე (II ს.) და პალესტინაში (III ს.), ათონზე (X), შავ მთაზე ანტიოქიის მახლობლად (XI ს.) და პეტრიწში (XII ს.) სწორედ ის ცენტრები იყო, სადაც ჩვენი ერის საუკეთესო წარმომადგენლები მოღვაწეობდნენ.

ქართული უნივერსიტეტის დაარსებამ ხელი შეუწყო სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გაშლას. უნივერსიტეტში მოღვაწეობდნენ საქვეყნოდ ცნობილი ქართველი მეცნიერები. უნივერსიტეტს შემდგომში გამოეყო დამოუკიდებელი სასწავლო ინსტიტუტები: პოლიტექნიკური (1928წ.), სასოფლო-სამეურნეო (1929წ.), სამედიცინო (1930წ.), ქუთაისის პედაგოგიური (1933წ.), სადაც აგრეთვე მიმდინარეობდა კვლევითი სამუშაოები შესაბამის დარგებში.

საქართველოში ინტენსიური და მრავალმხრივი სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობა განსაკუთრებით განაპირობა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის დაარსებამ (1941წ.), რომლის სისტემაში 14 სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულება შედიოდა. შემდგომში მათი რიცხვი გაიზარდა, შეიქმნა აგრეთვე, დარგობრივი აკადემიები. აკადემიის მაღალი ავტორიტეტი მისი პირველი პრეზიდენტის, აკად. ნ. მუსხელიშვილის და აკადემიის წევრების მოღვაწეობამ შექმნა. საკმარისია ითქვას, რომ საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკების აკადემიებს შორის საქართველოს აკადემია პირველ ოთხეულში შედიოდა.

საქართველოს პატრიარქის დამოკიდებულება განათლების მიმართ საკმაოდ რეფორმისტულია. იგი თვლის, რომ აუცილებელია ეკლესიამ ფეხი აუწყოს თანამედროვეობას, რათა მან შეძლოს იმ მისიის შესრულება, რომელიც მას ქვეყნის წინაშე აკისრია: „დღეს ჩვენ აღარ უნდა გვაკმაყოფილებდეს ის, რაც გუშინ საკმარისი იყო. რადგან დრო სულ ახალ-ახალ მოთხოვნებს აყენებს. ეკლესიამაც, მაგალითად, თავისი პასუხი უნდა გასცეს ისეთ საკითხებს, როგორიცაა – გენური ინჟინერია, კლონირება და სხვა“ („საპატრიარქოს უწყებანი“, №34, 17-23.9.04).

*მეცნიერება აუცილებელია ხალხისათვის; ქვეყანა, რომელიც
მას არ ავითარებს გარდაუვლად გადაიქცევა კოლონიად.
(ფრედერიკ ჟოლიო-კიური).*

§ 1.2. ბუნებათმცოდნეობა - მეცნიერებათა კომპლექსი ბუნების შესახებ

ადამიანის სწრაფვა შეიმეცნოს გარესამყარო, გამოიხატება მისი კვლევითი საქმიანობის სხვადასხვა ფორმაში, ხერხსა თუ მიმართულებაში. ობიექტური სამყაროს ძირითადი ნაწილებიდან ყოველი – ბუნება, საზოგადოება და ადამიანი – შეისწავლება ცალკეული მეცნიერებით. მეცნიერულ ცოდნათა ერთობლიობა, რომელიც სწავლობს ბუნებას, წარმოადგენს ბუნებისმცოდნეობას. სიტყვა „ბუნებისმცოდნეობა“ წარმოადგენს ორი სიტყვის შეერთებას: „ბუნება“ და „ცოდნა“, ანუ ცოდნა ბუნების შესახებ.

ტერმინი „ბუნებისმცოდნეობა“ ზოგადად ნიშნავს ბუნების შესახებ იმ მეცნიერებათა ერთობლიობას, რომელთაც თავისი კვლევის საგნად აქვთ სხვადასხვა ბუნებრივი მოვლენები და პროცესები, ასევე მათი ევოლუციის კანონზომიერებანი. ამავე დროს ბუნებისმეტყველება თვითონ წარმოადგენს დამოუკიდებელ მეცნიერებას ბუნების შესახებ, რომელსაც აქვს თავისი სტრუქტურა, კვლევის საგანი და მეთოდები.

ბუნებისმეტყველების როლი ადამიანის ცხოვრებაში შეუფასებელია. ცნება „ბუნებისმეტყველება“ წარმოიშვა დასავლეთ ევროპაში და აღნიშნავდა მეცნიერებათა ერთობლიობას ბუნების შესახებ. მის ფესვებს კი მიყვავართ ძველ საბერძნეთში, არისტოტელეს ეპოქაში. მან პირველმა მოახდინა ბუნების შესახებ არსებული ცოდნის სისტემატიზირება თავის „ფიზიკაში“. მაგრამ ეს წარმოდგენები იყო საკმაოდ ამორფული და ამიტომ დღესდღეობით ბუნებისმცოდნეობის ქვეშ იგულისხმება ზუსტი ბუნებისმეტყველება – ცოდნა, რომელიც აკმაყოფილებს მეცნიერ-

რების არა მხოლოდ პირველ ოთხ კრიტერიუმს, არამედ ბოლო, მეხუთესაც. ზუსტი ბუნებისმცოდნეობის უმთავრეს მახასიათებელს წარმოადგენს ექსპერიმენტული მეთოდი, რომელიც იძლევა ჰიპოთეზებისა და თეორიების ემპირიული შემოწმების საშუალებას, ასევე მიღებული ცოდნის მათემატიკურ ფორმულებში გაფორმებას.

არსებობს ორი ფართოდ გავრცელებული წარმოდგენა ბუნებისმეტყველების საგანზე:

1. ბუნებისმეტყველება არის მეცნიერება ბუნების, როგორც ერთიანის, მთლიანის, შესახებ;

2. ბუნებისმეტყველება არის ბუნების შესახებ მეცნიერებათა ერთობლიობა, რომელიც განიხილება როგორც მთლიანი.

ერთი შეხედვით ეს ორი განსაზღვრება განსხვავდება ერთმანეთისაგან. პირველი არის ერთიანი მეცნიერება ბუნების შესახებ, ხოლო მეორე ცალკეულ მეცნიერებათა ერთიანობა. თუმცა განსხვავება არც თუ ისე დიდია, რადგანაც ბუნების შესახებ მეცნიერებათა ერთიანობაში იგულისხმება არა უბრალო ჯამი ცალკეული მეცნიერებებისა, არამედ მჭიდრო კავშირში მყოფ საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ერთიანი კომპლექსი, რომლებიც ავსებენ ერთმანეთს.

ყველა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა საფუძველი, საძირკველი, უდავოდ არის ფიზიკა, რომლის საგანს წარმოადგენს სხეულები, მათი მოძრაობა, გარდაქმნა და სხვადასხვა დონეზე მათი გამოვლენა. დღეს შეუძლებელია დაკავებული იყო რომელიმე საბუნებისმეტყველო მეცნიერებით და არ იცოდე ფიზიკა. თვითონ ფიზიკა პირობითად დაყოფილია ნაწილებად, რომელთა შორის ძირითადს წარმოადგენს მექანიკა – სწავლება სხეულთა წონასწორობისა და მოძრაობის შესახებ სივრცესა და დროში. მექანიკური მოძრაობა წარმოადგენს მატერიის მოძრაობის უმარტივეს და ამავე დროს ყველაზე გავრცელებულ ფორმას. მექანიკა იყო ისტორიულად პირველი ფიზიკური მეცნიერება და დიდი დროის გან-

მავლობაში წარმოადგენდა ნიმუშს ყველა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათათვის.

მომდევნო საფეხურს წარმოადგენს ქიმია, რომელიც სწავლობს ქიმიურ ელემენტებს, მათ თვისებებს, გარდაქმნებსა და ნაერთებს. ის რომ მას საფუძვლად უდევს ფიზიკა ადვილად დამტკიცებადია; ამისათვის საკმარისია გავიხსენოთ სკოლაში ქიმიის გაკვეთილები, სადაც საუბარი იყო ქიმიური ელემენტების აგებულებაზე და მათ ელექტრონულ გარსზე. ეს არის ფიზიკური ცოდნის ქიმიაში გამოყენების მაგალითი.

თავის მხრივ ქიმია საფუძვლად უდევს ბიოლოგიას – მეცნიერებას ცოცხალზე, რომელიც სწავლობს უჯრედს და ყველაფერს მისგან წარმოებულს.

ბუნებისმცოდნეობის სტრუქტურის შემდეგ ელემენტს წარმოადგენენ მეცნიერებები დედამიწის შესახებ. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება გეოლოგია, გეოგრაფია, ეკოლოგია და ა.შ. ყველა მათგანი შეისწავლის ჩვენი პლანეტის აგებულებასა და განვითარებას, რომელიც წარმოადგენს ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური მოვლენებისა და პროცესების ურთულეს კომბინაციას.

ბუნების შესახებ ცოდნათა ამ გრანდიოზულ პირამიდას ასრულებს კოსმოლოგია, რომელიც შეისწავლის სამყაროს, როგორც ერთ მთლიანს. ამ ცოდნათა ნაწილია ასტრონომია და კოსმოგონია, რომლებიც იკვლევენ პლანეტების, ვარსკვლავების, გალაქტიკების აგებულებასა და წარმოშობას. აქ კი ისევ ვუბრუნდებით ფიზიკას. მაშასადამე, შეიძლება ვისაუბროთ ბუნებისმეტყველების ციკლური, ჩაკეტილი ხასიათის შესახებ, რაც აშკარად გამოსახავს ბუნების ერთ-ერთ უმთავრეს თვისებას.

ბუნებისმცოდნეობის სტრუქტურა არ ისაზღვრება დასახელებული მეცნიერებებით. საქმე იმაშია, რომ მეცნიერებაში მიმდინარეობს მეცნიერული ცოდნის დიფერენციაციისა და ინტეგრაციის ურთულესი პროცესები. ამრიგად, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ჩვენი პირამიდა მნიშვნელოვნად რთულდება, რადგანაც

ხდება დიდი რაოდენობით დამატებითი და შუალედური ელემენტების ჩართვა.

აუცილებელია, ავლნიშნოთ, რომ ბუნებისმცოდნეობის სისტემა არ წარმოადგენს უცვლელს. მასში არა მარტო წარმოიშობიან ახალი მეცნიერებები, არამედ იცვლება მათი როლი, პერიოდულად მიმდინარეობს ლიდერის მონაცვლეობა ბუნებისმცოდნეობაში. ასე მაგალითად, XVII საუკუნიდან XX საუკუნის ნახევრამდე, ასეთ ლიდერად ითვლებოდა ფიზიკა. დღეისათვის ამ მეცნიერებამ თითქმის აითვისა თავისი არეალი და ახლა ფიზიკოსების დიდი ნაწილი დაკავებულია იმ კვლევებით, რომელთაც გამოყენებითი ხასიათი აქვთ (იგივე ეხება ქიმიასაც). დღეს ბუმს განიცდის ბიოლოგიური კვლევები, განსაკუთრებით მოსაზღვრე არეებში, როგორცაა ბიოფიზიკა, ბიოქიმია, მოლეკულური ბიოლოგია.

ადამიანის მიერ ბუნების შეცნობის პროცესი დაიწყო უძველესი დროიდან, მაგრამ ინტენსიური განვითარება ჰპოვა ანტიკურ ხანაში. ბუნებისმეტყველების, როგორც მეცნიერების, შემდგომ ჩამოყალიბებაში მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა ძველი ფილოსოფოსების დიდმა აღმოჩენებმა, რომლებიც დაკვირვებებს ეფუძნებოდა. ასე მაგალითად, ნატურფილოსოფიის ფუძემდებელმა თალესმა შეძლო მზის დაბნელების პროგნოზირება, რომელიც დაფიქსირდა საბერძნეთში 585 წ. ჩვ.წ. აღრიცხვამდე. ემპედოკლმა, რომელიც ცხოვრობდა VI საუკუნეში ჩვ. წ. აღრიცხვამდე, ახსნა მზის დაბნელება მთვარის გავლით მზესა და დედამიწას შორის. მან გამოთქვა ვარაუდი, რომ სინათლე ვრცლდება უდიდესი სიჩქარით და ამიტომ ჩვენ ვერ ვამჩნევთ მისი გავრცელების ხანგრძლივობას. ასტრონომიის გარდა, თალესი ცნობილია თავისი შრომებით გეოგრაფიასა და ფიზიოლოგიაში, ხოლო ემპედოკლმა სახელი გაითქვა არა მარტო როგორც ფილოსოფოსმა, არამედ როგორც ფიზიკოსმა, ექიმმა და ფიზიოლოგმა. ფართოდ არის ცნობილი ანტიკური ხანის მიღწევები მათემატიკაში (ევკლიდე III ს.ჩვ.წ. აღრიცხვამდე, პითაგორა VI ს. ჩვ. წ. აღრიცხვამდე), მექა-

ნიკაში (არქიმედე III ს.ჩვ.წ. აღრიცხვამდე), ასტრონომიაში (პთოლემეი II ს. ჩვ. წ. აღრიცხვამდე).

შუა საუკუნეებში ბუნების შემეცნების პროცესი მთლიანად იყო დამოკიდებული თეოლოგიაზე. ამ პერიოდში განვითარებულია ასტროლოგია, ალქიმია, ჯადოსნური და სხვა ოკულტური ცოდნა. მიუხედავად ამისა, თანდათან მატულობს ახალი ფაქტები და იკვეთება თეორიული აზროვნების ლოგიკა. მაგალითად, სამეცნიერო ქიმიის წარმოქმნას და განვითარებას უდავოდ შეუწყობ ხელი შუა საუკუნეების ალქიმიკოსებმა.

ალქიმიის განვითარების საწყისად თვლიან ჩვ.წ. აღრიცხვის IV ს. თითქმის ათასწლეული ალქიმიკოსები ცდილობდნენ ქიმიური რეაქციების მეშვეობით, რომელსაც თან ერთვოდა შელოცვები, მიეღოთ ფილოსოფიური ქვა, რომელიც ნებისმიერ ნივთიერებას ოქროდ გადააქცევდა, მოამზადებდა სიცოცხლის ხანგრძლივობის ელექსირს. მათი საქმიანობის შედეგად იყო ბევრი აღმოჩენა, პრაქტიკულად, მნიშვნელოვანი ამოცანები გადაიჭრა. შეიქმნა საღებავების, მინის, წამლების, შენადნობების მიღების ტექნოლოგიები. ალქიმიური კვლევები, რომლებიც თეორიულად არ შედგა, შემდგომში იქცა ექსპერიმენტული ბუნებისმეტყველების საფუძვლად.

X–XI საუკუნეებში ბუნების შემეცნების განვითარებაში განსაკუთრებული როლი ითამაშეს მუსულმანური სამყაროს განმანათლებლებმა, რომლებმაც შეინარჩუნეს კავშირი ანტიკურ ნატურფილოსიფიასთან. ესენი იყვნენ ირანისა და ტაჯიკეთის ფილოსოფოსი და ექიმი იბნ-სინა(ავიცენა), ირანისა და ტაჯიკეთის მათემატიკოსი, ასტრონომი, პოეტი და განმანათლებელი ომარ ხაიამი, არაბი ფილოსოფოსი და ექიმი იბნ როშდი. ამგვარად, ანტიკურ და შუა საუკუნეების ხანაში შეიქმნა წინაპირობა ბუნებისმცოდნეობის მეცნიერების განვითარებისათვის.

ბუნებისმეტყველების მეცნიერებად ფორმირებამ თანამედროვე გაგებით, მეცნიერების ისტორიკოსების აზრით, სამი საფეხური გაიარა და XX საუკუნის ბოლოს დაადგა მეოთხე საფეხურს.

ბუნებისმცოდნეობის მეცნიერების პირველი საფეხური – ნატურფილოსოფია, რომელიც აღმოცენდა შუა საუკუნეების ბოლოს, ეკუთვნის აღორძინების ხანას (XV-XVI სს). ეს პერიოდი ხასიათდება ცოდნის მიღებით დაკვირვების გზით და არა ექსპერიმენტით. ამასთან, ნატურფილოსოფიაში იდო ღრმა კონსტრუქციული იდეა ბუნებისმცოდნეობისა და ფილოსოფიის კავშირის საჭიროების შესახებ. ასე, ჯორდანო ბრუნოს სამყაროს შექმნის სურათი წარმოადგენს ანტიკური ატომისტების ფილოსოფიურ მოდელს, რომელიც დაფუძნებულია მოცემულ ასტრონომიულ დაკვირვებებზე. იტალიელმა ფილოსოფოსმა დაამტკიცა, რომ სამყაროს არა აქვს ცენტრი, ის უსაზღვროა და შედგება უსასრულო რაოდენობის ვარსკვლავური სისტემებისაგან. ბრუნოს მიერ გაკეთებული დასკვნა ეფუძნება არა იმდენად ექსპერიმენტულ მონაცემებს, არამედ სამყაროს მთლიანობისა და თანმიმდევრულობის სურათის ფილოსოფიურ პოზიციას.

ამრიგად, ნატურფილოსოფიის საფეხურს ახასიათებს ფილოსოფიისა და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა იდეების სინთეზი. ამიტომაც, საბუნებისმეტყველო ცოდნის გაგების ფილოსოფიური მიდგომის შედეგად იქმნება სამყაროს მეცნიერული სურათი, რომელსაც იძლევა ყოველი ისტორიული ეპოქის მეცნიერება.

ბუნებისმცოდნეობის განვითარების მეორე საფეხურია ანალიტიკური ბუნებისმეტყველება (XVII-XIX საუკუნის დასასრული), რომელიც დაკავშირებულია ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევების ფორმირებასა და სისტემატურ განვითარებასთან. ბუნების ნატურფილოსოფიური შემეცნება იქცა თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობად, სისტემატურ მეცნიერულ ცოდნად ექსპერიმენტებისა და მიღებული შედეგების მათემატიკური დამუშავების

ბაზაზე. სწორედ ამ საფეხურზე მოდის ბუნებისმცოდნეობის ძირითადი მიღწევები ბუნების შესწავლაში. მათ შორის არის კლასიკური მექანიკის კანონების აღმოჩენა, ორგანული ნაერთების ქიმიური მდგომარეობის თეორიის დამუშავება, ცოცხალი ორგანიზმების ევოლუციის თეორიის დამუშავება.

წარმოიშვა და ინტენსიური განვითარება დაიწყო საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებმა, როგორცაა ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია, გეოგრაფია, გეოლოგია. ცოდნის დაგროვებამ მოითხოვა ობიექტების დეტალური შესწავლა, რამაც გამოიწვია შესაბამისი მეცნიერებების დიფერენციაცია. ასე მაგალითად, ქიმია დაიყო ორგანულ და არაორგანულ ქიმიად, შემდეგ კი წარმოიშვა ფიზიკური და ანალიტიკური ქიმია. ბიოლოგიაში გამოიყო ბოტანიკა, ზოოლოგია, ანატომია, ფიზიოლოგია. ამასთან, მეცნიერთა ყურადღება გამახვილებული იყო ძირითადად ბუნების ობიექტების კვლევაზე პროცესების კვლევასთან შედარებით. მაგალითად, ქიმიაში სწავლობდნენ ნივთიერების მოლეკულების შემადგენლობასა და აგებულებას, და მხოლოდ XIX საუკუნის ბოლოს წამყვანი ადგილი დაიკავა სწავლებამ ქიმიური რეაქციების შესახებ. ამ დროისათვის ბუნებას იხილავდნენ, როგორც დროში უცვლელს, ხოლო მის სფეროებს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

ამრიგად, ანალიტიკური ბუნებისმცოდნეობის საფეხური შეიძლება დავახასიათოთ შემდეგნაირად

– საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების დიფერენციაციის გაზრდის ტენდენცია;

– ემპირიული ცოდნის ბატონობა თეორიულზე;

– ბუნების ობიექტების კვლევის უპირატესობა პროცესების კვლევაზე;

– მიდგომა ბუნებისადმი, როგორც დროში უცვლელისადმი, ხოლო მისი სხვადასხვა სფეროსადმი ერთმანეთისაგან დაუკავშირებლად.

მესამე საფეხური არის სინთეტიკური ბუნებისმცოდნეობა, რომელიც მოიცავს დროს XIX საუკუნის ბოლოდან და XX საუკუნის ბოლომდე.

ამ საფეხურზე იზრდება თეორიული ცოდნის როლი, ინტენსიურად მიმდინარეობს როგორც ბუნების ობიექტების, ასევე პროცესების კვლევა. ბუნების შემეცნებისადმი ევოლუციური მიდგომა ხდება სინთეტიკური ბუნებისმცოდნეობის მეთოდოლოგიური საფუძველი. მეცნიერების განვითარების ეს პერიოდი ხასიათდება ბუნების ერთიანობის შეგნებითა და მისი ცალკეული ნაწილის განუყოფელი კავშირით. მაგალითად, ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მექანიკური სისტემა და როგორც თერმოდინამიკური სისტემა. ამავედროულად, სიცოცხლე განიხილება, როგორც უწყვეტად მიმდინარე უამრავი ქიმიური რეაქცია. უნდა გვახსოვდეს, რომ მოცემულ მიდგომას აქვს ფარდობითი ხასიათი. ცოცხალი ორგანიზმი ერთიანია და ამიტომ მისი შესწავლისადმი მიდგომა უნდა იყოს კომპლექსური. სწორედ ბუნების შესწავლისადმი ასეთი მიდგომის ერთ-ერთ შედეგს წარმოადგენს ეკოლოგიის წარმოშობა, როგორც ორგანიზმების ერთმანეთთან და გარემოსთან ურთიერთქმედების მეცნიერებისა.

ერთის მხრივ, ბუნების ობიექტებისა და მოვლენების კომპლექსური შესწავლის აუცილებლობამ და მეორეს მხრივ, მეცნიერებათა დიფერენციაციის ერთდროულმა ზრდამ, გამოიწვია სინთეტიკური დისციპლინების შექმნა. ასე წარმოიშვა ფიზიკური ქიმია, ბიოქიმია, ფიზიკა-ქიმიური ბიოლოგია. ამრიგად, სინთეტიკური ბუნებისმცოდნეობის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს სინთეტიკური მეცნიერული დისციპლინების შექმნის ორიენტაცია.

XX საუკუნის ბოლოს ბუნებისმცოდნეობა შევიდა თავისი განვითარების მეოთხე ფაზაში, რომელსაც უწოდებენ ინტეგრალურ ბუნებისმცოდნეობას. ის ხასიათდება არა იმდენად ორი-სამი მონათესავე მეცნიერების სინთეზით, რამდენადაც სხვადასხვა

დისციპლინისა და მეცნიერული კვლევების მიმართულებების მასშტაბური გაერთიანებით. ასეთი ახალი ინტეგრირებული მიმართულების მაგალითს წარმოადგენს კიბერნეტიკა.

კიბერნეტიკა არის მეცნიერება მანქანებში, ცოცხალ ორგანიზმსა და საზოგადოებაში მართვის ზოგადი პრინციპების შესახებ. ის წარმოიშვა რიგი დისციპლინების შერწყმით, როგორცაა ავტომატების თეორია, კავშირგაბმულობის ტექნიკა, მათემატიკური ლოგიკა, ინფორმაციულობის თეორია და სხვა.

მასშტაბური მეცნიერული ინტეგრაციის მეორე მაგალითია – სინერგეტიკა. ის წარმოადგენს ახალ მიმართულებას დისციპლინათაშორისი მეცნიერული კვლევებისა უწესრიგობიდან წესრიგის წარმოქმნის პროცესების ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური და სხვა ბუნების ღია სისტემებში. არსებით როლს მეცნიერული ინტეგრაციის პროცესში ასრულებს კვლევის ისეთი ზოგადმეცნიერული მეთოდები, როგორცაა ბუნებისმცოდნეობის მათემატიზაცია, სისტემური კვლევების პრინციპების დამუშავება, უახლესი ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენება.

ამგვარად, ბუნებისმცოდნეობის განვითარების თანამედროვე ეტაპი გულისხმობს ბუნების ერთიანობას, ევოლუციურ მიდგომას მისი შესწავლისა და კვლევის შედეგების გააზრებისას, სხვადასხვა მეცნიერული მიმართულებების ინტეგრაციის ინტენსიურ პროცესებს. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ინტეგრაციის გაძლიერებული ტენდენცია საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ მომავალში ყველა მეცნიერება გაერთიანდება მეცნიერებად ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებაზე. ბუნებისმცოდნეობა, ალბათ, იქნება ერთიანი და მრავალფეროვანი მეცნიერება ბუნებაზე.

თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობის სტრუქტურა.

თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს მეცნიერების ნაწილს, რომელიც ეფუძნება ჰიპოთეზების ემპირიულ შემოწმებას და ბუნების აღმწერი თეორიების შექმნას. ბუნებისმეტყველების ობიექტი არის ბუნება, საგანი – ბუნების მოვლენები და ფაქტები,

რომელთა აღქმა ხდება უშუალოდ ჩვენი გრძნობის ორგანოებით, ან ხელსაწყოების დახმარებით.

მეცნიერის ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ გამოავლინოს ეს ფაქტები, განაზოგადოს და შექმნას თეორიული მოდელი, რომელიც მოიცავდეს იქნება ბუნების მოვლენათა განმკარგავ კანონზომიერებებს. მაგალითად, მიზიდულობის მოვლენა კონკრეტული ფაქტია, რომელიც დადგენილია ცდით; მსოფლიო მიზიდულობის კანონი – მოცემული მოვლენის ახსნის ვარიანტი. ამასთან, ემპირიული ფაქტები და გაზოგადება, რომლებიც დადგინდა, ინარჩუნებენ თავის სწყის მნიშვნელობას. კანონები შეიძლება შეიცვალოს მეცნიერების განვითარებასთან ერთად. ასე მაგალითად, მსოფლიო მიზიდულობის კანონის კორექტირება მოხდა ფარდობითობის თეორიის შექმნის შემდეგ.

ბუნებისმეტყველების ძირითადი პრინციპი გვეუბნება: ბუნების შესახებ ცოდნა ემპირიულად უნდა შემოწმდეს. ეს იმას ნიშნავს, რომ მეცნიერებაში ჭეშმარიტებად ჩაითვლება ის მდგომარეობა, რომელიც დადასტურდება ცდით. ამრიგად, ცდა წარმოადგენს გადამწყვეტ არგუმენტს ამ თუ იმ თეორიის მიღებისას.

თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს მეცნიერებათა რთულ კომპლექსს ბუნებაზე. ის მოიცავს ისეთ მეცნიერებებს როგორცაა ბიოლიგია, ფიზიკა, ქიმია, ასტრონომია, გეოგრაფია, ეკოლოგია და სხვა. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები განსხვავდება თავისი შესწავლის საგნით. მაგალითად, ბიოლოგიის შესწავლის საგანი არის ცოცხალი ორგანიზმები, ქიმიის – ნივთიერებები და მათი გარდაქმნა. ასტრონომია სწავლობს ციურ სხეულებს, გეოგრაფია დედამიწის განსაკუთრებულ გარსს, ეკოლოგია – ორგანიზმების ურთიერთობას ერთმანეთთან და გარემოსთან. ყოველი საბუნებისმეტყველო მეცნიერება თვითონ წარმოადგენს მეცნიერებათა კომპლექსს, რომლებიც წარმოიქმნა ბუნებისმეტყველების განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე. ბიოლოგიაში მაგალითად, შედის ბოტანიკა, ზოოლოგია, მიკრობიოლო-

გია, გენეტიკა, ციტოლოგია და სხვა. ბოტანიკის შესწავლის საგანია მცენარეები, ზოოლოგიის – ცხოველები, მიკრობიოლოგიის – მიკროორგანიზმები. გენეტიკა სწავლობს ორგანიზმების მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებებს. ქიმიაც იყოფა უფრო ვიწრო მეცნიერებებად: ორგანული ქიმია, არაორგანული ქიმია, ანალიტიკური ქიმია. გეოგრაფიულ მეცნიერებებს მიაკუთვნებენ გეოლოგიას, მიწათმცოდნეობას, გეომორფოლოგიას, კლიმატოლოგიას, ფიზიკურ გეოგრაფიას. მეცნიერებათა დიფერენციაციამ მიგვიყვანა მეცნიერული ცოდნის მეტად მცირე სფეროების გამოყოფამდე. მაგალითად, ბიოლოგიური მეცნიერება ზოოლოგია შეიცავს ორნიტოლოგიას, ენტომოლოგიას, ეთოლოგიას, იხტიოლოგიას და ა.შ. ორნიტოლოგია სწავლობს ფრინველებს; ენტომოლოგია – ქვეწარმავლებს; ეთოლოგია – ცხოველთა ქცევებს; იხტიოლოგია კი – თევზებს.

ბუნებისმცოდნეობის განვითარების თანამედროვე ტენდენცია ისეთია, რომ მეცნიერული ცოდნის დიფერენციაციასთან ერთდროულად მიმდინარეობს საწინააღმდეგო პროცესები – ცოდნის ცალკეული სფეროების გაერთიანება, სინთეტიკური მეცნიერული დისციპლინების შექმნა. ამასთან, მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ მეცნიერული დისციპლინების გაერთიანება ხდება როგორც ბუნებისმეტყველების სხვადასხვა სფეროების შიგნით.

ბუნებისმცოდნეობაში განასხვავებენ ფუნდამენტალურ და გამოყენებით მეცნიერებებს. ფუნდამენტალური მეცნიერებები – ფიზიკა, ქიმია, ასტრონომია – სწავლობენ სამყაროს საბაზისო სტრუქტურებს, ხოლო გამოყენებითი დაკავებულია ფუნდამენტური კვლევების შედეგების გამოყენებით როგორც შემეცნებითი, ასევე სოციალურ-პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად. მაგალითად, ლითონების ფიზიკა და ნახევარგამტარების ფიზიკა არის თეორიული გამოყენებითი დისციპლინები, ხოლო ლითონმცოდნეობა, ნახევარგამტარული ტექნოლოგია – პრაქტიკული გამოყენებითი მეცნიერებები. ამგვარად, ბუნების კანონების შე-

მეცნება და ამის საფუძველზე სამყაროს სურათის აგება არის ბუნე-
ბისმეტყველების უშუალო, უახლოესი მიზანი. ამ კანონების პრაქ-
ტიკული გამოყენებისათვის ხელშეწყობა მისი საბოლოო ამოცანა.

საზოგადოებრივი და ტექნიკური მეცნიერებისაგან ბუნებისმე-
ტყველება განსხვავდება საგნით, მიზნითა და კვლევის მეთოდო-
ლოგიით. ამასთან ბუნებისმცოდნეობა განიხილება, როგორც
მეცნიერული ობიექტურობის ეტალონი, რადგან ცოდნის ეს სფერო
ავლენს საყოველთაო ჭეშმარიტებას, რომელიც მისაღებია ყველა
ადამიანისათვის. მაგალითად, მეცნიერებათა მეორე მსხვილი კომ-
პლექსი-საზოგადოებათმცოდნეობა-ყოველთვის დაკავშირებული
იყო ჯგუფურ ფასეულობებთან და ინტერესებთან, რომელიც
ჰქონდა როგორც თვითონ მეცნიერს, ასევე კვლევის საგანს. ამიტომ
საზოგადოებათმცოდნეობის მეთოდოლოგიაში კვლევის ობიექ-
ტური მეთოდების გვერდით დიდ მნიშვნელობას ღებულობს
შესასწავლი მოვლენისადმი სუბიექტური მიდგომა. როგორც
აღვნიშნეთ, ბუნებისმცოდნეობას აქვს არსებითი მეთოდოლო-
გიური განსხვავება ტექნიკური მეცნიერებისაგან, რომელიც
განპირობებულია იმით, რომ ბუნებისმეტყველების მიზანს
წარმოადგენს ბუნების შემეცნება, ხოლო ტექნიკურ მეცნიერებათა
კი – სამყაროს გარდაქმნასთან დაკავშირებული პრაქტიკული საკი-
თხების გადაჭრა. მიუხედავად, ამისა არ შეიძლება მკვეთრი საზღ-
ვრის გავლება საბუნებისმეტყველო, საზოგადოებრივ და ტექნიკურ
მეცნიერებებს შორის მათი განვითარების თანამედროვე დონეზე,
რადგან არსებობს მთელი რიგი დისციპლინებისა, რომელთაც
უკავიათ შუალედური მდგომარეობა. ასე მაგალითად, საბუ-
ნებისმეტყველო და საზოგადოებრივი მეცნიერებების ზღურბლზე
არის ეკონომიკური გეოგრაფია. კომპლექსურ დისციპლინას,
რომელიც მოიცავს საბუნებისმეტყველო, საზოგადოებრივ და ტექ-
ნიკურ განყოფილებებს, წარმოადგენს სოციალური ეკოლოგია.

ამრიგად, თანამედროვე ბუნებისმეტყველება წარმოადგენს ბუ-
ნების შესახებ განვითარებად მეცნიერებათა კომპლექსს, რომელიც

ხასიათდება ერთდროულად მიმდინარე პროცესებით მეცნიერული დიფერენციაციისა და სინთეტიკური დისციპლინებისა და ორიენტირებულია მეცნიერულ ცოდნათა ინტეგრაციაზე.

ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს სამყაროს სურათის ფორმირების საფუძველს. ამ სურათის ქვეშ იგულისხმება მთლიანი სისტემა სამყაროზე, მის ზოგად თვისებებზე და კანონზომიერებებზე, რომელიც იშვა ძირითადი საბუნებისმეტყველო თეორიების განზოგადების შედეგად.

სამყაროს მეცნიერული სურათი მუდმივად ვითარდება. მეცნიერული რევოლუციების დროს მასში მიმდინარეობს ხარისხობრივი გარდაქმნები, სამყაროს ძველი სურათი იცვლება ახლით. ყოველი ისტორიული ეპოქა იძლევა თავის მეცნიერულ სურათს სამყაროზე.

§ 1.3. საბუნებისმეტყველო კვლევათა მეთოდები

მეცნიერული ცოდნა წარმოადგენს სისტემას, რომელსაც აქვს შემეცნების რამდენიმე დონე. მათი განსხვავება ხდება მთელი რიგი პარამეტრებით. მისაღები ცოდნის საგნის, თვისების, ტიპის, მეთოდისა და ხერხის მიხედვით გამოყოფენ შემეცნების ემპირიულ და თეორიულ დონეებს. ყოველი მათგანი ასრულებს გარკვეულ ფუნქციებს და აქვს კვლევის სპეციფიკური მეთოდები. დონეებს შეესაბამება ერთმანეთთან დაკავშირებული, მაგრამ ამავე დროს შემეცნებითი საქმიანობის სპეციფიკური სახეები: ემპირიული და თეორიული კვლევები.

ემპირიული ცოდნა არის მკვლევარის რეალობასთან უშუალო ურთიერთქმედების შედეგი დაკვირვების ან ექსპერიმენტის დროს. ემპირიულ დონეზე ხდება არა მარტო ფაქტების დგროვება, არამედ მათი პირველადი სისტემატიზაცია, კლასიფიკაცია, რაც საშუალებას იძლევა დადგინდეს წესები, პრინციპები და კანონები,

რომლებიც თავის მხრივ გარდაიქმნება დასაკვირვებ მოვლენებად. მეცნიერული ცოდნის სირთულე განისაზღვრება არა მარტო შემეცნების დონეებისა და მეთოდების არსებობით, არამედ იმ ფორმებით, რომელშიც ხდება მისი დაფიქსირება და განვითარება. მეცნიერული შემეცნების ძირითად ფორმებს წარმოადგენს ფაქტი, პრობლემა, ჰიპოთეზა და თეორია. მათი დანიშნულებაა შემეცნების პროცესის დინამიკის გამოვლენა რომელიმე ობიექტის კვლევისა და შესწავლისას.

ფაქტების დადგენა წარმოადგენს აუცილებელ პირობას საბუნებისმეტყველო კვლევების წარმატებისა. თეორიის აგებისათვის ფაქტები უნდა იყოს არა მარტო საიმედოდ დადგენილი, სისტემაში მოყვანილი და განზოგადებული, არამედ ერთმანეთთან კავშირში განხილული.

ჰიპოთეზა არის მეცნიერული ვარაუდი, რომელიც წამოყენებულია გარკვეული მოვლენების ასახსნელად და მოითხოვს ვერიფიცირებას (დამოწმებას). ჰიპოთეზის საშუალებით, გარკვეული ფაქტების საფუძველზე, კეთდება დასკვნა ცალკეული ობიექტის, კავშირის ან მოვლენის მიზეზის შესახებ. ჰიპოთეზას ალბათური ხასიათი აქვს, ამიტომ განსხვავებით აქსიომისა და პოსტულატისაგან საჭიროა მისი შემოწმება და დასაბუთება. როგორც წესი, ჰიპოთეზა გამოითქმება მის დამადასტურებელ მთელი რიგი დაკვირვებების საფუძველზე. ჰიპოთეზას შემდგომში ან საბოლოოდ ამტკიცებენ და მას იღებენ როგორც დადგენილ ფაქტს, ან უარყოფენ გადაიქცევა რა მცდარ მტკიცებულებად. დაუმტკიცებელ და არაუარყოფილ ჰიპოთეზას უწოდებენ ღია პრობლემას.

ჰიპოთეზა დიდ როლს ასრულებს მეცნიერული ცოდნის განვითარებაში. ის ნებისმიერი მეცნიერული კვლევა - ძიების აუცილებელი შემადგენელი ნაწილია.

ჰიპოთეზებს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ემპირიულ მეცნიერებებში. ჰიპოთეზა არის ვარაუდი ფაქტების ორ ჯგუფს შორის მიზეზობრივი კავშირის შესახებ.

სამეცნიერო თეორია არის ცოდნის განზოგადებული სისტემა, რომელიც სრულად ასახავს ობიექტური რეალობის გარკვეული სფეროს კანონზომიერ და არსებით კავშირებს. თეორიის ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს ემპირიული ფაქტების აღწერაში, სისტემატიზირებასა და ახსნაში.

სამეცნიერო თეორიის მთავარ ელემენტებს წარმოადგენს პრინციპები და კანონები. პრინციპები არის თეორიის ზოგადი და მნიშვნელოვანი დადასტურება. თეორიაში ისინი თამაშობენ პირველადი ვარაუდი როლს, რომლებიც მის საფუძველს ქმნიან. თავის მხრივ, ყოველი პრინციპის შინაარსის გახსნა ხდება კანონის მეშვეობით. ისინი აკონკრეტებენ პრინციპებს, ავლენენ მათი მოქმედების მექანიზმს, ლოგიკურ ურთიერთკავშირს. კანონი წარმოადგენს თეორიული მტკიცებულების ფორმას, რომელიც გამოავლენს შესასწავლი მოვლენების, ობიექტებისა და პროცესების საერთო კავშირს. პრინციპებისა და კანონების ფორმულირებისას მკვლევარისთვის არ არის მარტივი საკვლევი ობიექტებისა და მოვლენების არსებითი თვისებებისა და მახასიათებლების პოვნა. სირთულე იმაშია, რომ უშუალო დაკვირვებისას საკვლევი ობიექტის არსებითი მახასიათებლების დაფიქსირება ძნელია. ამიტომ ემპირიული დონიდან თეორიულზე პირდაპირი გადასვლა არ შეიძლება. თეორიის აგება ცდის უშუალო განზოგადების გზით არ ხდება, ამიტომ მომდევნო ნაბიჯს წარმოადგენს პრობლემის ფორმულირება. პრობლემის დაყენება და მისი გადაჭრა სამეცნიერო საქმიანობის ძირითადი თვისებებია. გარესამყაროს შემეცნების პროცესი არის სხვადასხვა სახის ამოცანების გადაჭრა, რომლებიც წარმოიშვება ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობის დროს. ამ პრობლემების გადაწყვეტა ხდება სპეციალური ხერხებით - მეთოდებით.

მეცნიერული მეთოდები არის სინამდვილის შემეცნების პრაქტიკული და თეორიული ხერხების ერთობლიობა.

შემეცნების ზოგადი მეთოდები ეხება ნებისმიერ დისციპლინას და შესაძლებლობას იძლევა შემეცნების პროცესის ყველა ეტაპის გაერთიანებისა. ეს მეთოდები გამოიყენება კვლევის ნებისმიერ სფეროში და საშუალებას იძლევა გამოვავლინოთ საკვლევო ობიექტების კავშირები და ნიშნები. მეცნიერების ისტორიაში მკვლევარები ამ მეთოდებს მიაკუთვნებენ მეტაფიზიკურ და დიალექტიკურ მეთოდებს.

მეცნიერული ცოდნის კერძო მეთოდები არის ის მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება მეცნიერების მხოლოდ ცალკეული დისციპლინებისათვის. ბუნებისმეტყველების (ფიზიკის, ქიმიის, ბიოლოგიის, ეკოლოგიის და ა.შ.) სხვადასხვა მეთოდები არის კერძო, შემეცნების ზოგადი დიალექტიკური მეთოდის მიმართ. ზოგჯერ კერძო მეთოდები შეიძლება გამოიყენებულ იქნას ბუნებისმცოდნეობის იმ დისციპლინების მიღმა, სადაც ისინი წარმოიქმნა. მაგალითად, ფიზიკური და ქიმიური მეთოდები გამოიყენება ასტრონომიაში, ბიოლოგიაში, ეკოლოგიაში. მეცნიერები ხშირად იყენებენ ერთმანეთთან დაკავშირებულ კერძო მეთოდების კომპლექსს რომელიმე ერთი საგნის შესწავლისას. ასე მაგალითად, ეკოლოგია ერთდროულად იყენებს ფიზიკის, მათემატიკის, ქიმიის, ბიოლოგიის მეთოდებს. შემეცნების კერძო მეთოდები კავშირშია განსაკუთრებულ მეთოდებთან.

განსაკუთრებული მეთოდები იკვლევს შესასწავლი ობიექტის განსაკუთრებულ თვისებებს. ისინი შეიძლება გამოვლინდეს შემეცნების ემპირიულ და თეორიულ დონეებზე და იყოს უნივერსალური.

გამოვყოთ დაკვირვება, გაზომვა და ექსპერიმენტი.

დაკვირვება ფართო მნიშვნელობით არის სამყაროს შემეცნების ხერხი. ყოველდღიური, ჩვეულებრივი დაკვირვება ადამიანებს გარე სამყაროს შესახებ ინფორმაციის მიღების საშუალებას აძლევს. მეცნიერული დაკვირვება მიმართულია გარკვეული მიზნის მისაღწევად – გამოკვლევის ამოცანების გადაწყვეტისათვის აუცი-

ლებელი სპეციფიკური ინფორმაციის მისაღებად. მას ახასიათებს სისტემატურობა, გეგმაზომიერება და კონტროლი. დაკვირვება როგორც ინფორმაციის შეგროვების მეთოდი, მრავალ მეცნიერებაში გამოიყენება.

გაზომვა გამოკვლევისათვის აუცილებელი მეთოდია, რამდენადაც მხოლოდ მისი გამოყენებითაა შესაძლებელი სხვადასხვა სახის მონაცემების შედარების უზრუნველყოფა, ამის საფუძველზე კი – სხვადასხვა სახის ტენდენციათა გამოვლენა. გაზომვა არის პროცედურა, რომლის მეშვეობითაც გასაზომი ობიექტი შედარდება რაღაც ეტალონთან და ლეზულობს რიცხვით გამოხატულებას. გაზომვის ცნების გამოყენების შესახებ ავტორები სხვადასხვა თვალსაზრისისა არიან, თუმცა საბოლოოდ სტივენსის მიერ შემოთავაზებულ განსაზღვრებას იზიარებენ, რომლის თანახმად, გაზომვა არის ობიექტებისა ან მოვლენებისათვის რიცხვების გარკვეული წესით მიწერა. გაზომვის ასეთი გაგება საკმაოდ ფართოა და მიესადაგება როგორც დაბალი ტიპის (ნომინალურ, რიგის), ასევე მაღალი ტიპის (ინტერვალურ, პროპორციულ) სკალებსაც.

ექსპერიმენტი მეცნიერებაში არის ობიექტური სინამდვილის შემეცნების ერთ - ერთი ფორმა. ის გამოკვლევის მნიშვნელოვანი მეთოდია. მისი მიზანია კვლევის ჰიპოთეზების შემოწმება ექსპერიმენტული პირობების მართვის გზით. მკვლავარი ქმნის ან გამოძებნის ისეთ პირობებს, რომლებიც აუცილებელი და საკმარისია მისთვის საინტერესო მოვლენათა მიზეზობრივი კავშირის გამოსავლენად.

მეცნიერული შემეცნების განსაკუთრებული თეორიული მეთოდებიდან გამოყოფენ აბსტაჰირებისა და იდეალიზაციის პროცედურებს. აბსტაჰირებისა და იდეალიზაციის პროცესში ფორმირდება ცნებები და ტერმინები, რომლებიც გამოიყენება ყველა თეორიაში.

ცნება არის აზრი საგანზე ან საგანთა ჯგუფზე, რომელშიაც ეს საგნები წარმოდგენილია არსებითი ნიშნების მიხედვით. ყოველ ცნებას აქვს მოცულობა და შინაარსი. ცნების შინაარსში იგულისხმება ამ ცნების მახასიათებლების ერთობლიობა, ხოლო მოცულობაში კი – მისი შინაარსით განსაზღვრული საგნების რაოდენობა. რაც უფრო ფართოა ცნება მოცულობით, მით უფრო ღარიბია ის შინაარსით და, პირიქით, შინაარსით მდიდარი ცნება უფრო მეტად ისწრაფვის კონკრეტულობისაკენ და მასმასადამე, ნაკლებია მისი მოცულობაც. ჰეგელი თავის „ლოგიკას“ იწყებს ყველაზე უფრო განყენებული და აბსტრაქტული ცნებიდან, ისეთი ცნებიდან რომლის მოცულობაც ყოვლისმომცველი იქნებოდა. ასეთ ცნებად მან შეარჩია ყოფიერების ცნება, რომელიც მოიცავს ყოვლივე არსებულს. სამაგიეროდ ეს ცნება, შინაარსობრივი თვალსაზრისით, ყველაზე ღარიბია, რადგან საგანთა ამ უსასრულობას იგი მიაწერს ერთადერთ, არსებობის ნიშანს და საგანთა ამ სიმრავლეს სხვა მხრივ სრულ განურჩევლობაში ტოვებს. წარმოშობის წყაროს გარდა, ცნებები შეიძლება დახასიათებულნი იყვნენ სრულიად სხვა თვალსაზრისით. მაგალითად, შეგვიძლია ვილაპარაკოთ ინდივიდუალურ და აბსტრაქტულ ცნებებზე, რომლებიც სხვაგვარად შეიძლება წარმოდგენილნი იყვნენ, ერთი მხრივ, როგორც სრული, ხოლო მეორე მხრივ, როგორც განყენებული ცნებები. აბსტრაქტირება არის რაიმე საგნებისა და მოვლენების თვისებების განყენება, განზოგადება, არარსებითი ნიშნების უგულვებელყოფა. აბსტრაქტირების პროცესის შედეგს ეწოდება აბსტრაქცია.

იდეალიზება არის რაიმეს იმაზე უკეთ წარმოდგენა, წარმოჩენა, ვიდრე სინამდვილეშია, რამესთვის იდეალური თვისებების მიწერა, გაიდეალება. მეცნიერება გამოყოფს რეალობაში ზოგად კანონზომიერებებს, რომელიც არსებითია და მეორდება სხვადასხვა საგანში, ამიტომ გვიხდება რეალური ობიექტებისაგან წასვლა. ასე წარმოიშვა ისეთი ცნებები, როგორიცაა „ატომი“, „სიმრავლე“, „აბსოლუტურად შავი სხეული“, „იდეალური აირი“ და სხვა. ასეთი

გზით მიღებული იდეალური ობიექტები სინამდვილეში არ არსებობს, რადგანაც ბუნებაში არ შეიძლება იყოს საგნები და მოვლენები, რომელთაც აქვთ მხოლოდ ერთი თვისება. თეორიის გამოყენებისას ისევ უნდა შევადაროთ მიღებული და გამოყენებული იდეალური და აბსტრაქტული მოდელები რეალობას.

კვლევის განსაკუთრებული უნივერსალური მეთოდებიდან გამოყოფენ ანალიზს, სინთეზს, შედარებას, კლასიფიკაციას, ანალოგიას, მოდელირებას. საბუნებისმეტყველო შემეცნების პროცესი მიმდინარეობს ისე, რომ ჩვენ ჯერ ვაკვირდებით შესასწავლი ობიექტის ზოგად სურათს, რომლის დროსაც კერძო რჩება ჩრდილში. ასეთი დაკვირვებისას შეუძლებელია ობიექტის შინაგანი სტრუქტურის შემეცნება. მისი შესწავლისას შესასწავლი ობიექტები უნდა დავყოთ.

ანალიზი არის მეცნიერული კვლევის მეთოდი, რომელიც დამყარებულია რაიმე მთლიანის შემადგენელ ნაწილებად ფაქტობრივ ან წარმოსახვით დაშლაზე. სასწავლო პროცესში ანალიზის მეთოდი გვეხმარება სასწავლო მასალის, როგორც ერთი მთლიანის, შემადგენელ ნაწილებად დაშლაში, ამით მარტივდება რთული პრობლემის შიგნით არსებული ცალკეული საკითხების დეტალური გაშუქება.

სინთეზი არის მეცნიერული შემეცნების მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს ანალიზის მეთოდით გამოყოფილი ელემენტების გაერთიანება. სინთეზის მეთოდი გულისხმობს შებრუნებულ პროცედურას, ანუ ცალკეული საკითხების დაჯგუფებით ერთი მთლიანის შედგენას. ეს მეთოდი ხელს უწყობს პრობლემის, როგორც მთელის დანახვის უნარის განვითარებას.

შედარების მეთოდი გულისხმობს შესასწავლი ობიექტის აბსოლუტური და ფარდობითი მაჩვენებლების მნიშვნელობების შედარებას სხვა ობიექტის ანალოგიურ მაჩვენებლებთან ან იმ ეტალონურ მაჩვენებლებთან, რომლებიც გამოგვადგება შედარებისთვის. შედარების მეთოდი გამოიყენება ანალიზის ყველა ეტაპზე,

დაწყებული წინასწარი ანალიზიდან დამთავრებული ანალიზის კომპლექსური მეთოდიკებით. შედარება უდევს საფუძვლად ბევრ საბუნებისმეტყველო გაზომვას, რომელიც წარმოადგენს განუყოფელ ნაწილს ნებისმიერი ექსპერიმენტისათვის. ობიექტების შედარებისას ადამიანი ღებულობს შესაძლებლობას სწორად ორიენტირდეს გარესამყაროში, მიზანმიმართულად იმოქმედოს მასზე. შედარების მეთოდი გამოყოფს საკვლევი ობიექტების სხვადასხვაობას და შეადგენს ნებისმიერი გაზომვის საფუძველს ანუ ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველს.

კლასიფიკაცია არის მეცნიერული შემეცნების მეთოდი, რომელიც აერთიანებს ერთ კლასში არსებითი მახასიათებლებით მაქსიმალურად მსგავს ობიექტებს.

ანალოგია არის შემეცნების მეთოდი, რომლის დროსაც ხდება რომელიმე ობიექტის განხილვისას მიღებული ცოდნის გადატანა სხვა ნაკლებად შესწავლილ, მაგრამ პირველთან რაღაც არსებითი თვისებებით მსგავს ობიექტზე. ანალოგიის მეთოდს საფუძვლად უდევს შედარების მეთოდი.

ანალოგიის მეთოდი მჭიდრო კავშირშია მოდელირების მეთოდთან. ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს მსგავსება ობიექტ-ორიგინალსა და მის მოდელს შორის. თანამედროვე კვლევებში იყენებენ მოდელირების სხვადასხვა სახეს: საგნობრივს, აზრობრივს, სიმბოლურს, კომპიუტერულს.

მეცნიერული შემეცნების მეთოდების მრავალფეროვნება ქმნის სიმრავლეს მათი გამოყენებისას და მათი როლის გაგებისას. ამ პრობლემების გადაჭრა ხდება ცოდნის სპეციალური სფეროს მეშვეობით – მეთოდოლოგიით. მის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს შემეცნების მეთოდების წარმოშობის, არსის, ეფექტურობის, განვითარების შესწავლა.

კითხვები თვითშეფასებისათვის

1. რა არის მეცნიერება? როგორია მისი ფუნქციები?
2. რა სპეციფიკური თვისებებით ხასიათდება მეცნიერება?
3. მეცნიერული კვლევის რომელ დონეებს გამოყოფენ?
4. რით განსხვავდება კონცეფცია კანონისგან, თეორიისგან და ჰიპოთეზისგან?
5. რას სწავლობს ბუნებისმეტყველება? ბუნებისმცოდნეობის განვითარების რომელ ეტაპებს გამოყოფენ?
6. რა განსხვავებაა ფუნდამენტალურ და გამოყენებით მეცნიერებებს შორის?
7. რა იგულისხმება სამყაროს მეცნიერული სურათის ქვეშ?
8. რაში მდგომარეობს ემპირიული და თეორიული ცოდნის ერთიანობა?
9. რა წარმოადგენს მეცნიერული თეორიის საფუძველს?
10. განსაზღვრეთ მეცნიერების მეთოდები. რომელ მათგანს იგნობთ?

§ 2.1. მატერია და მისი თვისებები

მატერია(ლათ.*materia*-ნივთიერი)მატერიალური ფილოსოფიის ძირითადი ცნებაა, რომლის მიხედვითაც მეტერია წარმოადგენს სამყაროს სუბსტანციას (საწყისს), რომელიც არ წარმოშობილა და არ ისპობა, მარადიულად მოძრაობს დროში და სივრცეში, განიცდის განვითარებას და ამ განვითარების შედეგს წარმოადგენს. ამდენად, ცნობიერება მაღალგანვითარებული მატერიის ანუ ადამიანის ტვინის გამოვლენაა და არ არსებობს არავითარი ცნობიერება და არავითარი იდეები მატერიის გარეშე.

მატერიის განუყოფილი ნაწილი არის მოძრაობა. მატერიის მოძრაობა წარმოადგენს ნივთიერი ობიექტების ნებისმიერი სახის ცვლილებას, რომელსაც ადგილი აქვს მათი ურთიერთქმედებისას. ბუნებაში არსებობს მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა სახე: მექანიკური, რხევითი და ტალღური, ატომებისა და მოლეკულების სითბური მოძრაობა, წონასწორული და არაწონასწორული პროცესები, რადიოაქტიური დაშლა, ქიმიური და ბირთვული რეაქციები, ცოცხალი ორგანიზმებისა და ბიოსფეროს განვითარება.

ბუნებისმეტყველების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე მკვლევარები განასხვავებენ შემდეგი სახის მატერიას: ნივთიერება, ფიზიკური ველი და ფიზიკური ვაკუუმი.

ნივთიერება არის ქიმიური მატერიის ფორმა, სუბსტანცია, რომელიც ყველგან გვხვდება. ნივთიერება შეიძლება იყოს – ბუნებრივი. მაგალითად, წყალი, ჟანგბადი; ასევე ხელოვნური – მაგალითად, კაპრონი, პოლიეთილენი და სხვა. დღეისათვის ცნობილია ათ მილიონზე მეტი ნივთიერება, და მათი რაოდენობა დღითიდღე მატულობს, ერთ ნაწილს ბუნებაში პოულობენ, მეორეს – კი ადამიანი იღებს სინთეზით. ყოველ ნივთიერებას გააჩნია თავისი სპეციფიკური თვისებები, რომლებიც განსაზღვრავენ მის ინდივი-

დუალურობას და იძლევიან იმის შესაძლებლობას რომ ისინი განასხვავონ სხვა ნივთიერებებისაგან. ნიშნები რის მიხედვითაც განსხვავებულ ნივთიერებებს ერთმანეთს ამსგავსებენ ან ერთმანეთისაგან ანსხვავებენ – ნივთიერებისთვისებებს უწოდებენ. განასხვავებენ ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებს.

ფიზიკური ველი წარმოადგენს მატერიის განსაკუთრებულ სახეს, რომელიც უზრუნველყოფს მატერიალური ობიექტებისა და სისტემების ფიზიკურ ურთიერთქმედებას. ფიზიკურ ველს მიაკუთვნებენ: ელექტრომაგნიტურ და გრავიტაციულ ველებს, ბირთვულ ძალთა ველს, ტალღურ ველებს, რომლებიც შეესაბამება სხვადასხვა ნაწილაკებს. ფიზიკური ველის წყაროს წარმოადგენს ნაწილაკი.

ფიზიკური ვაკუუმი არის კვანტური ველის უმდაბლესი ენერგეტიკული მდგომარეობა. ეს ტერმინი შემოღებულ იქნა ველის კვანტურ თეორიაში ზოგიერთი პროცესის ასახსნელად. ნაწილაკების – ველის კვანტების – საშუალო რიცხვი ვაკუუმში ნულის ტოლია, მაგრამ იქ შეიძლება გაჩნდეს ნაწილაკები შუალედურ მდგომარეობაში, რომლებიც იარსებებენ მოკლე დროით.

მატერიალური სისტემების აღწერისას იყენებენ კორპუსკულარულ (ლათ. *corpuskulum*–ნაწილაკი) და კონტინუალურ (ლათ. *continium*–უწყვეტი) თეორიებს. კონტინუალური თეორია განიხილავს განმეორებად უწყვეტ პროცესებს. რხევების გავრცელება გარემოში წარმოშობს ტალღებს. რხევათა თეორია არის ფიზიკის სფერო, რომელიც სწავლობს ამ კანონზომიერებებს. ამგვარად, კონტინუალური თეორია აღწერს ტალღურ პროცესებს. ტალღურ აღწერასთან ერთად ფართოდ გამოიყენება ნაწილაკის – კორპუსკულას ცნება. კონტინუალური კონცეფციის თვალსაზრისით, მთელი მატერია განიხილებოდა როგორც სივრცეში თანაბრად გავრცელებადი ველის ფორმა, ხოლო ველის შემთხვევითი შემფოთების შემდეგ წარმოიშვა ტალღები, ანუ სხვადასხვა თვისებების ნაწილაკები. მათმა ურთიერთქმედებამ გამოიწვია ატომების,

მოლეკულების, მაკროსხეულების გაჩენა, რომლებიც ქმნიან მაკროსამყაროს. ამ კრიტერიუმზე დაფუძნებით გამოყოფენ მატერიის შემდეგ დონეებს: მიკროსამყარო, მაკროსამყარო და მეგასამყარო.

მიკროსამყარო არის მცირე, უშუალოდ დაუკვირვებადი მატერიალური მიკროობიექტების სფერო, რომელთა ზომები 10^{-8} სმ-დან 10^{-16} სმ-მდე დიაპაზონშია, ხოლო მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა უსასრულოდ და 10^{-24} წმ-მდეა. ეს სამყარო ატომებიდან ელემენტარულ ნაწილაკებამდეა. ისინი ფლობენ როგორც ტალღურ, ასევე კორპუსკულარულ თვისებებს.

მაკროსამყარო არის ადამიანის მასშტაბების ტოლი მატერიალური ობიექტების სამყარო. ამ დონეზე სივრცითი ერთეულები იზომება მილიმეტრებიდან კილომეტრებამდე, ხოლო დრო – წამებიდან წლებამდე. მაკროსამყარო წარმოდგენილია მაკრომოლეკულებით, ნივთიერებებით სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობებში, ცოცხალი ორგანიზმებით, ადამიანით და მისი საქმიანობის პროდუქტებით.

მეგასამყარო არის უზარმაზარი კოსმიური მასშტაბების და სიჩქარეების სფერო, რომელშიც მანძილი იზომება ასტრონომიული ერთეულებით (1 ა.ე. = 8,3 სინათლის წუთს), სინათლის წელიწადებით (1 სინათლის წელიწადი = 10 ტრლნ კმ) და პარსეკებით (1პკ = 30 ტრლნ კმ), ხოლო კოსმიური ობიექტების არსებობის დრო – მილიონი და მილიარდი წლით. ამ დონეს მიეკუთვნება უდიდესი მატერიალური ობიექტები: პლანეტები და მათი სისტემები, ვარსკვლავები, გალაქტიკები და მეგაგალაქტიკები.

ელემენტარული ნაწილაკების კლასიფიკაცია.

ელემენტარული ნაწილაკები არის მიკროსამყაროს ძირითადი სტრუქტურული ელემენტები. მეცნიერებმა ელემენტალური ნაწილაკების არსებობა აღმოაჩინეს ბირთვული პროცესების შესწავლის დროს, ამიტომ XX საუკუნის შუამდე ელემენტალური ნაწილაკების ფიზიკა შეადგენდა ბირთვული ფიზიკის ნაწილს. ამჟამად ფიზიკის ეს ნაწილები ახლოსაა მაგრამ დამოუკიდებელია,

რომლებსაც ბევრი საერთო განსახილველი პრობლემა და კვლევის მეთოდი აქვთ. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის მთავარი ამოცანა არის – ელემენტარული ნაწილაკების ბუნების, თვისებები-სა და ურთიერთგარდაქმნების კვლევა.

წარმოდგენას იმის შესახებ, რომ სამყარო შედგება ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან, აქვს დიდი ხნის ისტორია. პირველად აზრი უმცირესი ნაწილაკების არსებობის შესახებ, რომელთაგანაც შედგება ყველა არსებული საგანი, გამოთქვა 400წ. ჩვენს ერამდე ბერძენმა ფილოსოფოსმა დემოკრიტემ. მან ამ ნაწილაკებს ატომები ანუ დაუყოფადი ნაწილაკები უწოდა. მეცნიერებამ ატომებზე წარმოდგენის გამოყენება დაიწყო მხოლოდ XIX საუკუნის დასაწყისში, როცა ამის საფუძველზე შესაძლო გახდა მთელი რიგი ქიმიური მოვლენების ახსნა. XIX საუკუნის 30-ან წლებში ელექტროლიზის თეორიაში, რომელიც განავითარა მ. ფარადეიმ, გაჩნდა იონის ცნება და მოხდა ელემენტარული მუხტის გაზომვა. XIX საუკუნის ბოლო დაგვირგვინდა რადიოაქტივობის მოვლენის აღმოჩენით (1996წ. ა.ბერკელი), ასევე ელექტრონების (1897წ. ჯ. ტომსონი) და α -ნაწილაკების (1999წ. ე. რეზერფორდი) აღმოჩენით. 1905 წელს ფიზიკაში წარმოიშვა წარმოდგენა ელექტრომაგნიტური ველის კვანტებზე –ფოტონებზე (ა. აინშტაინი).

1911 წელს აღმოჩენილ იქნა ატომის ბირთვი (ე. რეზერფორდი) და საბოლოოდ იქნა დამტკიცებული, რომ ატომებს აქვთ რთული აგებულება. 1919 წელს რეზერფორდმა რიგი ელემენტების ატომების ბირთვების გახლეჩის პროდუქტებში აღმოაჩინა პროტონები. 1932 წელს ჯ. ჩედვიკმა აღმოაჩინა ნეიტრონი. გახდა ნათელი, რომ ატომების ბირთვებს, ისევე როგორც თვით ატომებს, აქვთ რთული აგებულება. წარმოიშვა ბირთვის აგებულების პროტონ-ნეიტრონული თეორია (ვ. ჰაიზენბერგი). იმავე 1932 წელს კოსმოსურ სხივებში აღმოჩენილი იქნა პოზიტრონი კ. ანდერსონი. პოზიტრონი არის დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, რომელსაც იგივე მასა და იგივე მუხტი (მოდულით) აქვს რაც ელექტრონს.

პოზიტრონის არსებობა იწინასწარმეტყველა პ.დირაკმა 1928 წელს. ამ წლებში აღმოჩენილი და გამოკვლეული იქნა პროტონებისა და ნეიტრონების ურთიერთგარდაქმნა და ნათელი გახდა, რომ ეს ნაწილაკებიც არ წარმოადგენენ ბუნების უცვლელ ელემენტალურ „აგურებს“. 1937 წელს კოსმოსურ სხივებში აღმოჩენილი იქნა 207 ელექტრონული მასის მქონე ნაწილაკი და ეწოდათ მიუ მეზონები (μ -მეზონი). შემდეგ 1947-1950 წლებში აღმოჩენილი იქნა პიონები (ანუ π -მეზონები), რომლებიც, თანამედროვე ხედვით, ბირთვებში ნუკლონებს შორის ურთიერთქმედებას ახდენენ. მომდევნო წლებში ახლადაღმოჩენილი ნაწილაკების რიცხვის ზრდა დაიწყო. ამას ხელი შეუწყო კოსმოსური სხივების შესწვლამ, ამაჩქარებელი ტექნიკის განვითარებამ და ბირთვული რეაქციების შესწავლამ.

დღეისათვის ცნობილია დაახლოებით 400 სუბბირთვული ნაწილაკი, რომელსაც ელემენტალურ ნაწილაკებს უწოდებენ. უმრავლესობა ამ ნაწილაკთაგან არასტაბილურია. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ ფოტონი, ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრონი. ყველა დანარჩენი ნაწილაკი გარკვეული დროის შემდეგ განიცდის სხვა ნაწილაკებად თავისთავად გარდაქმნას. არასტაბილური ელემენტალური ნაწილაკები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან სიცოცხლის ხანგრძლივობით. ყველაზე ხანგრძლივი ნაწილაკი არის ნეიტრონი. მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა 15 წუთია. სხვა ნაწილაკები გაცილებით ნაკლებ ხანს „ცოცხლობენ“. მაგალითად, μ -მეზონის საშუალო ხანგრძლივობა $2,2 \cdot 10^{-6}$ წმ-ია, ნეიტრალური π -მეზონისა – $0,87 \cdot 10^{-16}$ წმ. ბევრ მასიური ნაწილაკის – ჰიპერონის – საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა $0,87 \cdot 10^{-16}$ წმ-ის რიგისაა.

არსებობს რამოდენიმე ათეული ნაწილაკი, რომელთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა აღემატება 10^{-17} წმ-ს. მიკროსამყაროს მასშტაბებისთვის ეს მნიშვნელოვანი დროა. ასეთ ნაწილაკებს უწოდებენ ფარდობითად სტაბილურს. უმეტესობა ხანმოკლე ელემენტა-

ლური ნაწილაკების სიცოცხლის ხანგრძლივობა 10^{-22} – 10^{-23} წმ რიგისაა.

ურთიერგარდაქმნის უნარი – ეს ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისებაა ყველა ელემენტალური ნაწილაკისთვის. მათ შეუძლიათ დაიბადნონ და განადგურდნენ (გამოსხივდნენ და შთაინთქან). ეს ასევე ეხება სტაბილურ ნაწილაკებსაც მხოლოდ იმ სხვაობით, რომ სტაბილური ნაწილაკების გარდაქმნა ხდება არა თავისთავად, არამედ სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებისას. მაგალითად, გამოდგება ელექტრონისა და პოზიტრონის ანიჰილაცია (გაქრობა), რასაც მაღალი ენერგიის მქონე ფოტონების დაბადება ახლავს. შეიძლება წარმართოს უკუპროცესიც – ელექტრონულ-პოზიტრონული წყვილის დაბადება. მაგალითად, საკმაოდ მაღალენერგიული ფოტონის ბირთვთან დაჯახების დროს. ასეთი სახიფათო ორეული, როგორც ელექტრონისთვის არის პოზიტრონი, ჰყავს ასევე პროტონს. მას ანტიპროტონი ეწოდება. ანტიპროტონის ელექტრული მუხტი უარყოფითია. დღეისათვის ანტინაწილაკები მოეძებნა ყველა ნაწილაკს. ნაწილაკის თავის ანტინაწილაკთან შეხვედრისას ხდება მათი ანიჰილაცია, ანუ ორივე ნაწილაკი ქრება, გარდაიქმნება რა გამოსხივების კვანტად ან სხვა ნაწილაკებად.

ანტინაწილაკი აღმოაჩნდა ნეიტრონსაც. ნეიტრონი და ანტინეიტრონი განსხვავდებიან მხოლოდ მაგნიტური მომენტის და ე.წ. ბარიონული მუხტის ნიშნებით. შესაძლებელია ანტინეიტრონების ატომების არსებობა. მათი ბირთვები შედგება ანტინუკლონებისგან, ხოლო გარსი – პოზიტრონებისგან. ანტინეიტრონების ნეიტრონებთან ანიჰილაციისას უძრაობის ენერგია გარდაიქმნება გამოსხივების კვანტების ენერგიად. ეს უზარმაზარი ენერგია, გაცილებით მეტია იმაზე, რაც გამოიყოფა ბირთვული ან თერმობირთვული რეაქციების დროს.

დღეისათვის ცნობილ ელემენტალური ნაწილაკების მრავალფეროვნებაში იკვეთება კლასიფიკაციის მეტნაკლებად მწყობრი სისტემა. ქვემოთ ცხრილში წარმოდგენილია ზოგიერთი ცნობა 10^{-

²⁰ წმ-ზე მეტი სიცოცხლის ხანგრძლივობის მქონე ელემენტალურ ნაწილაკთა თვისებებზე. ელემენტალური ნაწილაკების მახასიათებელ მრავალ თვისებათა შორის ცხრილში მოყვანილია მხოლოდ ნაწილაკის მასა (ელექტრონულ მასებში), ელექტრული მუხტი (ერთეული მუხტის ერთეულებში) და იმპულსის მომენტი (ე.წ. სპინი) პლანკის მუდმივის $\hbar = h / 2\pi$ ერთეულებში. ცხრილში მოტანილია აგრეთვე ნაწილაკების საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა.

ჯგუფი	ნაწილაკის დასახელება	სიმბოლო		მასა (ელექტრონულ მასებში)	ელექტრული მუხტი	სპინი	სიცოცხლის ხანგრძლივობა (ს)	
		ნაწილაკი	ანტინაწილაკი					
ფოტონები	ფოტონი	γ		0	0	1	სტაბილურია	
ლექტონები	ნეიტრინო ელექტრონული	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	1/2	სტაბილურია	
	ნეიტრინო მიუონური	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	1/2	სტაბილურია	
	ელექტრონი	e^-	e^+	1	-1	1/2	სტაბილურია	
	მიუ-მეზონი	μ^-	μ^+	206,8	-1	1/2	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
ადრონები	პი-მეზონი	π^0		264,1	0	0	$0,87 \cdot 10^{-16}$	
		π^+	π^-	273,1	1	-1	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$
	K-მეზონი	K^+	K^-	966,4	1	-1	0	$1,24 \cdot 10^{-8}$
		K^0	\bar{K}^0	974,1	0	0	0	$\approx 10^{-10} - 10^{-8}$
	ეტა-ნულ-მეზონი	η^0		1074	0	0	$\approx 10^{-18}$	
	ბარიონები	პროტონი	p	\bar{p}	1836,1	1	-1	1/2
ნეიტრონი		n	\bar{n}	1838,6	0	0	1/2	898
ლამბდა-		Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2183,1	0	0	1/2	$2,63 \cdot 10^{-10}$

ჰიპერონი							
სიგმა-ჰიპერონები	Σ^-	Σ^+	2327,6	1	-1	1/2	$0,8 \cdot 10^{-10}$
	Σ^0	Σ^0	2333,6	0		1/2	$7,4 \cdot 10^{-20}$
	Σ^-	Σ^-	2343,1	-1	1	1/2	$1,48 \cdot 10^{-10}$
ქსი-ჰიპერონები	Ξ^0	Ξ^0	2572,8	0		1/2	$2,9 \cdot 10^{-10}$
	Ξ^-	Ξ^-	2585,6	-1	1	1/2	$1,64 \cdot 10^{-10}$
ომეგა-მინუს-ჰიპერონი	Ω^-	Ω^-	3273	-1	1	1/2	$0,82 \cdot 10^{-11}$

ელემენტალური ნაწილაკები ერთიანდებიან სამ ჯგუფად: ფოტონები, ლეპტონები, ადრონები.

ფოტონების ჯგუფს მიეკუთვნება ერთადერთი ნაწილაკი – ფოტონი, რომელიც წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების მატარებელს.

შემდგომი ჯგუფი შედგება მსუბუქი ნაწილაკებისგან – ლეპტონებისგან. ამ ჯგუფში შედის ნეიტრინოების ორი სახეობა (ელექტრონული და მიუონური), ელექტრონი და μ -მეზონი. ლეპტონებს განეკუთვნება კიდევ რიგი ნაწილაკებისა, რომლებიც არ არის ცხრილში მითითებული. ყველა ლეპტონს აქვს სპინი 1/2.

მესამე დიდ ჯგუფს შეადგენენ მძიმე ნაწილაკები, რომელთაც ადრონები ეწოდებათ. ეს ჯგუფი იყოფა ორ ნაწილად. შედარებით მსუბუქი ნაწილაკები ქმნიან მეზონების ქვეჯგუფს. მათ შორის ყველაზე მსუბუქები არიან დადებითად და უარყოფითად დამუხტული, ასევე ნეიტრალური π -მეზონები მასებით 250 ელექტრონული მასის რიგისა. პიონები არიან ბირთვული ველის კვანტები, მსგავსად იმისა, როგორც ფოტონები არის ელექტრომაგნიტური ველის კვანტები. ამ ქვეჯგუფში შედის კიდევ ოთხი K -მეზონი და ერთი η^0 -მეზონი. ყველა მეზონს აქვს ნულის ტოლი სპინი.

მეორე ქვეჯგუფი – ბარიონები – მოიცავს შედარებით მძიმე ნაწილაკებს. იგი ყველაზე ფართოა. ბარიონებს შორის ყველაზე

მსუბუქებია ნუკლონები – პროტონები და ნეიტრონები. მათ მოსდევთ ე.წ. ჰიპერონები. ცხრილს ასრულებს ომეგა-მინუს-ჰიპერონი, რომელიც 1964 წელს იქნა აღმოჩენილი. ეს არის მძიმე ნაწილაკი 3273 ელექტრონული მასით. ყველა ბარიონს აქვს სპინი 1/2.

უკვე აღმოჩენილი და აღმოჩენადი ადრონების სიმრავლემ მეცნიერებს უბიძგა იმ აზრისკენ, რომ ყველა ისინი აგებულნი არიან რაღაც სხვა უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებისგან. 1964 წ. ამერიკელმა ფიზიკოსის მ. გელმანის მიერ წამოყენებული იქნა ჰიპოთეზა, რომელიც დამტკიცდა შემდგომი კვლევებით, რომ ყველა მძიმე ნაწილაკი-ადრონი-აგებულია უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებით, რომელთაც კვარკები ეწოდათ. კვარკული ჰიპოთეზის საფუძველზე არამარტო გაგებული იქნა უკვე არსებული ადრონების სტრუქტურა, არამედ ნაწინასწარმეტყველები იქნა ახლის არსებობა. გელმანის თეორია უშვებდა სამი კვარკისა და სამი ანტიკვარკის არსებობას, რომლებიც ერთურთს სხვადასხვა კომბინაციებით უერთდებიან. ასე მაგალითად, ყოველი ბარიონი შედგება სამი კვარკისგან, ანტიბარიონი კი - სამი ანტიკვარკისგან. მეზონები შედგება კვარკი-ანტიკვარკის წყვილებისგან.

კვარკების ჰიპოთეზის მიღებით შესაძლებელი გახდა ელემენტალური ნაწილაკების მწყობრი სისტემის შექმნა. თუმცა ამ ჰიპოთეტური ნაწილაკების ნაწინასწარმეტყველები თვისებები საკმაოდ მოულოდნეი აღმოჩნდა. კვარკების ელექტრული მუხტი გამოხატული უნდა იყოს წილადი რიცხვებით, რომლებიც ტოლია ელექტრონული მუხტის 2/3-სა და 1/3 -ის.

მაღალი ენერგიების ამაჩქარებლებზე და კოსმოსურ სხივებში თავისუფალ მდგომარეობაში კვარკების მრავალგზისი ძიება წარუმატებელი აღმოჩნდა. მეცნიერები თვლიან, რომ თავისუფალი კვარკების დაუკვირვებლობის ერთ-ერთი მიზეზი შესაძლოა არის მათი ძალიან დიდი მასები. ეს ხელს უშლის კვარკების დაბადებას იმ ენერგიებზე, რომლებიც მიიღწევა თანამედროვე

ამაჩქარებლებზე. მიუხედავად ამისა, სპეციალისტების უმეტესობა დარწმუნებულია, რომ ადრონების შიგნით არსებობენ კვარკები.

§ 2.2. ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

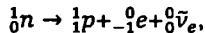
ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები. პროცესები, რომლებშიც ელემენტალური ნაწილაკები მონაწილეობენ, ძლიერ განსხვავდებიან ენერგიებითა და მათი მიმდინარეობის მახასიათებელი დროებით. თანამედროვე შეხედულებების თანახმად, ბუნებაში ხორციელდება ოთხი ტიპის ურთიერთქმედება, რომლებიც სხვა უფრო მარტივ ტიპზე არ დაიყვანება. ესენია: ძლიერი, ელექტრომაგნიტური, სუსტი და გრავიტაციული. ურთიერთქმედების ამ სახეებს ფუნდამენტურს უწოდებენ.

ძლიერი (ანუ ბირთვული) ურთიერთქმედება – ყველაზე ინტენსიურია. ის განაპირობებს განსაკუთრებულ კავშირს ატომბირთვებში პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის. ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილეობა შეუძლიათ მხოლოდ მძიმე ნაწილაკებს – ადრონებს (მეზონებს და ბარიონებს). ძლიერი ურთიერთქმედება მქვავნდება 10^{-15} მ და ნაკლები რიგის მანძილებზე. ამიტომ მას უწოდებენ ახლომოქმედს.

ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება – მასში შეუძლიათ მონაწილეობა ყველა დამუხტულ ნაწილაკს, ასევე ფოტონებს – ელექტრომაგნიტური ველის კვანტებს. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება პასუხისმგებელია კერძოდ, ატომებისა და მოლეკულების არსებობაზე. ის განაპირობებს ნივთიერების ბევრ თვისებას მყარ, თხევად და აირად მდგომარეობაში. პროტონების კულონური განზიდვა იწვევს დიდი მასური რიცხვის ბირთვების არამდგრადობას. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება განაპირობებს ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების მიერ

ფოტონების გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესებს და მიკრო- და მაკროსამყაროს მრავალ სხვა ფიზიკურ პროცესს.

სუსტი ურთიერთქმედება – განაპირობებს მიკროსამყაროში ყველაზე ნელი პროცესების მიმდინარეობას. მასში ნებისმიერ ელემენტალურ ნაწილაკს შეუძლია მონაწილეობის მიღება, გარდა ფოტონებისა. სუსტი ურთიერთქმედება პასუხისმგებელია ნეიტრინოებისა ან ანტინეიტრინოების მონაწილეობით მიმდინარე პროცესებზე, მაგალითად, ნეიტრონის β -დაშლა



ასევე დიდი სიციცხლის ხანგრძლივობის ($\tau \geq 10^{-10}$ წმ) მქონე უნეიტრინო დაშლის პროცესები.

გრავიტაციული ურთიერთქმედება ახასიათებს უკლებლივ ყველა ნაწილაკს, მაგრამ ელემენტალური ნაწილაკების მასების სიმცირის გამო მათ შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალები მცირეა და მიკროსამყაროში მიმდინარე პროცესებში მათი როლი უმნიშვნელოა. გრავიტაციული ძალები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ უზარმაზარი მასების მქონე კოსმოსური ობიექტების (ვარსკვლავები, პლანეტები და ა.შ.) ურთიერთქმედების დროს.

XX საუკუნის 30-იან წლებში წარმოიშვა ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ ელემენტალური ნაწილაკების სამყაროში ურთიერთქმედება ხორციელდება რაიმე ველის კვანტების გაცვლის მეშვეობით.

ურთიერთქმედებამ, რომელიც ხორციელდება ნაწილაკების მიერ მიმოცვლის გზით, მიიღო გაცვლითი ურთიერთქმედების სახელწოდება. ასე მაგალითად, დამუხტულ ნაწილაკებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება წარმოიქმნება ელექტრომაგნიტური ველის ფოტონების – კვანტების გაცვლის შედეგად.

გაცვლითი ურთიერთქმედების თეორიამ აღიარება ჰპოვა მას შემდეგ, რაც 1935 წელს იაპონელმა ფიზიკოსმა ჰ.უკავამ თეორიულად აჩვენა, რომ ატომბირთვებში ნუკლონებს შორის ძლიერი ურთიერთქმედება შეიძლება აიხსნას, თუ დავუშვებთ, რომ ნუკლონები ცვლიან ჰიპოთეტურ ნაწილაკებს, რომელთაც მეზონე-

ბი ეწოდა. იუკავამ გამოთვალა ამ ნაწილაკების მასა, რაც დაახლოებით 300 ელექტრონული მასის ტოლი აღმოჩნდა. ამ მასის ნაწილაკები შემდგომ მართლაც იქნა აღმოჩენილი. ამ ნაწილაკებს უწოდეს π -მეზონები (პიონები). დღესდღეობით ცნობილია სამი სახის პიონები: π^+ , π^- და π^0 .

1957წ. თეორიულად იქნა ნაწინასწარმეტყველები მძიმე ნაწილაკების, ეგრეთ წოდებული ვექტორული ბოზონების W^+ , W^- და Z^0 არსებობა, რომლებიც სუსტი ურთიერთქმედების გაცვლით მექანიზმს განაპირობებენ. ეს ნაწილაკები აღმოაჩინეს 1983 წელს მაღალი ენერგიების პროტონებისა და ანტიპროტონების შეშვადრ სხივებზე ამაჩქარებელზე ჩატარებული ექსპერიმენტების დროს. ვექტორული ბოზონების აღმოჩენა იყო ელემენტალური ნაწილაკების ფიზიკის მნიშვნელოვანი მიღწევა. ამ აღმოჩენამ დააგვირგვინა იმ თეორიის წარმატება, რომელმაც გააერთიანა ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედება ერთიან ე.წ. ელექტროსუსტ ურთიერთქმედებად. ეს ახალი თეორია განიხილავს ელექტრომაგნიტურ ველსა და სუსტი ურთიერთქმედების ველს როგორც ერთი ველის სხვადასხვა შემადგენელს, რომელშიც კვანტთან ერთად მონაწილეობენ ვექტორული ბოზონები.

ამ აღმოჩენის შემდეგ თანამედროვე ფიზიკაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა რწმენა, რომ ურთიერთქმედების ყველა სახე მჭიდრო ურთიერთკავშირშია და არსებითად რაღაც ერთიანი ველის სხვადასხვა გამოვლინებაა. თუმცა ყველა ურთიერთქმედების გაერთიანება ჯერჯერობით მიმზიდველ სამეცნიერო ჰიპოთეზად რჩება.

ფიზიკოს-თეორეტიკოსები მნიშვნელოვან ძალისხმევას ხარჯავენ, რათა ერთიან საფუძველზე განიხილონ არა მარტო ელექტრომაგნიტური და სუსტი, არამედ ძლიერი ურთიერთქმედებაც. ამ თეორიამ დიდი გაერთიანების სახელწოდება მიიღო. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ გრავიტაციულ ურთიერთქმედებასაც უნდა

ჰყავდეს თავისი გადამტანი, გრავიტონად წოდებული, ჰიპოთე-
ტური ნაწილაკი. მაგრამ ეს ნაწილაკი ჯერ არ არის აღმოჩენილი.

დღესდღეობით ითვლება დამტკიცებულად, რომ ერთიანი
ველი, რომელიც ურთიერთქმედებათა ყველა სახეს აერთიანებს,
შეიძლება არსებობდეს მხოლოდ ნაწილაკების ძალიან დიდი
ენერგიების დროს, რომლის მიღწევა თანამედროვე ამაჩქარებ-
ლებზე შეუძლებელია. ასეთი მაღალი ენერგიები ნაწილაკებს
შეიძლება ჰქონოდათ მხოლოდ სამყაროს არსებობის ძალიან
ადრეულ ეტაპებზე, რომელიც ე.წ. დიდი აფეთქების (*Big Bang*) შე-
დეგად წარმოიქმნა. კოსმოლოგია – მეცნიერება სამყაროს ევოლუ-
ციის შესახებ – ვარაუდობს, რომ დიდი აფეთქება მოხდა 18
მილიარდი წლის წინ. სამყაროს ევოლუციის სტანდარტულ
მოდელში იგულისხმება, რომ აფეთქების შემდგომ პირველ
პერიოდში ტემპერატურა აღწევდა $10^{32} K$, ხოლო ნაწილაკების
ენერგია $E = kT$ აღწევდა 10^{19} გეე მნიშვნელობას. ამ პერიოდში
მატერია არსებობდა კვარკებისა და ნეიტრინოების ფორმით,
ამასთან ურთიერთქმედების ყველა ტიპი გაერთიანებული იყო
ერთიან ძალურ ველად. სამყაროს თანდათანობითი გაფართო-
ებისას ნაწილაკთა ენერგია მცირდებოდა და ურთიერთქმედებათა
ერთიან ველს ჯერ გამოეყო გრავიტაციული ურთიერთქმედება
(როცა ნაწილაკების ენერგიები $\leq 10^{19}$ გეე), ხოლო შემდეგ ძლიერი
ურთიერთქმედება გამოეყო ელექტროსუსტს (ნაწილაკების
ენერგიები $\leq 10^{14}$ გეე). 10^3 გეე რიგის ენერგიის დროს ყველა ოთხი
ურთიერთქმედება აღმოჩნდა დაყოფილი. ამ პროცესებთან ერთად
მიმდინარეობდა მატერიის უფრო რთული ფორმების, ნუკ-
ლონების, მსუბუქი ბირთვების, იონების, ატომებისა და სხვა
ფორმირება. კოსმოლოგია თავის მოდელში, ეყრდნობა რა ელემ-
ენტალური ნაწილაკებისა და ასევე ბირთვული და ატომური
ფიზიკის კანონებს, ცდილობს თვალი გაადევნოს სამყაროს ევო-
ლუციას მისი განვითარების სხვადასხვა ეტაპებზე დაწყებული
დიდი აფეთქებიდან დღემდე.

§ 2.3. სითბური გამოსხივება. კვანტური წარმოდგენების დაბადება

წყაროს მიერ გამოსხივებულ სინათლეს თან მიაქვს ენერგია. სინათლის წყაროსთვის ენერგიის რესურსის მიწოდების მრავალი მექანიზმი არსებობს. იმ შემთხვევებში, როცა აუცილებელი ენერგია გათბობით გადაეცემა, ე.ი. სითბოს მიწოდებით, გამოსხივებას სითბურს ან ტემპერატურულს უწოდებენ. გამოსხივების ეს სახეობა XIX საუკუნის ფიზიკოსების განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევდა, რადგანაც ყველა სხვა ლუმინესცენციის (ნათება) სახეობებისაგან განსხვავებით, სითბურ გამოსხივებას გახურებულ სხეულებთან შეუძლია თერმოდინამიკურ წონასწორობაში ყოფნა.

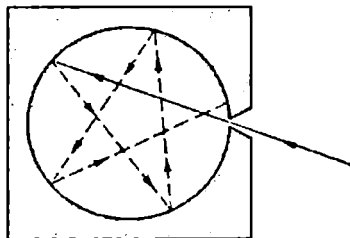
სხეულების სითბური გამოსხივების კანონზომიერებების შესწავლისას, ფიზიკოსებს, თერმოდინამიკასა და ოპტიკას შორის კავშირის დადგენის იმედი ჰქონდათ.

თუ სარკულად შემოსაზღვრულ ჩაკეტილ სიღრუეში სხვადასხვა ტემპერატურამდე გახურებულ რამოდენიმე სხეულს მოვათავსებთ, მაშინ როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს, ასეთი სისტემა რაღაც დროის განმავლობაში სითბური წონასწორობის მდგომარეობამდე მივა, რომლის დროსაც ყველა სხეული ერთნაირ ტემპერატურას იძენს. სხეულები ენერგიას მხოლოდ სხიური ენერგიის გამოსხივებითა და შთანთქმით ცვლიან. წონასწორობის პროცესში ყოველი სხეულის მიერ ენერგიის გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესები საშუალოდ აწონასწორებს ერთმანეთს და სხეულებს შორის სივრცეში ენერგიის სიმკვრივე აღწევს გარკვეულ მნიშვნელობას, რომელიც მხოლოდ დამყარებულ ტემპერატურაზე დამოკიდებულია. გარკვეული ტემპერატურის მქონე სხეულებთან თერმოდინამიკურ წონასწორობაში მყოფ ამ გამოსხივებას წონასწორულ ან შავ გამოსხივებას უწოდებენ. წონასწორული გამოსხივების სიმკვრივე და მისი სპექტრული შედგენილობა მხოლოდ ტემპერატურაზე დამოკიდებულია.

თუ მცირე ნახვრეტის საშუალებით შევიხედავთ სიღრუეში, რომელშიც გამოსხივებასა და გახურებულ სხეულებს შორის თერმოდინამიკური წონასწორობაა დამყარებული, თვალი ვერ გარჩევს სხეულების მოყვანილობებს და დააფიქსირებს მხოლოდ მთელ სიღრუეში ერთგვაროვან ნათებას.

ვთქვათ, სიღრუეში მყოფ ერთ სხეულს ახასიათებს მასზე დაცემული ნებისმიერი სპექტრული შემადგენლობის მთელი სხივური ენერჯის შთანთქმის თვისება. ასეთ სხეულს აბსოლუტურად შავს უწოდებენ. გარკვეული ტემპერატურისას გამოსხივებასთან სითბურ წონასწორობაში მყოფი აბსოლუტურად შავი სხეულის საკუთარ სითბურ გამოსხივებას იგივე სპექტრული შედგენილობა უნდა ჰქონდეს რაც მის გარემოცველ წონასწორულ გამოსხივებას. წინააღმდეგ შემთხვევაში წონასწორობა აბსოლუტურად შავ სხეულსა და მის გარემოცველ გამოსხივებას შორის ვერ დამყარდებოდა. ამიტომ ამოცანა დადის აბსოლუტურად შავი სხეულის სპექტრული გამოსხივების შესწავლასთან. კლასიკურმა ფიზიკამ ამ ამოცანის გადაწყვეტა ვერ შეძლო.

სიღრუეში წონასწორობის დამყარებისათვის აუცილებელია, რომ ყოველი სხეული მხოლოდ იმდენ სხივურ ენერჯიას ასხივებდეს, რამდენიც შთანთქა. ეს სითბური გამოსხივების ერთ-ერთი უმნიშვნელივანესი კანონზომიერებაა. აქედან გამომდინარეობს, რომ მოცემული ტემპერატურის შემთხვევაში აბსოლუტურად შავი სხეული ზედაპირის ფართობის ერთეულიდან დროის ერთეულში ნებისმიერ სხვა სხეულზე მეტ სხივურ ენერჯიას ასხივებს.



ნახ. 1. აბსოლუტურად შავი სხეული

აბსოლუტურად შავი სხეულები ბუნებაში არ არსებობენ. ასეთი სხეულის კარგ მოდელს ჩაკეტილ სიღრუეში ნახვრეტი წარმოადგენს (ნახ.1). ნახვრეტიდან სიღრუეში მოხვედრილი სინათლე მრავალრიცხოვანი არეკვლის შემდეგ თითქმის მთლიანად შთაინთქმება კედლების მიერ და ნახვრეტი გარედან სრულიად შავად გამოჩნდება. მაგრამ თუ სიღრუე გაცხელებულია გარკვეულ T ტემპერატურამდე და შიგნით კი დამყარდა სითბური წონასწორობა, ნახვრეტიდან გამოსული გამოსხივება აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივება იქნება. სითბური გამოსხივების შემსწავლელ ყველა ექსპერიმენტში სწორედ ასე ხდება აბსოლუტურად შავი სხეულის მოდელირება.

სიღრუის შიგნით ტემპერატურის ზრდით ნახვრეტიდან გამოსული გამოსხივების ენერგიაც იზრდება და იცვლება სპექტრული შედგენილობა.

მოცემული T ტემპერატურისათვის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივებაში ენერგიის ტალღის სიგრძეების მიხედვით განაწილება ხასიათდება გამოსხივების უნარით $r(\lambda, T)$, რომელიც სხეულის ზედაპირის ფართობის ერთეულიდან ტალღის სიგრძეთა ერთეულ ინტერვალში გამოსხივების სიმძლავრის ტოლია. ნამრავლი $r(\lambda, T) \Delta\lambda$ ერთეულოვანი ზედაპირის მიერ ყველა მიმართულებით ტალღის სიგრძეთა $\Delta\lambda$ ინტერვალში გამოსხივების სიმძლავრის ტოლია. ანალოგიურად შეიძლება ენერგიის სიხშირეების მიხედვით განაწილების $r(\nu, T)$ შემოტანა. ფუნქციას $r(\lambda, T)$ (ან $r(\nu, T)$) ხშირად სპექტრულ ნათებას უწოდებენ, ხოლო ყველა ტალღის სიგრძის მიერ გამოსხივებულ $R(T)$ სრულ ნაკადს, რომელიც ტოლია

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} r(\nu T) d\nu ,$$

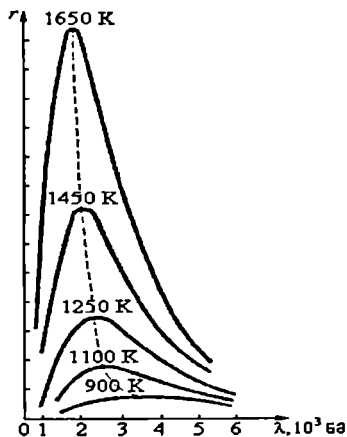
ინტეგრალურ ნათებას უწოდებენ.

XIX საუკუნის ბოლოს აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივება ექსპერიმენტულად კარგად იყო შესწავლილი.

1879 წელს იოზეფ სტეფანმა ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის სიფუძველეზე დაასკვნა, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულის ინტეგრალური ნათება $R(T)$ აბსოლუტური T ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია:

$$R(T) = \sigma T^4.$$

მოგვიანებით, 1884 წელს, ბოლცმანმა ეს დამოკიდებულება თერმოდინამიკურ მოსაზრებებზე დაყრდნობით თეორიულად გამოიყვანა. ამ კანონმა სტეფან-ბოლცმანის კანონის სახელწოდება მიიღო. σ მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა, თანამედროვე გაზომვების მიხედვით, ტოლია $\sigma = 5,671 \cdot 10^{-8} \text{ Bt} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.



ნახ. 2.

სხვადასხვა ტემპერატურისათვის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრული განაწილება $r(\lambda, T)$

XIX საუკუნის 90-იან წლებში შესრულდა აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრული განაწილების ზედმიწევნით ფაქიზი ექსპერიმენტული გაზომვები, რომლებმაც აჩვენეს, რომ ტემპერატურის ყოველი T მნიშვნელობისათვის $r(\lambda, T)$ დამოკიდებულებას მკვეთრად გამოსახული მაქსიმუმი აქვს (ნახ. 2). ტემპერატურის ზრდით მაქსიმუმი მოკლე ტალღის სიგრძეებისკენ

ინაცვლებს, ამასთან მაქსიმუმის შესაბამისი ტემპერატურისა და ტალღის სიგრძის ნამრაველი მუმივი რჩება:

$$\lambda_m T = b \text{ ან } \lambda_m = b / T.$$

ეს დამოკიდებულება ადრე ვინის მიერ იყო მიღებული თერმოდინამიკიდან. იგი ე.წ. ვინის წანაცვლების კანონს გამოსახავს: ტალღის სიგრძე λ_m , რომელზეც აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების მაქსიმუმი მოდის, აბსოლუტური ტემპერატურის T -უკუპროპორციულია. ვინის მუდმივას მნიშვნელობაა $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ მ} \cdot \text{K}$.

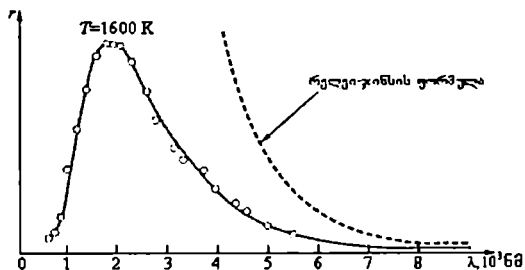
ლაბორატორიულ პირობებში პრაქტიკულად მიღწევადი ტემპერატურებისთვის გამოსხივების უნარის მაქსიმუმი $r(\lambda, T)$ ინფრაწითელ უბანში მდებარეობს. მხოლოდ როცა $T \geq 5 \cdot 10^3 \text{ K}$ -შემთხვევაში მაქსიმუმი ხილულ სპექტრულ უბანში ხვდება. მზის გამოსხივების ენერჯის მაქსიმუმი დაახლოებით 470 ნმ-ზე (სპექტრის მწვანე უბანი) მოდის, რაც მზის გარე ფენის ტემპერატურის დაახლოებით 6200 K-ს შეესაბამება (თუ მზეს აბსოლუტურად შავ სხეულად განვიხილავთ).

სტეფან-ბოლცმანისა და ვინის კანონების თეორიული გზით გამოყვანაში თერმოდინამიკის წარმატებამ იმედი გააჩინა, რომ თერმოდინამიკური მოსაზრებების გამოყენებით შესაძლებელი იქნებოდა აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრული განაწილების ყველა მრუდის $r(\lambda, T)$ მიღება. 1900 წელს ამ პრობლემის გადაჭრას ცნობილი ინგლისელი ფიზიკოსი ჯ.რელიე ცდილობდა, რომელიც თავისი მსჯელობების საფუძველად იყენებდა კლასიკური სტატისტიკის თეორემას თერმოდინამიკური წონასწორობისას ენერჯის თავისუფლების ხარისხების მიხედვით თანაბარი განაწილების შესახებ. ეს თეორემა რელიემ სიღრუეში წონასწორული მდგომარეობის პირობებში გამოიყენა. მოგვიანებით ეს იდეა დაწვრილებით განავითარა ჯინსმა. ამგვარად, გახდა შესაძლებელი აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების

უნარის λ ტალღის სიგრძეებსა და T ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მიღება:

$$r(\lambda, T) = 8\pi k T \lambda^{-4}.$$

ამ თანაფარდობას რელიე-ჯინსის ფორმულას უწოდებენ. იგი ექსპერიმენტულ მონაცემებთან მხოლოდ საკმარისად გრძელი ტალღებისათვისაა თანხმობაში (ნახ.3). ამის გარდა, ამ ფორმულიდან გამოდის აბსურდული დასკვნა იმის შესახებ, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულის ინტეგრალური ნათება $R(T)$ უსასრულო უნდა ხდებოდეს, აქედან გამომდინარე, გახურებულ სხეულსა და ჩაკეტილი სილრუის გამოსხივებას შორის წონასწორობა შეიძლება მხოლოდ ტემპერატურის აბსოლუტური ნულის დროს დამყარდეს



ნახ. 3.

აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ტალღის სიგრძეების მიხედვით ენერჯიის განაწილების $r(\lambda, T)$ შედარება რელიე-ჯინსის ფორმულასთან $T = 1600$ K-სათვის

ამგვარად, კლასიკური ფიზიკის თვალსაზრისით უნაკლო დასკვნას მივყავართ ფორმულამდე, რომელიც ცდებს მკვეთრად ეწინააღმდეგება. ნათელი გახდა, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრული განაწილების შესახებ ამოცანის გადაჭრა არსებული თეორიის პირობებში შეუძლებელი იყო. ეს ამოცანა მ. პლანკმა წარმატებით გადაწყვიტა კლასიკური ფიზიკისათვის უცხო, ახალი იდეის დახმარებით.

პლანკი მივიდა დასკვნამდე, რომ გახურებული სხეულის მიერ ელექტრომაგნიტური ენერგიის გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესები უწვეტად კი არ მიმდინარეობს, როგორც კლასიკურ ფიზიკაში იყო მიღებული, არამედ სასრული პორციების – კვანტების სახით. კვანტი სხეულის მიერ გამოსხივებული ან შთანთქმული ენერგიის მინიმალური პორციაა. პლანკის თეორიის მიხედვით კვანტის ენერგია E სინათლის სიხშირის პირდაპირპროპორციულია: $E = h\nu$, სადაც h – პლანკის მუდმივაა და $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ ჯ·წმ. პლანკის მუდმივა უნივერსალური კონსტანტაა, რომელიც კვანტურ ფიზიკაში იგივე როლს ასრულებს, რასაც სინათლის სიჩქარე ფარდობითობის სპეციალურ თეორიაში.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესების წყვეტილი ხასიათის შესახებ ჰიპოთეზის საფუძველზე, პლანკმა მიიღო ფორმულა აბსოლუტურად შავი სხეულის სპექტრული ნათებისათვის. პლანკის ფორმულა მოსახერხებელია ჩაიწეროს ისეთი ფორმით, როცა აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ენერგიის განაწილება სპექტრში გამოსახულია სიხშირით ν , და არა ტალღის სიგრძით λ .

$$r(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}.$$

სადაც c – სინათლის სიჩქარეა, h – პლანკის მუდმივაა, k – ბოლცმანის მუდმივაა, T – აბსოლუტური ტემპერატურაა.

პლანკის ფორმულა კარგად აღწერს აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრულ განაწილებას ნებისმიერი სიხშირისათვის. ის კარგ თანხმობაშია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან. პლანკის ფორმულიდან შეიძლება სტეფანე-ბოლცმანის და ვინის კანონების გამოყვანა. როცა $h\nu \ll kT$ პლანკის ფორმულა რელიევი-ჯინსის ფორმულაში გადადის.

შავი სხეულის გამოსხივების პრობლემის გადაჭრა ფიზიკაში ახალი ეპოქის დაწყებით აღინიშნა. ადვილი არ იყო კლასიკურ ფიზიკაზე უარის თქმა, თვითონ პლანკიც კი, მისივე უდიდესი აღმოჩენის შემდეგაც, რამოდენიმე წლის განმავლობაში უშედეგოდ

ცდილობდა ენერჯის დაკვანტვის კლასიკური ფიზიკის თვალსაზრისიდან ახსნას.

§ 2.4. დე ბროილის ჰიპოთეზა ნაწილაკთა თვისების კორპუსკულურ-ტალღურ დუალიზმზე

1923 წელს მოხდა ღირსშესანიშნავი ამბავი, რომელმაც საგრძნობლად დააჩქარა კვანტური ფიზიკის განვითარება. ფრანგმა მეცნიერმა ლ. დე ბროილმა წამოაყენა ჰიპოთეზა კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმის უნივერსალობის შესახებ. დე ბროილი ამტკიცებდა, რომ არა მარტო ფოტონებს, არამედ ელექტრონებსაც და მატერიის ნებისმიერ სხვა ნაწილაკებს კორპუსკულურის გარდა ტალღური თვისებებიც აქვთ.

დე ბროილის მიხედვით, ყოველ მიკრონაწილაკთან დაკავშირებულია, ერთის მხრივ, კორპუსკულური მახასიათებლები – ენერჯია E და იმპულსი p , მეორე მხრივ კი, ტალღური მახასიათებლები – სიხშირე ν და ტალღის სიგრძე λ .

მიკროობიექტების კორპუსკულური და ტალღური მახასიათებლები ისეთივე თანაფარდობებით არიან დაკავშირებულნი, როგორითაც ფოტონები:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

დე ბროილის ჰიპოთეზა ამ თანაფარდობას მიაწერდა ყველა მიკრონაწილაკს, მათ შორის ისეთებსაც, რომლებსაც m მასა აქვთ. ნებისმიერი იმპულსის მქონე ნაწილაკს უსაზამებდა $\lambda = h/p$ ტალღის სიგრძის მქონე ტალღურ პროცესს. მასის მქონე ნაწილაკებისათვის

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

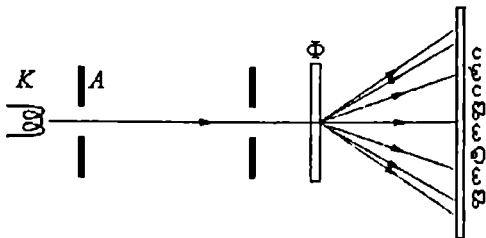
რელატივისტურ მიახლოებაში ($v \ll c$)

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

დე ბროილის ჰიპოთეზა მატერიის თვისებების სიმეტრიულობის მოსაზრებას ემყარებოდა და იმ დროისათვის ცდისეული დადასტურება არ გააჩნდა. მაგრამ ის ძლიერი რევოლუციური ბიბგი შეიქნა ბუნების შესახებ ახალი წარმოდგენების განვითარებაში. რამოდენიმე წლის განმავლობაში XX საუკუნის გამოჩენილი ფიზიკოსების მთელმა წყებამ –ჰაიზენბერგამა, შრედინგერმა, დირაკმა, ბორმა და სხვებმა – დაამუშავეს თეორიული საფუძვლები კვანტურ მექანიკად წოდებული ახალი მეცნიერებისა.

დე ბროილის ჰიპოთეზის პირველი ექსპერიმენტული დადასტურება 1927 წელს ამერიკელი ფიზიკოსის კ.დევისონის და ჯ.ჯერმერის მიერ იქნა მიღებული. მათ შენიშნეს, რომ ნიკელის კრისტალზე გაბნეული ელექტრონების ნაკადი მკაფიო დიფრაქციულ სურათს იძლევა, როგორც მოკლეტალღოვანი რენტგენული გამოსხივების კრისტალზე გაბნევისას მიიღება. ამ ექსპერიმენტებში კრისტალი ბუნებრივი დიფრაქციული მესერის როლს სარულებდა. დიფრაქციული მაქსიმუმების მდებარეობების მიხედვით განისაზღვრა ელექტრონული ნაკადის ტალღის სიგრძე, რომელიც დე ბროილის მიერ გამოთვლილთა სრულ თანხმობაში აღმოჩნდა.

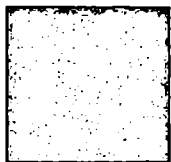
1928 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჯორჯ ტომსონმა (ელექტრონის აღმოჩენი ჯოზეფ ტომსონის შვილმა) დე ბროილის ჰიპოთეზის ახალი დადასტურება მიიღო. თავის ექსპერიმენტებში (ნახ. 1) ის დიფრაქციულ სურათს აკვირდებოდა, რომელიც ოქროს თხელ პოლიკრისტალურ ფოლგაში (ფირფიტაში) ელექტრონების ნაკადის გავლის დროს იქმნებოდა.



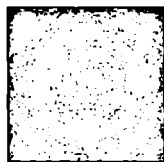
ნახ. 1.

ელექტრონების დიფრაქციის ტომსონისული ცდის გამარტივებული სქემა. K - გახურებული კათოდი, A - ანოდი, Φ - ოქრის ფოლგა

ფოლგის უკან მოთავსებულ ფოტოფირფიტაზე გარკვევით დაიკვირვებოდა კონცენტრული ნათელი და ბნელი რგოლები, რომელთა რადიუსები დე ბროილის თანახმად ელექტრონების სიჩქარის (ე.ი. ტალღის სიგრძის) ცვლილებასთან ერთად იცვლებოდა (ნახ. 2).



(a)



(b)

ნახ. 2.

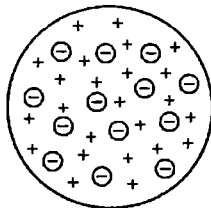
პოლიკრისტალურ ნიმუშზე ელექტრონების დიფრაქციის სურათი ბანგრძლივი ექსპოზიციის დროს (a) და მოკლე ექსპოზიციის დროს (b). შემთხვევაში ჩანს წერტილები, რომლების ცალკეული ელექტრონების ფოტოფირფიტაზე მოხვედრის კვალს წარმოადგენენ

მომდევნო წლებში ტომსონის ცდა არაერთხელ გაიმეორეს იგივე შედეგით. მათ შორის ისეთ პირობებში, როცა ელექტრონების ნაკადი იმდენად სუსტი იყო, რომ ხელსაწყოში ერთდროულად მხოლოდ ერთ ნაწილაკს შეეძლო გავლა. ამგვარად, ექსპერიმენტულად იქნა დამტკიცებული, რომ ტალღური ბუნება ახასიათებს არა

მარტო ელექტრონების დიდ ერთობლიობას, არამედ თითოეულ ელექტრონსაც ცალ-ცალკე.

§ 2.5. რეზერფორდის ცდები. ატომის ბირთვული მოდელი

დაგროვილი ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე ატომის მოდელის პირველი მცდელობა ჯოზეფ ტომსონს ეკუთვნის (1903 წ.). ის თვლიდა, რომ ატომი 10^{-10} მ-ს რადიუსის მქონე სფეროს ფორმის ელექტრონიტრალურ სისტემას წარმოადგენდა. ატომის დადებითი მუხტი თანაბრად იყო განაწილებული ატომის მთელ მოცულობაში, ხოლო უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები მის შიგნით მდებარეობენ (ნახ.1). ატომის გამოსხივების ხაზოვანი სპექტრის ასახსნელად ტომსონი ცდილობდა განესაზღვრა ატომში ელექტრონების განლაგება და მათი წონასწორული მდებარეობის მიმართ რხევის სიხშირის გათვლა. მაგრამ ეს მცდელობა წარმატებით ვერ დამთვრდა. რამდენიმე წლის შემდეგ დიდი ინგლისელი ფიზიკოსის ე. რეზერფორდის ცდებით იქნა დამტკიცებული, რომ ტომსონის მოდელი არ იყო სწორი.

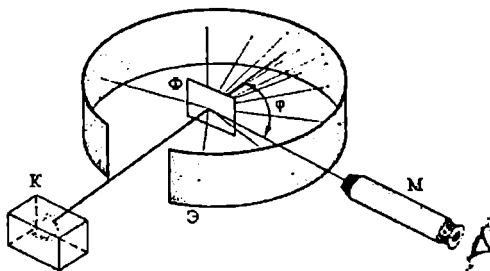


ნახ. 1.

ატომის ტომსონის მოდელი

ატომის შინაგანი სტრუქტურის კვლევის პირდაპირი პირველი ექსპერიმენტები რეზერფორდსა და მის თანამშრომლებს ე. მარს-

დენსა და ჰ.გეიგერს ეკუთნოდა (1909-1911 წწ.). რეზერფორდმა გადაწყვიტა ატომების ზონდირებისთვის გამოეყენებინა α -ნაწილაკები, რომლებიც რადიუმის და ზოგიერთი სხვა ელემენტის რადიოაქტიური დაშლისას მიიღება. α -ნაწილაკი ელექტრონზე დაახლოებით 7300-ჯერ უფრო დიდი მასისაა, ხოლო მისი დადებითი მუხტი გაორმაგებული ელემენტარული მუხტის ტოლია. თავის ცდებში რეზერფორდი 5 მევ-ს ტოლი კინეტიკური ენერჯის მქონე α -ნაწილაკებს (ასეთი ნაწილაკის სიჩქარე ძალიან დიდია - 10^7 მწმ-ს რიგისაა, მაგრამ სინათლის სიჩქარეზე მაინც მნიშვნელოვნად ნაკლებია) იყენებდა. α -ნაწილაკები ჰელიუმის სრულად იონიზირებული ატომებია. ისინი რეზერფორდის მიერ 1899 წ. იყო აღმოჩენილი რადიოაქტივობის მოვლენის შესწავლისას. ამ ნაწილაკებით რეზერფორდმა მძიმე ელემენტების (ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი და სხვა) ატომები დაბომბა. ატომების შემადგენლობაში შემავალი ელექტრონები, მცირე მასის გამო შესამჩნევად ვერ ცვლიან α -ნაწილაკების ტრაექტორიას. გაბნევა, ანუ α -ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულების ცვლილება, შეუძლია გამოიწვიოს მხოლოდ ატომის დადებითად დამუხტულმა მძიმე ნაწილაკმა. რეზერფორდის ცდის სქემა ნახ. 2-ზეა მოცემული.



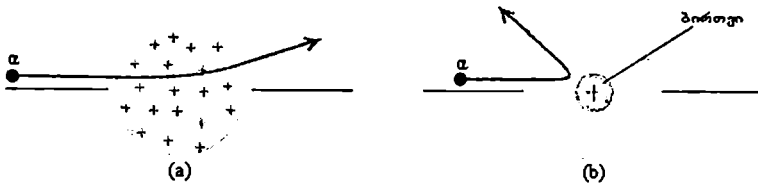
ნახ. 2.

α -ნაწილაკების გაბნევის რეზერფორდის სქემა. K - რადიოაქტიური ნაფადორატის შემცველი ტყვიის კონტეინერი, C - თუთიის სულფიტით დაფარული ეკრანი, Φ - ოქროს ფოლგა, M - მიკროსკოპი

ტყვის კონტეინერში მოთავსებული რადიოაქტიური წყაროდან α -ნაწილაკები მიმართული იყო თხელი მეტალური ფოლგისაკენ. გაბნეული ნაწილაკები ხვდებოდნენ თუთიის სულფიტის ფენით დაფარულ ეკრანზე, რომელზეც სწრაფი დამუხტული ნაწილაკის მოხვედრას ნათება ახლავს. ეკრანზე სინტილაცია (ანთება) მოკროსკოპის დახმარებით თვალთ დაიკვირვებოდა. რეზერფორდის ცდაში α -ნაწილაკების გაბნევა შეიძლება ნაწილაკების თავდაპირველი ნაკადის მიმართ სხვადასხვა φ კუთხით იქნეს დაკვირვებული. აღმოჩნდა, რომ α -ნაწილაკების უმრავლესობა მეტალის თხელ ფენაში გადის და პრაქტიკულად გადახრას არ განიცდის. მაგრამ ნაწილაკების მცირე ნაწილი გადაიხრება მნიშვნელოვანი კუთხით, რომელიც 30° -ს აღემატება. ძალიან ცოტა α -ნაწილაკი (დაახლოებით ერთი ათი ათასიდან) დაახლოებით 180° კუთხით გადაიხრება.

შედეგი რეზერფორდისთვისაც სრულიად მოულოდნელი იყო. მისი შეხედულებები მკვეთრად ეწინააღმდეგებოდა ტომსონის მოდელს, რომლის მიხედვითაც დადებითი მუხტი ატომის მთელ მოცულობაში თანაბრად უნდა ყოფილიყო განაწილებული. ასეთი განლაგებისას დადებით მუხტს არ შეუძლია ისეთი ძლიერი ველის შექმნა, რომელსაც შეუძლია α -ნაწილაკის უკუგდება, ერთგვაროვანი დამუხტული სფეროს ელექტრული ველი მაქსიმალურია მის ზედაპირზე და მცირდება სფეროს ცენტრთან მიახლოებისას. თუ იმ სფეროს რადიუსი, რომელშიც მთელი დადებითი მუხტია თავმოყრილი, n -ჯერ შემცირდება, α -ნაწილაკზე მომქმედი უკუგდების მაქსიმალური ძალა, კულონის კანონის თანახმად გაიზრდება n^2 -ჯერ. აქედან გამომდინარე, საკმარისად დიდი n -სთვის α -ნაწილაკები შეიძლება განიცდიდეს გაბნევას დიდი კუთხეებით, 180° -მდეც კი. ამ მოსაზრებებმა რეზერფორდი მიიყვანა დასკვნამდე, რომ ატომი თითქმის ცარიელია და მთელი მისი დადებითი მუხტი მცირე მოცულობაშია თავმოყრილი. ატომის ამ ნაწილს რეზერფორდმა ატომის ბირთვი უწოდა. ასე შეიქმნა ატომის ბირთვი

ული მოდელი. ნახ.3 ტომსონისა და რეზერფორდის ატომებზე α -ნაწილაკების გაბნევას უჩვენებს.



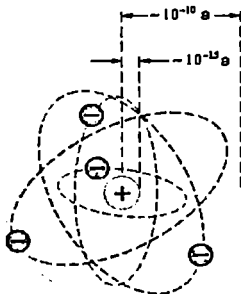
ნახ. 3.

α -ნაწილაკის გაბნევა (a) ტომსონისა და (b) რეზერფორდის ატომებზე

ამგვარად, რეზერფორდის და მისი თანამშრომლების ცდების შედეგად მიღებული იქნა დასკვნა, რომ ატომის ცენტრში მოთავსებულია მკვრივი დადებითად დამუხტული ბირთვი, რომლის დიამეტრი 10^{-14} - 10^{-15} მ-ს არ აღემატება. ეს ბირთვი ატომის მთელი მოცულობის 10^{-12} ნაწილს იკავებს, მაგრამ მოიცავს მთელ დადებით მუხტს და მისი მასის 99,95 % -ს. ატომის ბირთვის შემადგენელი ნივთიერების სიმკვრივე $\rho \approx 10^{15}$ გ/სმ³ რიგისაა. მუხტი ატომის შემადგენლობაში შემავალი ელექტრონების ჯამური მუხტის ტოლია. შემდგომში დადგინდა, რომ თუ ელექტრონის მუხტს ჩავთვლით ერთეულის ტოლად, მაშინ ატომის ბირთვის მუხტი მენდელეევის ცხრილში მისი ნომრის ტოლია.

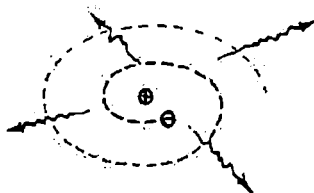
რეზერფორდის ცდებიდან გამომდინარე რადიკალურმა დასკვნებმა ატომის აგებულების შესახებ ბევრი მეცნიერის უნდობლობა გამოიწვია. გამონაკლისს არც თვით რეზერფორდი წარმოადგენდა, რომელმაც თავისი შედეგები თავისი პირველი ექსპერიმენტის ჩატარებიდან ორი წლის შემდეგ, მხოლოდ 1911 წელს გამოაქვეყნა. მიკროელემენტების მოძრაობის კლასიკურ წარმოდგენებზე დაყრდნობით რეზერფორდმა წარმოადგინა ატომის პლანეტარული მოდელი. ამ მოდელის მიხედვით, ატომის ცენტრში მოთავსებულია დადებითად დამუხტული ბირთვი, რომელშიც თითქმის მთელი

მასა თავმოყრილი. ატომი ზოგადად ნეიტრალურია. ბირთვის გარშემო, პლანეტის მსგავსად, ბირთვის მხრიდან კულონის ძალების მოქმედებით მოძრაობენ ელექტრონები (ნახ.4). უძრავობის მდგომარეობაში ელექტრონს ყოფნა არ შეუძლია, რადგანაც მამინ ის ბირთვზე დაეცემა.



რეზერფორდის ატომის პლანეტარული მოდელი

რეზერფორდის მიერ შემოთავაზებული ატომის პლანეტარული მოდელი უდავოდ დიდი ნაბიჯი იყო ატომის აგებულების შესახებ ცოდნის განვითარებაში. ის აუცილებელი იყო α -ნაწილაკების გაბნევის ცდების ასახსნელად, მაგრამ ვერ შეძლო თვით ატომის ხანგრძლივი არსებობის ახსნა, ანუ მისი მდგრადობა. კლასიკური ელექტროდინამიკის კანონების მიხედვით, აჩქარებულად მოძრავი მუხტი უნდა ასხივებდეს ელექტრომაგნიტურ ტალღას, რომელსაც ენერგია მიაქვს. მოკლე დროში (10^{-8} წმ რიგის) რეზერფორდის ყველა ელექტრონმა უნდა დახარჯოს მთელი მისი ენერგია და დაეცეს ბირთვს.



ის, რომ ეს არ ხდება მდგრად მდგომარეობაში მყოფ ატომში, უჩვენებს, რომ ატომის შინაგანი პროცესები კლასიკურ კანონებს არ ემორჩილება.

§ 2.6. ბორის თეორია წყალბადის ატომისათვის. ბორის პოსტულატები

რეზერვორდის მიერ წამოყენებული ატომის პლანეტარული მოდელი იყო სხეულების მოძრაობის კლასიკური წარმოდგენების ატომის მასშტაბის მოვლენებში გამოყენების მცდელობა. ეს მცდელობა ხელმოცარული აღმოჩნდა. კლასიკური ატომი არამდგრადია. ორბიტაზე აჩქარებით მოძრავი ელექტრონები, ელექტრომაგნიტური ტალღის გამოსხივებისას დახარჯავენ რა მთელ ენერგიას, აუცილებლად უნდა დაეცენენ ბირთვზე (ნახ.1).



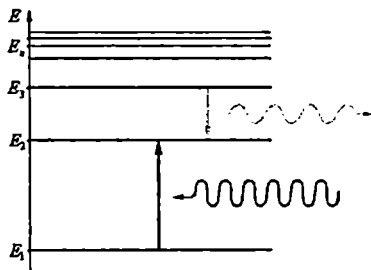
ნახ. 1.

კლასიკური ატომის არამდგრადობა

შემდეგი ნაბიჯი ატომის აგებულებზე წარმოდგენის განვითარებაში 1913 წელს გადადგა დანიელმა ფიზიკოსმა ნილს ბორმა. გაანალიზა რა ყველა ცდისეული ფაქტი, ბორი მივიდა დასკვნამდე, რომ ატომური სისტემების ყოფაქცევის აღწერისას კლასიკური ფიზიკის ბევრ კონცეფციაზე უნდა ითქვას უარი. მან ჩამოაყალიბა პოსტულატები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს ახალი თეორია ატომის აგებულების შესახებ.

ბორის პირველი პოსტულატი (სტაციონალური მდგომარეობების პოსტულატი) ამბობს: ატომური სისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს მხოლოდ გარკვეული E_n ენერჯიის შესაბამის, განსაკუთრებულ სტაციონალურ ან კვანტურ მდგომარეობაში, სტაციონალურ მდგომარეობაში ატომი არ ასხივებს.

ეს პოსტულატი პირდაპირ ეწინააღმდეგება კლასიკურ მექანიკას, რომლის მიხედვითაც მოძრავი ელექტრონის ენერჯია ნებისმიერი შეიძლება იყოს. ის წინააღმდეგობაშია ელექტროდინამიკასთანაც, რადგანაც ეს უკანასკნელი დასაშვებად მიიჩნევს, რომ აჩქარებულად მოძრავი ელექტრონები არ ასხივებენ ელექტრომაგნიტურ ტალღას. ბორის პირველი პოსტულატის მიხედვით ატომი ხასიათდება ენერგეტიკული დონეების სისტემით, რომლებიც გარკვეულ სტაციონალურ მდგომარეობას შეესაბამებიან (ნახ.2). დადებითად დამუხტული ბირთვის გარშემო წრიულ ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონის მექანიკური ენერჯია უარყოფითია. ამიტომაც ყველა სტაციონალურ მდგომარეობას შეესაბამება $E_n < 0$ ენერჯია. როცა $E_n \geq 0$ ელექტრონი სცილდება ბირთვს, ე.ი. იონიზაცია ხდება. $|E_n|$ - სიდიდეს იონიზაციის ენერჯია ეწოდება. E_1 ენერჯიის შესაბამის მდგომარეობას ატომის ძირითადი მდგომარეობა ეწოდება.



ნახ. 2.

ატომის ენერგეტიკული დონეები და ფოტონების შთანთქმის და გამოსხივების პროცესების პირობითი გამოსახულება

ბორის მეორე პოსტულატი (სიხშირეების წესი) შემდეგნაირადაა ჩამოყალიბებული: E_n ენერგიის მქონე ერთი სტაციონალური მდგომარეობიდან მეორე E_m ენერგიის მქონე მდგომარეობაზე გადასვლისას გამოსხივდება ან შთაინთქმება კვანტი, რომლის ენერგია ამ სტაციონალურ მდგომარეობათა ენერგიების სხვაობის ტოლია:

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m,$$

სადაც h -პლანკის მუდმივაა. აქედან შეიძლება გამოვსახოთ გამოსხივების სიხშირე:

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}.$$

ბორის მეორე პოსტულატიც ეწინააღმდეგება მაქსველის ელექტროდინამიკას, რადგანაც გამოსხივების სიხშირე განისაზღვრება მხოლოდ ატომის ენერგიის ცვლილებით და არანაირად არაა დაკავშირებული ელექტრონის მოძრაობის ხასიათზე.

ბორის თეორია ატომური სისტემების ყოფაქცევის აღწერისას კლასიკურ ფიზიკას მთლიანად არ უარყოფს. მასში შენახულია წარმოდგენა ბირთვის კულონურ ველში ელექტრონების ორბიტული მოძრაობის შესახებ. რეზერვორდის კლასიკური ატომური მოდელი ბორის თეორიაში შეივსო ელექტრონული ორბიტების დაკვანტვის იდეით. ამიტომ ბორის თეორიას ხანდახან ნახევრად კლასიკურს უწოდებენ.

§ 2.7. წყალბადის ატომი. ხაზოვანი სპექტრი

ატომებს შორის უმარტივესი, წყალბადის ატომი ბორის თეორიისათვის თავისებურ ტესტობიექტს წარმოადგენს. თეორიის შექმნის მომენტისთვის ის ექსპერიმენტულად კარგად იყო შესწავლილი. ცნობილი იყო, რომ ის შეიცავს ერთადერთ ელექტრონს. ატომის ბირთვი პროტონია, დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, რომ-

ლის მუხტი სიდიდით ელექტრონის მუხტის ტოლია, ხოლო მასა 1836-ჯერ აღემატება ელექტრონის მასას. ჯერ კიდევ XIX საუკუნის დასაწყისში აღმოაჩინეს დისკრეტული სპექტრული ხაზები წყალბადის ატომის გამოსხივების ხილულ სპექტრში (ე.წ. ხაზოვანი სპექტრი). შემდგომში კანონზომიერებები, რომლებსაც ხაზოვანი სპექტრის ტალღის სიგრძეები (ან სიხშირეები) ემორჩილება, რაოდენობრივად კარგად იქნა შესწავლილი (ი.ბალმერი 1885 წ.). წყალბადის ატომის გამოსხივების ხილულ სპექტრში სპექტრული ხაზების ერთობლიობას ბალმერის სერია უწოდეს. მოგვიანებით სპექტრული ხაზების ანალოგიური სერიები აღმოაჩინეს სპექტრის ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ ნაწილში. 1890 წელს ი.რიდბერგმა მიიღო ემპირიული ფორმულა სპექტრული ხაზების სიხშირეებისთვის:

$$\nu_{nm} = R \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right].$$

ბალმერის სერიისთვის $m = 2, n = 3, 4, 5, \dots$. ულტრაიისფერი სერიისათვის (ლაიმანის სერია) $m = 1, n = 2, 3, 4, \dots$. R მუდმივას რიდბერგის მუდმივა ეწოდება. მისი რიცხვითი მნიშვნელობაა $R = 3,29 \cdot 10^{15}$ ჰც. ბორამდე ხაზოვანი სპექტრის წარმოქმნის მექანიზმი და წყალბადის (ან სხვა ატომების) სპექტრული ხაზების ფორმულაში შემავალი მთელი რიცხვების არსი გაუგებარი რჩებოდა.

ბორის პოსტულატებმა განსაზღვრა ახალი მეცნიერების, ატომის კვანტური ფიზიკის, განვითარება. მაგრამ ისინი არ შეიცავდნენ სტაციონალური მდგომარეობის (ორბიტების) პარამეტრების და მათი შესაბამისი ენერგიის E_n განსაზღვრის რეცეპტებს.

ბორის მიერ გამოცნობილი იქნა დაკვანტვის წესი, რომელიც ცდებთან თანხმობაში მყოფ წყალბადის ატომის სტაციონალური მდგომარეობების შესაბამის ენერგიებს განსაზღვრავს. მისი შემოთავაზებით, ბირთვის გარშემო მბრუნავი ელექტრონის იმპულსის მომენტს შეუძლია მხოლოდ დისკრეტული მნიშვნელობების მიღება, რომლებიც პლანკის მუდმივას ჯერადი იქნებიან. წრიული

ორბიტებისთვის ბორისეული დაკვანტვის წესი შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

აქ m_e – ელექტრონის მასა, v – მისი სიჩქარე, r_n – სტაციონალური წრიული ორბიტის რადიუსი. ბორის დაკვანტვის წესი წყალბადის ატომის ელექტრონის სტაციონალური ორბიტების რადიუსების და მათი შესაბამისი ენერგიების მნიშვნელობების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. ატომბირთვის კულონური ველის რაღაც r რადიუსის მქონე წრიულ ორბიტაზე მბრუნავი ელექტრონის სიჩქარე, ნიუტონის მეორე კანონიდან გამომდინარე, განისაზღვრება თანაფარდობით

$$v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r},$$

სადაც e – ელექტრონის მუხტია, ϵ_0 – ელექტრული მუდმივა. ელექტრონის სიჩქარე v და სტაციონალური ორბიტის რადიუსი r_n ბორის დაკვანტვის წესით არიან დაკავშირებულნი. აქედან გამომდინარეობს, რომ სტაციონალური ორბიტის რადიუსები განისაზღვრება გამოსახულებით

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} \cdot n^2.$$

ბირთვთან ყველაზე ახლოს მყოფ ორბიტას შეესაბამებ $n = 1$ მნიშვნელობა. პირველი ორბიტის რადიუსი, რომელიც ბორის რადიუსად იწოდება, ტოლია

$$r_1 = a_0 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ მ.}$$

შემდეგი ორბიტების რადიუსები იზრდება n^2 -ს პროპორციულად.

ატომის ბირთვისა და r_n რადიუსის მქონე სტაციონალურ ორბიტაზე მბრუნავი ელექტრონისაგან შედგენილი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია ტოლია

$$E_n = E_k + E_p = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}.$$

უნდა აღინიშნოს, რომ $E_p < 0$, რადგანაც ელექტრონსა და ბირთვის შორის მიზიდულობის ძალები მოქმედებს. ამ ფორმულაში v^2 და r_n გამოსახულებების ჩასმით მივიღებთ:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

მთელ რიცხვებს $n = 1, 2, 3, \dots$ ატომის კვანტურ ფიზიკაში მთავარ კვანტურ რიცხვებს უწოდებენ.

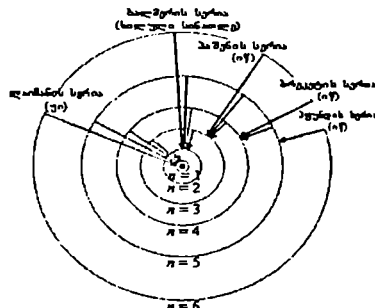
ბორის მეორე პოსტულატის თანახმად, ელექტრონის E_n ენერჯიის მქონე ერთი სტაციონალური ორბიტიდან მეორე $E_m < E_n$ ენერჯიის მქონე სტაციონალური ორბიტაზე გადასვლისას ატომი ასხივებს სინათლის კვანტს, რომლის სიხშირე ν_{nm} ტოლია:

$$\nu_{nm} = \frac{\Delta E_{nm}}{h} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right].$$

ეს ფორმულა ზუსტად ემთხვევა წყალბადის ატომის სპექტრული სერიების რიდბერგის ემპირიულ ფორმულას, თუ R მუდმივას ჩავთვლით $R = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3}$ ტოლად.

ამ ფორმულაში m_e , e , ϵ_0 და h -ს რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით ვღებულობთ: $R = 3,29 \cdot 10^{15}$ ჰც.

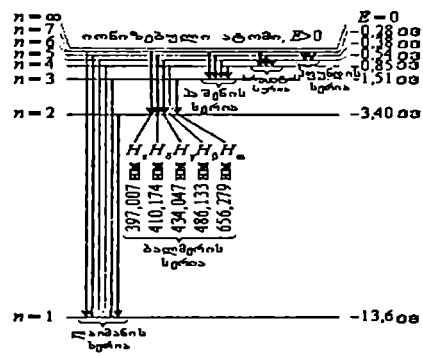
რომელიც R -ს ემპირიულ მნიშვნელობასთან ძალიან კარგ თანხმობაშია. ნახ.1 უჩვენებს წყალბადის ატომის გამოსხივებისას სპექტრული სერიების წარმოქმნას ელექტრონის უფრო მაღალი სტაციონალური ორბიტიდან უფრო დაბალზე გადასვლისას.



ნაბ. 1.

წყალბადის ატომის სტაციონალური ორბიტები და სპექტრული ხაზების წარმოქმნა

ნაბ.2-ზე გამუსახულია წყალბადის ატომის სტაციონალური ორბიტების დიაგრამა და ნაჩვენებია სხვადასხვა სპექტრული სერიის შესაბამისი გადასვლები.

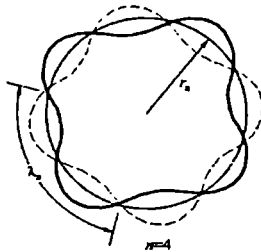


ნაბ.2.

წყალბადის ატომის ენერგეტიკული დონეების დიაგრამა. ნაჩვენებია სხვადასხვა სპექტრული სერიის შესაბამისი გადასვლები. მითითებულია სპექტრის ხილული უბნის ბალმერის სერიის პირველი ხუთი ხაზის ტალღის სიგრძეები

წყალბადის ატომისთვის ბორის თეორიის საუკეთესო თანხმობა ექსპერიმენტთან ამ თეორიის სამართლიანობის სასარგებლო წონად არგუმენტს წარმოადგენდა. მაგრამ ამ თეორიის უფრო რთულ ატომებთან მიყენების მცდელობა წარუმატებლად დასრუ-

ლდა. ბორმა ვერ შეძლო დაკვანტვის წესისთვის ფიზიკური ინტერპრეტაცია მიეცა. ეს ათწლეულით გვიან დე ბროილმა ნაწილაკის ტალღურ ბუნებაზე ცნებების საფუძველზე გააკეთა. დე ბროილის მიხედვით წყალბადის ატომის ყოველი ორბიტა შეესაბამება ტალღას, რომელიც ბირთვის მახლობელ წრეწირზე ვრცელდება. სტაციონალური ორბიტა წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როცა ტალღა ბირთვის გარშემო ყოველი შემოვლისას უწყვეტად თავის თავს იმეორებს. სხვა სიტყვებით, სტაციონალური ორბიტა შეესაბამება დე ბროილის წრიულ მდგარ ტალღას ორბიტის ტალღის სიგრძეზე (ნახ. 3). ეს მოვლენა ძალიან ჰგავს ბოლოებით დამაგრებული სიმში აღძრული მდგარი ტალღის სტაციონალურ სურათს.



ნახ. 3.

n = 4 შესაბამისი სტაციონალური ორბიტაზე მდგარი ტალღის წარმოქმნის დე ბროილის იდეის ულუსტრაცია

დე ბროილის იდეის მიხედვით წყალბადის ატომის სტაციონალურ კვანტურ მდგომარეობაში ორბიტის სიგრძეზე უნდა ეტეოდეს ტალღის სიგრძის λ -ს მთელი რიცხვი, ე.ი. $n\lambda_n = 2\pi r_n$.

ამ თანაფარდობაში დე ბროილის $\lambda = h/p$ ტალღის სიგრძის ჩასმით, სადაც $p = m_e v$ — ელექტრონის იმპულსია, მივიღებთ: $n = \frac{h}{m_e v \lambda} = 2\pi r_n$ ან $m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi}$.

ამგვარად, ბორის დაკვანტვის წესი ელექტრონის ტალღურ თვისებებთანაა დაკავშირებული.

წყალბადის ატომის გამოსხივების სპექტრული კანონზომიერების ახსნაში ბორის თეორიის წარმატება განსაცვიფრებელი იყო. ნათელი გახდა, რომ ატომი კვანტური სისტემაა, ხოლო ატომის სტაციონალური მდგომარეობების დონეები დისკრეტულია. ბორის თეორიის შექმნასთან ერთად, თითქმის ერთდროულად იქნა მიღებული ატომის სტაციონალური მდგომარეობებისა და ენერგიის დაკვანტვის პირდაპირი ექსპერიმენტული დასაბუთება. ატომის ენერგეტიკული დონეების დისკრეტულობა 1913 წელს იქნა ილუსტრირებული ჯ.ფრანკისა და ჰ.ჰერცის იმ ცდის საშუალებით, რომლითაც ვერცხლისწყლის ატომებთან ელექტრონების შეჯახების კვლევა ხდებოდა. აღმოჩნდა, რომ თუ ელექტრონის ენერგია 4,9 ევზე ნაკლებია, მაშინ მათი ვერცხლისწყლის ატომებთან შეჯახება აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების კანონებით ხდება. თუ ენერგია 4,9 ევ-ის ტოლია, მაშინ ვერცხლისწყლის ატომებთან შეჯახება არადრეკადი შეჯახების ხასიათს იძენს, ე.ი. ვერცხლისწყლის უძრავ ატომებთან შეჯახებისას ელექტრონები კინეტიკურ ენერგიას სრულად კარგავენ. ეს ნიშნავს, რომ ვერცხლისწყალი შთანთქავს ელექტრონის ენერგიას და ძირითადი მდგომარეობიდან პირველ აღზნებულ მდგომარეობაში გადადის,

$$E_2 - E_1 = 4,9 \text{ ევ.}$$

ბორის კონცეფციის თანახმად, უკან თვითნებური გადასვლისას ვერცხლისწყლის ატომი უნდა ასხივებდეს კვანტს სიხშირით

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ ჰც}$$

ასეთი სიხშირის სპექტრული ხაზი ვერცხლისწყლის ატომის გამოსხივების სპექტრის ულტრაიისფერ უბანში მართლაც იქნა აღმოჩენილი.

დისკრეტული მდგომარეობების ცნება კლასიკურ ფიზიკას ეწინააღმდეგება. ამიტომაც დაისვა კითხვა, კვანტური თეორია კლასიკური ფიზიკის კანონებს ხომ არ უარყოფს.

კვანტურ თეორიას ენერგიის, იმპულსის, ელექტრული მუხტის და სხვა შენახვის ფუნდამენტური კლასიკური კანონები არ გაუუ-

ქმება. ბორის მიერ ჩამოყალიბებული შესაბამისობის პრინციპის მიხედვით, კვანტური ფიზიკა მოიცავს კლასიკური ფიზიკის კანონებს, გარკვეულ პირობებში შეინიშნება კვანტური ცნებებიდან კლასიკურზე მდორე გადასვლა. ამის დანახვა შეიძლება წყალბადის ატომის ენერგეტიკული სპექტრის მაგალითზე (ნახ.2). დიდი კვანტური რიცხვებისას $n \gg 1$, დისკრეტული დონეები თანდათანობით უახლოვდებიან ერთმანეთს და ხდება მდორე გადასვლა უწყვეტი სპექტრის უბანში, რომელიც კლასიკური ფიზიკიდან გამოდის.

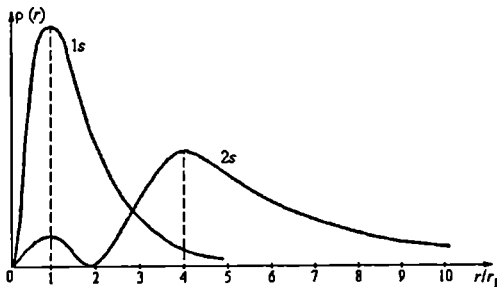
ორნაწილიანი, ბორის ნახევრადკლასიკური თეორია კვანტური წარმოდგენების განვითარების მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენდა, რომელთა შემოტანამაც ფიზიკაში, კარდინალური გარდაქმნები მოითხოვა მექანიკასა და ელექტროდინამიკაში. ასეთი გარდაქმნები XX საუკუნის 20-ან - 30-იან წლებში განხორციელდა.

ბორის წარმოდგენები გარკვეულ ორბიტებზე, რომლებზედაც ელექტრონები მოძრაობდნენ, საკმაოდ პირობითი აღმოჩნდა. სინამდვილეში ატომებში ელექტრონების მოძრაობა ძალიან ცოტათი ჰგავს პლანეტების და თანამგზავრების მოძრაობას. ფიზიკური აზრი აქვს ელექტრონის ამა თუ იმ ადგილზე აღმოჩენის ალბათობას, რომელიც ტალღური ფუნქციის კვადრატით $|\Psi|^2$ აღიწერება. ტალღური ფუნქცია Ψ კვანტური მექანიკის ძირითადი განტოლების, შრედინგერის განტოლების, ამოხსნას წარმოადგენს. აღმოჩნდა, რომ ატომში ელექტრონის მდგომარეობა მთელი რიგი კვანტური რიცხვებით ხასიათდება. მთავარი კვანტური რიცხვი n ატომის კვანტურ ენერგიას განსაზღვრავს. იმპულსის მომენტის დაკვანტვისათვის შემოტანილია ე.წ. ორბიტული კვანტური რიცხვი l . იმპულსის მომენტის გეგმილი სივრცის ნებისმიერ გამოყოფილ მიმართულებაზე (მაგალითად, მაგნიტური ველის \vec{B} ვექტორის მიმართულება) ასევე მნიშვნელობების დისკრეტულ რიგს იღებს. იმპულსის მომენტის გეგმილის დაკვანტვისათვის შემოტანილია მაგნიტური კვანტური რიცხვი m . n, l, m კვანტური რიცხვები

დაკვანტვის გარკვეული წესებით არიან დაკავშირებული. მაგალითად, ორბიტული კვანტური რიცხვი l შეიძლება ღებულობდეს მთელი რიცხვების მნიშვნელობას 0-დან $(n-1)$ -მდე. მაგნიტური კვანტური რიცხვი m შეიძლება ღებულობდეს მთელი რიცხვების მნიშვნელობას $\pm l$ -ს ინტერვალში. ამგვარად, მთავარი კვანტური n რიცხვის ყოველ მნიშვნელობას, რომელიც ატომის ენერგეტიკულ მდგომარეობას განსაზღვრავს, l და m კვანტური რიცხვების კომბინაციების მთელი რიგი შეესაბამება. ყოველ ასეთ კომბინაციას ელექტრონის სივრცის სხვადასხვა წერტილში აღმოჩენის $|\Psi|^2$ ალბათობის გარკვეული განაწილება შეესაბამება („ელექტრული ღრუბელი“).

მდგომარეობა, როცა ორბიტული კვანტური რიცხვი $l=0$ -ს, აღიწერება ალბათობის სფერულ სიმეტრიული განაწილებებით. მათ s -მდგომარეობები ეწოდებათ ($1s, 2s, \dots, ns, \dots$). როცა $l>0$ ელექტრული ღრუბლის სფერული სიმეტრია ირღვევა. $l=1$ -ს შესაბამის მდგომარეობას p -მდგომარეობას უწოდებენ, $l=2$ -სას- d -მდგომარეობას და ა.შ.

ნახ.4-ზე წყალბადის ატომში ელექტრონის ბირთვიდან სხვადასხვა $1s$ და $2s$ მანძილებზე აღმოჩენის $\rho(r) = 4\pi^2|\Psi|^2$ ალბათობის განაწილების მრუდებია გამოსახული.



ნახ. 4.

წყალბადის ატომში ელექტრონის $1s$ და $2s$ მდგომარეობებში აღმოჩენის ალბათობის განაწილება. $r_1 = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ მ}$ - ბორის პირველი ორბიტის რადიუსია

როგორც ნახ.4-დან ჩანს, 1s მდგომარეობაში (წყალბადის ატომის ძირითადი მდგომარეობა) ელექტრონი შეიძლება ბირთვიდან სხვადასხვა მანძილზე აღმოჩნდეს. უდიდესი ალბათობით შეიძლება აღმოჩნდეს მანძილზე, რომელიც ზორის პირველი ძირითადი ორბიტის რადიუსს r_1 -ს ტოლია. 2s მდგომარეობაში ელექტრონის აღმოჩენის ალბათობა მაქსიმალურია ბირთვიდან $r = 4r_1$ მანძილზე. ორივე შემთხვევაში წყალბადის ატომი შეიძლება წარმოვიდგინოთ სფერულად სიმეტრიული ელექტრონული ღრუბლის სახით, რომლის ცენტრშიც ბირთვია მოთავსებული.

§ 2.8. მრავალელექტრონიანი ატომი. პაულის პრინციპი

ატომში არ შეიძლება იყოს ორი ელექტრონი ერთნაირი კვანტური რიცხვებით. ავსტრიელი ფიზიკოსი ვოლფგანგ პაული – ერთ-ერთი იმ ფიზიკოს-თეორეტიკოსთაგანია, რომლებმაც 1920-30 წლებში კვანტური მექანიკის პრინციპებისა და პოსტულატების ფორმულირება მოახდინეს. მისი სახელის მატარებელი პრინციპის უკეთ გაგებაში ელექტრონები ავტომანქანებს უნდა შევადაროთ, რომლებიც მრავალიარუსიან სადგომზე დგანან. ყოველ ბოქსში მხოლოდ ერთი მანქანა ეტევა, მას შემდეგ, რაც პირველი სართულის ყველა ბოქსი დაკავებული აღმოჩნდება, თავისუფალი ადგილის ძებნა ზედა სართულებზე გვიწევს.

ასევე ატომში მყოფი ელექტრონების შემთხვევაშიც, ბირთვის გარშემო მათი რაოდენობა იმაზეა დამოკიდებული, თუ რამდენი „სადგომია“ ამ ორბიტაზე. თუ ადგილები აღარ არის, მომდევნო ელექტრონი თავის ადგილს უფრო მაღალ ორბიტაზე „ეძებს“.

შემდეგ, ელექტრონები ისე იქცევიან, პირობითად რომ ვთქვათ, თითქოს საკუთარი ღერძის გარშემო იწყებენ ბრუნვას (ანუ აქვთ საკუთარი ბრუნვის მომენტი, რომელსაც სპინს უწოდებენ და რომელსაც მხოლოდ ორი მნიშვნელობა შეიძლება ჰქონდეს – $+1/2$

ან $-1/2$ (ფერმიონები)). ორი საწინააღმდეგო სპინის მქონე ელექტრონს ერთ ორბიტაზე შეუძლია ყოფნა, როგორც მარცხენა და მარჯვენა საჭიანი მანქანები ერთ გარაჟში. სწორედ ამიტომ ვხედავთ მენდელეევის პერიოდული სისტემის პირველ რიგში მხოლოდ ორ ატომს (წყალბადი და ჰელიუმი (სამყაროს პირველი ელემენტები: წყალბადი, ჰელიუმი, ლითიუმი)): ქვედა ორბიტაზე საწინააღმდეგო სპინის მქონე ორი ელექტრონისათვის მხოლოდ ორი გაორმაგებული ადგილია გამოყოფილი. შემდეგ ორბიტაზე უკვე რვა ელექტრონი ეტევა (ოთხი $-1/2$ სპინით და ოთხი $+1/2$ სპინით), ამიტომ მენდელეევის სისტემის მეორე რიგში ჩვენ უკვე რვა ელემენტს ვხედავთ და ა.შ.

ვარსკვლავის წიაღში ისეთი მაღალი ტემპერატურაა, რომ ატომები ძირითადად იონიზირებულ მდგომარეობაში იმყოფებიან და ელექტრონები ბირთვებს შორის თავისუფლად გადაადგილდებიან. პაულის აკრძალვა აქაც მოქმედებს, ოღონდ სახეშეცვლილი ფორმით – განსაზღვრულ სივრცულ მოცულობაში შეიძლება იყოს არა უმეტეს ორი ელექტონისა საწინააღმდეგო სპინებითა და განსაზღვრული ზღვრულად დასაშვები სიჩქარეების ინტერვალებით. თუმცა სურათი მას შემდეგ იცვლება მკვეთრად, როცა ვარსკვლავის შიგნით ნივთიერების სიმკვრივე ზღვრულ მნიშვნელობას გადადის $- 10^7$ კგ/მ³ (წყლის სიმკვრივეზე 10 000-ჯერ მეტი; ასანთის კოლოფის ზომის ასეთი ნივთიერება დაახლოებით 100 ტონას იწონის). ასეთი სიმკვრივის დროს პაულის პრინციპი ვარსკვლავის შიგნით წნევის სწრაფ ზრდაში გამოიხატება. ეს დეგენერირებული ელექტრონული გაზის მიერ წარმოქმნილი დამატებითი წნევაა, მის არსებობაზე ის ფაქტი მიუთითებს, რომ მომავლად ვარსკვლავის გრავიტაციული კოლაფსი მას შემდეგ ჩერდება, რაც ის დედამიწის ზომამდე იკუმშება. ასეთ ვარსკვლავებს თეთრ ჯუჯებს უწოდებენ და ეს სტადია მზის მასის ტოლფასი ვარსკვლავების ევოლუციის ბოლო სტადიაა.

პაულის პრინციპი ნებისმიერი ელემენტარული ნაწილაკისთვის არის მართებული წილადი სპინით ($1/2$, $3/2$, $5/2$ და ა.შ). კერძოდ, ნეიტრონის სპინური რიცხვი, როგორც ელექტრონისა, $1/2$ -ს უტოლდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ნეიტრონებსაც გარკვეული „სასიცოცხლო სივრცე“ სჭირდებათ თავიათნა გარშემო. თუ თეთრი ჯუჯას მასა $1,4$ მზის მასაზე მეტია, გრავიტაციული ძალები ელექტრონული გაზის წნევას დაძლევენ და ელექტრონებსა და პროტონებს გაერთიანებას აიძულებენ. ამ შემთხვევაში გრავიტაციულ შეკუმშვას ნეიტრონული დეგენერირებული გაზი აჩერებს და საბოლოოდ, ვარსკვლავი სულ რაღაც რამდენიმე კილომეტრის ზომის ნეიტრონულ ვარსკვლავად იქცევა. კიდევ უფრო მძიმე ვარსკვლავებში გრავიტაცია ამ წნევასაც გადაძლევს და მნათობი შავ ხვრელად იქცევა.

კომპიუტერული ტექნიკის განვითარებასთან ერთად ასეთი „არააშკარა“ კანონები სულ უფრო დიდ როლს ითამაშებენ. ამ ტიპის კანონები კლასიკური ფიზიკის კანონებისგან განსხვავდებიან, როგორც ნიუტონის მექანიკის კანონებია. ისინი არ წინასწარმეტყველებენ, რა მოხდება სისტემაში. ამის მაგივრად ისინი განსაზღვრავენ თუ რა შეიძლება მოხდეს მასში.

§ 2.9. მენდელეევის პერიოდული კანონის კვანტურ-მექანიკური დასაბუთება

თუ ქიმიურ ელემენტებს ატომური ნომრების ზრდადობის მიხედვით დავალაგებთ, მაშინ მათი ქიმიური თვისებები განსაზღვრული სქემის მიხედვით მოეწყობა.

მენდელეევმა ქიმიური ელემენტები მათი მასების ზრდადობით დაალაგა, ისეთი სიგრძის რიგების შერჩევით, რომ სვეტებში ერთნაირი ქიმიური თვისებების მქონე ელემენტები მოხვედრილი-

ყვინ. მაგალითად, მარჯვენა კიდურა სვეტში შედის ჰელიუმი, ნეონი, არგონი, კრიპტონი, ქსენონი და რადონი. ესენი ე.წ. კეთილ-შობილი აირებია – ნივთიერებები, რომლებიც ძალიან დაბალი ქიმიური აქტიურობით გამოირჩევიან. ყველაზე უფრო მარცხენა სვეტის ელემენტები – ლითიუმი, ნატრიუმი, კალიუმი და სხვა. ისინი სხვა ნივთიერებებთან ინტენსიურად რეაგირებენ, პროცესს ფეთქებადი ხასიათი აქვს.

პერიოდული სისტემა ბუნებაში არსებული ვითარების განსახიერება იყო. პლანეტათა მოძრაობის კეპლერისეული კანონების მსგავსად, ცხრილი ვერანაირად ვერ ხსნიდა, თუ რატომ უნდა ყოფილიყო ეს ყველაფერი მაინცდამაინც ასე და არა სხვაგვარად. მხოლოდ კვანტური მექანიკის, განსაკუთრებით, პაულისეული აკრძალვის პრინციპის გამოჩენასთან ერთად მოხდა პერიოდულ სისტემაში ელემენტთა განლაგების გააზრებული აღქმა.

		მოხარეულნი ვართ, რომ თქვენს სკოლაში										VI	VII
1	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	(H)	He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne					
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni			
4	Cu	Zn	Cd	Hg									
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd			
5	Ag	Cd	In	Sn	Pb								
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt			
6	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	(Rn)					
7	Fr	Ra	Ac	(Rn)	(Ns)								Au
* მარჯვენა კიდურა													
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
** მარცხენა კიდურა													
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

ვიცი, რომ ატომის ქიმიური თვისებები მის გარე ფენაზე არსებული ელექტრონების რაოდენობით განისაზღვრება. მაგალითად, წყალბადსა და ლითიუმს მხოლოდ თითო გარე ელექტრონი გააჩნიათ (ზორის ატომი), ამიტომ ქიმიურ რეაქციებში ერთნაირად იქცევიან. თავის მხრივ, ჰელიუმსა და ნეონს ელექტრონებით

შევსებული გარე ფენა გააჩნიათ, ამიტომ ასევე ერთნაირად იქცევიან, თუმცა არა ისე, როგორც წყალბადი და ლითიუმი.

ქიმიური ელემენტები ურანის ჩათვლით (92 პროტონი და 92 ელექტრონი) ბუნებაშიც მოიპოვება. 93-დან დაწყებული ხელოვნური ელემენტები არის შექმნილი ლაბორატორიაში, მეცნიერების მიერ გამოცხადებული ყველაზე უფრო მაღალი რიცხვია 118.

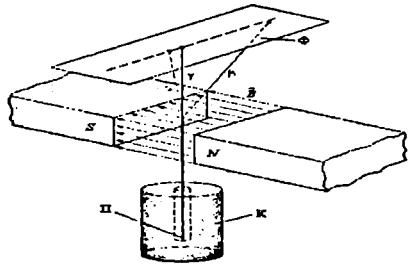
§ 2.10. რადიოაქტივობა

2500 ცნობილი ატომის ბირთვთაგან დაახლოებით 90% სტაბილური არ არის. არასტაბილური ბირთვები თვითნებურად გადაიქცევა სხვა ბირთვებად, რასაც თან ახლავს ნაწილაკების ამოფრქვევა. ამ თვისებას რადიოაქტივობა ეწოდება. დიდი ბირთვებისთვის არასტაბილურობა მიიღწევა ბირთვის ნუკლონების მიზიდვის ძალებსა და პროტონების კულონური განზიდვის ძალებს შორის კონკურენციის შედეგად. $Z > 83$ მუხტის და $A > 209$ მასური რიცხვის მქონე სტაბილური ბირთვები არ არსებობდნენ. მაგრამ რადიოაქტიური შეიძლება აღმოჩნდეს Z და A რიცხვების გაცილებით ნაკლები მნიშვნელობების მქონე ატომის ბირთვებიც. თუ ბირთვი შეიცავს მნიშვნელოვნად მეტ პროტონს ვიდრე ნეიტრონს, მაშინ არასტაბილურობა გამოწვეულია კულონური ურთიერთქმედების ენერჯიის სიჭარბით. ბირთვი, რომელიც ჭარბ ნეიტრონებს შეიცავს, არასტაბილურია იმის ხარჯზე, რომ ნეიტრონების მასა ჭარბობს პროტონების მასას. ბირთვის მასის გაზრდა მისი ენერჯიის ზრდას იწვევს.

რადიოაქტივობის მოვლენა ფრანგი მეცნიერის ა.ბეკერელის მიერ იქნა აღმოაჩენილი 1896 წელს, რომელმაც აღმოაჩინა, რომ ურანის მარილები ასხივებენ უცნობ გამოსხივებას, რომელსაც შეუძლია სინათლისათვის გაუმჭვირვალე წინაღობაში გავლა და იწვევს ფოტომულსიის გაშავებას. ორი წლის შემდეგ ფრანგმა

მეცნიერებმა მარია და პიერ კიურებმა თორიუმის რადიოაქტივობა იპოვეს და აღმოაჩინეს ორი ახალი რადიოაქტიური ელემენტი – პოლონიუმი $^{210}_{84}\text{Po}$ და რადიუმი $^{226}_{88}\text{Ra}$.

შემდეგ წლებში რადიოაქტიური გამოსხივების ბუნებას მრავალი ფიზიკოსი სწავლობდა, მათ შორის რეზერფორდი და მისი მოსწავლეები. დადგინდა, რომ რადიოაქტიურ ბირთვებს შეუძლიათ გამოასხივონ სამი სახის ნაწილაკები: დადებითი, უარყოფითი და ნეიტრალური. მათ უწოდეს α -, β - და γ გამოსხივება. ნახ.1-ზე ექსპერიმენტის სქემაა გამოსახული, რომელიც რადიოაქტიური ნივთიერების რთული აგებულების აღმოჩენის საშუალებას იძლევა. მაგნიტურ ველში α - და β -სხივები გადაიხრებიან სხვადასხვა მიმართულებით, ამასთან β -სხივები გაცილებით დიდად გადაიხრებიან. γ -სხივები მაგნიტურ ველში არ გადაიხრებიან.



ნახ. 1.

α -, β - და γ -სხივების აღმოსაჩენი ცდის სქემა. K – ტყვიის კონტეინერი, II – რადიოაქტიული ნივთიერება, Φ -ფოტოფორფიტა, B-მაგნიტური ველი

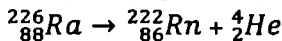
რადიოაქტიული გამოსხივების ეს სამი სახე ნივთიერების ატომების იონიზაციის უნარის მიხედვით ერთმანეთისაგან ძლიერ განსხვავდება და, აქედან გამომდინარე, განჭოლვის უნარიც. უმცირესი განჭოლვის უნარი α -სხივებს ახასიათებს. ჰაერში ნორმალურ პირობებში α -სხივები რამდენიმე სანტი-მეტრიან გზას გაივლიან. β -სხივები გაცილებით ნაკლებად შთანთქმება ნივთიერების მიერ. მათ შეუძლიათ რამდენიმე მილიმეტრიან ალუმინის

ფენაში გავლა. ყველაზე დიდი განჭოლვის უნარი γ -სხივებს აქვთ, რომლებიც 5-10 სმ სისქის ტყვიის ფენაში გადაიან.

XX საუკუნის მეორე ათწლეულში, რეზერფორდის მიერ ატომის ბირთვის აგებულების აღმოჩენის შემდეგ მკაცრად იქნა დადგენილი, რომ რადიოაქტივობა – ატომის ბირთვების თვისებაა. α -გამოსხივება ჰელიუმის ${}^4_2\text{He}$ ბირთვის α -ნაწილაკების ნაკადს წარმოადგენს, β -სხივები – ელექტრონების ნაკადია, γ -სხივები უკიდურესად მცირე $\lambda < 10^{-10}$ მ ტალღის სიგრძის მოკლესტალღოვან ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას წარმოადგენს და ამის გამო აქვს მკვეთრად გამოსახული კორპუსკულარული თვისებები, ე.ი. γ -კვანტების ნაკადს წარმოადგენს.

ალფა-დაშლა

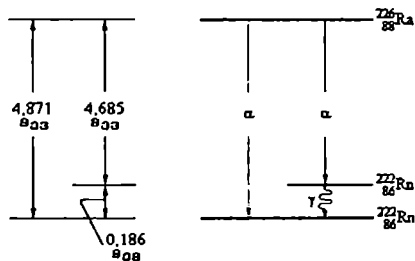
A დაშლა ეწოდება Z რაოდენობის პროტონების და ნეიტრონების მქონე ატომის ბირთვის თვითნებურ გარდაქმნას N რაოდენობა პროტონებისა და ნეიტრონების მქონე სხვა ბირთვად, რომელიც შეიცავს $Z - 2$ რაოდენობა პროტონებს და $Z - 2$ რაოდენობა ნეიტრონებს. ამ დროს გამოსხივდება α -ნაწილაკი - ${}^4_2\text{He}$ ჰელიუმის ატომის ბირთვი. მაგალითად, რადიუმის α -დაშლა:



რადიუმის ბირთვიდან გამოსხივებულ α -ნაწილაკებს რეზერფორდი მძიმე ელემენტების ბირთვებზე გაბნევის ცდებში იყენებდა. რადიუმის დაშლისას გამოსხივებული α -ნაწილაკების სიჩქარე, რომელიც მაგნიტურ ველში მისი ტრამექტორიის სიმრუდის მიხედვით იზომება, დაახლოებით $1,5 \cdot 10^7$ მ/წმ-ს ტოლია, ხოლო შესაბამისი კინეტიკური ენერჯია $7,5 \cdot 10^{-13}$ ჯ-ს (დაახლოებით 4,8 მეე-ს). ეს სიდიდე ადვილად შეიძლება იქნეს განსაზღვრული პირველადი (მშობელი) და წარმოქმნილი (შვილობილი) ბირთვების და ჰელიუმის ბირთვის ცნობილი მასების საშუალებით. მიუხედავად იმისა, რომ ამოტყორცნილი α -ნაწილაკის სიჩქარე უზარმაზარია, ის სინათლის სიჩქარის მხოლოდ 5 %-ს წარმოად-

გენს, ამიტომ გათვლისას კინეტიკური ენერგიისთვის შეიძლება არარელატივისტური გამოსახულების გამოყენება.

კვლევებმა უჩვენეს, რომ რადიაქტიური ნივთიერება α -ნაწილაკებს შეიძლება ასხივებდეს ენერგიის რამდენიმე დისკრეტული მნიშვნელობით. ეს იმით აიხსნება, რომ ატომების მსგავსად, ბირთვები შეიძლება იმყოფებოდნენ სხვადასხვა აღზნებულ მდგომარეობაში. ერთ-ერთ ასეთ აღზნებულ მდგომარეობაში α -დაშლის მომენტში შეიძლება აღმოჩნდეს შეილობილი ბირთვი. ამ ბირთვის ძირითად მდგომარეობაში შემდგომი გადასვლისას γ -კვანტი გამოსხივდება. რადიუმის α -დაშლის სქემა კინეტიკური ენერგიის ორი მნიშვნელობის α -ნაწილაკების გამოსხივებით მოცემულია ნახ.2-ზე.



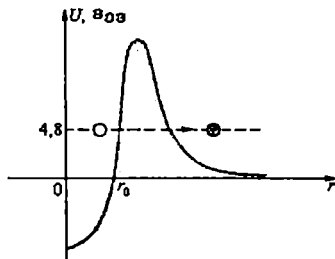
ნახ. 2.

რადიუმის ბირთვის α -დაშლის ენერგეტიკული დიაგრამა. მითითებულაა რადონის $^{222}_{86}\text{Rn}$ ბირთვის აღზნებული მდგომარეობა. რადონის ბირთვის აღზნებული მდგომარეობიდან ძირითადად გადასვლას თან ახლავს 0,186 მეგ ენერგიის γ -კვანტის გამოსხივება

ამგვარად, ბირთვის α -დაშლას ხშირ შემთხვევაში თან ახლავს γ -გამოსხივება.

α -დაშლის თეორიაში დაშვებულია, რომ ბირთვის შიგნით შეიძლება წარმოიქმნებოდეს ორი პროტონისა და ორი ნეიტრონისაგან შემდგარი ჯგუფები, ე.ი. α -ნაწილაკები. მშობელი ბირთვი α -ნაწილაკებისთვის პოტენციურ ორმოს წარმოადგენს, რომელიც პოტენციური ბარიერთაა შემოსაზღვრული. α -ნაწილაკების ენერგია საკმარისი არ არის ამ ბარიერის გადასალახად (ნახ.3). ბირთვიდან

α -ნაწილაკის ამოფრენა შესაძლებელია მხოლოდ კვანტურ-მექანიკური მოვლენის ხარჯზე, რომელსაც ტუნელურ ეფექტს უწოდებენ. კვანტური მექანიკის თანახმად, არსებობს ნაწილაკის მიერ ბარიერის ქვეშ გავლის ნულისაგან განსხვავებული ალბათობა. ტუნელირების მოვლენას ალბათური ხასიათი აქვს.



ნახ. 3.

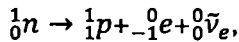
პოტენციური ორბის α -ნაწილაკის მიერ ტუნელირება

ბეტა-დაშლა

β -დაშლისას ბირთვიდან ამოიტყორცნება ელექტრონი. ბირთვის შიგნით ელექტრონებს არსებობა არ შეუძლიათ, ისინი დაშლისას ნეიტრონის პროტონად გადაქცევის შედეგად წარმოიქმნებიან. ეს პროცესი შეიძლება ხდებოდეს არა მარტო ბირთვის შიგნით, არამედ თავისუფალი ნეიტრონის შემთხვევაშიც. თავისუფალი ნეიტრონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა დაახლოებით 15 წუთს შეადგენს. დაშლისას ნეიტრონი $\frac{1}{6}\pi$ გადაიქცევა პროტონად 1_1p და ელექტრონად ${}^0_{-1}e$.

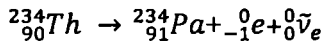
გაზომვებმა უჩვენეს, რომ ამ პროცესში დაიკვირვება ენერჯის შენახვის კანონის მოჩვენებითი დარღვევა, რადგანაც ნეიტრონის დაშლისას წარმოქმნილი ელექტრონისა და პროტონის ენერჯიების ჯამი ნეიტრონის ენერჯიაზე ნაკლებია. 1931 წელს პაულმა გამოთქვა აზრი იმის შესახებ, რომ ნეიტრონის დაშლისას გამოიყოფა კიდევ ერთი ნაწილაკი მასისა და მუხტის ნულოვანი მნიშვნელობით, რომელსაც ენერჯის ნაწილი მიაქვს. ახალმა ნაწილაკმა მიიღო სახელი ნეიტრინო (მცირე ნეიტრონი). მასისა

და მუხტის არქონის გამო ნეიტრინო სუსტად ურთიერთქმედებს ნივთიერების ატომებთან, ამიტომ ექსპერიმენტით მისი აღმოჩენა ძალიან ძნელია. ნეიტრინოს მაიონიზებელი მოქმედება იმდენად მცირეა, რომ 500 კმ-ს მანძილის გავლისას იონიზაციის მხოლოდ ერთი აქტია შესაძლებელი. ეს ნაწილაკი აღმოჩენილი იქნა მხოლოდ 1953 წელს. დღეისათვის ცნობილია, რომ არსებობს ნეიტრინოს რამდენიმე სახეობა. ნეიტრონის დაშლისას წარმოიქმნება ნაწილაკი, რომელსაც ელექტრონულ ანტინეიტრინოს უწოდებენ. ის აღინიშნება ${}^0_1\bar{\nu}_e$ სიმბოლოთი. ამიტომ ნეიტრონის დაშლის რეაქცია ჩაიწერება შემდეგი სახით:



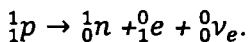
ანალოგიური პროცესი β -დაშლისას ხდება ბირთვის შიგნითაც. ბირთვის ერთ-ერთი ნეიტრონის დაშლისას წარმოქმნილი ელექტრონი, მაშინვე ამოიტყორცნება მშობელი ბირთვიდან, სინათლის სიჩქარისაგან მხოლოდ პროცენტის ნაწილით განსხვავებული, უზარმაზარი სიჩქარით. β -ელექტრონებს შეიძლება გააჩნდეთ სხვადასხვა სიჩქარეები მნიშვნელობათა ფართო ინტერვალიდან.

β -დაშლისას მუხტის რიცხვი - Z ერთით იზრდება, ხოლო მასის რიცხვი - A რჩება უცვლელი. შვილობილი ბირთვი იმ ელემენტის ერთ-ერთი იზოტოპის ბირთვი აღმოჩნდება, რომელიც მენდელეევის სისტემაში ერთი რიგითი ნომრით მეტია საწყისი ბირთვის რიგით ნომერზე. β -დაშლის ტიპურ მაგალითად შეიძლება გამოდგეს ურანის ${}^{234}_{90}\text{Th}$ α -დაშლისას წარმოქმნილი თორიუმის ${}^{238}_{92}\text{U}$ - იზოტოპის გადაქცევისას ${}^{234}_{91}\text{Pa}$ პალადიუმად:



ელექტრონულის β -დაშლის გარდა აღმოჩენილია ე.წ. პოზიტრონული β^+ -დაშლა, რომლის დროსაც ბირთვიდან ამოიტყორცნება პოზიტრონი 0_1e და ნეიტრინო ${}^0_0\nu_e$. პოზიტრონი ნაწილაკია, რომელიც ელექტრონის ნაწილაკ-ორეულს წარმოადგენს და მისგან მხოლოდ მუხტის ნიშნით განსხვავდება. პოზიტრონის არსებობა

გამოჩენილი ფიზიკოსის დირაკის მიერ იქნა ნაწინასწარმეტყველები 1928 წელს. რამდენიმე წლის მერე პოზიტრონი იქნა აღმოჩენილი კოსმოსური სხივების შემადგენლობაში. პოზიტრონები წარმოიქმნებიან პროტონის ნეიტრონად გადაქცევის რეაქციისას შემდეგი სქემით:



გამა- დაშლა

α - და β - რადიაქტივობისგან განსხვავებით ბირთვის γ -რადიაქტივობა ბირთვის შიგა სტრუქტურასთან არ არის დაკავშირებული და თან არ ახლავს მუხტის ან მასის რიცხვის ცვლილებას. როგორც α -, ისე β -დაშლისასაც შვილობილი ბირთვი რამდენადმე აღზნებულ მდგომარეობაში შეიძლება აღმოჩნდეს და ჰქონდეს ჭარბი ენერგია. ბირთვის აღზნებული მდგომარეობიდან ძირითად მდგომარეობაში გადასვლას თან ახლავს ერთი ან რამდენიმე γ -კვანტის გამოსხივება, რომელთა ენერგია შეიძლება რამდენიმე მევ-ს აღწევდეს.

რადიაქტიური დაშლის კანონი

რადიაქტიური ნივთიერების ნებისმიერ ნიმუშში რადიაქტიური ატომების უზარმაზარი რიცხვია. რადგანაც რადიაქტიურ დაშლას შემთხვევითი ხასიათი აქვს და გარე პირობებზე არ არის დამოკიდებული, მოცემული t მომენტისათვის დაუშლელი ბირთვების $N(t)$ რაოდენობა შეიძლება რადიაქტიური დაშლის პროცესის მნიშვნელოვან სტატისტიკურ მახასიათებელს წარმოადგენდეს.

ვთქვათ, მცირე Δt დროის შუალედში დაუშლელი ბირთვების რიცხვი $N(t)$ $\Delta N < 0$ -ით შეიცვალა. რადგანაც თითოეული ბირთვის დაშლის ალბათობა დროში უცვლელია, დაშლების რიცხვი ბირთვების $N(t)$ რიცხვის და Δt დროის შუალედის პროპორციული იქნება:

$$\Delta N = -\lambda N(t) \Delta t.$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი λ არის $\Delta t = 1$ წმ-ში ბირთვე-
ბის დაშლის ალბათობა. ეს ფორმულა ნიშნავს, რომ $N(t)$ ფუნქცი-
ის $\frac{dN}{dt}$ ცვლილების სიჩქარე თვით ფუნქციის პირდაპირპროპორ-
ციულია:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

მსგავსი დამოკიდებულება მრავალ ფიზიკურ ამოცანაში
წამოიშვება (მაგალითად, კონდენსატორის რეზისტორიდან დამუ-
ხტვისას). ამ განტოლების ამოხსნას ექსპონენციალურ კანონმდე
მივყვართ:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t},$$

სადაც N_0 -რადიოაქტიური ბირთვების საწყისი რიცხვია $t=0$
მომენტისათვის. $\tau = 1/\lambda$ დროისათვის დაუშლელი ბირთვების რი-
ცხვი $e \approx 2,7$ -ჯერ კლებულობს. τ სიდიდეს ბირთვის სიცოცხლის
საშუალო დროს უწოდებენ.

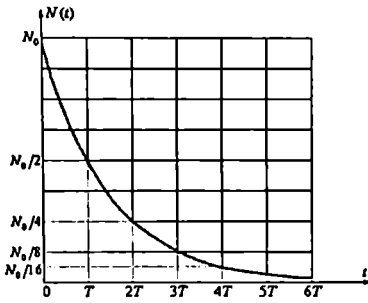
პრაქტიკული გამოყენებისათვის რადიოაქტიური დაშლის კა-
ნონის ჩაწერა სხვა სახითაა მოსახერხებელი. ძირითადი რიცხ-
ვის e -ს ნაცვლად 2-ს გამოყენებით:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-t/T}.$$

T სიდიდეს ნახევარდაშლის პერიოდს უწოდებენ. T დროის
განმავლობაში იშლება რადიოაქტიური ბირთვების საწყისი რა-
დენობის ნახევარი. T და τ სიდიდეები დაკავშირებული არიან
თანაფარდობით:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \tau \ln 2 = 0,693\tau$$

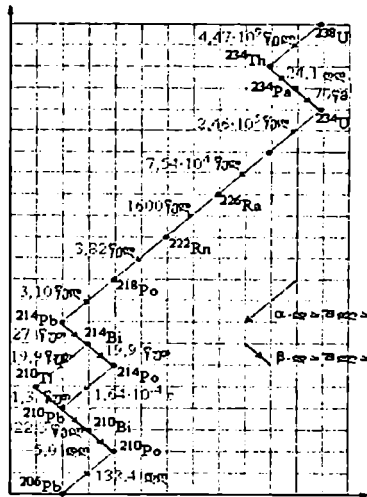
ნახ.4-ზე რადიოაქტიური დაშლის კანონია ილუსტრირე-
ბული.



ნახ.4.
რადიოაქტიური დაშლის კანონი

ნახევდაშლის პერიოდი პროცესის სიჩქარის დამახასიათებელი ძირითადი სიდედეა. რაც ნაკლებია ნახევარდაშლის პერიოდი, მით უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს დაშლა. მაგალითად, ურანისათვის $T \approx 4,5$ მილიარდი წელია, ხოლო რადიუმისათვის $T \approx 1600$ წელი. ამიტომაც რადიუმის აქტივობა გაცილებით მეტია, ვიდრე ურანისა. არსებობენ რადიოაქტიური ელემენტები, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი წამის ნაწილია.

α - და β -რადიოაქტიური დაშლისას შვილობილი ბირთვი შეიძლება ასევე არასტაბილური აღმოჩნდეს. ამიტომაც შესაძლებელია რადიოაქტიური დაშლების თანმიმდევრული სერია, რომლებიც სტაბილური ბირთვების წარმოქმნით სრულდება. ბუნებაში რამდენიმე ასეთი სერია არსებობს. ყველაზე გრძელია - ${}^{238}_{92}\text{U}$ -ს სერია, რომელიც 14 თანმიმდევრული დაშლისგან შედგება (8 α - და 6 β -დაშლისგან). ეს სერია სრულდება ტყვიის სტაბილური ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ იზოტოპის წარმოქმნით (ნახ.5).



ნახ. 5.

რადიოაქტიური ${}_{92}^{238}\text{U}$ დაშლის სერიის სქემა. მითითებულია ნახევარდაშლის პერიოდები

ბუნებაში არსებობს ${}_{92}^{238}\text{U}$ -ის ანალოგიური კიდევ რამდენიმე რადიოაქტიული სერია. ცნობილია აგრეთვე სერია, რომელიც იწყება ნეპტუნიუმიდან ${}_{93}^{237}\text{Np}$, რომელიც ბუნებრივ პირობებში არ მჟღავნდება და მთავრდება ბისმუტზე ${}_{83}^{209}\text{Bi}$. ეს სერია რადიოაქტიური დაშლისა წარმოიქმნება ბირთვულ რეაქციებში.

რადიოაქტივობის საინტერესო გამოყენება არის არქეოლოგიური და გეოლოგიური მონაპოვრების დათარიღების მეთოდი რადიოაქტიური იზოტოპების კონცენტრაციის მიხედვით. ყველაზე ხშირად გამოიყენება დათარიღების რადიონახშირბადის მეთოდი. ${}^{14}\text{C}$ ნახშირბადის არასტაბილური იზოტოპი წარმოიქმნება ატმოსფეროში ბირთვული რეაქციების შედეგად, რაც კოსმოსური სხივებით არის გამოწვეული. ამ იზოტოპის მცირე პროცენტი არის ჰაერში ჩვეულებრივ სტაბილურ ${}^{12}\text{C}$ -იზოტოპთან ერთად.

მცენარეები და სხვა ორგანიზმები მოიხმარენ ნახშირბადს ჰაერიდან და მათში გროვდება ორივე იზოტოპი იმავე პროპორციით, რაც ჰაერშია. მცენარეების სიკვდილის შემდეგ ისინი ატოვებენ ნახშირბადის მოხმარებას და არასტაბილური იზოტოპი თანდათან გარდაიქმნება აზოტად $^{14}_7N$ 5730 წლიანი ნახევარდაშლის პერიოდით. უძველესი ორგანიზმების ნაშთებში $^{14}_6C$ რადიოაქტიური ნახშირბადის ფარდობითი კონცენტრაციის ზუსტი გაზომვით შეიძლება დადგინდეს მათი სიკვდილის დრო.

ყველა სახის რადიოაქტიური გამოსხივება (ალფა, ბეტა, გამა, ნეიტრონო), ასევე ელექტრომაგნიტური რადიაცია (რენტგენის გამოსხივება) ახდენენ ძალიან ძლიერ ბიოლოგიურ ზემოქმედებას ცოცხალ ორგანიზმებზე, რაც მდგომარეობს ცოცხალი უჯრედების შემადგენლობაში არსებული ატომებისა და მოლეკულების აღზნებასა და იონიზაციაში. მაიონიზირებელი რადიაციის ზემოქმედებით ირღვევა რთული მოლეკულები და უჯრედული სტრუქტურები, რაც იწვევს ორგანიზმის სხივურ დაზიანებას. ამიტომ ნებისმიერ რადიაციასთან მუშაობისას მიღებულ უნდა იქნას რადიაციული დაცვის ყველა ზომა.

ადამიანი შეიძლება დაექვემდებაროს მაიონიზირებელ რადიაციას საყოფაცხოვრებო პირობებშიც. ადამიანის ჯანმრთელობისთვის სერიოზულ საფრთხეს შეიძლება წარმოადგენდეს ინერტული, უფერო, რადიოაქტიური გაზი რადონი $^{222}_{86}Rn$. როგორც ნახ.5-დან ჩანს, რადონი არის რადიუმის α -დაშლის პროდუქტი და მისი ნახევარდაშლის პერიოდია $T = 3,82$ დღე. რადიუმი, მცირე ოდენობით არის ნიადაგში, ქვებში, სხვადასხვა საშენებლო კონსტრუქციებში. მცირე სიციცხლის ხანგრძლივობის მიუხედავად, რადონის კონცენტრაცია უწყვეტად ივსება რადიუმის ბირთვების ახალი დაშლებით, ამიტომ რადონი შეიძლება დაგროვდეს დახურულ ნაგებობებში. ფილტვებში მოხვედრისას რადონი ასხივებს α -ნაწილაკებს და გარდაიქმნება პოლონიუმად $^{218}_{84}Po$, რომელიც არ არის ქიმიურად ინერტული ნივთიერება. შემდეგ

მოსდევს ურანის სერიის რადიოაქტიური გარდაქმნების ჯაჭვი (ნახ.5). ამერიკის რადიაციული უსაფრთხოებისა და კონტროლის კომისიის მონაცემებით, ადამიანი საშუალოდ ღებულობს მაიონიზებული რადიაციის 55%-ს რადონისგან და მხოლოდ 11%-ს სამედიცინო პროცედურები-სგან. კოსმოსური სხივების წვლილი შეადგენს დაახლოებით 8 %-ს. სიცოცხლის განმავლობაში ადამიანის მიერ მიღებული სრული დოზა მრავალჯერ ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ დოზაზე, რომელიც დგინდება ზოგიერთი პროფესიის ადამიანებისთვის, რომლებიც დამატებით მაიონიზებელ გამოსხივებას ექვემდებარებიან.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რა არის მატერია? რა სახის მატერიას განასხვავებენ თანამედროვე წარმოდგენაში?
2. ახსენთ ცნება „ელემენტარული ნაწილაკი“. დაასახელეთ ელემენტარული ნაწილაკების ძირითადი მახასიათებლები. როგორ ხდება მათი კლასიფიცირება?
3. ურთიერთქმედების რამდენი სახე იცით? დაასახელეთ მათი ძირითადი თვისებები.
4. რას ეწოდება ანტინაწილაკი?
5. რაში მდგომარეობს მიკროსამყაროს შესწავლის სპეციფიკა მეგადა მაკროსამყაროს შესწავლასთან შედარებით?
6. დაახასიათეთ მოკლედ ატომის აგებულებაზე წარმოდგენების განვითარების ისტორია.
7. ჩამოაყალიბეთ ნ. ბორის პოსტულატები. შესაძლებელია თუ არა ნ.ბორის თეორიის მეშვეობით ავხსნათ დ.მენდელეევის ტაბულას ყველა ელემენტის ატომების სტრუქტურა?
8. ვინ და როდის შექმნა ელექტრომაგნიტური ველის თეორია?
9. რა არის რადიოაქტივობა?
10. დაასახელეთ რადიოაქტიური დაშლის ძირითადი სახეები.

§ 3.1. აბსოლუტური სივრცისა და დროის ნიუტონისეული კონცეფცია. მოძრაობის კანონები

საკითხები სივრცესა და დროის შესახებ ყოველთვის აინტერესებდა კაცობრიობას. ამ ცნებათაგან ერთ-ერთი კონცეფცია მოდის ჯერ კიდევ ძველი დროის ატომისტებისაგან – დემოკრიტესაგან, ეპიკურისაგან და სხვა. მათ შემოიტანეს მეცნიერებაში ცარიელი სივრცის ცნება და იხილავდნენ მას როგორც ერთგვაროვანსა და უსასრულოს.

სამყაროს შექმნის საერთო სურათის ჩამოყალიბების პროცესში, ისააკ ნიუტონს (1642-1726), რასაკვირველია, არ შეეძლო გვერდი აეარა სივრცისა და დროის ცნებებისათვის.

1687 წელს მან გამოაქვეყნა შრომა „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“, რომელიც იქცა XVII საუკუნის ბუნებისმცოდნეობის მიღწევების მწვერვალად.

ნიუტონის მიხედვით სამყარო შედგება მატერიისაგან, სივრცისაგან და დროისაგან. ეს კატეგორიები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია. მატერია მდებარეობს უსასრულო სივრცეში. მატერიის მოძრაობა ხდება დროსა და სივრცეში. ნიუტონმა დაყო სივრცე აბსოლუტურ და ფარდობით სივრცედ. აბსოლუტური სივრცე უძრავია, უსასრულოა. ფარდობითი კი – აბსოლუტურის ნაწილია. ასევე დაყო მან დრო. აბსოლუტური, ნამდვილი (მათემატიკური) დროის ქვეშ ნიუტონი გულისხმობდა დროს, რომელიც მიედინება ყველგან და ყოველთვის თანაბრად, ხოლო ფარდობითი დრო მისი აზრით ხანგრძლივობის ზომაა, რომელიც არსებობს რეალურად: წამი, წუთი, საათი, დღე და ღამე, თვე, წელი.

დინამიკის კანონები 1687 წელს ი.ნიუტონის მიერ იქნა აღმოჩენილი. მის მიერ ჩამოყალიბებული კანონები ე.წ. კლასიკური მექანიკის საფუძველს წარმოადგენს. ნიუტონის კანონები უნდა განვიხილოთ გამოცდილი ფაქტების განზოგადოებად. კლასიკური

მექანიკის კანონები სამართლიანია მხოლოდ მცირე (სინათლის c სიჩქარეზე გაცილებით ნაკლები) სიჩქარის მქონე სხეულების მოძრაობისთვის.

უმარტივეს მექანიკურ სისტემას იზოლირებული სხეული წარმოადგენს, ე.ი. სხეული რომელზეც სხვა სხეული არ მოქმედებს. რადგანაც მოძრაობა და უძრაობა ფარდობითია, სხვადასხვა ათვლის სისტემებში იზოლირებული სხეულის მოძრაობა იქნება სხვადასხვაგვარი. ერთ ათვლის სისტემებში სხეული შეიძლება იყოს უძრავი ან მოძრაობდეს თანაბარი სიჩქარით, ხოლო მეორეში იგივე სხეული შეიძლება მოძრაობდეს აჩქარებულად.

ნიუტონის პირველი კანონი (ინერციის კანონი) ათვლის სისტემათა დიდი მრავალფეროვნებიდან გამოყოფს ე.წ. ინერციულ სისტემებს. არსებობს ათვლის ისეთი სისტემები, რომელთა მიმართაც იზოლირებული სხეული, გადატანითი მოძრაობის დროს უცვლელად ინარჩუნებს სიჩქარის როგორც სიდიდეს, ასევე მიმართულებას.

სხეულის თვისებას შეინარჩუნოს საკუთარი სიჩქარე, თუ მასზე სხვა სხეული არ მოქმედებს, ინერცია ეწოდება.

პირველად ინერციის კანონი გ. გალილეის მიერ იქნა ფორმულირებული (1932წ.). ნიუტონმა გალილეის შედეგები განაზოგადა და მოძრაობის ზოგად კანონებში მოაქცია. ნიუტონის მექანიკაში სხეულთა ურთიერთქმედება ინერციული ათვლის სისტემების მიმართ განიხილება.

დედამიწის ზედაპირთან ახლოს სხეულის მოძრაობის აღწერისას, დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა შეიძლება ინერციულ სისტემად ჩაითვალოს. მაგრამ, ექსპერიმენტის სიზუსტის გაზრდისას, თავს იჩენს ინერციის კანონიდან გადახრა, რაც დედამიწის თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვითაა განპირობებული.

დიდი სიზუსტით ინერციულ სისტემას ჰელიოცენტრული (კოპერნიკის სისტემა) ათვლის სისტემა წარმოადგენს, რომლის

ცენტრი მიბმულია მზესთან, ხოლო ღერძები შორეული ვარსკვლავებისკენაა მიმართული. ნიუტონი ამ სისტემას იყენებდა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ფორმულირებისას (1682წ.).

არსებობს უსასრულოდ ბევრი ინერციული სისტემა. გზის წრფივ მონაკვეთზე მუდმივი სიჩქარით მოძრავ მატარებელთან დაკავშირებული სისტემაც, ისევე როგორც დედამიწასთან დაკავშირებული სისტემა მიახლოებით ინერციულია. ყველა ინერციული ათვლის სისტემა ქმნის სისტემების კლასს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ თანაბრად და სწორხაზოვნად მოძრაობენ. რომელიმე სხეულის აჩქარება სხვადასხვა ინერციულ სისტემაში ერთნაირი იქნება.

ამგვარად, ინერციულ სისტემაში სხეულის სიჩქარის ცვლილება ყოველთვის მისი სხვა სხეულებთან ურთიერთქმედების შედეგია. სხვა სხეულებთან ურთიერთქმედებაში მყოფი სხეულის მოძრაობის რაოდენობრივი აღწერისათვის აუცილებელია ორი ახალი ფიზიკური სიდიდის, სხეულის ინერტული მასისა და ძალის შემოტანა.

მასა – სხეულის თვისებაა, რომელიც მის ინერტულობას ახასიათებს. ერთმა სხეულმა, მისი გარემომცველი სხვა სხეულების ზემოქმედების შედეგად შეიძლება სწრაფად შეიცვალოს სიჩქარე, ხოლო მეორემ იგივე პირობებში იგივე სხეულების ისეთივე ზემოქმედებით – გაცილებით ნელა. ასეთ დროს ამბობენ, რომ ამ ორი სხეულიდან მეორეს მეტი ინერტულობა ან, სხვა სიტყვებით, მეტი მასა აქვს.

ორი სხეულის ურთიერთქმედების შედეგად იცვლება ორივე სხეულის სიჩქარე, ე.ი. ურთიერთქმედების პროცესში ორივე სხეული იძენს აჩქარებას. ორი სხეულის ნებისმიერი ურთიერთქმედების შედეგად აჩქარებების ფარდობა მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. ფიზიკაში მიღებულია, რომ ურთიერთქმედი სხეულების მასები მათი ურთიერთქმედების შედეგად შეძენილი აჩქარებების

უკუპროპორციულია:
$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1} .$$

საერთაშორისო (Si) სისტემაში მასა იზომება კილოგრამებში (კგ). ნებისმიერი სხეულის მასა შეიძლება ცდით განისაზღვროს ეტალონურ მასასთან ($m_{კგ}=1კგ$) შედარების გზით. თუ $m_1 = m_{კგ}=1კგ$, მაშინ $m_2 = -\frac{a_1}{a_2} m_1$. სხეულის მასა სკალარული სიდიდეა.

ძალა – სხეულების ურთიერთქმედების ოდენობის ზომაა. ძალა სხეულის სიჩქარის ცვლილების მიზეზს წარმოადგენს. ნიუტონის მექანიკაში ძალებს შეიძლება განსხვავებული ფიზიკური ბუნება-ჰქონდეთ: ხახუნის ძალა, სიმძიმის ძალა, დაჭიმულობის ძალა და სხვა. ძალა ვექტორული სიდიდეა. სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ვექტორულ ჯამს ტოლქმედი ძალა ეწოდება. ძალის გასაზომად აუცილებელია დადგინდეს ძალის ეტალონი და სხვა ძალების ეტალონთან შედარების ხერხი. ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში ეტალონურ ძალას (ძალის ერთეულს) ნიუტონი (N) ეწოდება. 1N ძალა 1კგ მასის სხეულს 1 მ/წმ² აჩქარებას ანიჭებს.

ნიუტონის მეორე კანონი – დინამიკის ძირითადი კანონია. ეს კანონი მხოლოდ ათვლის ინერციულ სისტემებისათვისაა სამართლიანი. მეორე კანონის ფორმულირებამდე გავიხსენოთ რომ, დინამიკაში შემოტანილია ორი ფიზიკური სიდიდე – სხეულის მასა და F ძალა და მათი გაზომვის ხერხები. ამ სიდიდეებიდან პირველი – მასა – სხეულის ინერტულობის თვისების რაოდენობრივ მახასიათებელს წარმოადგენს. მეორე – ძალა – ერთი სხეულის მეორეზე მოქმედების რაოდენობრივ ზომას. ნიუტონის მეორე კანონი ბუნების ფუნდამენტალური კანონია; ის დაკვირვებითი ფაქტების განზოგადოებას წარმოადგენს. დაკვირვებების განზოგადოებით ნიუტონმა დინამიკის ძირითადი კანონი შემდეგნაირად ჩამოაყალიბა: *ძალა, რომელიც სხეულზე მოქმედებს, ტოლია სხეულის მასისა და ამ ძალის მოქმედებით მინიჭებული აჩქარების ნამრავლისა:*

$$\vec{F} = m \vec{a}.$$

სწორედ ეს არის ნიუტონის მეორე კანონი. იგი სხეულის აჩქარების გამოთვლის საშუალებას იძლევა, თუ ცნობილია სხეულის მასა m და მასზე მოქმედი ძალის სიდიდე F : $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (Si) ძალის ერთეულად მიღებულია ძალა, რომელიც 1 კგ მასის სხეულს 1 მ/წმ² აჩქარებას ანიჭებს. ამ ერთეულს ნიუტონი ეწოდება:

$$1\text{N}=1\text{კგ}\cdot\text{მ}/\text{წმ}^2$$

ნიუტონის მეორე კანონი ფორმალურად მოიცავს ნიუტონის პირველ კანონს, როგორც კერძო შემთხვევას, მაგრამ პირველ კანონს გააჩნია ღრმა ფიზიკური არსი – იგი ინერციული ათვის სისტემების არსებობას უკეთებს პოსტულირებას.

ვიცით, რომ ურთიერთმოქმედი სხეულების მასები უკუპროპორციულია აჩქარებების რიცხვითი მნიშვნელობებისა

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad \text{ანუ} \quad m_1 a_1 = m_2 a_2$$

ვექტორული ფორმით ასე გამოისახება:

$$m\vec{a}_1 = -m\vec{a}_2$$

ნიშანი „მინუსი“ აქ იმ გამოცდილებით ფაქტზე მიუთითებს, რომ ურთიერთმოქმედი სხეულების აჩქარებები ყოველთვის ურთიერთსაწინააღმდეგოდაა მიმართული. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, სხეულების აჩქარებები გამოწვეულია სხეულების ურთიერთქმედებით აღძრული ძალებით $\vec{F}_1 = m\vec{a}_1$ და $\vec{F}_2 = m\vec{a}_2$. აქედან გამომდინარეობს, რომ:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

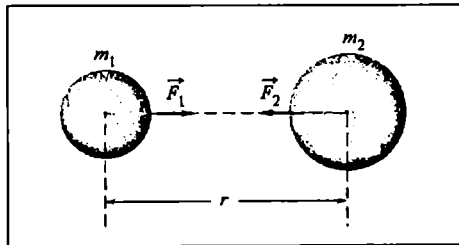
ამ ტოლობას *ნიუტონის მესამე კანონი* ეწოდება.

სხეულები ურთიერთქმედებენ მოდულით ტოლი და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული ძალებით.

სხეულების ურთიერთქმედების დროს აღძრულ ძალებს ყოველთვის ერთნაირი ბუნება აქვთ. ისინი სხვადასხვა სხეულებზე არიან მოდებული და არ შეუძლიათ ერთმანეთის გაწონასწო-

რება. ვექტორული წესით მხოლოდ ერთი და იგივე სხეულზე მოდებული ძალების შეკრებაა შესაძლებელი.

ნიუტონის მეორე კანონის მიხედვით სხეულის მოძრაობის ცვლილების მიზეზს, ე.ი. სხეულის აჩქარების მიზეზს, ძალა წარმოადგენს. მექანიკაში სხვადასხვაგვარი ბუნების ძალები განიხილება. მრავალი მექანიკური მოვლენა და პროცესი განისაზღვრება მიზიდულობის ძალის მოქმედებით. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ნიუტონის მიერ 1682 წელს იქნა აღმოჩენილი. ჯერ კიდევ 1665 წელს, 23 წლის ნიუტონი გამოთქვამდა ვარაუდს, რომ ძალები, რომლებიც მთვარეს აკავებენ ორბიტაზე იგივე ბუნებისაა, როგორიც ძალა რომლის მოქმედებითაც ვაშლი ვარდება დედამიწაზე. მისი ჰიპოთეზის თანახმად, სამყაროს ყველა სხეულს შორის მოქმედებს მიზიდულობის ძალები (გრავიტაციის ძალები), რომლებიც მასათა ცენტრების შემაერთებული წრფის გასწვრივაა მიმართული.



ნახ. 1. სხეულებს შორის გრავიტაციული მიზიდულობა $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

შემდგომ წლებში ნიუტონი ცდილობდა ფიზიკური ახსნა მოეძებნა XVII საუკუნეში ასტრონომის - კეპლერის მიერ აღმოჩენილი პლანეტების მოძრაობის კანონებისათვის და მოეძებნა გრავიტაციული ძალების რაოდენობრივი გამოსახულება.



იგი, პლანეტების მოძრაობის კანონებზე დაყრდნობით, ცდილობდა განესაზღვრა მათზე მოქმედი ძალები. ასეთ მიდგომას მექანიკის შებრუნებულ ამოცანას უწოდებენ. თუ მექანიკის ამოცანა დროის ნებისმიერი მომენტისათვის ცნობილი მასის მქონე სხეულზე მოქმედი ცნობილი ძალების და წინასწარ დაშვებული საწყისი პირობების გათვალისწინებით, კოორდინატისა და სიჩქარის პოვნაა (მექანიკის პირდაპირი ამოცანა), შებრუნებული ამოცანის ამოხსნისათვის უნდა განისაზღვროს მასზე მოქმედი ძალები, თუ ცნობილია სხეულის მოძრაობის კანონი. ამ ამოცანის ამოხსნამ ნიუტონი მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოჩენამდე მიიყვანა.

ყოველი სხეული მიზიდავს ერთმანეთს ძალით, რომელიც მათი მასების პირდაპირპროპორციული და მათ შორის მანძილის უკუპროპორციულია: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$.

ბუნებაში ყველა სხეულისათვის პროპორციულობის კოეფიციენტი G ერთნაირია. მას გრავიტაციულ მუდმივას უწოდებენ და ის ტოლია $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ ნ} \cdot \text{მ}^2 / \text{კგ}^2$.

ბევრი მოვლენა ბუნებაში მსოფლიო მიზიდულობის ძალების მოქმედებით აიხსნება. პლანეტების მოძრაობა მზის სისტემაში, დედამიწის ხელოვნური თამანგზავრების მოძრაობა, ბალისტიკური რაკეტების ტრაექტორიები, სხეულების მოძრაობა დედამიწის ზედაპირთან – მსოფლიო მიზიდულობისა და დინამიკის კანონებით აიხსნება.

§ 3.2. შენახვის კანონები

ფიზიკაში შენახვის კანონი ეწოდება მტკიცებას, როდესაც იზოლირებული სისტემის რაიმე ფიზიკური სიდიდე არ იცვლება სისტემის ევოლუციის დროს.

შენახვის კანონებთან დაკავშირებული ფუნდამენტური შედეგი, რომელიც ნიოტერის თეორემის სახელწოდებით არის ცნობილი, ამტკიცებს რომ, ყველა შენახვის კანონი დაკავშირებულია რაიმე (უწყვეტი) ფიზიკური სიმეტრიის არსებობასთან. მაგალითად, ენერჯის შენახვის კანონი დაკავშირებულია (ან გამომდინარეობს) ფიზიკური სისტემების დროითი წანაცვლების მიმართ ინვარიანტობასთან, ანუ ნიოტერის თეორემა ამტკიცებს, რომ თუ ენერჯია ინახება, მაშინ ერთი და იგივე პირობებში მყოფი ნებისმიერი ფიზიკური სისტემა ერთნაირად განიცდის ევოლუციას მიუხედავად დროის ათვლის საწყისი მომენტისა.

შენახვის კანონების არის ზუსტი კანონები, ანუ არ არსებობს მათი დარღვევის რაიმე დადასტურება. ასეთია: ენერჯის შენახვის კანონი, იმპულსის შენახვის კანონი, იმპულსის მომენტის შენახვის კანონი, მუხტის შენახვის კანონი, ფერადი მუხტის შენახვის კანონი, სუსტი იზოსპინის შენახვის კანონი, ალბათობის შენახვის კანონი კვანტურ მექანიკაში.

იმპულსის შენახვის კანონი

ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც სხეულის მასისა და მისი სიჩქარის ნამრავლის ტოლია, სხეულის იმპულსი (ან სხეულის მოძრაობის რაოდენობა) ეწოდება. სხეულის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა. იმპულსის ერთეული Si სისტემაში არის კილოგრამი-მეტრი/წამი (კგ·მ/წმ).

სხეულების ურთიერთქმედებისას ერთი სხეულის იმპულსი შეიძლება ნაწილობრივ ან სრულად გადაეცეს მეორე სხეულს. თუ სხეულების სისტემაზე სხვა სხეულების მხრიდან გარე ძალები არ მოქმედებენ, მაშინ ასეთ სისტემას ჩაკეტილი სისტემა ეწოდება.

ჩაკეტილ სისტემაში, მასში შემავალი ყველა სხეულის იმპულსების ვექტორული ჯამი, ამ სისტემის სხეულების ნებისმიერი ურთიერთქმედებისას, უცვლელი რჩება.

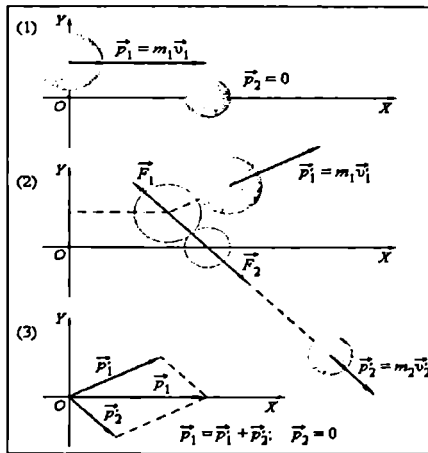
ბუნების ამ ფუნდამენტალურ კანონს იმპულსის მუდმივობის (შენახვის) კანონს უწოდებენ. ის ნიუტონის მეორე და მესამე კანონების შედეგს წარმოადგენს.

განვიხილოთ ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი რაიმე ორი სხეული. ამ სხეულების ურთიერთქმედების ძალები აღვნიშნით \vec{F}_1 და \vec{F}_2 . ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$. თუ ეს სხეულები t დროის განმავლობაში ურთიერთქმედებენ, მაშინ ურთიერთქმედების ძალების იმპულსები მოდულით ტოლია და საპირისპიროდაა მიმართული: $\vec{F}_2 t = -\vec{F}_1 t$ ამ სხეულების მიმართ გამოვიყენოთ ნიუტონის მეორე კანონი:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1; \quad \vec{F}_2 t = m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2$$

ეს ტოლობა ნიშნავს, რომ ორი სხეულის ურთიერთქმედების შედეგად მათი ჯამური იმპულსი არ იცვლება. ჩაკეტილ სისტემაში სხეულთა წყვილის ნებისმიერი სახის ურთიერთქმედების განხილვიდან შეიძლება გავაკეთოდ დასკვნა, რომ ჩაკეტილი სისტემის შინაგან ძალებს არ შეუძლიათ ჯამური იმპულსის, ე.ი. სისტემაში შემავალი ყველა სხეულის იმპულსების ვექტორული ჯამის შეცვლა.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია ორი სხვადასხვა მასის ბურთის, რომელთაგან ერთი დაჯახებამდე უძრავი იყო, არაცენტრალური შეჯახებისას იმპულსის შენახვის კანონი.



ნახ. 1.

სხვადასხვა მასის ბურთების არაგენტრალური შეჯახებისას: 1 - იმპულსები შეჯახებამდე; 2 - იმპულსები შეჯახების შემდეგ; 3 - იმპულსების დიაგრამა

ნახ.1-ზე გამოსახულია ბურთების იმპულსის ვექტორები დაჯახებამდე და დაჯახების შემდეგ, დავაგემილოთ OX და OY ღერძებზე. იმპულსის შენახვის კანონი სამართლიანია ვექტორების ღერძებზე გეგმილებისთვისაც. კერძოდ, იმპულსების ამ დიაგრამიდან გამომდინარეობს, რომ დაჯახების შემდეგ ორივე ბურთის \vec{p}'_1 და \vec{p}'_2 იმპულსების ვექტორების გეგმილები OY ღერძზე მოდულით ტოლი უნდა იყოს და ჰქონდეთ სხვადასხვა ნიშანი, რომ მათი ჯამი ნულის ტოლი გამოვიდეს.

იმპულსის შენახვის კანონი ბევრ შემთხვევაში ურთიერთქმედი სხეულების სიჩქარეების პოვნის საშუალებას იძლევა, მაშინაც კი როცა მომქმედი ძალების სიდიდეები ცნობილი არ არის. ამის მაგალითად რეაქტიული მოძრაობა გამოდგება.

ენერგიის შენახვის კანონი

თუ ჩაკეტილი მექანიკური სისტემის სხეულები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ მიზიდულობისა და დრეკადობის ძალების საშუალებით, მაშინ მათ მიერ შესრულებული მუშაობა, აღებული საწინა-

აღმდეგო ნიშნით, ამ სხეულების პოტენციური ენერჯიის ცვლილების ტოლია:

$$A = -(E_{p_2} - E_{p_1}).$$

კინეტიკური ენერჯიის თეორემის მიხედვით, ეს მუშაობა სხეულების კინეტიკური მუშაობის ცვლილების ტოლია:

$$A = E_{k_2} - E_{k_1}.$$

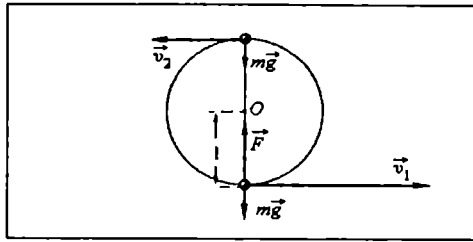
აქედან გამომდინარე:

$$E_{k_2} - E_{k_1} = -(E_{p_2} - E_{p_1}) \Rightarrow E_{k_1} + E_{p_1} = E_{k_2} + E_{p_2}$$

ჩაკეტილი მექანიკური სისტემის შემადგენელი და მიზიდულობისა და დრეკადობის ძალების საშუალებით ურთიერთქმედი სხეულების კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების ჯამი უცვლელი რჩება.

ეს ფორმულირება მექანიკურ პროცესებში ენერჯიის მუდმივობის კანონს წარმოადგებს. ის ნიუტონის კანონების შედეგია. $E = E_k + E_p$ ჯამს სრულ მექანიკურ ენერჯიას უწოდებენ. მექანიკური ენერჯიის მუდმივობის კანონი მხოლოდ მაშინ სრულდება, როცა სხეულები ჩაკეტილ სისტემაში ურთიერთქმედებენ მხოლოდ კონსერვატული ძალებით, ე.ი. ძალებით რომელთათვისაც პოტენციური ენერჯიის ცნების შემოღებაა შესაძლებელი.

ენერჯიის შენახვის კანონის გამოყენების მაგალითია იმ უჭიმვადი ძაფის მინიმალური სიმტკიცის პოვნა, რომელიც იჭერს მის ბოლოზე დამაგრებულ მასის სხეულს ბრუნვის ვერტიკალურ სიბრტყეში (ე.წ. ჰიუგენსის ამოცანა). ნახ.1-ზე მოცემულია ამ ამოცანის განმარტება.



ნახ 1.

ჰიუგენსის ამოცანა \vec{F} - ძვის დაჭიმულობის ძალა ტრაექტორიის ქვედა წერტილში

ენერჯის მუდმივობის კანონი სხეულისთვის ტრაექტორიის ქვედა და ზედა წერტილებში შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + mg2l.$$

ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ ძვის დაჭიმულობის \vec{F} ძალა ყოველთვის სხეულის სიჩქარის მართობულია, ამიტომ ის მუშაობას არ ასრულებს.

ბრუნვის მინიმალური სიჩქარისას ძვის დაჭიმულობა ტრაექტორიის ზედა წერტილში ნულის ტოლია, ე.ი. ცენტრისკენული აჩქარება სხეულს ენიჭება მხოლოდ სიმძიმის ძალის გავლენით:

$$\frac{mv_2^2}{l} = mg. \text{ ამ დამოკიდებულებებიდან გამოდის: } v_{1min}^2 = 5gl.$$

ცენტრისკენული აჩქარება ტრაექტორიის ქვედა წერტილში განპირობებულია სხვადასხვა მხარეს მიმართული \vec{F} და $m\vec{g}$ ძალებით:

$$\frac{mv_1^2}{2} = F - mg.$$

აქედან გამოდის, რომ სხეულის ზედა წერტილში მინიმალური სიჩქარის დროს ძვის დაჭიმულობა ქვედა წერტილში მოდულით ტოლია

$$F = 6mg$$

ნათელია, რომ ძვის სიმტკიცე ამ სიდიდეს უნდა აღმატებოდეს.

ძალიან მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ მექანიკური ენერჯის შენახვის კანონი სხეულის ტრაექტორიის ორ განსხვავე-

ბულ წერტილში მის კოორდინატებსა და სიჩქარეებს შორის კავშირის მიღების საშუალებას იძლევა ტრაექტორიის ყველა სხვა წერტილში სხეულის მოძრაობის კანონის ანალიზის გარეშე. მექანიკური ენერჯის შენახვის კანონის გამოყენებას შეუძლია საგრძნობლად გაადვილოს მრავალი ამოცანის ამოხსნა.

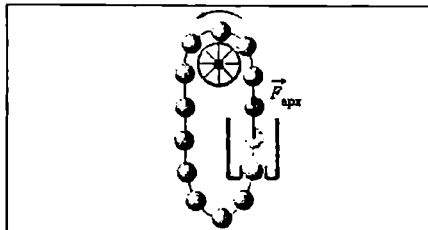
რეალურ პირობებში კონსერვატული ძალების გვერდით ყოველთვის მოქმედებენ ხახუნის ან გარემოს წინააღმდეგობის ძალები.

ხახუნის ძალა არაა კონსერვატული, მისი მუშაობა განვლილი მანძილის სიგრძეზეა დამოკიდებული.

თუ ჩაკეტილი სისტემის სხეულებს შორის მოქმედებს ხახუნის ძალები, მაშინ მექანიკური ენერჯია არ ინახება. მექანიკური ენერჯის ნაწილი სხეულების შინაგან ენერჯიად გადაიქცევა (გათბობა).

ეს, ექსპერიმენტულად გადგენილი ფაქტი, გამოხატავს ბუნების ფუნდამენტურ კანონს – ენერჯიის შენახვისა და გარდაქმნის კანონს.

ენერჯიის შენახვისა და გარდაქმნის კანონის ერთ-ერთ შედეგს წარმოადგენს „მუდმივი ძრავის“ (*perpetuum mobile*) შექმნის შეუძლებლობა – მანქანისა, რომელიც ენერჯიის დანახარჯის გარეშე განუსაზღვრელად დიდი ხნის განმავლობაში შეძლებდა მუშაობის შესრულებას (ნახ. 2).



ნახ. 2.

„მუდმივი ძრავის“ ერთ-ერთი პროექტი

ისტორია „მუდმივი ძრავის“ არა ერთ პროექტს ინახავს. ზოგ მათგანში „გამომგონებლის“ შეცდომა თვალნათლივ ჩანს, სხვებში

ხელსაწყოს რთული კონსტრუქციის მიღმა დაფარული და ხშირად ძნელი გასაგებია რატომ არ მუშაობს ეს მანქანა. „მუდმივი ძრავის“ შექმნის უნაყოფო ცდები ჩვენს დროშიც გრძელდება. ყველა ისინი მარცხისთვის არიან განწირულნი, რადგან ენერჯის შენახვისა და გარდაქმნის კანონი ენერჯის დახარჯვის გარეშე მუშაობის მიღებას „კრძალავს“.

მუხტის შენახვის კანონი

ფიზიკაში მუხტის შენახვის კანონი ამტკიცებს, რომ ელექტრული მუხტი არ შეიძლება გაქრეს ან გაჩნდეს. სხვა სიტყვებით, ბუნებაში (ან ნებისმიერ ჩაკეტილ სისტემაში) დადებითი მუხტის ოდენობას გამოკლებული უარყოფითი მუხტის ოდენობა შენახვადი სიდიდეა. ეს კანონი აღმოჩენილი იქნა ბენჯამინ ფრანკლინის მიერ.

მუხტის შენახვის კანონის (ექვივალენტური) ალტერნატიული ფორმულირება ამტკიცებს, რომ რაიმე მოცულობაში მუხტის რაოდენობის ცვლილება ტოლია ამ მოცულობის ზედაპირის გამჭოლი მუხტის ნაკადისა.

მათემატიკურად კანონს აქვს სახე: $Q(t_2) = Q(t_1) + Q_{IN} - Q_{OUT}$

$Q(t)$ არის მუხტი რაიმე მოცულობაში დროის t მომენტში, Q_{IN} არის t_1 და t_2 მომენტებს შორის ამ მოცულობაში შემოდინებული მუხტი, ხოლო Q_{OUT} არის იგივე მოცულობიდან იგივე დროის განმავლობაში გადინებული მუხტი.

მუხტის შენახვის კანონი შეიძლება ჩამოყალიბდეს აგრეთვე დიფერენციალური განტოლების სახით, რომელსაც უწყვეტობის განტოლება ეწოდება.

მეცხრამეტე საუკუნის შუაში ჯიმს კლარკ მაქსველმა აღმოაჩინა, რომ ამპერის კანონი მუხტის შენახვის კანონს ეწინააღმდეგებოდა. ამპერის კანონის კორექტირების შემდეგ (რომელსაც მან დაუმატა ე.წ. წანაცვლების დენი) მან იწინასწარმეტყველა ელექტრომაგნიტური ტალღის არსებობა, რომლის გავრცელების სიჩქარე სი-

ნათლის სიჩქარის ტოლი უნდა ყოფილიყო. მაქსველმა გამოთქვა ვარაუდი, რომ სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღა უნდა ყოფილიყო.

§ 3.3. თანამედროვე ფიზიკის პრინციპები კვანტური მექანიკის შესახებ

სიმეტრიის პრინციპი

სიმეტრიის ქვეშ გულისხმობენ რაიმე მატერიალური ობიექტების ერთგვაროვნებას, პროპორციულობას, ჰარმონიას. ასიმეტრია კი არის საპირისპირო ცნება. ნებისმიერი ფიზიკური ობიექტი მოიცავს როგორც სიმეტრიის, ასევე ასიმეტრიის ელემენტებს. განვიხილოთ სიმეტრია ფიზიკაში, ქიმიაში და ბიოლოგიაში.

სიმეტრია იყოფა დროსა და სივრცით სიმეტრიად და შინაგან სიმეტრიად. უკანასკნელი ეხება მხოლოდ მიკროსამყაროს.

სივრცით – დროითი სიმეტრიიდან განვიხილოთ ძირითადი.

1. *დროის წანაცვლება.* ათვლის საწყისის ცვლილება არ ცვლის ფიზიკის კანონებს. დრო ერთგვაროვანია მთელ სივრცეში.

2. *სივრცითი კოორდინატების ათვლის სისტემის წანაცვლება.* ეს წანაცვლება არ ცვლის ფიზიკის კანონებს. სივრცის ყველა წერტილი თანაბარუფლებიანია და სივრცე ერთგვაროვანი.

3. *სივრცითი კოორდინატების ათვლის სისტემის მობრუნებაც* ინახავს ფიზიკის კანონებს შეუცვლელად, ე.ი. სივრცე იზოტროპულია.

4. *გალილეის ფარდობითობის კლასიკური პრინციპი* ადგენს სიმეტრიას უძრაობასა და წრფივ თანაბარ მოძრაობას შორის.

5. *დროის ნიშნის ბრუნვა* არ ცვლის ფუნდამენტურ კანონებს მაკროსამყაროში. მაკროსამყაროს დონეზე დაიკვირვება პროცესე-

ბის შეუქცევადობა, რადგანაც ისინი დაკავშირებულია სამყაროს არაწონასწორულ მდგომარეობასთან.

ქიმიკაში სიმეტრია ვლინდება მოლეკულათა გეომეტრიულ კონფიგურაციაში. ეს განსაზღვრავს მოლეკულების როგორც ქიმიურ, ასევე ფიზიკურ თვისებებს. მარტივი მოლეკულების უმრავლესობას აქვს სიმეტრიის ღერძი, სიმეტრიის სიბრტყე. მაგალითად, ამიაკის მოლეკულა NH_3 წარმოადგენს წესიერ სამკუთხა პირამიდას, ხოლო მეთანის მოლეკულა CH_4 – წესიერ ტეტრაედრს. წარმოდგენები სიმეტრიის შესახებ ძალიან სასარგებლოა კომპლექსური შენაერთების აგებულების, მათი თვისებებისა და ქცევის თეორიული ანალიზის დროს.

ბიოლოგიაშიც შეისწავლება სიმეტრია. ყველაზე დიდ ინტერესს იწვევს ბიოობიექტების სტრუქტურული სიმეტრია. ის გამოვლინდება ამა თუ იმ კანონზომიერი განმეორების სახით. ცოცხალი ბუნების განვითარების დაბალ ეტაპებზე გვხვდება წერტილოვანი სიმეტრიის ყველა კლასის წარმომადგენელი (წესიერი მრავალწახნაგები, სფეროები). ევოლუციის უფრო მაღალ საფეხურებზე გვხვდება მცენარეები და ცხოველები, ძირითადად აქსიალური და აქტინომორფული სიმეტრიით. ბიოობიექტები აქსიალური სიმეტრიით ხასიათდებიან სიმეტრიის ღერძით (მედუზა, ფლოქსის ყვავილი), ხოლო აქტინომორფულით – სიმეტრიის ღერძით და ამ ღერძზე გადაკვეთილი სიბრტყეებით (მაგალითად, პეპელა ორმაგი სიმეტრიით).

ფართოდ არის ცნობილი კრისტალების სიმეტრია. კრისტალი – ეს არის მყარი ნივთიერება, რომელსაც აქვს ბუნებრივი გარეგნული სწორი სიმეტრიული მრავალწახნაგოვანი ფორმა, რომელიც დაფუძნებულია მის შიდა სტრუქტურაზე, ანუ ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკების (ატომი, მოლეკულა, იონი) მდებარეობაზე.

სიმეტრია და შენახვის კანონები

1918 წელს გერმანელმა მათემატიკოსმა ემი ნეტერმა დაამტკიცა ფუნდამენტური თეორემა, რომელიც აკავშირებდა ერთმანეთთან სიმეტრიის თვისებებსა და შენახვის კანონებს. თეორემის არსი იმაშია, რომ დროსა და სივრცეში უწყვეტ გარდაქმნებს წარმოადგენს წანაცვლება დროში, წანაცვლება სივრცეში, სამგანზომილებიანი სივრცითი ბრუნვა, ოთხგანზომილებიანი ბრუნვა დროსა და სივრცეში. ნეტერის თეორემის თანახმად, დროში წანაცვლების მიმართ ინვარიანტობიდან გამომდინარეობს ენერჯის შენახვის კანონი; სივრცითი წანაცვლების მიმართ ინვარიანტობიდან კი – იმპულსის შენახვის კანონი; სივრცითი ბრუნვის ინვარიანტობიდან – იმპულსის მომენტის შენახვის კანონი; ლორენცის გარდაქმნათა მიმართ ინვარიანტობიდან (ოთხგანზომილებიანი ბრუნვა დროსა და სივრცეში) – მასათა ცენტრის მოძრაობის განზოგადებული კანონი: რელატივისტური სისტემის მასათა ცენტრი მოძრაობს წრფივად და თანაბრად. ნეტერის თეორემა მიეკუთვნება არა მარტო დროსა და სივრცის სიმეტრიას, არამედ შინაგანსაც. მაგალითად, ელემენტარული ნაწილაკების ყველანაირი გარდაქმნებისას ელექტრული მუხტის ჯამი არ იცვლება. მუხტის შენახვის კანონი მაკროსისტემებში ექსპერიმენტულად იყო დადასტურებული ჯერ კიდევ ნეტერამდე 1843 წელს მ.ფარადეის მიერ. მუხტის შენახვის კანონის შესრულების მეცნიერული ახსნა არ არის.

შესაბამისობის პრინციპი

ის, თუ რით განსხვავდება კლასიკური წარმოდგენებისგან ატომის შიგნით ელექტრონთა მოძრაობა, ასახულია ბორის პოსტულატებში. ბორის პოსტულატები, სადაც შემოტანილ იქნა სტაციონარულ ორბიტათა ცნება, ეყრდნობა ატომისტურ თვალსაზრისს და შესანიშნავად გამოხატავს როგორც ატომთა სტაბილურობის ფაქტს, ასევე მათი გამოსხივების სპექტრსაც. ბორის პოსტულატების მიხედვით იგულისხმებოდა, რომ

ფოტონების გამოსხივების შემთხვევაში ელექტრონს ატომის შიგნით შეუძლია გადავიდეს ნებისმიერ, უფრო დაბალ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში. ე. ი. მისი ყოფაქცევა ატარებს ამ დროს ალბათურ ხასიათს. „ამ ალბათობათა განსაზღვრის ერთადერთ საფუძველს წარმოადგენს შესაბამისობის პრინციპი, რომელიც წარმოშვა მისწრაფებამ – ეპოვათ რაც შეიძლება მჭიდრო კავშირი ატომურ პროცესთა სტატისტიკურ აღწერასა და იმ შედეგებს შორის, რომელთა მოლოდინიც უნდა გვექონოდა კლასიკური თეორიის საფუძველზე. ეს უკანასკნელი შეიძლება უშუალოდ გამოყენებულ იქნეს ზღვრულ შემთხვევაში, როდესაც ქმედებების სიდიდე განსახილველ მოვლენათა ანალიზის ყველა ეტაპზე იქნება მეტი, ვიდრე უნივერსალური კვანტი“.

საინტერესოა, რომ შესაბამისობის პრინციპის ჩამოყალიბებისას ნ. ბორი განსაკუთრებით უსვამდა ხაზს იმ წინააღმდეგობებს, რასაც წააწყდა კლასიკური ელექტროდინამიკის ძირითადი ცნებები ახალი ფაქტების ახსნის პროცესში. დღეისათვის თავისუფლად შეიძლება ითქვას, რომ სწორედ ამ თვისებრივი მხარის გამოკვეთით ჩაეყარა საფუძველი ახალ ცნებებზე დამყარებული თეორიული სისტემის აგების პროგრამას, სწორედ ამან ითამაშა გადამწყვეტი როლი კვანტური თეორიის ჩამოყალიბებაში.

კვანტური პროცესების შესწავლის საქმეში უდიდესი როლი ეკუთვნის აინშტაინს. აინშტაინი გამოვიდა იმ ძირითადი მოსაზრებებიდან, რომელთაც ეყრდნობოდა ატომის აგებულების შესახებ კვანტური თეორია და ატომში სტაციონარულ მდგომარეობებს შორის რადიაციული გადასვლისათვის ჩამოაყალიბა ზოგადი სტატისტიკური წესი. ამ წესის მიხედვით გამოდიოდა, რომ გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესებს ადგილი აქვთ ატომში არა მხოლოდ მაშინ, როდესაც ატომი განიცდის გარეშე ზემოქმედებას, არამედ სპონტანურადაც (თავისთავად); ამავე დროს ორივე შემთხვევაში (იქნება ეს ზემოქმედებით, თუ ზემოქმედების გარეშე) პროცესები ატარებენ ალბათურ ხასიათს;

ოღონდ გარეშე ზემოქმედების შემთხვევაში, პროცესთა ალბათობა პირდაპირპროპორციულია მოქმედი სინათლის ინტენსიურობისა, ხოლო სპონტანური პროცესების შემთხვევაში შეგვიძლია ვილაპარაკოთ ერთგვარ აპრიორულ ალბათობაზე. აინშტაინის აზრით, სპონტანური პროცესების სტატისტიკური ხასიათი უნდა ყოფილიყო რადიაქტიურ ნივთიერებებში მიმდინარე გარდაქმნის პროცესთა ანალოგიური.

ჩამოაყალიბა რა გამოსხივების კვანტური თეორია, აინშტაინი წერდა: „ამ თეორიის სისუსტე მდგომარეობს, ერთი მხრივ, იმაში, რომ იგი არ გვაახლოებს ჩვენ ტალღურ თეორიასთან გაერთიანების მიზანს, ხოლო, მეორე მხრივ, იმაში, რომ იგი მიაკუთვნებს „შემთხვევითობას“ ელემენტარულ პროცესთა დროსა და მიმართულებას. მიუხედავად ამისა, მე მაინც ღრმად მწამს იმ გზისა, რომელსაც ჩვენ დავადექით“ . მაგრამ უკვე კვანტური თეორიის განვითარების ამ პირველსავე ეტაპზე გამოიკვეთა აინშტაინის პოზიცია, რომელიც ატომურ მოვლენათა შესწავლის პროცესში, მის მიერვე შემოტანილი სტატისტიკური მეთოდის გამოყენებას დროებით ფაქტორად მიიჩნევდა და გამოთქვამდა იმედს, რომ მომავალი არ იტყოდა უარს უწყვეტობაზე და მიზეზობრიობის იმ გაგებაზე, რაც არსებობდა კლასიკური ფიზიკის მიხედვით.

კვანტური პროცესების კვლევასთან დაკავშირებით სულ უფრო და უფრო მეტად ვლინდებოდა ის ფაქტი, რომ ელემენტარულ ნაწილაკთა ყოფაქცევის წარმოდგენა თვალსაჩინო სახით სისტემატურად აწყდებოდა გარკვეულ წინააღმდეგობებს. ტალღურ-კორპუსკულარულმა დუალიზმმა ნივთიერებისთვისაც და სინათლისთვისაც ემპირიულად სრულიად გამოკვეთილი სახე მიიღო. ყველაფერი მზად იყო იმისათვის, რომ დაგროვილი მასალა ასახული ყოფილიყო თეორიაში. თითქმის ერთდროულად, ერთი მხრივ, ჰაიზენბერგმა, ხოლო, მეორე მხრივ, შრედინგერმა, კვან-

ტური ობიექტების ყოფაქცევის აღწერის მიზნით, ჩამოაყალიბეს ორი ერთმანეთისგან განსხვავებული ფიზიკური თეორია.

შრედინგერმა, დაეყრდნო რა ბორის შესაბამისობის პრინციპს, გაატარა კვანტური პროცესების პარალელი ოპტიკურ მოვლენებთან და შეძლო ატომურ სისტემათა სტაციონარულ მდგომარეობათა წარმოდგენა გარკვეული ტიპის ტალღური განტოლების კერძო ამონახსნების სახით. ეს პოზიცია განიხილავდა კვანტურ პროცესებს ტალღურ პროცესთა ანალოგიურად და შესანიშნავად ხსნიდა კვანტურ მოვლენებთან დაკავშირებულ მთელ რიგ ემპირიულ მონაცემებს. მიუხედავად ამისა, ასეთი სახის ტალღური აღწერა ვერ იძლეოდა ელემენტარულ ატომურ პროცესთა დამაკმაყოფილებელ ახსნას, აკლდა თვალსაჩინოება.

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი

ცოტა უფრო ადრე ჰაიზენბერგმა ჩამოაყალიბა კვანტური მექანიკის საფუძვლები, რამაც სწრაფი განვითარება ჰპოვა ბორნის, იორდანისა და დირაკის შრომებში; ამოსავალი ჰაიზენბერგისთვისაც იყო შესაბამისობის პრინციპი. ამ პრინციპის საფუძველზე ჰაიზენბერგმა შემოიღო კლასიკურ მექანიკაში არსებული კინემატიკური და დინამიკური ცვლადების ნაცვლად აბსტრაქტული ალგებრული სიმბოლოები და მათი საშუალებით პირველმა მოახდინა შესაბამისობის პრინციპის რაოდენობრივი ფორმულირება. ჰაიზენბერგის პოზიციაში ახალი იყო ის, რომ იგი უარს ამბობდა კვანტური ნაწილაკების მოძრაობის დახასიათებაზე ტრაექტორიის ცნების მიხედვით და იძლეოდა მდგომარეობის წინასწარმეტყველებას ალბათობის საფუძველზე; ეს უკანასკნელი განისაზღვრებოდა აბსტრაქტული ალგებრული სიმბოლოების მატრიცული გამოსახულების ელემენტებით. ისევე როგორც შრედინგერის ტალღური თეორია, ჰაიზენბერგის კვანტური მექანიკაც იძლეოდა ემპირიული მონაცემების ახსნის შესაძლებლობას, მაგრამ ჰაიზენბერგის თეორიაში ხაზი ესმებოდა ელემენ-

ტარულ ატომურ პროცესთა ინდივიდუალურობასა და დისკრეტულ ხასიათს.

თავისი თეორიის ჩამოყალიბების შემდეგ შრედინგერმა აჩვენა, რომ კვანტური პროცესების დახასიათების დროს ტალღური თეორია იძლეოდა იმავე შედეგებს, რასაც ჰაიზენბერგის მატრიცული მექანიკა. არსებული ემპირიული მონაცემებიც მეტყველებდნენ როგორც ერთი, ასევე მეორე თეორიის სასარგებლოდ. ამრიგად, ტალღურ-კორპუსკულარულმა დუალიზმმა, რომელიც აქამდე ემპირიული მონაცემების დონეზე იდგა, თეორიულად ჩამოყალიბებული სახე მიიღო, ამასთან დაკავშირებით კი მთელი ყურადღება დაეთმო დაკვირვებადობის პრობლემას ატომურ ფიზიკაში.

ახალი ეტაპი კვანტური მექანიკის განვითარებაში დაიწყო 1927 წელს, როდესაც ჰაიზენბერგმა ჩამოაყალიბა დღეისათვის უკვე საყოველთაოდ ცნობილი „განუზღვრელობის პრინციპი“. ამ პრინციპის მიხედვით, ატომური სისტემის მდგომარეობის შესახებ მიღებული ინფორმაცია ყოველთვის ხასიათდება გარკვეული „განუზღვრელობით“. ელექტრონის კოორდინატისა და იმპულსისათვის განუზღვრელობის პრინციპს აქვს ასეთი სახე: $\Delta q \cdot \Delta p \approx h$. ეს ნიშნავს იმას, რომ რაც უფრო ზუსტად მოვახდენთ ელექტრონის q კოორდინატის გაზომვას, მით მეტი გვექნება ცდომილება იმპულსის განსაზღვრაში (Δp) და, პირიქით. ჰაიზენბერგი ხაზგასმით აღნიშნავდა, რომ განუზღვრელობის პრინციპი არ წარმოადგენს ატომური ფიზიკის სფეროში ტექნიკის განვითარების დონით შექმნილ ვითარებას, რომელიც მომავალში შეიძლება მოიხსნას. „განუზღვრელობას“ ამ შემთხვევაში, ჰაიზენბერგის აზრით, აქვს პრინციპული ხასიათი; იგი არის იმ თვისებრივი სიახლის გამომხატველი, რაც თავის ბუნებაში ახასიათებს კვანტურ პროცესებს და რაშიც არის დაფარული ტალღურ – კორპუსკულარული დუალიზმის არსი.

ჰაიზენბერგის აზრმა „განუზღვრელობის პრინციპის“ შესახებ ფიზიკოსებს შორის დავა გამოიწვია. ის ფიზიკოსები, რომელნიც ცდილობდნენ შეენარჩუნებინათ კლასიკური თვალსაზრისის ატომურ მოვლენათა ახსნაში (ბომი, ვიეი, დე-ბროილი და სხვა), ფიქრობდნენ, რომ „განუზღვრელობა“, რომელიც აღმოაჩინა ჰაიზენბერგმა კვანტური ობიექტის მდგომარეობის განსაზღვრაში, წარმოადგენდა დროებით მოვლენას. იგი გამოწვეული იყო მხოლოდ ფიზიკური თეორიის არასისრულით; მომავალში კი, როდესაც აღნიშნულ მოვლენათა აღმწერი თეორია სრული გახდება, ჩვენ შევძლებთ ელექტრონის მოძრაობის ისეთივე სიზუსტით წინასწარმეტყველებას, როგორც ვახერხებდით ამას კლასიკური ობიექტების შემთხვევაში. „ამას უწოდებენ ფარულ პარამეტრთა თეორიას. ასეთი თეორია არ შეიძლება იყოს სწორი. ჩვენ არ შეგვიძლია ვიწინასწარმეტყველოთ სრულიადაც არა იმიტომ, რომ არა გვაქვს საკმარისი ინფორმაცია“ – წერდა შემდგომში რ. ფეინმანი.

დამატებითობის პრინციპი

„განუზღვრელობის პრინციპთან“ დაკავშირებით ნ. ბორმა წამოაყენა ე. წ. „დამატებითობის მეთოდი“, რომელიც მიზნად ისახავდა კვანტური პროცესების სპეციფიკის გააზრებას და ატომურ მოვლენათა სფეროში დაკვირვებადობის პრობლემის ახსნას. ბორის პოზიციაში მთავარი იყო „იმ ფაქტის გაცნობიერება, რომ როგორ შორსაც არ უნდა გადიოდნენ მოვლენები კლასიკური ფიზიკის ახსნის ჩარჩოებიდან, მაინც ყველა ფაქტის აღწერა უნდა გამოითქვას კლასიკური ცნებების საშუალებით. ამის არგუმენტი უბრალოდ ის, რომ სიტყვა „ექსპერიმენტს“ ჩვენ მივაკუთვნებთ საგანთა ისეთ მდგომარეობას, როდესაც შეგვიძლია ვუთხრათ სხვას, თუ რა გავაკეთეთ და რა გავიგეთ; ამის გამო ექსპერიმენტული დანადგარისა და დაკვირვების შედეგთა აღწერა უნდა იყოს გამოთქმული არაორაზროვანი ენით, კლასიკური ფიზიკის ტერმინ-ნოლოგიის შესაბამისი გამოყენებით“.

ბორის „დამატებითობის მეთოდი“ ფაქტიურად ავითარებდა ჰაიზენბერგის აზრს „განუზღვერელობის პრინციპის“ აუცილებელი ხასიათის შესახებ (კოპენჰაგენის სკოლა: ჰაიზენბერგი, ბორი, იორდანი, ბორნი, დირაკი და სხვა). იგი უსვამდა ხაზს იმ გარემოებას, რომ „შეუძლებელია რაიმე მკაცრი საზღვრის გატარება ატომურ ობიექტებსა და მათ ურთიერთქმედებას შორის საზომ იარაღებთან, რომელნიც გამოიყენებიან მოვლენათა მიმდინარეობის პირობების დასადგენად.“ კვანტური ეფექტების მთლიანობა გამოხატულებას პოულობს სწორედ იმ ფაქტში, რომ მოვლენის გამოყოფისაკენ მიმართული ნებისმიერი ცდა, მათ შემთხვევაში, მოითხოვს ექსპერიმენტული დანადგარის შეცვლას; ამას კი, თავის მხრივ, მოჰყვება ახალი ურთიერთქმედება დასაკვირვებელ ობიექტსა და საზომ იარაღს შორის, რომელიც პრინციპულად არ დაექვემდებარება ისევ კონტროლს. „ამის გამო სხვადასხვა ექსპერიმენტის პირობებში მიღებული შედეგები არ შეიძლება გააზრებული იყოს ერთ, ყველაფრის მომცველ სურათში, არამედ ისინი განხილულ უნდა იქნენ, როგორც დამატებითობრივი იმ აზრით, რომ მხოლოდ მთელი ერთობლიობა მოვლენების მოგვემს ობიექტის შესახებ ამომწურავ ინფორმაციას“.

ბორის „დამატებითობის მეთოდის“ მიხედვით, სინათლისა და ნივთიერების შემთხვევაში დაკვირვებადი ტალღურ – კორპუსკულარული დუალიზმის სახით საქმე გვაქვს ორ ურთიერთგამომრიცხველ ექსპერიმენტულ ვითარებასთან, რომელიც იძლევა ერთმანეთის საწინააღმდეგო სურათებს. ამდენად პარადოქსი აღარ არის, „დამატებითობის მეთოდი“ იძლევა კვანტური პროცესების ადეკვატური აღწერის შესაძლებლობას. შესაბამისობის პრინციპის საფუძველზე აგებული სიმბოლური სქემა, რომელსაც წარმოადგენს კვანტურ-მექანიკური ფორმალიზმი, საშუალებას გვაძლევს ვიწინასწარმეტყველოთ შედეგები, რომელიც შეიძლება მიღებულ იქნას კლასიკური ცნებების საშუალებით.

მივაქციოთ ყურადღება კიდევ ერთ ფაქტს: ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი ვერ გამოითქმება კლასიკური ფიზიკის ტერმინებში ისე, რომ თვალსაჩინო წარმოდგენა მოგვცეს მის შინაარსზე. მართლაც, ფრაზა, რომ „ჩვენ არ შეიძლება ერთდროულად ვიცოდეთ ელექტრონის კოორდინატი და იმპულსი“, ვერ იქნება გააზრებული კლასიკური წარმოდგენების საფუძველზე. ამასთან დაკავშირებით დგება კვანტური ობიექტისათვის აღნიშნულ თვისებათა ფიზიკური რეალობის განხილვის საკითხი. ეს უკანასკნელი კი ღრმა გნოსეოლოგიურ ასპექტს მოიცავს. იგი გულისხმობს სივრცულ-დროითი ცნებებისა და შენახვის დინამიკური კანონების არაორაზროვანი ხმარების პირობათა დადგენას; მაგრამ, რადგანაც სწორედ ამ ცნებათა შეერთების საფუძველზე იქმნებოდა კლასიკურ ფიზიკაში მოვლენათა ერთიანი, მიზეზობრივი ჯაჭვის სურათი, ამიტომ ბუნებრივია, რომ „დამატებითობის მეთოდთან“ დაკავშირებით დგება მიზეზობრიობის ცნების გადასინჯვის საჭიროება.

როგორც ვხედავთ, კვანტურმა მექანიკამ წამოჭრა ბევრი ისეთი პრობლემა, რომელიც მოითხოვს ფილოსოფიურ ანალიზს. ესენია: კვანტური ობიექტისა და საზომი ხელსაწყო სურათითობის საკითხი და ამასთან დაკავშირებით ხელსაწყო ახლებური როლი შემეცნების პროცესში, კვანტური ობიექტის მდგომარეობის ფარდობითობა დაკვირვების საშუალებების მიმართ და რეალობის პრობლემა ატომურ ფიზიკაში, მიზეზობრიობის საკითხი და სხვა, აინშტაინის სიტყვებით რომ ვთქვათ, ფიზიკას არასოდეს მიუქცევია ფილოსოფიისათვის ისეთი ყურადღება, როგორც მე-20 საუკუნეში.

§ 3.4. ფარდობითობის სპეციალური თეორია

კლასიკური მექანიკა კარგად აღწერს მცირე სიჩქარეების მქონე ინერციულ სისტემებში მიმდინარე ბუნებრივ პროცესებს, როგორც არის დროითი და სივრცითი დამოკიდებულებები, სისტემებში მასისა და ენერჯიის კავშირებს და ა.შ. მაგრამ მას არ აქვს ერთი გამაერთიანებელი თეორია, რომლის მიხედვითაც ბუნების სხვადასხვა ცნებები ერთმანეთთან არ არის დაკავშირებული. პუანკარემ გამოთქვა მოსაზრება, რომ ფიზიკის მოვლენები ნებისმიერ ათვლის ინერციულ სისტემაში თანაბარი ძალით უნდა მიმდინარეობდეს და არ არსებობს უპირატესი ათვლის სისტემები. არანაირი ექსპერიმენტი თუ თეორია არ იძლეოდა იმის საშუალებას, რომ გაგვეჩია ძირითადი და არაძირითადი ათვლის სისტემები. ამდენად, ნამდვილად საფიქრებელი იყო, რომ არა მხოლოდ მექანიკური, არამედ ყველა მოვლენა ბუნებაში ერთნაირად მიმდინარეობდა და ისინი არ უნდა შეცვლილიყვნენ ელექტრომაგნიტური პროცესებისთვისაც. კ. მაქსველის მიერ ჩამოყალიბებული ელექტრომაგნეტიზმის თეორიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიღწევა იყო ის, რომ მან შეაფასა სინათლის სიჩქარე $c = 2.998 \cdot 10^8$ მ/წმ, მაგრამ თეორია ვერ ამბობდა, რომელ ათვლის სისტემაში ჰქონდა სინათლეს ეს კონკრეტული სიჩქარე. თუ სხვადასხვა ათვლის სისტემა სხვადასხვა სინათლის სიჩქარეს აღიქვამდა, მაშინ უნდა არსებულიყო უნივერსალური ათვლის სისტემა, სადაც სიჩქარე უნდა ყოფილიყო აბსოლუტური. პრობლემის გადასაჭრელად შემოიტანეს სპეციალური ათვლის სისტემა (ეთერი), რომელშიც სინათლეს მაქსველის მიერ შეფასებული სიჩქარით უნდა ემობრავა. თეორიის შესამოწმებლად, ა.მაიკელსონმა და ე.მორლიემ არაერთი ექსპერიმენტი ჩაატარეს. ისინი ე.წ. მაიკელსონის ინტერფერომეტრის გამოყენებით ცდილობდნენ დაედგინათ დედამიწის ფარდობითი სიჩქარე ეთერთან მიმართებაში. ამისთვის ისინი ორი მიმართულებით პერპენდიკულარულად უშ-

ვებდნენ სინათლის სხივის კონას, რომლებიც სარკვეზე უნდა არეკლილიყვნენ. სინათლის დეტექტირებისას განსხვავება ფარდობითი სიჩქარის დადგენის საშუალებას მისცემდათ. მათმა ექსპერიმენტმა შედეგი „არ გამოიღო“ და სინათლის სხივების დეტექტირებას შორის განსხვავება არ იყო. ექსპერიმენტიდან ერთადერთი, ერთი შეხედვით, პარადოქსული დასკვნა გამომდინარეობდა, რომ თითოეული დამკვირვებელი ნებისმიერ ინერციულ სისტემაში სინათლეს ერთი და იგივე სიჩქარით აფიქსირებს. სინათლის სიჩქარე ასევე არ იყო დამოკიდებული იმაზე, გამომსხვივებელი წყარო მოძრაობდა თუ გაჩერებული იყო. ექსპერიმენტის შედეგად საჭირო გახდა შეექმნათ ახალი თეორია, რომელიც აღწერდა არა მხოლოდ კლასიკური მექანიკის კანონებს, არამედ ელექტრომაგნიტურ პროცესებსაც.

ალბერტ აინშტაინმა, 1905 წელს წამოაყენა მოსაზრება, რომ განზოგადებინათ გალილეის გარდაქმნები ელექტრომაგნიტური პროცესებისთვისაც და დაყრდნობოდნენ მხოლოდ ემპირიულ მონაცემებს სინათლის ბუნების შესახებ. მონაცემების ანალიზის შედეგად შეიქმნა ფარდობითობის სპეციალური თეორია, რომელიც ორ პოსტულატს ემყარება:

1. ყველა ინერციულ სისტემაში ფიზიკის კანონები ერთნაირად მოქმედებს;

2. სინათლის სიჩქარე ერთი და იგივეა ნებისმიერ ათვლის ინერციულ სისტემაში და არ არის დამოკიდებული არც სინათლის წყაროს და არც ათვლის სისტემის მოძრაობაზე.

ფარდობითობის თეორია არის გალილეის ფარდობითობის პრინციპის განზოგადებული ვერსია, რომელიც ამბობს, რომ არა მხოლოდ მექანიკური პროცესები, არამედ ბუნების ყველა მოვლენა ერთნაირად მიმდინარეობს ყველა ინერციულ სისტემაში. სისტემის აღსაწერად, შესაბამისად საჭირო გახდა დამატებითი გარდაქმნების შემოტანა. ზღვრული სიჩქარე გარკვეულ სირთულეებს ქმნიდა ერთი ინერციული სისტემიდან მეორე სისტემაში

გადასვლის აღწერაშიც: უნდა გარდაექმნათ კოორდინატები, რომელსაც ერთი დამკვირვებელი იყენებს მეორე დამკვირვებლის კოორდინატებად. ნიუტონის მექანიკაში ეს ადვილად ხდებოდა, რამდენადაც დროს აბსოლუტური გაგება ჰქონდა. ნიუტონის მექანიკაში, თუ ერთი ინერციული სისტემა მოძრაობდა მეორეს მიმართ გარკვეული სიჩქარით, ჩვენ უბრალოდ ამ სისტემის კონკრეტულ კოორტინატებს შორის სხვაობას შევკრებდით (გალილეის გარდაქმნები კოორდინატების მიმართ x ღერძის გასწვრივ $x' = x + vt$, $y' = y$, $z' = z$). ფარდობითობის პრინციპით კი ეს სიჩქარეების შეკრება პრობლემას ქმნიდა: თუ განვიხილავდით ორ ინერციულ სისტემას, რომლიდანაც ერთ-ერთი სინათლის სიჩქარით მოძრაობდა, მაშინ მათი ფარდობითი სიჩქარე სინათლის სიჩქარეზე მეტი გამოდიოდა, რაც რელატივისტური თეორიის მეორე კანონს ეწინააღმდეგებოდა. ფარდობითობის პრინციპის ჩამოყალიბებასთან ერთად საჭრო გახდა მკაცრად განესაზღვრათ მანამდე თითქოსდა გასაგები ცნებები. მაგალითად, მოვწინააღმდეგებოდა ერთდროულობა და ა.შ.

სისტემის აღსაწერად, სადაც სინათლის სიჩქარე იყო ზღვრული სიჩქარე, საკმარისი არ იყო მხოლოდ გალილეის გარდაქმნები. აინშტაინმა თავისი თეორიის აღსაწერად შემოიტანა ჰოლანდიელი ფიზიკოსის ლორენცის გარდაქმნები.

ლორენცის გარდაქმნები სივრცისა და დროისთვის:

$$x = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y = y, z = z$$

$$t = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

როდესაც სხეულები დაბალი სიჩქარეებით მოძრაობენ, მაშინ მოძრაობა გალილეის ფარდობითობის პრინციპით აღიწერება, მაგრამ სიჩქარის მატებასთან ერთად მათი სივრცული და დროითი დამოკიდებულებები იცვლება. ლორენცის გარდაქმნებმა ერთმა-

ნეთში აურია დროისა და სივრცის გაგება. თუ ერთი დამკვირვებლისთვის რაიმე იცვლება სივრცეში, მეორე დამკვირვებლისთვის ეს შეიძლება დროში ცვლილებად იყოს აღქმული. ორი დამკვირვებლისთვის, რელატივისტურ მექანიკაში, ინფორმაცია მხოლოდ სივრცეში გადაადგილების ან მხოლოდ დროში ცვლილების შესახებ არასაკმარისია და სისტემის ბუნებას ვერ ახასიათებს. ამიტომ რელატივიზმში განიხილება არა მხოლოდ სივრცე განცალკევებულად ან დრო განცალკევებულად, არამედ დრო-სივრცე.

აინშტაინის ფარდობითობის თეორიას რამოდენიმე მნიშვნელოვანი შედეგი მოჰყვება:

1. თუ რაიმე საგანი სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით მოძრაობს, მაშინ მისი სიგრძე მცირდება. მაგალითად, რაიმე l სიგრძის ჯოხის სიგრძე ნიუტონის მექანიკაში ორ კოორდინატს შორის მანძილით აღიწერებოდა $l_0 = x_2 - x_1$. ფარდობითობის თეორიაში მისი სიგრძე დამოკიდებული გახდა მოძრაობის სიჩქარეზე:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ფორმულიდან ვხედავთ, რომ სიჩქარის ზრდასთან ერთად მცირდება ჯოხის თავდაპირველი სიგრძეც.

2. თუ ჯოხს მიმაგრებული ექნება საათი, მაშინ ვნახავთ, რომ c სიჩქარით მოძრავი სხეულისთვის დრო უფრო ნელა გადის, ვიდრე სხვა მატერიალური წერტილებისთვის.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3. გარდაქმნები გვიჩვენებს, რომ ზღვრული სიჩქარის შედეგად იცვლება სხეულის მასის აბსოლუტური გაგებაც:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

და შესაბამისად ენერგია მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

სხეულის მასასა და ენერგიას შორის კავშირი ფარდობითობის თეორიის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი დასკვნაა: სხეულის მასა და ენერგია ურთიერთშექცევადი სიდიდეებია, ანუ შესაძლებელია მასის ენერგიად გარდაქმნა და პირიქით, ენერგიის მასად გარდაქმნა. $E=mc^2$ ფორმულის მიხედვით, ენერგია და მასა ერთმანეთის ტოლია ზღვრული სიჩქარის შემთხვევაში. რამდენადაც სინათლის სიჩქარე საკმაოდ დიდია, ადვილად შეგვიძლია დავინახოთ, რომ მცირე მასის შემთხვევაშიც კი საგანი დიდ ენერგიას იღებს. ამის მაგალითია ბირთვული იარაღი, რომელიც ბირთვის მასის მხოლოდ 1% იყენებს დამღუპველი ენერგიის მისაღებად. ეს დასკვნა იყო ერთ-ერთი ყველაზე რევოლუციური დასკვნა ფიზიკის ისტორიაში, რამდენადაც მანამდე ფიზიკაში მასა და ენერგია დამოუკიდებელ სუბსტანციებად განიხილებოდა.

სივრცე-დროითი ერთიანობა სიახლე იყო ფილოსოფიური პრინციპების მიხედვით. ჩვენ ბუნებაში ვაკვირდებით ხდომილებებს, რომლებიც გარკვეული მანძილებითა და გარკვეული დროით არიან დაშორებულები და დროითი და სივრცითი დისტანციები არ იცვლება.

ფარდობითობის თეორიის მცდარ თეორიად ცნობად, არაერთი ფიზიკოსი, მათემატიკოსი თუ ფილოსოფოსი შეეცადა. ისინი ამტკიცებდნენ, რომ ფარდობითობის თეორია მკაცრად მეცნიერული ხასიათის არაა, არამედ საყრდენად აღებული აქვს ენერგიის, სივრცისა და დროის მეტაფიზიკური გაგება. კერძოდ, მას დროისა და სივრცის გაგებაში შემოაქვს ფარდობითობის ცნება, როგორც ბუნების კანონი, რაც დაშვებაა და არა ემპირიული დასკვნა. ფილოსოფიური არგუმენტების წარმომადგენლები ამბობენ, რომ მათემატიკური ფორმულირება შესაძლოა გამართული იყოს, მაგრამ თუ თავდაპირველი პრინციპი არასწორია და

ვერ აღწერს ბუნების კანონებს, მაშინ დანარჩენი გამოთვლებიც არასწორი იქნება. ფილოსოფოსები ამბობენ, რომ ფარდობითობის თეორია არ აღწერს ბუნების უზენაეს კანონებს, არამედ მას მხოლოდ კონკრეტული ლოკალური მნიშვნელობა აქვს. ფარდობითობის პრინციპს თითქოს შემოაქვს ისეთი ცნება, რომელიც არ არის დამოკიდებული მდებარეობაზე, დროსა და სიჩქარეზე (სინათლის სიჩქარის ინვარიანტულობა) და თითქოს ამბობს, რომ ბუნების კანონები სამყაროს ნებისმიერ წერტილში ერთი და იგივეა, მაგრამ ის არ გვაძლევს სამყაროს ჭეშმარიტ ბუნებაზე ინფორმაციას.

მეორე არგუმენტი ფარდობითობის თეორიის წინააღმდეგ არის ენერჯისა და მატერიის დუალიზმის საკითხი. აინშტაინის ფორმულა $E=mc^2$ ინფორმაციას გვაძლევს მხოლოდ იმაზე, რომ მასას აქვს განუზომელი ენერჯია, მაგრამ არაფერს ამბობს ყოვლისმომცველი ენერჯიის ბუნების შესახებ. მტკიცება, რომ საგნის მასა გამრავლებული სინათლის სიჩქარის კვადრატზე ამ საგნის ენერჯიაა, ანუ რომ საგნის ენერჯია დამოკიდებულია ამ საგნის მასაზე, საშუალებას არ გვაძლევს გავიგოთ მატერიისგან დამოუკიდებელი, წმინდა ენერჯიის არსი. ფარდობითობის თეორიის ჩამოყალიბებამდე, მეცნიერები ფიქრობდნენ, რომ მატერია და ენერჯია მუდმივია და არ იცვლება დროის განმავლობაში. არც მატერია და არც ენერჯია არ წარმოიშობოდა და არ ნადგურდებოდა, ის ყოველთვის იყო და ყოველთვის იქნებოდა. ისინი ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად არსებობდნენ. ფარდობითობის თეორიამ კი აჩვენა, რომ მატერია ენერჯიის კიდევ ერთი ფორმაა და ის ენერჯიისგან დამოუკიდებლად კი არ ინახება, არამედ ენერჯიის კონსერვაცია მატერიის კონსერვაციასაც გულისხმობს. $E=mc^2$ ფორმულა აჩვენებს, რომ მატერია შეიძლება წარმოიშვას გამოსხივების ენერჯიის შედეგად და ასევე ის შეიძლება გაქრეს და გარდაიქმნას გამოსხივების ენერჯიად. ფიზიკაში დუალიზმის მოხსნა არაერთხელ მომხდარა, ერთ-ერთი

თვალსაჩინო მაგალითია მატერიისა და ძალის დუალიზმი ნიუტონის მექანიკაში. როგორც ვიცით, კლასიკურ მექანიკაში მატერიაა ის, რაზეც ძალა მოქმედებს, ან მატერია წარმოშობს ძალას. მატერია და ძალა სხეულებისთვის სხვადასხვა ასპექტებად განიხილებოდა, მაგრამ თანამედროვე ფიზიკაში ეს დუალიზმი მოხსნილია (ნაწილაკების ფიზიკა). ფარდობითობის თეორიის მოწინააღმდეგეები იშველიებენ რელიგიურ არგუმენტებს და ამბობენ, რომ აინშტაინი არ უშვებს არაფრისგან წარმოშობის ფაქტს. ისინი თანხმდებიან, რომ როგორც სინათლეს აქვს ტალღური და კორპუსკულარული ბუნება, ასეთივეა მასისა და ენერჯიის დამოკიდებულებაც, მაგრამ მასისა და ენერჯიის ეკვივალენტობა, რასაც ფორმულა აღწერს, მათემატიკური ფიქციაა და არ აღწერს რეალობას. აინშტაინი არ ემბდა აბსოლუტურ ჭეშმარიტებას, რამდენადაც ის განზოგადების თეორიაშიც პარადიგმად მუდმივ ცვალებად ობიექტს იღებდა და არა უცვლელს.

თანამედროვე ფიზიკისა და კოსმოლოგიის ისეთი ფუნდამენტური თეორიები, როგორიცაა ნაწილაკების ფიზიკა, სამყაროს სტანდარტული მოდელი და ა.შ. დამყარებულია ფარდობითობის თეორიის პრინციპებზე. თეორია, ასევე, შემოწმებულია არაერთი ექსპერიმენტის მეშვეობით, მათ შორის აღსანიშნავია დიდი ადრონული ამაჩქარებელი CERN-ში, ამიტომ დღეს თავისუფლად შეიძლება ითქვას, რომ ფარდობითობის პრინციპი კარგად აღწერს სამყაროს იმ ნაწილს, სადაც კლასიკური მექანიკის, ელექტრომაგნეტიზმისა და ნაწილაკების ფიზიკა მოქმედებს.

მიუხედავად იმისა, რომ ფარდობითობის პრინციპის არაერთი მტკიცებულება არსებობს, მეცნიერების ნაწილი მის აბსოლუტურობას კითხვის ნიშნის ქვეშ აყენებს. იმ შემთხვევისთვის, თუ სინათლის სიჩქარე არ არის ბუნების მუდმივა ათვლის ნებისმიერ სისტემაში, არამედ ის სხვადასხვა მდგომარეობაში იცვლის მნიშვნელობას, რა ბედი ეწევა დღემდე არსებულ თეორიებს? ჯერ-

ჯერობით არც ექპერიმენტულად და არც მათემატიკურად არ მტკიცდება სინათლის სიჩქარის ცვალებადობა გარემოს მიხედვით, რამდენადაც ბუნებაში ერთადერთი უცვლელია ის, რომ ყველაფერი იცვლება. სავარაუდოა, რომ დროთა განმავლობაში დიდი გაერთიანების თეორიის საფუძვლებიც იქნება აღმოჩენილი, ან ის განყენებული პრინციპები, რასაც ფილოსოფოსები ასე აქტიურად ეძებენ ბუნების კანონებში.

§ 3.5. შინაგანი ენერჯია. სითბოს რაოდენობა. მუშაობა თერმოდინამიკაში. თერმოდინამიკის საწყისები

თერმოდინამიკა მეცნიერებაა, რომელიც სითბურ მოვლენებს სწავლობს. მოლეკულურ -კინეტიკური თეორიისგან განსხვავებით, რომელიც ნივთიერების მოლეკულურ აგებულებაზე დაყრდნობით აკეთებს დასკვნებს, თერმოდინამიკა სითბური პროცესებისა და მაკროსკოპული სისტემების თვისებების რაც შეიძლება ზოგად კანონზომიერებებს შეისწავლის. თერმოდინამიკის დასკვნები დაკვირვებითი ფაქტების ერთობლიობას ეყრდნობა და არაა დამოკიდებული ნივთიერების შინაგანი აგებულების შესახებ ჩვენს ცოდნაზე, თუმცა ბევრ შემთხვევაში თერმოდინამიკა მოლეკულურ -კინეტიკური თეორიის მოდელს იყენებს თავისი დასკვნების ილუსტრირებისათვის.

თერმოდინამიკა განიხილავს თერმოდინამიკურ წონასწორობაში მყოფ სხეულთა იზოლირებულ სისტემას. ეს ნიშნავს, რომ ასეთ სისტემებში შეწყდა ყოველგვარი მაკროსკოპული პროცესი. თერმოდინამიკურ წონასწორობაში მყოფი სისტემის მნიშვნელოვანი თვისება მის ყოველ ნაწილში ტემპერატურის გათანაბრებაა.

თუ თერმოდინამიკურმა სისტემამ განიცადა გარეგანი ზემოქმედება, საბოლოოდ ის სხვა წონასწორულ მდგომარეობაში გადავა.

ასეთ გადასვლას თერმოდინამიკურ პროცესს უწოდებენ. თუ პროცესი საკმარისად ნელა მიმდინარეობს (ზღვარში უსასრულოდ ნელა), მაშინ სისტემა დროის ყოველ მომენტში წონასწორულ მდგომარეობასთან ახლოს იმყოფება. პროცესებს, რომლებიც წონასწორული მდგომარეობების მიმდევრობისაგან შედგება, კვაზი-პროცესებს უწოდებენ.

თერმოდინამიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ცნებას სხეულის შინაგანი ენერგია წარმოადგენს. ყველა მაკროსკოპულ სხეულს აქვს ენერგია, რომელიც შიგ სხეულშია მოქცეული. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით ნივთიერების შინაგანი ენერგია იქმნება ყველა ატომის და მოლეკულის კინეტიკური ენერგიისა და მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიების ჯამისაგან. კერძოდ, იდეალური აირის შინაგანი ენერგია ტოლია უწყვეტ და ქაოსურ სითბურ მოძრაობაში მყოფი ყველა ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიების ჯამისა. აქედან გამომდინარეობს მრავალი ექსპერიმენტით დამტკიცებული ჯოულის კანონი:

იდეალური აირის შინაგანი ენერგია დამოკიდებულია მხოლოდ მის ტემპერატურაზე და არაა დამოკიდებული მოცულობაზე.

მოლეკულურ-კინეტიკურ თეორიას ერთი მოლი ერთატომიანი (ჰელიუმი, ნეონი და სხვა) იდეალური აირისთვის, რომელიც მხოლოდ გადატანით მოძრაობას ასრულებს, შინაგანი ენერგიის შემდეგ გამოსახულებასთან მივყავართ:

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT$$

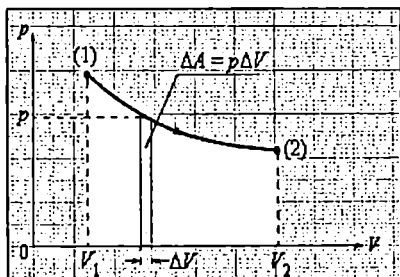
რადგანაც, მოლეკულების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია მათ შორის მანძილზეა დამოკიდებული, ზოგადად სხეულის შინაგანი U ენერგია T ტემპერატურის გარდა V მოცულობაზეა დამოკიდებული: $U=U(T, V)$

ამგვარად, სხეულის შინაგანი ენერგია ერთნმიშვნელოვნად განისაზღვრება სხეულის მდგომარეობის მახასიათებელი მაკროსკოპული პარამეტრებით. ის არაა დამოკიდებული იმაზე თუ რა

გზით მოხდა ამ მდგომარეობის რეალიზაცია. მიღებულია გამოთქმა: შინაგანი ენერგია მდგომარეობის ფუნქციაა.

სხეულის შინაგანი ენერგია შეიძლება შეიცვალოს, თუ მასზე მოქმედი გარე ძალები ასრულებენ მუშაობას (დადებითს ან უარყოფითს). მაგალითად, თუ აირი ცილინდრში დგუშის ქვეშ იკუმშება, გარე ძალები აირზე ასრულებს გარკვეულ დადებით მუშაობას A' . ამავე დროს აირის მხრიდან დგუშზე მოქმედი წნევის ძალები ასრულებენ $A=-A'$ მუშაობას. თუ აირის მოცულობა შეიცვალა მცირე ΔV სიდიდით, აირი ასრულებს $p\Delta V$ მუშაობას, სადაც p – აირის წნევა, ΔV – დგუშის ფართობი, Δx – მისი გადაადგილებაა (ნახ.1). გაფართოებისას აირი ასრულებს დადებით მუშაობას, შეკუმშვისას – უარყოფითს. ზოგად შემთხვევაში გარკვეული საწყისი მდგომარეობიდან (1) საბოლოო (2) მდგომარეობაში გადასვლისას აირის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოისახება ფორმულით: $A=\sum p_i \Delta V_i$, ან როცა $\Delta V_i \rightarrow$

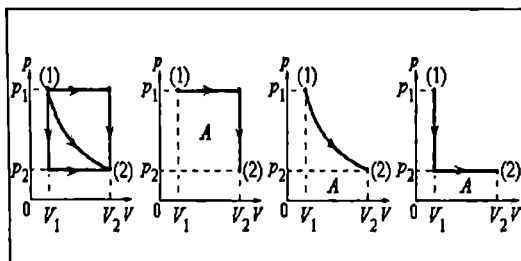
$$0: A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$



ნახ. 1.
აირის მუშაობა გაფართოებისას

მუშაობა რიცხობრივად (p, V) დიაგრამაზე პროცესის გრაფიკის ქვეშა ფართობის ტოლია. მუშაობის სიდიდე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა გზით მოხდა გადასვლა საწყისი მდგომარეობიდან საბოლოოზე. ნახ.2. (1)-დან (2)-ზე გადასვლის სამი განსხვავებული

პროცესია გამოსახული. სამივე შემთხვევაში სხვადასხვა მუშაობა სრულდება.

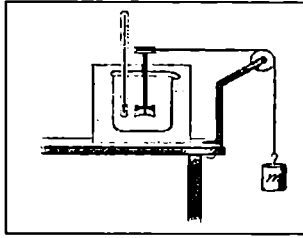


ნახ. 2.(1)-დან (2) მდგომარეობაში გადასვლის სამი სხვადასხვა გზა. თითოეულ შემთხვევაში აირი განსხვავებულ მუშაობას ასრულებს, რომელიც პროცესის ქვეშ ფართობის ტოლია

ნახ.2-ზე გამოსახული პროცესები შეიძლება საწინააღმდეგო მიმდევრობითაც მიმდინარეობდეს, მაშინ მუშაობა A უბრალოდ იღებს საწინააღმდეგო ნიშანს. ამგვარ პროცესებს, რომლებიც შეიძლება ორივე მიმართულებით მიმდინარეობდეს შექცევადს უწოდებენ.

აირებისაგან განსხვავებით, სითხეებსა და მყარ სხეულებში მოცულობა მცირედ იცვლება, ასე რომ ბევრ შემთხვევაში გაფართოება ან შეკუმშვა შეიძლება უგულებელვყოთ. მიუხედავად ამისა მუშაობის შედეგად სითხეებისა და მყარი სხეულების შინაგანი ენერჯიაც იცვლება. დეტალები მექანიკური დამუშავებისას (მაგალითად ბურღვისას) თბებიან. ეს ნიშნავს, რომ მათი შინაგანი ენერჯია იცვლება. სხვა მაგალითად შეიძლება გამოდგეს სითბოს მექანიკური ექვივალენტის განსაზღვრის (ნახ.3) ჯოჯოხისეული ცდა (1843 წ.). სითხეში ჩაძირული ციბრუტის ბრუნვისას გარე ძალები დადებით მუშაობას ასრულებენ ($A' > 0$); ამ დროს სითხე შინაგანი ხახუნის ძალების მოქმედებით თბება, ე.ი. იზრდება მისი შინაგანი ენერჯია. მაგალითად, მოყვანილ ორივე

შემთხვევაში პროცესი არ შეიძლება წარმართოდ საწინააღმდეგო მიმართულებით. ასეთ პოცესებს შეუქცევადი ეწოდება.



ნახ 3.8.3.

სითბოს მექანიკური ექვივალენტის განსაზღვრის (ნახ 3) ჯოჯოხისეული ცდა, გამარტივებული სქემა

სხეულის შინაგანი ენერგია შეიძლება შეიცვალოს არა მხოლოდ მუშაობის შესრულებით, არამედ თბოგაცვლითაც. სხეულების სითბური კონტაქტის შემთხვევაში ერთი სხეულის შინაგანი ენერგია იზრდება, მეორისა კი – კლებულობს. ამ შემთხვევაში ლაპარაკობენ ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასულ სითბურ ნაკადზე. სხეულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობას თბოგაცვლის შედეგად სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილებას უწოდებენ.

სითბოს სახით ენერგიის გადაცემა ერთი სხეულიდან მეორეზე შესაძლებელია ტემპერატურული სხვაობის არსებობის შემთხვევაში.

სითბური ნაკადი ყოველთვის ცხელი სხეულიდან ცივისაკენაა მიმართული.

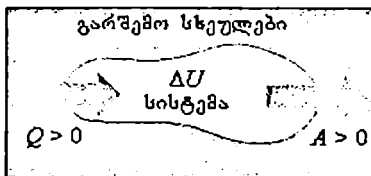
სითბოს რაოდენობა ენერგეტიკულ სიდიდეს წარმოადგენს. Si სისტემაში სითბოს რაოდენობა იზომება მექანიკური მუშაობის ერთეულებში – ჯოჯოხებში.

§ 3.6. თერმოდინამიკის პირველი კანონი

ნახ.1-ზე პირობითადაა გამოსახული ენერგეტიკული ნაკადები განმზოლოებულ თერმოდინამიკურ სისტემასა და გარემოს შორის.

სიდიდე $Q > 0$, თუ სითბური ნაკადი მიმართულია თერმოდინამიკური სისტემისაკენ.

სიდიდე $A > 0$, თუ სისტემა გარშემომყოფ სხეულებზე ასრულებს დადებით მუშაობას.



ნახ 1.

სითბის გაცვლისა და მუშაობის შესრულების შედეგად ენერგიის გაცვლა თერმოდინამიკურ სისტემასა და გარშემომყოფ სხეულებს შორის

თუ სისტემა სითბოს ცვლის გარშემომყოფ სხეულებთან და ასრულებს (დადებით ან უარყოფით) მუშაობას, მაშინ სისტემის მდგომარეობა იცვლება, ე.ი. იცვლება მისი მაკროსკოპული პარამეტრები (ტემპერატურა, წნევა, მოცულობა). რადგანაც შინაგანი ენერგია U ერთმნიშვნელოვნად სისტემის მდგომარეობის დამახასიათებელი მაკროსკოპული პარამეტრებით განისაზღვრება, ამიტომ თბოგადაცემის და მუშაობის შესრულების პროცესებს თანახლავს შინაგანი ენერგიის ΔU ცვლილება.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი წარმოადგენს ენერგიის შენახვისა და გარდაქმნის კანონის განზოგადოებას თერმოდინამიკურ სისტემებზე. ის შემდეგნაირადაა ჩამოყალიბებული:

არაიზოლირებული თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ΔU ცვლილება სისტემაზე გადაცემული სითბოს Q რაოდენობასა და სისტემის მიერ გარშემომყოფ სხეულებზე შესრულებული A მუშაობას შორის სხვაობის ტოლია.

$$\Delta U = Q - A$$

თერმოდინამიკის პირველი კანონის გამომსახველ ფორმულას ხშირად სხვა სახით წერენ:

$$Q = \Delta U + A$$

სისტემის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა იხარჯება მისი შინაგანი ენერგიის ცვლილებასა და მის მიერ გარშემომყოფ სხეულებზე A მუშაობის შესრულებაზე.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი დაკვირვებითი ფაქტების განზოგადოებას წარმოადგენს. ამ კანონის თანახმად, ენერგიის შექმნა ან განადგურება შეუძლებელია: ის ერთი სისტემიდან მეორეს გადაეცემა და გარდაიქმნება ერთი სახის ენერგიიდან მეორე სახისად. თერმოდინამიკის პირველი კანონის მნიშვნელოვან შედეგს წარმოადგეს მტკიცება ისეთი მანქანის შექმნის შეუძლებლობის შესახებ, რომელიც სასარგებლო მუშაობას გარედან ენერგიის მოხმარების გარეშე შეასრულებს. ასეთ ჰიპოტეტურ მანქანას პირველი გვარის მუდმივი ძრავი (*perpetuum mobile*) ეწოდება. ასეთი მანქანის შექმნის მრავალრიცხოვანი მცდელობა ყოველთვის წარუმატებლად მთავრდებოდა. ნებისმიერ მანქანას გარშემომყოფ სხეულებზე დადებითი A მუშაობის შესრულება შეუძლია მხოლოდ გარკვეული Q სითბოს რაოდენობის მიღებით გარშემომყოფი სხეულებიდან ან საკუთარი შინაგანი ენერგიის ΔU -ით შემცირებით.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი გამოვიყენოთ აირების იზოპროცესებში.

1. იზოქორულ პროცესში ($V = \text{const}$) აირი მუშაობას არ ასრულებს, $A = 0$. შესაბამისად,

$$Q = \Delta U = U(T_2) - U(T_1)$$

აქ $U(T_1)$ და $U(T_2)$ აირის შინაგანი ენერგიაა საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში. იდეალური აირის შინაგანი ენერგია ტემპერატურაზეა დამოკიდებული (ჯოულის კანონი). იზოქორული გათბობისას სითბო შთაინთქმება აირის მიერ ($Q > 0$) და მისი შინაგანი ენერგია იზრდება. გაციებისას სითბო გარშემო სხეულებს გადაეცემა ($Q < 0$).

2. იზობარულ პროცესში ($p = \text{const}$) აირის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოისახება ფორმულით:

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

თერმოდინამიკის პირველი კანონი იზობარული პროცესისათვის გამოისახება ფორმულით:

$$Q = U(T_2) - U(T_1) + p(V_2 - V_1) = \Delta U + p\Delta V$$

იზობარული გაფართოებისას $Q > 0$ - სითბო აირის მიერ შთაინთქმება და აირი ასრულებს დადებით მუშაობას. იზობარული შეკუმშვისას $Q < 0$ - სითბო გარშემო სხეულებს გადაეცემა. ამ შემთხვევაში $A < 0$. აირის ტემპერატურა იზობარული შეკუმშვისას მცირდება, $T_2 < T_1$. შინაგანი ენერჯია კლებულობს, $\Delta U < 0$.

3. იზოთერმულ პროცესში აირის ტემპერატურა არ იცვლება, ე.ი. არ იცვლება აირის შინაგანი ენერჯიაც, $\Delta U = 0$.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი იზოთერმული პროცესისათვის გამოისახება ფორმულით: $Q = A$

იზოთერმული გაფართოებისას აირის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა გარდაიქმნება გარშემომყოფ სხეულებზე მუშაობაში. იზოთერმული შეკუმშვისას გარე ძალების აირზე შესრულებული მუშაობა გარდაიქმნება სითბოდ, რომელიც გარშემომყოფ სხეულებს გადაეცემა.

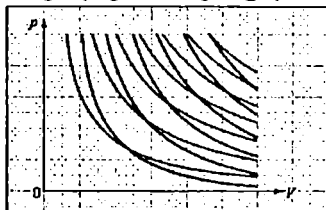
იზოქორული, იზობარული და იზოთერმული პროცესების გარდა თერმოდინამიკაში განიხილება პროცესები, რომლებიც გარშემომყოფ სხეულებთან თბოგადაცემის გარეშე მიმდინარეობს. ჭურჭელს სითბოგაუმტარი კედლებით ადიაბატური გარსი ეწოდება, ხოლო აირის გაფართოების ან შეკუმშვის პროცესს ასეთ ჭურჭელში ადიაბატური პროცესი.

ადიაბატურ პროცესში $Q = 0$. ამიტომ თერმოდინამიკის პირველ კანონს აქვს სახე: $A = -\Delta U$

ე.ი. აირი მუშაობას საკუთარი შინაგანი ენერჯიის შემცირების ხარჯზე ასრულებს.

(p, V) სიბრტყეზე აირის ადიაბატური გაფართოების (ან შეკუმშვის) პროცესი გამოსახულია მრუდით, რომელსაც ადიაბატა

ეწოდება. ადიაბატური გაფართოებისას აირი ასრულებს დადებით მუშაობას ($A > 0$). ამიტომ მისი შინაგანი ენერგია მცირდება ($\Delta U < 0$). ამას აირის ტემპერატურის შემცირებამდე მივყევართ. ამის შედეგად აირის წნევა ადიაბატური გაფართოებისას უფრო სწრაფად კლებულობს ვიდრე იზოთერმულისას (ნახ. 2).



ნახ. 2.

იდეალური აირის იზოთერმები და ადიაბატები

იდეალური აირის ადიაბატური პროცესისთვის თერმოდინამიკაში გამოყვანილია განტოლება. (p, V) კოორდინატებში მას აქვს სახე: $pV^\gamma = const.$

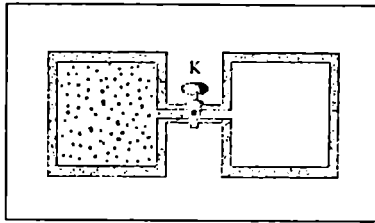
ამ განტოლებას პუასონის განტოლებას უწოდებენ. აქ $\gamma = C_p / C_v$ - ადიაბატის მაჩვენებელია, C_p და C_v - მუდმივი წნევისა და მუდმივი ტემპერატურის პროცესებში აირის სითბოტევადობებია. ერთატომიანი აირისათვის $\gamma = \frac{5}{3} = 1,67$. ორატომიანი სათვის $\gamma = \frac{7}{5} = 1,4$. მრავალატომიანისათვის $\gamma = 1,33$. აირის მუშაობა ადიაბატურ პროცესებში გამოისახება საწყისი და საბოლოო მდგომარეობის ტემპერატურების საშუალებით: $A = C_v(T_2 - T_1)$.

ადიაბატური პროცესები შეიძლება იზოპროცესებსაც მივაკუთნოთ. თერმოდინამიკაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სიდიდე, რომელსაც ენტროპიას უწოდებენ. ენტროპიის ცვლილება რაიმე კვაზისტატისტიკურ პროცესში ტოლია სისტემის მიერ მიღებული სითბოს $\Delta Q / T$. რადგანაც ადიაბატური პროცესის ნებისმიერ მონაკვეთზე $\Delta Q = 0$, ენტროპია ამ პროცესში უცვლელი რჩება.

ადიაბატური პროცესი (ისევე, როგორც სხვა იზოპროცესები) კვაზისტატისტიკურ პროცესს წარმოადგენს. ამ პროცესში აირის ყოველი შუალედური მდგომარეობა თერმოდინამიკურ წონასწორობასთან ახლოსაა. ადიაბატის ყოველი წერტილი წონასწორულ მდგომარეობას აღწერს.

ადიაბატურ გარსში მიმდინარე, ე.ი. გარშემომყოფ სხეულებთან თბოგაცვლის გარეშე მიმდინარე ყოველი პროცესი არ აკმაყოფილებს ამ პირობას. ისეთი კვაზისტატისტიკური პროცესის მაგალითს, სადაც შუალედური მდგომარეობები წონასწორული არ არის, შეიძლება წარმოადგენდეს სიცარიელეში აირის გაფართოება. ნახ.3-ზე გამოსახულია K ონკანით გაყოფილი, ორი ჭურჭლისაგან შემდგარი ხისტი ადიაბატური გარსი. საწყის მდგომარეობაში აირი ერთერთ ჭურჭელს ავსებს, მეორეში კი ვაკუუმი. ონკანის გახსნის მერე აირი ავსებს ორივე ჭურჭელს და მყარდება ახალი წონასწორული მდგომარეობა. ამ პროცესში $Q = 0$, რადგანაც გარშემომყოფ სხეულებთან თბოგაცვლას არ აქვს ადგილი და $A = 0$, ე.წ. გარსი დეფორმაციას არ განიცდის. თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან გამოდის, რომ $\Delta U = 0$, ე.ი. აირის შინაგანი ენერგია უცვლელი რჩება. რადგანაც იდეალური აირის შინაგანი ენერგია მხოლოდ ტემპერატურაზეა დამოკიდებული, აირის ტემპერატურა საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში ერთნაირია – ამ მდგომარეობების გამომსახველი წერტილები (p , V) სიბრტყეზე ერთ იზოთერმაზე მდებარეობენ. აირის არც ერთი შუალედური მდგომარეობა წონასწორული არ არის და მათი დიაგრამაზე გამოსახვა არ შეიძლება.

აირის სიცარიელეში გაფართოება – შეუქცევადი პროცესის მაგალითია. მისი შებრუნებული მიმართულებით შესრულება შეუძლებელია.



ნახ. 3.
აირის გაფართოება სივრცულში

§ 3.7. იდეალური აირის სითბოტევადობა

თუ თბოგაცვლის შედეგად სხეულს გადაეცემა სითბოს გარკვეული რაოდენობა, მასში სხეულის შინაგანი ენერგია და ტემპერატურა იცვლება. 1კგ ნივთიერების K -ით გასათბობად საჭირო სითბოს Q რაოდენობას ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა ეწოდება და ის c ასოთი აღინიშნება.

$$c = Q / (m\Delta T)$$

ხშირად მოსახერხებელია მოლური სითბოტევადობის C -ს ხმარება: $C = M \cdot c$, სადაც, M – ნივთიერების მოლური მასაა.

ამგვარად, განსაზღვრული სითბოტევადობა არ წარმოადგენს ნივთიერების უნიკალურ (ცალსახა) მახასიათებელს. თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილება დამოკიდებულია არა მარტო მიღებულ სითბოს რაოდენობაზე, არამედ სხეულის მიერ შესრულებულ მუშაობაზეც. იმის მიხედვით, თუ რა პირობებში ხორციელდება თბოგაცვლის პროცესი, სხეულს სხვადასხვა მუშაობის შესრულება შეუძლია. ამიტომ სხეულისადმი გადაცემულ სითბოს ერთი და იგივე რაოდენობას შეეძლო გამოეწვია მისი შინაგანი ენერგიის და ე.ი. ტემპერატურის სხვადასხვაგვარი ცვლილება.

სითბოტევადობის ასეთი არაცალსახა განსაზღვრა მხოლოდ აირადი ნივთიერებებისათვისაა დამახასიათებელი. თხევადი და მყარი სხეულების გათბობისას მათი მოცულობა პრაქტიკულად არ იცვლება და გაფართოების მუშაობა ნულის ტოლად შეიძლება ჩაითვალოს. ამიტომ სხეულის მიერ მიღებული სითბოს სრული რაოდენობა მისი შინაგანი ენერგიის ცვლილებაზე მიდის. სითხეებისა და მყარი სხეულებისაგან განსხვავებით, აირებს სითბოგადაცემის პროცესში შეუძლია მნიშვნელოვნად შეიცვალოს მოცულობა და შეასრულოს მუშაობა. ამიტომაც აირადი ნივთიერების სითბოტევადობა თერმოდინამიკური პროცესის ხასიათზეა დამოკიდებული. ძირითადად განიხილება აირების სითბოტევადობის ორი მნიშვნელობა: C_V – მოლური სითბოტევადობა იზოქორულ ($V = const$) პროცესებში და C_p მოლური სითბოტევადობა ($p = const$) იზობარულ პროცესებში.

მუდმივი მოცულობის პროცესებში აირი მუშაობას არ ასრულებს, $A = 0$. თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან 1 მოლი აირისათვის $Q_V = C_V \Delta T = \Delta U$. შინაგანი ენერგიის ΔU ცვლილება პირდაპირპროპორციულია ტემპერატურის ΔT ცვლილებისა.

მუდმივი წნევის პროცესებისათვის თერმოდინამიკის პირველი კანონი იძლევა:

$$Q_p = \Delta U + p(V_2 - V_1) = C_V \Delta T + p \Delta V$$

სადაც ΔV – 1 მოლი იდეალური აირის მოცულობის ცვლილებაა მისი ტემპერატურის ΔT ცვლილებისას. აქედან გამოდის:

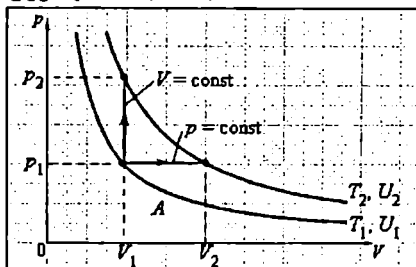
$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T} = C_V + p \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

ფარდობა შეიძლება გამოითვალოს 1 მოლისათვის იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებიდან $pV = RT$. სადაც R – აირის უნივერსალური მუდმივაა, როცა $p = const$

$$p \Delta V = R \Delta T \quad \text{ან} \quad \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{R}{p}$$

ამგვარად, გამოსახულებას, რომელიც C_p და C_v მოლურ სითბოტევადობებს შორის კავშირს გამოსახავს აქვს სახე (მაიერის ფორმულა): $C_p = C_v + R$.

მუდმივი წნევის პროცესის აირის მოლური სითბოტევადობა C_p ყოველთვის ჭარბობს მუდმივი მოცულობის პროცესის C_v მოლურ სითბოტევადობას (ნახ.1).



ნახ.1.

სხეულის $\Delta T = T_2 - T_1$ გათბობის ორი შესაძლო პროცესი $p = \text{const}$ აირი ასრულებს $A = p_1(V_2 - V_1)$ მუშაობას ამიტომ $C_p > C_v$

მუდმივი წნევის და მუდმივი მოცულობის პროცესების სითბოტევადობების ფარდობა თერმოდინამიკაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. ის γ -თი აღინიშნება.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

კერძოდ, ეს ფარდობა შედის ადიაბატური პროცესების ფორმულებში.

დიაგრამაზე (p, V) T_1 და T_2 ტემპერატურის ორ იზოთერმას შორის გადასვლის სხვადასხვა გზაა შესაძლებელი. რადგანაც ყოველი ასეთი გადასვლისას ტემპერატურის ცვლილება $\Delta T = T_2 - T_1$ ერთნაირია, შინაგანი ენერჯიის ცვლილებაც ΔU -ერთნაირია. ამ დროს შესრულებული მუშაობა A და თბოგაცვლის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობა სხვადასხვა გზის შემთხვევაში სხვადასხვა აღმოჩნდება. აქედან გამოდის, რომ აირს უსასრულოდ ბევრი სითბოტევადობა აქვს. C_p და C_v - სითბოტევადობების

მხოლოდ კერძო მნიშვნელობებია (და ძალიან მნიშვნელოვანი აირთა თეორიისათვის).

თერმოდინამიკურ პროცესებს, რომლებშიც აირის სითბოტევადობა უცვლელი რჩება პოლიტროპულს უწოდებენ. ყველა იზოპროცესი პოლიტროპულია. იზოთერმული პროცესის შემთხვევაში $\Delta T = 0$, ამიტომ $C_T = \infty$. ადიაბატურ პროცესში $\Delta Q = 0$, ე.ი. $C_{\infty} = 0$.

უნდა აღინიშნოს, რომ „სითბოტევადობა,“ ისევე როგორც „სითბოს რაოდენობა“ – უკიდურესად გაუმართლებელი ტერმინებია. ისინი თანამედროვე მეცნიერებამ მემკვიდრეობით მიიღო XVIII საუკუნეში გაბატონებული სითბომზადის თეორიიდან. ეს თეორია სითბოს დამოუკიდებელ, განსაკუთრებულ ნვთიერებად თვლიდა, რომელსაც სხეულები შეიცავდენ. ითვლებოდა რომ ამ ნივთიერების როგორც შექმნა, ასევე განადგურება შეუძლებელი იყო. სხეულის გათბობა იხსნებოდა სხეულის შიგნით სითბომზადის მომატებით, გაციება კი შემცირებით. სითბომზადის თეორიამ ვერ ახსნა როგორ შეიძლება სხეულის შინაგანი ენერჯიის ერთი და იგივე ცვლილება მივიღოთ სხეულზე დახარჯულ მუშაობაზე დამოკიდებულებით, მისთვის სხვადასხვა რაოდენობის სითბოს გადაცემით. ამიტომ ფიზიკურ აზრს მოკლებულია გამოთქმა: „მოცემული სხეული შეიცავს სითბოს გარკვეულ მარაგს“.

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის E საშუალო კინეტიკურ ენერჯიასა და T აბსოლუტურ ტემპერატურას შორის შემდეგ კავშირს ადგენს:

$$E = \frac{3}{2} kT$$

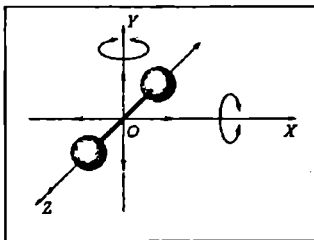
1 მოლი იდეალური აირის შინაგანი ენერჯია ტოლია:
 $U = \frac{3}{2} k N_A T = \frac{3}{2} RT$

ΔT ტემპერატურის ცვლილებით შინაგანი ენერჯია იცვლება სიდიდით

$$\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T = C_V \Delta T$$

ΔU და ΔT სიდიდეებს შორის პროპორციულობის კოეფიციენტი მუდმივი წნევის დროს C_V სითბოტევადობის ტოლია: $C_V = \frac{3}{2} R = 12,47$ ჯ/მოლი კ.

ეს თანაფარდობა ექსპერიმენტალურად კარგად საბუთდება ერთ ატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი აირებით (ჰელიუმი, ნეონი, არგონი). მაგრამ ორატომიანი (წყალბადი, აზოტი) და მრავალატომიანი (ნახშირორჟანგი) აირებისათვის ექსპერიმენტალურ მონაცემებთან თანხმობას არ იძლევა. ამ შეუსაბამობის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ორ- და მრავალატომიანი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია უნდა ითვალისწინებდეს არა მხოლოდ გადატანითი მოძრაობის ენერგიას, არამედ მოლეკულების ბრუნვითი მოძრაობის ენერგიასაც.



ნახ. 2.

ორატომიანი მოლეკულის მოდელი O წერტილი მოლეკულის მასათა ცენტრს ემთხვევა

ნახ.2-ზე ორატომიანი მოლეკულის მოდელია გამოსახული. მოლეკულას ხუთი დამოუკიდებელი მოძრაობის შესრულება შეუძლია: სამი გადატანითი მოძრაობა X , Y , Z ღერძების მიმართ და ორი ბრუნვითი X და Y ღერძების მიმართ.

ცდები უჩვენებენ, რომ Z ღერძის, რომელზეც მოლეკულის მასათა ცენტრი მდებარეობს, მიმართ ბრუნვა შეიძლება ხდებოდეს მხოლოდ ძალიან მაღალი ტემპერატურის შემთხვევაში. ჩვეულებ-

რივი ტემპერატურებისთვის Z დერძის მიმართ ბრუნვა არ ხდება, ისევე როგორც ერთატომიან აირებში. ყოველ დამოუკიდებელ მოძრაობას თავისუფლების ხარისხი ეწოდება. ამგვარად, ერთატომინ მოლეკულას აქვს სამი გადატანითი თავისუფლების ხარისხი, „ხისტ“ ორატომიან მოლეკულას აქვს - 5 (3 გადატანითი და 2 ბრუნვითი) ხარისხი, მრავალატომიან მოლეკულას - 6 თავისუფლების ხარისხი (3 გადატანითი და 3 ბრუნვითი).

კლასიკურ სტატისტიკურ ფიზიკაში მტკიცდება თეორემა თავისუფლების ხარისხების მიხედვით ენერგიის თანაბარი განაწილების შესახებ:

თუ მოლეკულების სისტემა T ტემპერატურის პირობებში სითბურ წონასწორობაში იმყოფება, მაშინ საშუალო კინეტიკური ენერგია თანაბრადაა განაწილებული თავისუფლების ყველა ხარისხს შორის და მოლეკულის ყოველი თავისუფლების ხარისხი ტოლია $\frac{1}{2} kT$.

ამ თეორემიდან გამოდის, რომ აირის მოლური C_p და C_v სითბოტევადობები და მათი ფარდობა γ შეიძლება შემდეგი სახით ჩაიწეროს:

$$C_v = \frac{i}{2}R, C_p = C_v + R = \frac{i+2}{2}R, \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2}$$

სადაც i - აირის თავისუფლების ხარისხია.

ერთატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი აირებისათვის ($i = 3$):

$$C_v = \frac{3}{2}R, C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R, \gamma = \frac{5}{3} = 1,66$$

ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი აირებისათვის ($i = 5$):

$$C_v = \frac{5}{2}R, C_p = C_v + R = \frac{7}{2}R, \gamma = \frac{7}{5} = 1,4.$$

მრავალატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი აირებისათვის ($i = 6$):

$$C_v = 3R, C_p = C_v + R = 4R, \gamma = \frac{4}{3} = 1,33$$

მრავალი აირის ექსპერიმენტულად განსაზღვრული სითბოტევადობები ჩვეულებრივ პირობებში კარგ თანხმობაშია მოყვანილ გამოსახულებებთან. მაგრამ, მთლიანობაში სითბოტევადობის კლასიკური თეორია არ შეიძლება ჩაითვალოს ბოლომდე დამაკმაყოფილებლად. არსებობს თეორიასა და ექსპერიმენტს შორის განსხვავების მრავალი მაგალითი. ეს იმით აიხსნება, რომ კლასიკურ თეორიას არ შეუძლია სრულად გაითვალისწინოს მოლეკულებში შინაგან მოძრაობასთან დაკავშირებული ენერგიები.

თავისუფლების ხარისხების მიხედვით ენერგიის თანაბრად განაწილების თეორია შეიძლება გამოვიყენოთ მყარ სხეულებში ნაწილაკების სითბური მოძრაობისას. კრისტალური მესერის შემადგენლობაში შემავალი ატომები წონასწორობის მდგომარეობის მახლობლად ირხევიან. ამ რხევების ენერგია მყარი სხეულის შინაგან ენერგიას წარმოადგენს. კრისტალურ მესერში ყოველ ატომს რხევა სამ ურთიერთმარობული მიმართულებით შეუძლია. ე.ი. ყოველ ატომს თავისუფლების სამი ხარისხი აქვს. ჰარმონიული რხევების შემთხვევაში საშუალო კინეტიკური ენერგია საშუალო პოტენციური ენერგიის ტოლია. ამიტომ თავისუფლების ხარისხების მიხედვით ენერგიის თანაბრად განაწილების თეორიის შესაბამისად ყოველ რხევით ხარისხზე მოდის საშუალო kT -ტოლი კინეტიკური ენერგია, ხოლო ერთ ატომზე – $3kT$. 1 მოლი მყარი ნივთიერების შინაგანი ენერგია ტოლია:

$$U = 3 N_A kT = 3RT$$

მყარ მდგომარეობაში მყოფი ნივთიერების მოლური სითბოტევადობა ტოლია: $C = 3R = 25,12$ ჯ/მოლი კ.

მყარი სხეულებისათვის პრაქტიკულად არ არსებობს განსხვავება C_p და C_v შორის გაფართოების ან შეკუმშვის დროს შესრულებული მუშაობის უმნიშვნელო სიმცირის გამო.

ცდები უჩვენებენ, რომ მრავალი მყარი სხეულის (ქიმიური ელემენტის) მოლური სითბოტევადობა ჩვეულებრივი ტემპერატურების დროს მართლაც ტოლია $3R$ -ს. დაბალი ტემპერატურები-

სას განსხვავება თეორიასა და ექსპერიმენტს შორის მნიშვნელოვანია. ეს უჩვენებს, რომ თავისუფლების ხარისხების მიხედვით ენერჯის თანაბრად განაწილების ჰიპოთეზა მიახლოებითია. სითბოტევადობისა და ტემპერატურის ცდით დაკვირვებული დამოკიდებულება შეიძლება მხოლოდ კვანტური წარმოდგენებით აიხსნას.

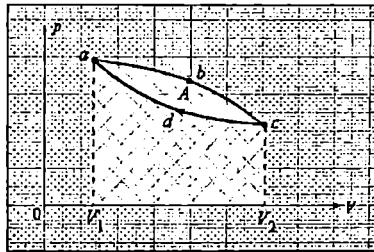
§ 3.8. სითბური ძრავა. თერმოდინამიკური ციკლები. კარნოს ციკლი

სითბური ძრავა ეწოდება მოწყობილობას, რომელსაც მიღებული სითბოს რაოდენობის მექანიკურ ენერჯიაში გარდაქმნის უნარი აქვს. სითბურ ძრავებში მექანიკური მუშაობა სრულდება გარკვეული ნივთიერების (ე.წ. მუშა სხეულის) გაფართოების პროცესში. მუშა სხეულად, ჩვეულებრივ, აირადი ნივთიერება (ბენზინის ორთქლი, ჰაერი, წყლის ორთქლი) გამოიყენება. მუშა სხეული შინაგანი ენერჯის მქონე სხეულებთან თბოგაცვლის პროცესში იღებს (ან გასცემს) სითბურ ენერჯიას. ამ სხეულებს სითბურ რეზერვუარებს უწოდებენ.

თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან გამომდინარე იზოთერმულ პროცესში, რომლის დროსაც შინაგანი ენერჯია უცვლელი რჩება ($\Delta U=0$), აირის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა Q სრულად გარდაიქმნება მუშაობად A : $A=Q$.

სითბოს მუშაობად გარდაქმნის ასეთი ერთჯერადი აქტი ტექნიკისათვის საინტერესო არ არის. რეალურად არსებული სითბური ძრავები (ორთქლის მანქანები, შიგა წვის ძრავები და ა.შ.) ციკლურად მუშაობენ. თბოგადაცემისა და მიღებული სითბოს რაოდენობის მუშაობად გარდაქმნის პროცესი პერიოდულად მეორდება. ამისათვის მუშა სხეული უნდა ასრულებდეს წრიულ პროცესს ანუ თერმოდინამიკურ ციკლს, რომლის დროსაც საწყისი

მდგომარეობა პერიოდულად აღდგება. წრიული პროცესი აირადი მუშა სხეულის (p, V) დიაგრამაზე გამოისახება ჩაკეტილი მრუდის სახით (ნახ.1). გაფართოებისას აირი abc მრუდის ქვეშა ფართობის ტოლ დადებით A_1 მუშაობას ასრულებს, შეკუმშვისას cda მრუდის ქვეშა ფართობის მოდულის ტოლ უარყოფით A_2 მუშაობას. $A=A_1+A_2$ ციკლის განმავლობაში შესრულებული სრული მუშაობა დიაგრამაზე (p, V) ციკლის ფართობის ტოლია. მუშაობა A დადებითია, თუ ციკლი საათის ისრის მიმართულებით მიმდინარეობს და A უარყოფითია, თუ ციკლი საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მიმდინარეობს.



ნახ 1.

წრიული პროცესი (p, V) დიაგრამაზე abc – გაფართოების მრუდი, cda – შეკუმშვის მრუდი. A მუშაობა წრიულ პროცესში დოლია $abcd$ ფართობის.

ყველა წრიული პროცესის საერთო თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ ისინი არ შეიძლება მიმდინარეობდნენ მუშა სხეულის მხოლოდ ერთ სითბურ რეზერვუართან სითბური კონტაქტის პირობებში. სითბური რეზერვუარი ორი მაინც უნდა იყოს. უფრო მაღალი ტემპერატურის მქონე სითბურ რეზერვუარს გამათბობელს უწოდებენ, ხოლო უფრო დაბალი ტემპერატურისას – გამაციებელს. მუშა სხეული სითბური ციკლის შესრულების პროცესში გამათბობელიდან იღებს სითბოს გარკვეულ რაოდენობას $Q_1 > 0$ და გადასცემს გამაციებელს $Q_2 < 0$ სითბოს რაოდენობას. ამ ციკლში მიღებული სითბოს სრული რაოდენობა ტოლია: $Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 - |Q_2|$.

ციკლის ბოლოს მუშა სხეული ბრუნდება საწყის მდგომარეობაში, ე.ი. მისი შინაგანი ენერჯიის ცვლილება ნულის ტოლია ($\Delta U = 0$). თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად,

$$\Delta U = Q - A = 0$$

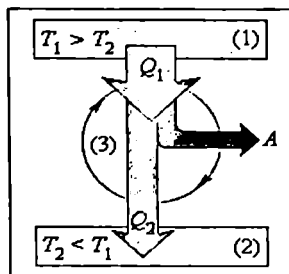
აქედან გამოდის:

$$A = Q = Q_1 - |Q_2|.$$

ციკლის განმავლობაში სხეულის მიერ შესრულებული A მუშაობა ამავე ციკლის განმავლობაში მიღებული Q_1 სითბოს რაოდენობის ტოლია. A მუშაობის ფარდობას ციკლის განმავლობაში სხეულის მიერ გამახურებლიდან მიღებულ სითბოს რაოდენობასთან, სითბური მანქანის მარგი ქმედების η კოეფიციენტს უწოდებენ:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}.$$

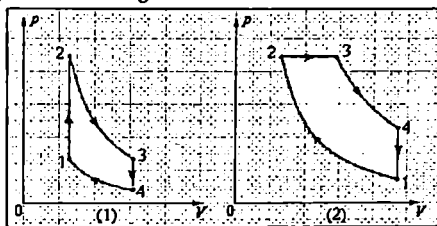
მარგი ქმედების კოეფიციენტი მიუთითებს მუშა სხეულის მიერ „ცხელი“ სითბური რეზერვუარიდან მიღებული სითბური ენერჯიის რა ნაწილი გადაიქცა სასარგებლო მუშაობად. დანარჩენი ნაწილი $(1 - \eta)$ „უსარგებლოდ“ გადაეცა გამაციებელს. სითბური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია ($\eta < 1$). სითბური მანქანის ენერგეტიკული სქემა მოცემულია ნახ.2-ზე.



ნახ. 2.

სითბური მანქანის ენერგეტიკული სქემა: 1 - გამახურებელი; 2 - გამაციებელი; 3 - მუშა სხეული ციკლურ პოცესში. $Q_1 > 0, A > 0, Q_2 < 0; T_1 > T_2$

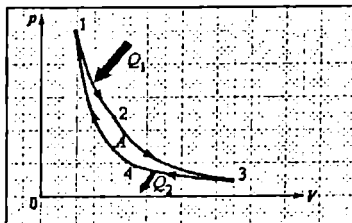
ტექნიკაში გამოყენებულ ძრავებში სხვადასხვა ციკლური პროცესები გამოიყენება. ნახ.3-ზე მოცემულია ბენზინის კარბურატორსა და დიზელის ძრავებში გამოყენებული ციკლები. ორივე შემთხვევაში მუშა სხეულს ორთქლის ნაზავი – ბენზინის ან დიზელი ჰაერთან – გამოიყენება. შინაგანი წვის კარბურატორული ძრავის ციკლი შედგება ორი იზოქორისა (1–2, 3–4) და ორი ადიაბატისაგან (2–3, 4–1). შინაგანი წვის დიზელის ძრავა მუშაობს ციკლით, რომელიც ორი ადიაბატისა (1–2, 3–4), ერთი იზობარისა (2–3) და ერთი იზოქორისაგან (4–1) შედგება. მარგი ქმედების რეალური კოეფიციენტი კარბურატორული ძრავისათვის 30 %-ის რიგისაა, დიზელის ძრავისათვის კი – 40 % რიგის.



ნახ 3.

შინაგანი წვის კარბურატორული ძრავის ციკლი (1) და დიზელის ძრავის ციკლი (2)

1824 წელს ფარაგმა ინჟინერმა ს.კარნომ ორი იზოთერმისა და ორი ადიაბატისაგან შედგენილი ციკლური პროცესი განიხილა, რამაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა სითბური პროცესების შესწავლის განვითარებაში. იგი კარნოს ციკლის სახელწოდებითაა ცნობილი (ნახ. 4).



ნახ 4.

კარნოს ციკლი

კარნოს ციკლს ასრულებს დგუშიან ცილინდრში მოთავსებულ აირი. (1-2) იზოთერმულ უბანზე აირი შედის T_1 ტემპერატურის მქონე ცხელ სითბურ რეზერვუართან კონტაქტში (გამაცხელებელთან). აირი იზოთერმულად ფართოვდება და ასრულებს A_{12} მუშაობას, ამასთან აირს გადაეცემა სითბოს გარკვეული რაოდენობა $Q_1 = A_{12}$. შემდეგ ადიაბატურ უბანზე (2-3) აირი ექცევა ადიაბატურ გარსში და აგრძელებს გაფართოებას თბოგაცვლის გარეშე. ამ უბანზე აირი ასრულებს $A_{23} > 0$ მუშაობას. ადიაბატური პროცესისას აირის ტემპერატურა ეცემა T_2 მნიშვნელობამდე. შემდეგ იზოთერმულ უბანზე (3-4) აირი შედის სითბურ კონტაქტში ცივ სითბურ რეზერვუართან (გამაცივებელთან) $T_2 < T_1$. სრულდება იზოთერმული შეკუმშვის პროცესი. აირი ასრულებს $A_{34} < 0$ მუშაობას და გასცემს სითბოს $Q_2 < 0$, რომელიც შესრულებული A_{34} მუშაობის ტოლია. აირის შინაგანი ენერგია იცვლება. ბოლოს ადიაბატური შეკუმშვის ბოლო მონაკვეთზე აირი ისევ ადიაბატურ გარსში ექცევა. შეკუმშვისას აირის ტემპერატურა მატულობს T_1 მნიშვნელობამდე და აირი ასრულებს $A_{41} < 0$ მუშაობას. ციკლის განმავლობაში აირის მიერ შესრულებული სრული A მუშაობა ტოლია ცალკეულ მონაკვეთებზე შესრულებული მუშაობების ჯამისა:

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

(p, V) დიაგრამაზე ეს მუშაობა ციკლის ფართობის ტოლია.

პროცესები კარნოს ციკლის ყველა უბანზე კვაზისტატისტიკურად ითვლება. კერძოდ, ორივე იზოთერმულ უბანზე პროცესი მიმდინარეობს მუშა სხეულსა (აირი) და სითბურ რეზერვუარს (გამაცხელებელი ან გამაცივებელი) შორის უსასრულოდ მცირე ტემპერატურული სხვაობით.

თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან გამომდინარე, ადიაბატური გაფართოებისას (ან შეკუმშვისას) აირის მუშაობა მისი შინაგანი ენერგიის ΔU დანაკარგის ტოლია. ერთი მოლი აირისათვის:

$$A = -\Delta U = -C_V(T_2 - T_1),$$

სადაც T_1 და T_2 – აირის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია.

აქედან გამომდინარეობს, რომ კარნოს ციკლის ორ ადიაბატურ უბანზე მუშაობა მოდულით ტოლი და სხვადასხვა ნიშნისაა.

$$A_{23} = -A_{41}$$

განმარტების მიხედვით, კარნოს ციკლისას მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{A_{12} + A_{34}}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

კარნომ ციკლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი გამოსახა გაცხელების T_1 და გაციების T_2 ტემპერატურების საშუალებით:

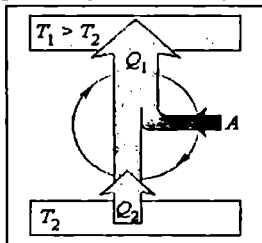
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

კარნოს ციკლი იმითაა მნიშვნელოვანი, რომ მის არც ერთ მონაკვეთზე არ გვაქვს სხვადასხვა ტემპერატურის სხეულების ურთიერთშეხება. ციკლის განმავლობაში მუშა სხეულის (აირის) ნებისმიერი მდგომარეობა კვაზიწონასწორულია, ე.ი. გარემომცველ სხეულებთან (სითბურ რაზერვუარებთან და თერმოსტატებთან) სითბურ წონასწორობაში ყოფნასთან უსასრულოდ ახლოს. კარნოს ციკლი გამორიცხავს, რომ ციკლის განმავლობაში მუშა სხეულსა და გარემომცველ სხეულებს (თერმოსტატებს) შორის სასრულ ტემპერატურათა სხვაობის პირობებში სითბო გადაეცემოდეს მუშაობის შესრულების გარეშე. ამიტომ კარნოს ციკლი – ყველაზე ეფექტური წრიული პროცესია განსაზღვრული ტემპერატურების მქონე გამაცხელებლისა და გამაციებლისათვის ყველა შესაძლო პროცესებს შორის: $H_{კარნო} = \eta_{max}$.

კარნოს ციკლის ნებისმიერი უბანი და მთელი ციკლი შეიძლება გავლილი იქნეს ორივე მიმართულებით. ციკლის შემოვლა საათის მიმართულებით შეესაბამება სითბურ ძრავას, როცა მუშა სხეულის მიერ მიღებული სითბო ნაწილობრივ სასარგებლო მუშაობად გარდაიქმნება. საათის საწინააღმდეგოდ შემოვლა შეესაბამება გამაციებელ მანქანებს, როცა გარე მუშაობის ხარჯზე სითბოს გარკვეული რაოდენობა ცივი რეზერვუარიდან გადაეცემა ცხელ

რეზერვუარს. ამიტომ კარნოს ციკლით მომუშავე იდეალურ მოწყობილობებს შეეცევად სითბურ მანქანებს უწოდებენ.

რეალურ გამაციებელ მანქანებში სხვადასხვაგვარი ციკლური პროცესები გამოიყენება, ყველა გამაციებელი ციკლი (p, V) დიაგრამაზე საათის ისრის საწინააღმდეგოდ შემოივლის. გამაციებელი მანქანების ენერგეტიკული სქემა ნახ. 5-ზეა მოცემული.



ნახ 5.

გამაციებელი მანქანების ენერგეტიკული სქემა $Q_1 < 0, A < 0, Q_2 > 0, T_1 > T_2$

გამაციებელი ციკლით მომუშავე მოწყობილობას შეიძლება ჰქონდეს ორგვარი დანიშნულება. თუ სასარგებლო ეფექტს წარმოადგენს სითბოს გარკვეული რაოდენობის $|Q_2|$ წაღება გასაციებელი სხეულიდან (მაგალითად, მაცივრის კამერაში პროდუქტებიდან), მაშინ ასეთი მოწყობილობა ჩვეულებრივი მაცივარია. მაცივრის მუშაობის ეფექტურობა შეიძლება დახასიათდეს ფარდობით $\beta_x = \frac{|Q_2|}{|A|}$, ე.ი. მაცივრის მუშაობის ეფექტურობა სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც ერთი ჯოული დახარჯული მუშაობის შედეგად გაიცემა გასაციებელი სხეულის მიერ. ასეთი განმარტების შემთხვევაში β_x შეიძლება იყოს ერთზე მეტიც და ნაკლებიც. კარნოს ციკლის შექცეული პროცესის დროს $\beta_x = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$.

თუ სასარგებლო ეფექტს წარმოადგენს სითბოს გარკვეული $|Q_1|$ რაოდენობის გადაცემა გასაცხელებელი სხეულისთვის (მაგალითად, შენობაში ჰაერისთვის), მაშინ ასეთ მოწყობილობას სითბურ ტუმბოს უწოდებენ. სითბური ტუმბოს ეფექტურობა განისა-

ზღვრება ფარდობით: $\beta_T = \frac{|Q_1|}{|A|}$, ე.ი. სითბოს რაოდენობა, რომელიც უფრო თბილ სხეულს გადაეცემა ერთი ჯოული მუშაობის დახარჯვის შედეგად. თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან გამოდის: $|Q_1| > |A|$,

ე.ი. β_T ყოველთვის მეტია ერთზე. კარნოს შექცეული ციკლისათვის:

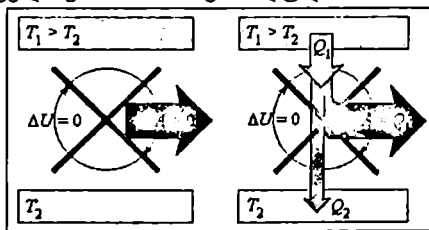
$$\beta_T = \frac{1}{\eta} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

§ 3.9. სითბური პროცესების შეუქცევადობა.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი. ენტროპიის ცნება

თერმოდინამიკის პირველი კანონი – სითბური პროცესებისათვის ენერგიის შენახვის კანონი – ადგენს კავშირს სისტემის მიერ მიღებულ Q სითბოს რაოდენობას, მისი შინაგანი ენერჯის ΔU ცვლილებასა და გარე სხეულებზე შესრულებულ მუშაობას A შორის: $Q = \Delta U + A$.

ამ კანონის თანახმად, ენერჯია არც შეიძლება წარმოიქმნეს და არც განადგურდეს. იგი ერთი სისტემიდან გადაეცემა მეორეს და ერთი ფორმის ენერჯიიდან გარდაიქმნება მეორეში. პროცესები, რომლებიც თერმოდინამიკის პირველ კანონს დაარღვევენ არასოდეს დაკვირვებულა. ნახ.1-ზე გამოსახულია, მოწყობილობა რომელიც პირველი კანონითაა აკრძალული.



ნახ. 1.

პირველი კანონით აკრძალული ციკლურად მოზღვავე სითბური მანქანება

თერმოდინამიკის პირველი კანონი ადგენს სითბური პროცესების მიმართულებას. როგორც გამოცდილება უჩვენებს, მრავალი სითბური პროცესი შეიძლება მიმდინარეობდეს ერთი მიმართულებით. ასეთ პროცესებს შეუქცევადს უწოდებენ. მაგალითად, ორი სხეულის სითბური კონტაქტისას სითბური ნაკადი ყოველთვის მიმართულია უფრო ცხელიდან ცივისაკენ. არასოდეს დაიკვირვება სითბოს თვითნებური გადაცემა უფრო დაბალი ტემპერატურის სხეულიდან უფრო მაღალი ტემპერატურისაზე. ე.ი. თბოგაცვლის პროცესი სასრული ტემპერატურული სხვაობისას შეუქცევადი პროცესია.

შექცევადი ეწოდება ერთი წონასწორული მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის პროცესს, რომელიც შესაძლებელია საწინააღმდეგო მიმართულებითაც განხორციელდეს შუალედური წონასწორული მდგომარეობების იგივე მიმდევრობით. ამასთან სისტემა და გარემომცველი სხეულები ბრუნდებიან საწყის მდგომარეობაში.

პროცესებს, რომლის მიმდინარეობის განმავლობაში სისტემა ყოველთვის წონასწორულ მდგომარეობაში რჩება, კვაზისტატიკურს უწოდებენ. ყველა კვაზისტატიკური პროცესი შექცევადია.

თუ სითბური მანქანის მუშა სხეული ისეთ სითბურ რეზერვუართან კონტაქტში იმყოფება, რომლის ტემპერატურაც თბოგაცვლის პროცესში უცვლელი რჩება, ერთადერთ შექცევად პროცესს იზოთერმული კვაზისტატიკური პროცესი წარმოადგენს, რომელიც მუშა სხეულსა და რეზერვუარს შორის უსასრულოდ მცირე ტემპერატურული სხვაობის პირობებში მიმდინარეობს. ორი განსხვავებული ტემპერატურის მქონე რეზერვუარის არსებობის შემთხვევაში პროცესი შეიძლება წარიმართოს შებრუნებულად ორ იზოლირებულ უბანზე. რადგანაც ადიაბატური პროცესიც შეიძლება მიდიოდეს ორივე მიმართულებით (ადიაბატური შეკუმშვა და ადიაბატური გაფართოება), ამიტომ ორი იზოთერმისა და ორი

ადიზატიკისგან შემდგარი წრიული პროცესი (კარნოს ციკლი) წარმოადგენს ერთადერთ შექცევად წრიულ პროცესს, რომლის დროსაც მუშა სხეული კონტაქტშია მხოლოდ ორ სითბურ რეზერვუართან. ყველა სხვა ციკლური პროცესი, რომელიც ორი სითბური რეზერვუარის პირობებში მიმდინარეობს, შეუქცევადია.

მექანიკური მუშაობის სხეულის შინაგან ენერჯიად გარდაქმნის პროცესები შეუქცევადია ხახუნის, აირებსა და სითხეებში დიფუზიური პროცესების წნევითა სხვაობით გამოწვეული აირის შერევის (გადაადგილების) და სხვა პროცესების არსებობის გამო. ყველა რეალური პროცესი შეუქცევადია, მაგრამ ისინი შეიძლება საკმაოდ უახლოვდებოდეს შექცევად პროცესებს. შეუქცევადი პროცესები რეალური პროცესების იდეალიზაციას წარმოადგენს.

თერმოდინამიკის პირველ კანონს არ შეუძლია განასხვავოს შექცევადი პროცესი შეუქცევადიდან. ის თერმოდინამიკური პროცესისაგან უბრალოდ ენერგეტიკულ ბალანსს მოითხოვს და არაფერს ამბობს იმის შესახებ, შესაძლებელია თუ არა ასეთი პროცესი. თავისთავად მიმდინარე პროცესის მიმართულებას ადგენს თერმოდინამიკის მეორე კანონი. ის შეიძლება ჩამოყალიბდეს გარკვეული სახის თერმოდინამიკური პროცესების აკრძალვის ფორმით.

ინგლისელმა ფიზიკოსმა კელვინმა 1851 წ. თერმოდინამიკის მეორე კანონი შემდეგი სახით ჩამოაყალიბა:

ციკლურად მომქმედ სითბურ მანქანაში შეუძლებელია პროცესი, რომლის ერთადერთი შედეგი იქნებოდა ერთადერთი სითბური რეზერვუარიდან მიღებული მთელი სითბოს რაოდენობის მექანიკურ მუშაობად გარდაქმნა.

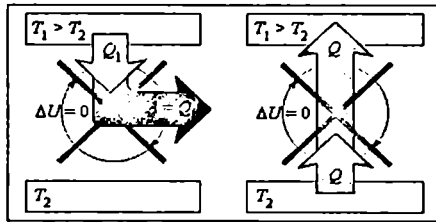
ჰიპოტეტურ სითბურ მანქანას, რომელშიც შეიძლება მიმდინარეობდეს ასეთი პროცესი, მეორე სახის მუდმივ ძარავას უწოდებენ. დედამიწის პირობებში ასეთ მანქანას შეეძლო სითბური ენერჯია აეღო, მაგალითად, მსოფლიო ოკეანიდან და მთლიანად გარდაექმნა მუშაობად. მსოფლიო ოკეანეში წყლის მასა დაახლოებით

10^{21} კგ-ს წარმოადგენს და მისი ერთი გრადუსით გაციებისას გამოიყოფოდა უზარმაზარი ენერგია ($\approx 10^{24}$ ჯ), რაც 10^{17} კგ ნახშირის სრული დაწვის ექვივალენტურია. დედამიწაზე ყოველწლიურად გამომუშავებული ენერგია დაახლოებით 10^4 -ჯერ ნაკლებია. ამიტომ მეორე სახის მუდმივი ძრავა ადამიანისათვის არანაკლებ მიმზიდველი იქნებოდა პირველი სახის მუდმივ ძრავაზე, რომელიც თერმოდინამიკის პირველი კანონითაა აკრძალული.

გერმანელმა ფიზიკოსმა კლაუზიუსმა თერმოდინამიკის მეორე კანონს სხვა ფორმულირება მისცა:

შეუძლებელია პროცესი, რომლის ერთადერთი შედეგი შეიძლება იყოს ენერგიის გადაცემა დაბალი ტემპერატურის სხეულსა და უფრო მაღალი ტემპერატურის სხეულს შორის თბოგაცვლის შედეგად.

ნახ.2-ზე გამოსახულია თერმოდინამიკის მეორე კანონით აკრძალული პროცესები. ეს პროცესები თერმოდინამიკის მეორე კანონის ორ სხვადასხვა ფორმულირებას შეესაბამება.



ნახ.2.

პროცესები, რომლებიც არ ეწინააღმდეგებიან თერმოდინამიკის პირველ კანონს, მაგრამ აკრძალილია მეორე კანონით: 1 - მეორე სახის მუდმივი ძრავა; 2 - იდეალური გამაციებელი

უნდა აღინიშნოს, რომ თერმოდინამიკის მეორე კანონის ორივე განმარტება ექვივალენტურია. თუ დაუშვებთ, მაგალითად, რომ სითბო თბოგაცვლისას თავისთავად (ე.ი. დამატებითი მუშაობის დახარჯვის გარეშე) გადადის ცივი სხეულიდან ცხელზე, შეიძლება მივიდეთ დასკვნამდე, რომ მეორე სახის მუდმივი ძრავის შექმნა შესაძლებელია. სინამდვილეში ვთქვათ, რეალური სითბური მან-

ქანა გამათბობელიდან ღებულობს Q_1 სითბოს რაოდენობას და გამაციებელს გადასცემს Q_2 სითბოს რაოდენობას. ამ დროს სრულდება მუშაობა $A = Q_1 - |Q_2|$. $|Q_2|$ სითბოს რაოდენობა თავისით რომ გადადიოდა გამაციებლიდან გამაცხელებელზე, მაშინ რეალური სითბური მანქანის და იდეალური გამაციებელი მანქანის საბოლოო შედეგი იქნებოდა მუშაობად გარდაქმნა $Q_1 - |Q_2|$ სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც მიიღება გამაცხელებლიდან გამაციებელში რაიმე ცვლილების გარეშე.

ამგვარად, რეალური სითბური მანქანის და იდეალური გამაციებელი მანქანის კომბინაცია მეორე ტიპის მუდმივი ძრავის ექვივალენტურია. ზუსტად ასევე შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ რეალური გამაციებელი მანქანისა და მეორე ტიპის მუდმივი ძრავის კომბინაცია იდეალური გამაციებელი მანქანის ექვივალენტურია.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი პირდაპირ კავშირშია რეალური სითბური პროცესების შეუქცევადობასთან. მოლეკულების სითბური მოძრაობის ენერგია ხარისხობრივად განსხვავდება ენერგიის ყველა სხვა სახეობიდან – მექანიკური, ელექტრული, ქიმიური და ა.შ. მოლეკულების სითბური მოძრაობის ენერგიის გარდა ნებისმიერი სახის ენერგიას შეუძლია სრულად გადაიქცეს ენერგიის ნებისმიერ სხვა სახედ, მათ შორის სითბური მოძრაობის ენერგიად. უკანასკნელს კი შეუძლია ნებისმიერ სხვა ენერგიად გარდაქმნა მხოლოდ ნაწილობრივ. ამიტომ ნებისმიერი ფიზიკური პროცესი, რომელშიც რომელიმე სახის ენერგიის გარდაქმნა ხდება მოლეკულების მოძრაობის სითბურ ენერგიად, შეუქცევად პროცესს წარმოადგენს, ე.ი. ის სრულად ვერ განხორციელდება საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ყველა შეუქცევადი პროცესის საერთო თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ ისინი თერმოდინამიკურად გაუწონასწორებულ სისტემაში მიმდინარეობს და ამ პროცესების შედეგად ჩაკეტილი სისტემა უახლოვდება თერმოდინამიკური წონასწორობის მდგომარეობას.

თერმოდინამიკის მეორე კანონის ნებისმიერი განმარტების საფუძველზე შეიძლება დამტკიცდეს შემდეგი მტკიცებულება, რომელიც კარნოს თეორემის სახელწოდებითაა ცნობილი:

1. გამაცხელებლისა და გამაციებლის მოცემულ ტემპერატურაზე მომუშავე სითბური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ შეიძლება იყოს მეტი, ვიდრე გამაცხელებლისა და გამაციებლის იგივე ტემპერატურებზე შექცევადი კარნოს ციკლით მომუშავე სითბური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

2. კარნოს ციკლით მომუშავე სითბური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული მუშა სხეულის გვარობაზე და დამოკიდებულია მხოლოდ გამაცხელებლისა და გამაციებლის ტემპერატურებზე.

ამგვარად, კარნოს ციკლით მომუშავე სითბური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი მაქსიმალურია:

$$\mu = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq \mu_{max} = \mu_{karno} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

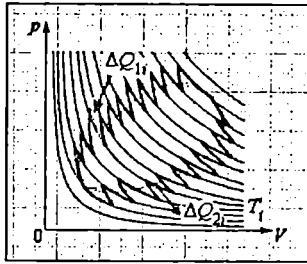
ამ თანაფარდობაში ტოლობის ნიშანი შექცევად ციკლს შეესაბამება. კარნოს ციკლით მომუშავე მანქანისათვის ეს თანაფარდობა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{|Q_2|}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ ან } \frac{|Q_2|}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}.$$

რომელი მიმართულებითაც არ უნდა ხდებოდეს კარნოს ციკლის შემოვლა (სათის ისრის მიმართულებით თუ საწინააღმდეგოდ) Q_1 და Q_2 სიდიდეებს ყოველთვის განსხვავებული ნიშნები აქვთ.

ამიტომ შეიძლება ჩავწეროთ: $\frac{|Q_2|}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0$.

ამ თანაფარდობის განზოგადება შესაძლებელია ნებისმიერ ჩაკეტილ შექცევად პროცესზე, რომლის წარმოდგენაც შესაძლებელია მცირე იზოთერმული და ადიაბატური მონაკვეთების სახით (ნახ.3).



ნახ. 3.

თავისთავადი შექცევადი ციკლი, როგორც მცირე იზოთერმული და ადიაბატური მონაკვეთების მიმდევრობა

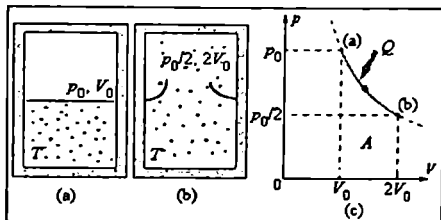
შექცევადი ციკლის სრული შემოვლისას $\sum \frac{\Delta Q_i}{T_i} = 0$ (შექცევადი ციკლი), სადაც $\Delta Q_i = \Delta Q_{1i} + \Delta Q_{2i}$ T_i ტემპერატურის პირობებში ორ იზოთერმულ უბანზე მუშა სხეულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობაა. იმისათვის რომ, ასეთი რთული ციკლი შეზღუდულად ჩავატაროთ, აუცილებელია მუშა სხეულის კონტაქტში მოყვანა T_i ტემპერატურის მქონე მრავალ რეზერვუართან. $\Delta Q_i / T_i$ თანაფარდობას დაყვანილ სითბოს უწოდებენ. მიღებული ფორმულა უჩვენებს, რომ სრული დაყვანილი სითბო ნებისმიერ შექცევად ციკლზე ნულის ტოლია. ეს ფორმულა ახალი ფიზიკური სიდიდის შემოტანის საშუალებას იძლევა. ამ სიდიდეს ენტროპიას უწოდებენ და S -ით აღნიშნავენ (რ.კლაუზიუსი 1865 წ.). თუ თერმოდინამიკური სისტემა ერთი წონასწორული მდგომარეობიდან მეორეში გადადის, მაშინ მისი ენტროპია იცვლება. ორ მდგომარეობაში ენტროპიის მნიშვნელობათა სხვაობა იმ დაყვანული სითბოს ტოლია, რომელსაც სისტემა იღებს შექცევადი გადასვლისას ერთი მდგომარეობიდან მეორეში: $\Delta S = S_2 - S_1 = \sum_1^2 \frac{\Delta Q_i}{T}$.

შექცევადი ადიაბატური პროცესის დროს $\Delta Q_i = 0$ და ე.ი. ენტროპია S უცვლელი რჩება.

არაიზოლირებული სისტემის ერთი წონასწორული მდგომარეობიდან (1) მეორე წონასწორულ (2) მდგომარეობაში გადასვლისას ენტროპიის გამოსახულება შეიძლება ასე ჩაიწეროს $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$.

ენტროპია განისაზღვრება უკანასკნელი შესაკრების სიზუსტით, ისევე როგორც მაგალითად, პოტენციური ენერგია ძალის მოქმედების ველში. ფიზიკური არსი სისტემის ორ მდგომარეობას შორის ენტროპიათა ΔS სხვაობას აქვს. იმისათვის, რომ განისაზღვროს სისტემის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში შეუქცევადი გადასვლისას ენტროპიის ცვლილება, უნდა იქნეს მოფიქრებული რაღაც შექცევადი პროცესი, რომელიც აკავშირებს საწყის და საბოლოო მდგომარეობებს და ასეთი გადასვლის პირობებში განისაზღვროს სისტემის მიერ მიღებული დაყვანილი სითბო.

ნახ.4 გვიჩვენებს აირის „სიცარიელეში“ შეუქცევადი გაფართოების პროცესს, რომელიც თბოგაცვლის გარეშე მიმდინარეობს. ამ პროცესში აირის მხოლოდ საწყისი და საბოლოო მდგომარეობებია წონასწორული და მათი გამოსახვა შესაძლებელია (p, V) დიაგრამაზე. ამ მდგომარეობების შესაბამისი (a) და (b) წერტილები ერთ იზოთერმაზე მდებარეობენ. ენტროპიის ΔS ცვლილების გამოთვლისათვის შეიძლება განვიხილოთ შექცევადი იზოთერმული გადასვლა (a) -დან (b) -ში. რადგანაც, იზოთერმული გაფართოებისას აირი იღებს გარკვეულ სითბოს რაოდენობას გარემომცველი სხეულებიდან $Q > 0$, შეიძლება დავასკვნათ, რომ აირის შეუქცევადი გაფართოებისას ენტროპია გაიზარდა: $\Delta S > 0$.



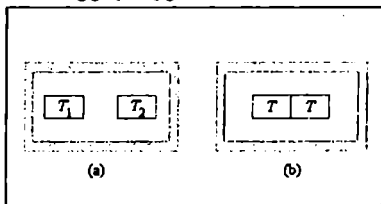
ნახ. 4.

აირის გაფართოება „სივარდიელში“. ენთროპიის ცვლილება $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{A}{T} > 0$,

სადაც $A = Q$ - აირის მუშაობა შეცვლადი იზოთერმული გაფართოების დროს

შეუქცევადი პროცესის მეორე მაგალითია - თბოგაცვალა ტემპერატურების სასრული სხვაობის შემთხვევაში. ნახ.5-ზე ადიაბატურ გარსში მოქცეული ორი სხეულია გამოსახული. სხეულების საწყისი ტემპერატურები T_1 და $T_2 < T_1$. თბოგაცვლისას სხეულების ტემპერატურები თანდათან თანაბრდება. უფრო თბილი სხეული გასცემს სითბოს გარკვეულ რაოდენობას, ცივი კიღებულობს.

ცივი სხეულის მიერ მიღებული სითბო მოდულით ჭარბობს თბილი სხეულის მიერ გაცემულ სითბოს. აქედან გამომდინარეობს, რომ შეუქცევადი თბოგაცვლის პროცესის დროს ჩაკეტილ სისტემაში ენთროპიის ცვლილება $\Delta S > 0$.



ნახ. 5.

თბოგაცვალა ტემპერატურის სასრული სხვაობისას: a - სისტემის საწყისი მდგომარეობა; b - სისტემის საბოლოო მდგომარეობა. ენთროპიის ცვლილება $\Delta S > 0$

ენთროპიის ზრდა იზოლირებულ თერმოდინამიკურ სისტემებში ყველა თვითნებურად მიმდინარე შეუქცევადი პროცესის

საერთო მახასიათებელია. იზოლირებულ თერმოდინამიკურ სისტემებში შექცევად პროცესებში ენტროპია არ იცვლება: $\Delta S \geq 0$.

ამ თანაფარდონას ენტროპიის ზრდის კანონს უწოდებენ.

თერმოდინამიკურად იზოლირებულ სისტემებში მიმდინარე ნებისმიერი პროცესისას ენტროპია ან უცვლელი რჩება ან იზრდება.

ამგვარად, ენტროპია თვითნებურად მიმდინარე პროცესების მიმართულებაზე მიუთითებს. ენტროპიის ზრდა მიუთითებს სისტემის თერმოდინამიკურ წონასწორობასთან მიახლოებაზე. წონასწორობის მდგომარეობაში ენტროპია მაქსიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს. ენტროპიის ზრდის კანონი შეიძლება თერმოდინამიკის მეორე კანონის კიდევ ერთ ფორმულირებად ჩაითვალოს.

1878 წ. ბოლცმანმა ენტროპიის ცნების ალბათური განმარტება გააკეთა. მან შესთავაზა ენტროპია განეხილათ როგორც ჩაკეტილ თერმოდინამიკური სისტემაში სტატისტიკური ქაოსის საზომი. ჩაკეტილ სისტემაში ყველა თვითნებურად მიმდინარე პროცესი, რომელიც სისტემას წონასწორობის მდგომარეობასთან აახლოებს და თან ახლავს ენტროპიის ზრდას, მიმართული არის მდგომარეობის ალბათობის ზრდისაკენ.

ნაწილაკების დიდი რიცხვის შემცველი მაკროსკოპული სისტემის ნებისმიერი მდგომარეობა შეიძლება მრავალი ხერხით განორციელდეს. სისტემის მდგომარეობის თერმოდინამიკური ალბათობა არის იმ ხერხების რიცხვი, რომლითაც შეიძლება გახორციელდეს მაკროსკოპული სისტემის მოცემული მდგომარეობა, ან იმ მიკრომდგომარეობების რიცხვი, რომელიც ახორციელებს მოცემულ მაკრომდგომარეობას. განმარტების მიხედვით თერმოდინამიკური ალბათობა $W \gg 1$.

მაგალითად, თუ ჭურჭელში 1 მოლი აირია, შესაძლებელია მოლეკულების ჭურჭლის ორ ნახევარში განთავსების ხერხების ძალიან დიდი რიცხვი N : $N=2N_A$, სადაც N_A - ავოგადროს რიცხვია.

ყოველი მათგანი მიკრომდგომარეობას წარმოადგენს. მხოლოდ ერთი მიკრომდგომარეობა შეესაბამება იმ შემთხვევას, როცა მოლეკულები თავს მოიყრიან ჭურჭლის ერთ (მაგალითად, მარჯვენა) ნახევარში. ასეთი შემთხვევის ალბათობა პრაქტიკულად ნულის ტოლია. მიკრომდგომარეობის ყველაზე დიდი რიცხვი შეესაბამება წონასწორულ მდგომარეობას, როცა მოლეკულები თანაბრადაა განაწილებული ჭურჭლის მთელ მოცულობაში. ამიტომ წონასწორული მდგომარეობა ყველაზე ალბათურია. მეორე მხრივ წონასწორული მდგომარეობა თერმოდინამიკურ სისტემაში ყველაზე მაქსიმალური ქაოსის მდგომარეობას და მაქსიმალურ-ენტროპიას წარმოადგენს.

ბოლცმანის თანახმად, სისტემის ენტროპია N და თერმოდინამიკური ალბათობა W ერთმანეთთან შემდეგნაირადაა დაკავშირებული: $S = k \ln W$, სადაც $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ ჯ/კ – ბოლცმანის მუდმივაა. ამგვარად, ენტროპია განისაზღვრება იმ მიკრო მდგომარეობების რიცხვის ლოგარითმით, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება განხორციელდეს მაკრომდგომარეობა. ე.ი. ენტროპია შეიძლება განხილულ იქნეს თერმოდინამიკური სისტემების მდგომარეობების ალბათობათა ზომად (საზომი).

თერმოდინამიკის მეორე კანონის ალბათური ინტერპრეტაცია შესაძლებელს ხდის სისტემის სპონტანურ (თავისთავად) გადახრას თერმოდინამიკური წონასწორობიდან. ასეთ გადახრებს ფლუქტუაციებს უწოდებენ. ნაწილაკების დიდი რიცხვის შემცველ სისტემებში წონასწორობის მდგომარეობიდან მიშვნილოვანი გადახრა ნაკლებად ალბათურია.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. ჩამოაყალიბეთ ნიუტონის მოძრაობის კანონები.
2. ჩამოთვალეთ შენახვის ძირითადი კანონები.
3. დაასახელეთ შენახვის კანონების სამართლიანობის საერთო პირობები.
4. ახსენით სიმეტრიის პრინციპის არსი და ამ პრინციპის კავშირი შენახვის კანონებთან.
5. ჩამოაყალიბეთ დამატებითობის და ჰაიზენბერგის განუსაზღვრელობის პრინციპები.
6. ჩამოაყალიბეთ აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალური თეორიის პოსტულატები.
7. დაასახელეთ და ახსენით რელატივისტური ეფექტები.
8. რატომ არის შეუძლებელი პირველი რიგის მუდმივი ძრავა?
9. ჩამოაყალიბეთ თერმოდინამიკის პირველი კანონი.
10. ახსენით თერმოდინამიკური და კარნოს ციკლების არსი.
11. ახსენით ენტროპიის ცნება, როგორც სისტემის მდგომარეობის ფუნქცია.
12. ჩამოაყალიბეთ თერმოდინამიკის მეორე კანონი.

თავი IV. საბუნებისმეტყველო ცოდნა ნივთიერებაზე

§ 4.1. ქიმია, როგორც მეცნიერება. მოკლე ისტორიული ცნობა. თანამედროვე ქიმიის პრობლემები და პერსპექტივები

ქიმია არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ნივთიერების შემადგენლობასა და აღნაგობას, ნივთიერების თვისებებს და გარდაქმნებს, ამ გარდაქმნათა ხელშემწყობ ან თავიდან აცილებისათვის აუცილებელ პირობებს. ქიმიკოსები სწავლობენ ქიმიურ ელემენტებს. ქიმიას გააჩნია ორი ძირითადი დარგი – ორგანული ქიმია და არაორგანული ქიმია. ორგანული ნივთიერებების ძირითადი ელემენტია ნახშირბადი.

ფიზიკა სწავლობს, ერთის მხრივ, ატომის აგებულებას და ელემენტარული ნაწილაკების სამყაროს (მიკროსამყაროს ატომური და ნუკლონური დონე) და მეორეს მხრივ, სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფი ნივთიერებების ფიზიკური თვისებების გამოვლინებას (კლასიკური მექანიკა და ელექტროდინამიკა, თერმოფიზიკა, როგორც მაკროსამყაროს მოვლენათა შემსწავლელი). ქიმია კი განიხილავს ატომებისაგან მოლეკულების აწყობას, რომელსაც ტრადიციულად „ქიმიური რეაქციები“ ეწოდება, აგრეთვე ნივთიერებათა ქიმიური თვისებების გამოვლინებას, ანუ ნივთიერებათა უნარს შევიდეს განსაზღვრული სახის ქიმიურ რეაქციაში. ამრიგად, ნივთიერების სტრუქტურული დონე, რომელსაც სწავლობს ქიმია, მოთავსებულია ნივთიერების სტრუქტურის ორ „ფიზიკურ“ დონეს შორის, ხოლო „ქიმიური“ მოვლენები მიმდინარეობს მიკროსამყაროსა და მაკროსამყაროს საზღვარზე.

ქიმია არის სრულფასოვანი წარმომადგენელი ზუსტი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების ოჯახისა, ანუ ქიმიური სამეცნიერო ცოდნა ფორმირებულია თეორიების, კანონებისა და კანონზომიერებებისაგან, რომელთა ფორმულირება გამორიცხავს

სხვადასხვა ინტერპრეტაციას და რომლებიც მრავალჯერადად დადასტურებულია და გადამოწმებულია პრაქტიკაში. როგორც ნებისმიერი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებისათვის, ასევე ქიმიისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს შედეგების გადამოწმებას, საიმედოობას, ცოდნის დამტკიცებას, სამეცნიერო თეორიისა და დაკვირვებადი ფაქტების შესაბამისობას.

ქიმია რაციონალური მეცნიერებაა, ჰიპოთეზებსაც კი ქიმიაში წმინდა რაციონალური ხასიათი აქვთ. თანამედროვე ქიმიათა თავიდან აიცილა ის ირაციონალურობის „თავდასხმები“, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ფიზიკაში, ბიოლოგიაში, ასტრონომიაში. განსაკუთრებით კი მაშინ როდესაც განიხილებოდა სამყაროს, ნივთიერების და სიცოცხლის წარმოშობის საკითხები. ტრადიციულად სუსტია კავშირი ქიმიასა და ფილოსოფიას შორის.

მოუხედავად იმისა, რომ თანამედროვე ქიმიას ძალიან ცოტა აქვს საერთო შუა საუკუნეების ალქიმიასთან და ალქიმიური ტექსტები საინტერესოა XXI საუკუნის მეცნიერთათვის ლიტერატურულ-ისტორიული თვალსაზრისით და არავითარ შემთხვევაში მეცნიერულით, თავისი სახელწოდება „ქიმია“ მან მიიღო ალქიმიისაგან. თვითონ სახელწოდება „ალქიმია“ სავარაუდოდ მოდის სიტყვისაგან „ქემა“. ქვეყანა ქემა არის თანამედროვე ეგვიპტის ერთ-ერთი უძველესი სახელწოდება, საიდანაც შუასაუკუნეების ლეგენდის მიხედვით იყვნენ წარმოშობით პირველი ალქიმიკოსები.

ძნელი სათქმელია, თუ როდის წარმოიშვა პირველად სიტყვა „ქიმია“ და რა აზრს იტევდა იგი თავდაპირველად თავის თავში. ამის შესახებ მრავალ ისტორიკოსს აქვს გამოთქმული საკუთარი ჰიპოთეზა, თუმცა დღემდე არ მოხერხდა საერთო აზრამდე მისვლა.

ტერმინები „ქიმია“, „ქიმიკოსი“ ინტენსიურად გამოიყენება სამეცნიერო ლიტერატურაში, მონოგრაფიებსა და სახელმძღვანელოებში XVII საუკუნიდან მოყოლებული. მრავალ ევროპულ ენაზე სიტყვა „ქიმიას“ იდენტური მნიშვნელობა გააჩნია: *chemistry* – ინგლისურად, *chemie* –გერმანულად, *chimie* –ფრანგულად, *chimica* –

იტალიურად, *quimica* – ესპანურად და პორტუგალიურად, *kemi* – შვედურად და დანიურად, და თურქულად – *kimya*. ამ ჩამონათვა- ლში ყურადღება მისაქცევია ფუძეზე „ქემ“ ან „ქიმ“, რომელიც თითოეულ მათგანში ფიგურირებს. შესაძლოა ეს არის ის ადგილი, საიდანაც შეიძლება ტერმინ „ქიმიის“ განსამარტივებელი მოძებნა. ზუსტად მსგავსი გზით მიდიოდნენ ისტორიკოსები, რომლებიც ამ პრობლემაზე იმტვრევდნენ თავს და როგორც ერთ-ერთი მათგანი აღნიშნავდა, სიტყვა „ქიმია“ თანაჟღერადია რამდენიმე ძველ ბერძნული სიტყვისა. მაგალითად, სიტყვა „ქიმოს“-ის, რომელიც „წვენს“ ნიშნავს. ეს სახელწოდება გვხვდება უძველეს ხელნაწერებში, რომელიც მედიცინასა და ფარმაციას ეხება. „ქიმა“ ან „ქიუმა“ ძველ ბერძნულად „დნობას“ ნიშნავს და არ არის აზრს მოკლებული იმის ვარაუდიც, რომ „ქიმია“ თავდაპირველი მნიშვნელობით „ლითონების გამოდნობის ხელოვნებას“ ნიშნავდა. „ქიმეცის“-ი კი „არევას“ ნიშნავს, რაც როგორც ყველას მოეხსენება ერთ-ერთი აუცილებელი პროცესია ქიმიაში, ასე რომ ეს ძველ ბერძნული სიტყვაც შეიძლება მოვიაზროთ ამ ტერმინის პირველწყაროდ.

მრავალი მეცნიერი ცნება „ქიმიის“ სამშობლოდ ძველ ეგვიპტეს ასახელებს. ძველი ეგვიპტელები სიტყვით „ქემა“ მდინარე ნილოსის ნაყოფიერ ნაპირებს მოიხსენიებდნენ (საინტერესოა ის ფაქტიც, რომ ძველ ბერძნულ ენაში სიტყვა „ნიადაგი“ წარმოითქმის როგორც „გუმუს“). ამ მოსაზრებას ემხრობოდა ფრანგი ქიმიკოსი მარსელენ ბერტლო, რომელიც თავის თანამოაზრეებთან ერთად ამტკიცებდა რომ „ქიმია“ იმ ცოდნის ერთობლიობას წარმოადგენს, რომელიც დედამიწის წიაღის შესწავლასთან იყო დაკავშირებული. გამოთქმული იყო ასეთი „ეგზოტიკური“ მოსაზრება, თითქოს „ქიმია“ წარმოსდგება ძველი ჩინური სიტყვისაგან „კიმ“, რაც „ოქროს“ ნიშნავს.

ისტორიული წყაროების თანახმად ტერმინი „ქიმია“ იმ მნიშვნელობით, რომელიც მან დასავლურ ევროპულ ცივილიზაციაში

შეიძინა, პირველად გამოიყენა ზოსიმე პანოპოლიტანელმა ჩვენი წელთაღრიცხვის IV საუკუნის მეორე ნახევარში.

ზოგიერთი ქიმიური პროცესი მაგალითად, მადნისაგან ლითონების მიღება, ტანსაცმლის ღებვა, ტყავის გამოყვანა და სხვა, ადამიანის მიერ კულტურული ცხოვრების გარიჟრაჟზე გამოიყენებოდა. მე-3-4 საუკუნეებში ჩაისახა ალქიმია, რომლის მიზანი იყო სხვადასხვა ლითონების გადაქცევა კეთილშობილ ლითონებად. აღორძინების ეპოქიდან დაწყებული ქიმიურ კვლევებს სულ უფრო და უფრო აქტიურად იყენებდნენ პრაქტიკული მიზნებისათვის (მეტალურგია, მინის წარმოება, კერამიკის და საღებავების დამზადება). მე-17 საუკუნის მე-2 ნახევარში რ. ბოილმა პირველმა შემოიღო „ქიმიური ელემენტის“ ცნების მეცნიერული განმარტება.

§ 4.2. ქიმიური ელემენტი. ატომის აგებულება. პერიოდული სისტემის კანონი

ატომური მოძღვრების თანახმად ქიმიური ელემენტი ბირთვის ტოლი მუხტის მქონე ბირთვების ატომების ერთობლიობაა. ატომის ბირთვის მუხტი განპირობებულია მასში პროტონების რაოდენობით. ამ რაოდენობას ატომურ ნომერს უწოდებენ.

ეს ტერმინი აღნიშნავს აგრეთვე სუფთა ნივთიერებას, რომელიც შედგება ბირთვში ერთი და იმავე რაოდენობის პროტონების მქონე ატომებისაგან. ქიმიური რეაქციების დროს არ ხდება ქიმიური ელემენტების გარდაქმნა. ქიმიური ელემენტების გარდაქმნა შესაძლებელია მხოლოდ ბირთვული რეაქციების გზით. ქიმიური ელემენტის ეს თანამედროვე განსაზღვრება შემოიტანა რობერტ ბოილმა 1661 წელს.

ქიმიური რეაქციების დროს იცვლება ატომების გარე ელექტრონთა შორის კავშირები, ხოლო ბირთვული რეაქციების დროს კი

ხდება ატომის ბირთვის შემადგენელი ნუკლონების გარდაქმნა.

დღეისათვის ცნობილია 117 ელემენტი (1-დან 118-ეს ჩათვლით გარდა 117-ისი), მათგან 94 გვხვდება ბუნებრივი სახით დედამიწაზე.

ჩვეულებრივ, ქიმიურ ელემენტებს განათავსებენ მენდელეევის მიერ აღმოჩენილ მენდელეევის ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილში. ელემენტების ატომების აღნიშვნა ბერძნული და ლათინური სახელწოდების საწყისი ასოებით შემოიღო შვედმა ქიმიკოსმა იენს იაკობ ბერცელიუსმა, მან შექმნა ქიმიური ელემენტების თანამედროვე სიმბოლიკა. მას XIX საუკუნის ქიმიკოსთა უგვირგვინო მეფეს უწოდებენ.

ქიმიურ ელემენტთა სახელებს სხვადასხვა ენაში სხვადასხვა წარმოშობა აქვთ. ძველთაგანვე ცნობილი ელემენტების სახელები ქართულ ენაში (მაგალითად, ვერცხლი, რკინა, ტყვია...), როგორც წესი ენის უძველეს ფენას მიეკუთვნება და მათი ეტიმოლოგიის დადგენა საკმაოდ შრომატევადია. ამ ელემენტების სახელებს მოეპოვებათ კანონზომიერი შესატყვისები სხვა ქართველურ ენებშიც.

ზოგიერთი ელემენტის სახელი, მიუხედავად იმისა, რომ ქართველი ხალხი მათ უხსოვარი დროიდან იყენებს, ზოგიერთი ენათმეცნიერის მოსაზრებით უძველეს ნასესხობას წარმოადგენს, ასეთებია: კალა, სპილენძი, ოქრო... .

ელემენტების ქართული სახელების შემუშავება – დამკვიდრებაში ფასდაუდებელი ღვაწლი მიუძღვით მეოცე საუკუნის დასაწყისის ქართველ მეცნიერებს, რომელთაც შეთხზეს ისეთი ელემენტების სახელები, როგორცაა წყალბადი, ნახშირბადი, ჟანგბადი... .

დანარჩენი ელემენტების სახელები ნასესხებია ლათინურიდან. ლათინური სახელების წარმოშობა მარავალფეროვანია და იგი უკავშირდება:

- მითოლოგიას: ტანტალი, თორიუმი, ნიობიუმი...
- ფერებს: ქრომი, რუბუდიუმი, ქლორი...

- გეოგრაფიას: პოლონიუმი, გერმანიუმი, ფრანციუმი, ევროპიუმი...
- აღმომჩენის ან გამოჩენილი პიროვნების სახელს: კიურიუმი, ფერმიუმი, ბორიუმი...

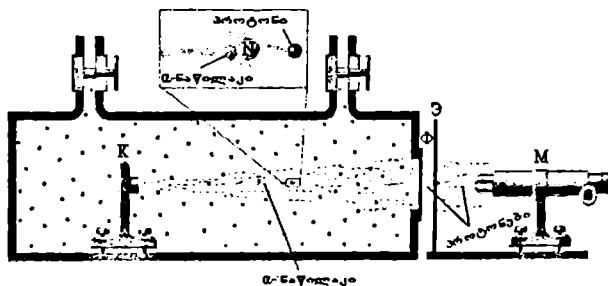
მიღებულია ქიმიური ელემენტების პირობითად აღნიშვნა სიმბოლოებით. ქიმიური სიმბოლო შედგება დიდი სათავო ლათინური ასოსაგან (ეს ასო ელემენტის ლათინური სახელის პირველი ასოა. მაგალითად, *C-Carbon*), რომელსაც შესაძლოა მოსდევდეს ლათინური პატარა ასო (მეორე ასოც ელემენტის ლათინურ სახელს უკავშირდება. მაგალითად, *Na-Natrium, Hg-Hydrargyrum*). ეს სიმბოლოები საერთაშორისოა და მათი გამოყენება აადვილებს სხვადასხვა ენაზე მოსაუბრე ქიმიკოსთა შორის ურთიერთობას, გარდა ამისა სიმბოლოების გამოყენებით ქიმიური ფორმულები უფრო სხარტად იწერება და ადვილდება მათი ვიზუალური აღქმა. როგორც ცნობილია, ატომის ბირთვი შედგება არა მხოლოდ პროტონებისაგან, არამედ ნეიტრონებისაგანაც. არსებობს ისეთი ატომები, რომელთა ბირთვიც პროტონების ტოლ რაოდენობას შეიცავს, მაგრამ არ ემთხვევა ნეიტრონების რაოდენობა. ამ მოვლენას იზოტოპია ეწოდება, ხოლო ატომებს რომლებიც ერთმანეთისაგან ბირთვში ნეიტრონების რაოდენობით განსხვავდებიან, იზოტოპები ეწოდებათ. იზოტოპების მაგალითია პროთიუმი (წყალბადის ბირთვი რომელიც შეიცავს ერთ პროტონს), დეითერიუმი (წყალბადის ბირთვი, რომელიც შეიცავს 1 პროტონსა და ერთ ნეიტრონს) და ტრითიუმი (წყალბადის ბირთვი, რომელიც შეიცავს ერთ პროტონსა და ორ ნეიტრონს).

XX საუკუნის 20-იან წლებისთვის ეჭვი უკვე არავის ეპარებოდა, რომ ატომის ბირთვი, რომელიც რეზერფორდმა 1911 წელს აღმოაჩინა, ისევე როგორც ატომი, რთული სტრუქტურის იყო. ამაზე ამ დროისთვის დაგროვილი მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული ფაქტები მიუთითებდნენ: რადიოაქტივობის აღმოჩენა, ატომის

ბირთვული მოდელის ექსპერიმენტული დასაბუთება, e/m ფარდობის განსაზღვრა ელექტრონისთვის, ატომის ბირთვის α -ნაწილაკებისა და ე.წ. H -ნაწილაკებისათვის ხელოვნური რადიოაქტივობისა და ბირთვული რეაქციის აღმოჩენა, ატომური ბირთვის მუხტის გაზომვები და ა.შ.

დღეისთვის მკაცრადაა დადგენილი, რომ სხვადასხვა ელემენტების ატომის ბირთვები ორი სახის ნაწილაკებისგან – პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან შედგება.

ამ ნაწილაკებიდან პირველი ელექტრონ მოცილებული წყალბადის ატომს – უელექტრონო წყალბადის ატომს წარმოადგენს. ეს ნაწილაკი 1907 წლიდან დაიკვირვება ტომსონის ცდებში, რომელმაც მისი e/m ფარდობის გაზომვა მოახერხა. 1919 წელს რეზერფორდმა წყალბადის ატომის ბირთვი მრავალი ელემენტის ბირთვის გახლეჩის პროდუქტებს შორის აღმოაჩინა. ამ ნაწილაკს რეზერფორდმა პროტონი უწოდა. მან გამოთქვა მოსაზრება, რომ პროტონი ყველა ატომის ბირთვის შემადგენლობაში შედის. რეზერფორდის ცდების სქემა ნახ.1-ზეა მოცემული.



ნახ. 1.

ატომის გახლეჩის პროდუქტებს შორის პროტონის აღმოჩენის რეზერფორდის ელული ცდის სქემა. α -ნაწილაკების რადიოაქტიური წყაროთი, Φ – მეტალის თხელი ფირფიტა, Σ – თუთიის სულფიდით დაფარული ეკრანი, M – მიკროსკოპი

რეზერფორდის ხელსაწყო შედგება ვაკუუმური კამერისგან, რომელშიც α -ნაწილაკების რადიოაქტიური წყაროს შემცველი K ტყვიის კონტეინერია მოთავსებული. კამერის სარკმელი დაფა-

რული იყო Φ მეტალის თხელი ფირფიტით, რომლის სისქეც ისე იყო შერჩეული, რომ α -ნაწილაკებს შიგ ვერ გაევიდოდა. საკმლის უკან მოთავსებულია თუთიის სულფიდით დაფარული Zr ეკრანი. M მიკროსკოპის საშუალებით შესაძლებელი იყო ეკრანზე მძიმე დამუხტული ნაწილაკების დაჯახების წერტილებში სციტილაციის (ე.წ. მცირე ნათებების) დაკვირვება. კამერის დაბალი წნევით აზოტით ავსებისას ეკრანზე ნათებები გამოჩნდება, რაც რაღაც ნაწილაკების ნაკადის გამოჩენაზე მიუთითებს, რომლებსაც შეუძლიათ იმ Φ ფირფიტაში გასვლა, რომელიც თითქმის სრულად აკავებს α -ნაწილაკებს. ეკრანის კამერის საკმლიდან გაწვევის საშუალებით რეზერვუორდმა გაზომა დაკვირვებული ნაწილაკების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე ჰაერში. ის დაახლოებით 28 სმ აღმოჩნდა, რაც ტომსონის მიერ დაკვირვებული H -ნაწილაკების განარბენის შეფასებებს ემთხვევა. აზოტის ატომის ბირთვიდან ამოყრილ ნაწილაკებზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების შესწავლამ უჩვენა, რომ ეს ნაწილაკები დადებითი მუხტით ხასიათდებიან და მათი მასა წყალბადის ატომის ბირთვის მასის ტოლია. შემდგომში ცდა განმეორდა მთელი რიგი სხვა აირადი ნივთიერებებისთვის. ყველა შემთხვევაში აღმოჩნდა, რომ ამ ნივთიერებების ატომების ბირთვიდან α -ნაწილაკები H -ნაწილაკებს ანუ პროტონებს ამოყრიან.

თანამედროვე გაზომვების მიხედვით პროტონის დადებითი მუხტი ზუსტად ელემენტარული მუხტის $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$ კ ტოლია, ე.ი. მოდულით ელექტრონის უარყოფითი მუხტის ტოლია. დღეისათვის პროტონისა და ელექტრონის მუხტების ტოლობა შემოწმებულია 10^{-22} სიზუსტით. ორი ასე განსხვავებული ნაწილაკის მუხტების ასეთი დამთხვევა გაცეხას იწვევს და თანამედროვე ფიზიკის ფუნდამენტურ გამოცანად რჩება.

პროტონის მასა, თანამედროვე გაზომვებით, $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ კგ-ს ტოლია. ბირთვულ ფიზიკაში ნაწილაკების მასები ხშირად იზომება მასის ატომურ ერთეულებში (მ.ა.ე.), რომელიც ნახშირბა-

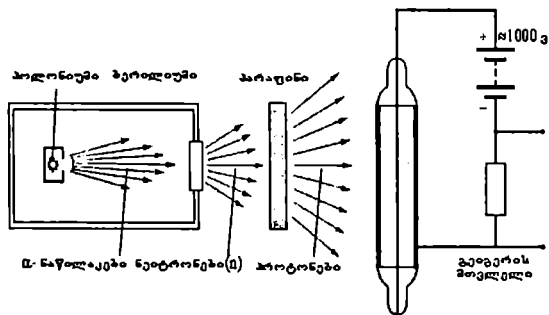
დის (მასური რიცხვი 12) ატომის მასის $1/12$ -ია: $1 \text{ მ.ა.ე.} = 1,66057 \cdot 10^{-27}$ კგ. აქედან გამომდინარე, $m_p = 1,007276 \text{ მ.ა.ე.}$. ბევრ შემთხვევაში ნაწილაკების მასები ხელსაყრელია, $E = mc^2$ ფორმულის შესაბამისად, ენერჯიის ექვივალენტურ მნიშვნელობებში გამოისახოს. რადგანაც $1 \text{ ევ} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ ჯ-ს}$, ენერგეტიკულ ერთეულებში პროტონის მასა $938,272331 \text{ მევ-ს ტოლია}$.

ამგვარად, რეზერვორდის ცდებით აღმოჩენილი იქნა აზოტისა და სხვა ელემენტების ატომის ბირთვების გახლეჩვის მოვლენა სწრაფ α -ნაწილაკებთან დაჯახების შედეგად და ნაჩვენები იქნა, რომ პროტონები ატომების ბირთვების შემადგენლობაში შედის.

პროტონის აღმოჩენის შემდეგ გამოითქვა მოსაზრება, რომ ატომების ბირთვები მხოლოდ პროტონებისგან შედგებოდნენ. მაგრამ ეს ვარაუდი ვერ გამართლდა, რადგან ატომბირთვის მუხტის ფარდობა მის მასასთან არ არის მუდმივი სხვადასხვა ბირთვებისათვის, რასაც იმ შემთხვევაში ექნებოდა ადგილი, რომ ბირთვი მარტო პროტონებისგან შედგებოდა. უფრო მძიმე ბირთვებისათვის ეს ფარდობა ნაკლები გამოდის, ვიდრე მსუბუქებისათვის, ე.ი. მძიმე ბირთვებზე გადასვლისას ბირთვის მასა უფრო სწრაფად იზრდება, ვიდრე მუხტი.

1920 წელს რეზერვორდმა გამოთქვა ჰიპოთეზა ბირთვში ერთმანეთთან მყარად დაკავშირებული პროტონ-ელექტრონის წყვილის არსებობის შესახებ, რომელიც ელექტრულად ნეიტრალურ წარმონაქმნს წარმოადგენს, რომლის მასა დაახლოებით პროტონის მასის ტოლია. მან ამ ჰიპოტეტური ნაწილაკის სახელიც კი მოიფიქრა – ნეიტრონი. ეს ძალიან ლამაზი, მაგრამ როგორც შემდგომში აღმოჩნდა, მცდარი იდეა იყო. ელექტრონს არ შეუძლია შედიოდეს ბირთვის შემადგენლობაში. განუზღვრელობის თანაფარდობაზე დამყარებული კვანტურ-მექანიკური გავლენები უჩვენებენ, რომ ბირთვში ლოკალიზებულ ელექტრონს, ე.ი. არეს ზომებით $R \approx 10^{-13} \text{ სმ}$, უნდა ჰქონდეს კოლოსალური კინეტიკური ენერჯია, რომელიც მრავალი რიგით უნდა აღემატებოდეს ერთ ნაწილაკზე

გათვლილ ბირთვის ბმის ენერგიას. მაგრამ მძიმე ნეიტრალური ნაწილაკის არსებობა რეზერვორდს იმდენად მიმზიდველად ეჩვენებოდა, რომ მან თავისი მოსწავლეების ჯგუფს ჯ.ჩედვიკის ხელმძღვანელობით დაუყოვნებლივ შესთავაზა დაეწყო მისი ძებნა. 12 წლის შემდეგ, 1932 წელს, ჩედვიკმა ექსპერიმენტულად გამოიკვლია გამოსხივება, რომელიც ბერილიუმის α -ნაწილაკებით დასხივებისას წარმოიქმნება და აღმოაჩინა, რომ ეს გამოსხივება ნეიტრალური ნაწილაკების ნაკადს წარმოადგენს, რომელთა მასა დაახლოებით პროტონის მასის ტოლია. ასე აღმოჩნდა ნეიტრონი. ნახ.2-ზე ნეიტრონის აღმოჩენის დანადგარის გამარტივებული სქემაა მოცემული.



ნახ. 2.

ნეიტრონის აღმოჩენის დანადგარის სქემა

ბერილიუმის α -ნაწილაკებით დაბომბვისას რადიაქტიური პოლონიუმის მიერ ამოფრქვეული ნაწილაკებით წარმოიქმნება ძლიერ გამჭოლი ნაკადი, რომელსაც შეუძლია გადალახოს ისეთი წინაღობა, როგორცაა ტყვიის 10-20სმ-იანი ფენა. ამ გამოსხივებას, ჩედვიკთან თითქმის ერთდროულად, აკვირდებოდნენ ცოლქმარი ირენ და ფრედერიკ ჟოლიო-კიურები (ირენი მარია და პიერ კიურების ქალიშვილია), მაგრამ მათ იფიქრეს, რომ დიდი ენერგიის მქონე უსხივები იყო. მათ ნახეს, რომ თუ ბერილიუმის გამოსხივების გზაზე პარაფინის ფირფიტას მოვათავსებთ, ამ

გამოსხივების მაიონიზირებელი თვისება მკვეთრად გაიზრდება. მათ დაამტკიცეს, რომ ბერილიუმის გამოსხივება პარაფინიდან ამოყრის პროტონებს, რომლებიც მრავლადაა ამ წყალბადის შემცველ ნივთიერებაში. პროტონების ჰაერში თავისუფალი განარბენის საშუალებით მათ შეაფასეს γ -კვანტების ენერგია, რომლებსაც დაჯახებისას შეეძლოთ პროტონებისთვის საჭირო სიჩქარის მინიჭება. ის უზარმაზარი აღმოჩნდა – 50 მევ-ს რიგის.

1932 წელს ჩედვიკმა ბერილიუმის α -ნაწილაკებით დაბომბვისას წარმოქმნილი გამოსხივების ყოველმხრივი შესწავლისთვის შეასრულა ექსპერიმენტების სერია. თავის ცდებში ის მაიონიზირებელი გამოსხივებების გამოკვლევის სხვადასხვა მეთოდს იყენებდა. ნახ.2-ზე გეიგერის მთვლელია გამოსახული, რომელიც დამუხტული ნაწილაკების აღმოჩენისთვისაა განკუთვნილი. იგი შედგება მინის მილისაგან, რომელიც შიგნიდან მეტალის ფენითაა დაფარული (კათოდი), მილის ღერძის გასწვრივ დამაგრებულია წვრილი ძაფი (ანოდი). მილი დაბალი წნევის ინერტული აირითაა შევსებული (ჩვეულებრივ არგონით). დამუხტული ნაწილაკი აირში გავლისას მოლეკულების იონიზაციას იწვევს. იონიზაციის შედეგად გამონთავისუფლებული თავისუფალი ელექტრონები ანოდისა და კათოდის ელექტრულ ველში ჩქარდებიან ენერგიამდე, რომლის შემდეგაც იწყება დარტყმითი იონიზაცია. წარმოიქმნება იონების ზეავი და მთვლელში გაივლის იმპულსური დენის მოკლე განმუხტვა. ნაწილაკების შესწავლისთვის მეორე მნიშვნელოვან ხელსაწყოს ვილსონის კამერა წარმოადგენს, რომელშიც სწრაფი დამუხტული ნაწილაკი კვალს (ტრეკს) ტოვებს. ნაწილაკის ტრეექტორიაზე დაკვირვება შესაძლებელია პირდაპირ ან მისი ფოტოგრაფირების საშუალებით. ვილსონის კამერის მოქმედება, რომელიც 1912 წელს შეიქმნა, დამყარებულია კამერის მუშა მოცულობაში დამუხტული ნაწილაკის ტრეექტორიის გასწვრივ წარმოქმნილი გაჯერებული ორთქლის იონებზე კონდენსაციაზე. ვილსონის კამერის საშუალებით შესაძლებელია

ელექტრულ და მაგნიტურ ველში დამუხტული ნაწილაკის ტრექტორიის გამრუდების დაკვირვება.

ჩედვიკი ვილსონის კამერაში აკვირდებოდა აზოტის ბირთვების ტრეკებს, რომლებიც ბერილიუმის გამოსხივებასთან შეჯახებას განიცდიდა. ამ ცდების საფუძველზე მან შეაფასა γ -კვანტის ენერჯის შეფასება, რომელსაც შეუძლია აზოტის ბირთვებს ექსპერიმენტით დაკვირვებული სიჩქარე მიანიჭოს. ის 100-150 მეგ აღმოჩნდა. ასეთი დიდი ენერჯია არ შეიძლება ჰქონდეს ბერილიუმიდან ამოფრქვეულ γ -კვანტს. ამის საფუძველზე ჩედვიკმა დაასკვნა, რომ α -ნაწილაკების ზემოქმედებით ამოიფრქვევა არა უმასო γ -კვანტი, არამედ საკმარისად მძიმე ნაწილაკები. ამ ნაწილაკებს აქვთ დიდი შეღწევის უნარი და პირდაპირ არ მოუხდენიათ აირის იონიზაცია გეიგერის მთვლელში და აქედან გამომდინარე, ელექტრულად ნეიტრალურია. ასე დამტკიცდა ნეიტრონის არსებობა.

ნეიტრონი ელემენტარული ნაწილაკია. თანამედროვე გაზომვების მიხედვით, ნეიტრონის მასა $m_n = 1,67493 \cdot 10^{27}$ კგ = 1,008665 მ.ა.ე. ენერგეტიკულ ერთეულებში ნეიტრონის მასა 939,56563 მეგ-ს ტოლია. ნეიტრონის მასა დაახლოებით ორი ელექტრონის მასით ჭარბობს პროტონის მასას.

ნეიტრონის აღმოჩენისთანავე წამოყენებული იქნა ჰიპოთეზა ატომის ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული აგებულების შესახებ, რომელიც შემდგომი გამოკვლევებით მთლიანად დასაბუთდა. პროტონებსა და ნეიტრონებს ნუკლონებს უწოდებენ.

ატომის ბირთვის დახასიათებისთვის შემოღებულია რიგი აღნიშვნები. ატომში შემავალი პროტონების რიცხვი აღინიშნება Z -ით და მუხტის რიცხვი ან ატომური ნომერი ეწოდება (ეს მენდელეევის პერიოდულ ცხრილში რიგითი ნომერია). ბირთვის მუხტი ტოლია Ze , სადაც e — ელემენტარული მუხტია. ნეიტრონების რიცხვი აღინიშნება N სიმბოლოთი.

ნუკლონების საერთო რიცხვს (ე.ი. პროტონებისა და ნეიტრონების) A მასურ რიცხვს უწოდებენ: $A = Z + N$.

ქიმიური ელემენტის ბირთვს აღნიშნავენ A_ZX , სადაც X – ქიმიური ელემენტის სიმბოლოა. მაგალითად, 1_1H – წყალბადი, 4_2He – ჰელიუმი, ${}^{12}_6C$ – ნახშირბადი, ${}^{16}_8O$ – ჟანგბადი, ${}^{238}_{92}U$ – ურანი.

ერთი და იგივე ელემენტის ბირთვები შეიძლება განსხვავდებოდეს ნეიტრონების რიცხვის მიხედვით. ასეთ ბირთვებს იზოტოპები ეწოდებათ. ქიმიური ელემენტების უმრავლესობას რამოდენიმე იზოტოპი აქვს. მაგალითად, წყალბადს სამი იზოტოპი აქვს: 1_1H – ჩვეულებრივი წყალბადი, 2_1H – დეიტერიუმი და 3_1H – ტრიტიუმი. ნახშირბადს 6 იზოტოპი, ჟანგბადს – 3.

ბუნებრივ პირობებში ქიმიური ელემენტები ჩვეულებრივ იზოტოპების ნარევეს წარმოადგენენ. იზოტოპების არსებობა განსაზღვრავს ბუნებაში არსებული ელემენტების ატომურ მასას მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ასე მაგალითად, ბუნებრივი ნახშირბადის ფარდობითი ატომური რიცხვი 12,011-ის ტოლია.

პერიოდულობის კანონი აღმოაჩინა რუსმა მეცნიერმა დ.ი. მენდელეეევმა 1869 წელს. ამ აღმოჩენას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა არა მარტო ქიმიის, არამედ მთელი საბუნებისმეტყველო მეცნიერების შემდგომი განვითარებისათვის. მისი საშუალებით აიხსნა მანამდე ცნობილი მეცნიერული ფაქტები და შესაძლებელი გახდა ახალი, მანამდე უცნობი ელემენტების არსებობის წინასწარმეტყველება, რომელთა თვისებები წინასწარ იქნა ნავარაუდები ამ კანონის საფუძველზე. პერიოდულობის კანონის თანამედროვე ფორმულირება ასეთია: ელემენტთა თვისებები და მათი ნაერთების ფორმები და თვისებები პერიოდულ დამოკიდებულებაშია ატომბირთვის მუხტის სიდიდესთან.

როგორც ზემოთ ვთქვით, ატომში ელექტრონები მოძრაობენ ელექტრონულ შრეებზე ე. წ. ენერგეტიკულ დონეებზე. ამ დონეების ელექტრონებით შევსება პროტონების რიცხვის ზრდასთან ერთად ხდება თანამიმდევრობით და გარე შრეზე ელექტრონთა

რიცხვი პერიოდულად იცვლება. ასევე პერიოდულად იცვლება ატომთა თვისებებიც. ეს პერიოდული ცვლა ელემენტთა თვისებებისა უფრო თვალსაჩინოა ელემენტთა პერიოდულ სისტემაში, სადაც ელემენტები განლაგებულნი არიან რიგობრივი ნომრის ზრდის მიხედვით ერთმანეთის ქვეშ მოთავსებული მწკრივების სახით.

ქიმიურ ელემენტთა პერიოდული სისტემა არის პერიოდულობის კანონის გრაფიკული გამოსახვა. სისტემაში ელემენტები განლაგებულნი არიან ჰორიზონტალურ მწკრივებად და ვერტიკალურ სვეტებად: პერიოდებად და ჯგუფებად. მზარდი რიგობრივი ნომრის მიხედვით განლაგებულ ელემენტთა ჰორიზონტალურ მწკრივს, რომელიც იწყება ტუტე მეტალით და მთავრდება ინერტული აირით, პერიოდი ეწოდება.

მზარდი რიგობრივი ნომრის მიხედვით განლაგებულ მსგავსი თვისებების მქონე ელემენტთა ვერტიკალურ სვეტს ჯგუფი ეწოდება. ჯგუფი იყოფა A და B ქვეჯგუფებად.

არსებობს პერიოდული სისტემის რამდენიმე ვარიანტი: მოკლე, გრძელი, ნახევრადგრძელი და ა. შ. მოკლე ვარიანტი შედგება 7 პერიოდისა და 8 ჯგუფისაგან. თითოეულ პერიოდსა და ჯგუფს აქვს თავისი ნომერი. პერიოდის ნომერი ემთხვევა ელემენტის ატომში ელექტრონული შრეების რიცხვს, ხოლო ჯგუფის ნომერი – გარე შრეზე ელექტრონთა რიცხვს.

§ 4.3. ქიმიური ნაერთები, ქიმიური ბმა

თითოეული ელემენტი გამოისახება თავისი სიმბოლოთი. მაგალითად, C ნახშირბადის სიმბოლოა. როდესაც ელემენტის სიმბოლო ორასოიანია, მეორე ასო პატარაა, რომ არ მოხდეს ელემენტის არევა ორ განსხვავებულ ელემენტთან (რომ განვასხვავოთ ორი სხვადასხვა ელემენტისგან). მაგალითად, კობალტი Co , ის

რომ CO სახით დაწერილიყო, მაშინ საქმე გვექნებოდა ნახშირბადთან და ჟანგბადთან.

რთული ნივთიერება წარმოიქმნება განსხვავებული ელემენტების ატომთა შეერთებით. ნაერთი გამოისახება ფორმულის მეშვეობით. ფორმულა გვიჩვენებს თუ რომელი ელემენტებისგან შედგება ნაერთი და თითოეული ელემენტის ატომების ფარდობით რაოდენობას. H_2O წყლის ფორმულაა. ის გვიჩვენებს, რომ წყლის მოლეკულა ორი ატომი წყალბადისა და ერთი ატომი ჟანგბადისაგან შედგება. თქვენ შეგიძლიათ იონური ნაერთის ფორმულის დაწერა იონთა მუხტების გათვალისწინებით. ნატრიუმის იონის (Na^+) მუხტია პლიუს ერთი. ქლორის იონის (Cl^-) მუხტია მინუს ერთი. ნატრიუმის ქლორიდის ფორმულა იქნება $NaCl$, რადგან ნატრიუმის იონის დადებითი მუხტი ბათილდება ქლორის იონის უარყოფითი მუხტით. კალციუმის იონი გამოისახება Ca^{2+} , ჰიდროქსიდის იონი – OH^- . კალციუმის ჰიდროქსიდის ფორმულა იქნება $Ca(OH)_2$, რადგან კალციუმის იონი დადებითი მუხტის (+2) გასაბათილებლად საჭიროა იმავე სიდიდის უარყოფითი მუხტი (-2).

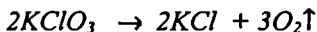
ქიმიური რეაქცია – ქიმიური მოვლენები, რომელთა მიმდინარეობა დაკავშირებულია ნივთიერების შემადგენლობის ცვლასთან. ქიმიური რეაქციისას ნივთიერებები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და ერთი ნივთიერებიდან წარმოიქმნება სხვა ნივთიერებები, ამის გამო ქიმიურ რეაქციებს ქიმიურ ურთიერთქმედებასაც უწოდებენ. ამ დროს მოლეკულები იშლება, ატომები კი უცვლელი რჩება.

ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისათვის საჭიროა მოლეკულების ერთმანეთთან შეხება, შეჯახება. სხვადასხვა გაზებსა და ხსნარებს შორის რეაქცია რომ მოხდეს, საჭიროა მათი შერევა. წყალბადი შერევისთანავე უერთდება ფტორს, ე.ი. რეაქცია თავისთავად იწყება და მიმდინარეობს, მაგრამ ბევრი რეაქცია თავისთავად არ მიმდინარეობს. მაგალითად, წყალბადისა და ქლორის ნარევი რეაქცია რომ დაიწყოს, საჭიროა ამ ნარევის დასხივება სი-

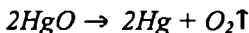
ნათლით. წყალბადისა და ჟანგბადის ნარევეში რეაქცია რომ აღიძრას, საჭიროა ამ ნარევის გაცხელება ან ამ გაზების ნარევეში კატალიზატორის შეტანა.

არსებობს ოთხი ტიპის რეაქციები: დაშლის, შეერთების, ჩანაცვლების და მიმოცვლის.

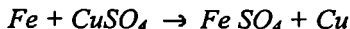
ქიმიურ რეაქციებს, რომელთა მიმდევრობისას ერთი ნივთიერებისაგან მიიღება რამდენიმე ახალი ნივთიერება, დაშლის რეაქციები ეწოდება. აქ ტიპის რეაქციებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ ერთი ნივთიერების გარდაქმნით ორი ან რამდენიმე ახალი ნივთიერება მიიღება. ასე მაგალითად, გაცხელებისას ბერთოლეს მარილის დაშლით მიიღება კალიუმის ქლორიდი და ჟანგბადი:



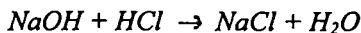
ქიმიურ რეაქციებს, რომლის მიმდინარეობისას რამდენიმე ნივთიერებისაგან მიიღება ერთი ახალი ნივთიერება, შეერთების რეაქცია ეწოდება. მაგალითად, ვერცხლისწყლის დაჟანგვა ხანგრძლივი გაცხელებისას:



რეაქციებს, რომელთა მიმდინარეობისას მარტივი ნივთიერების ატომებით ჩანაცვლება ატომები რთული ნივთიერების მოლეკულებში, ჩანაცვლების რეაქციები ეწოდება. თუ მეტალურ რკინას სპილენძის მარილის ხსნარში ჩაუშვებთ, რკინა სპილენძის ადგილს დაიკავებს, ხოლო სპილენძი მეტალის სახით გამოიყოფა:

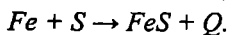


ქიმიურ რეაქციებს, რომელთა მიმდინარეობისას რთული ნივთიერებების მოლეკულები მიმოიცვლებიან თავისი შემადგენელი ნაწილებით, მიმოცვლის რეაქციები ეწოდება. მიმოცვლის რეაქციაა მაგალითად,



ქიმიურ გარდაქმნას თითქმის ყოველთვის ახლავს ენერგიის გამოყოფა ან შთანთქმა. ამ ნიშნის მიხედვით ქიმიური რეაქციები შეიძლება დავყოთ ეგზოთერმულ და ენდოთერმულ რეაქციებად.

ეგზოთერმული რეაქციის მიმდინარეობისას გამოიყოფა სითბო. მაგალითად, გოგირდოვანი რკინის წარმოქმნისას გამოიყოფა სითბო, რომელსაც Q სიმბოლოთი აღნიშნავენ:



ენდოთერმული რეაქციის მიმდინარეობა დაკავშირებულია

სითბოს შთანთქმასთან.

ქიმიური ბმა –ატომთა ურთიერთქმედება, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ორ- ან მრავალატომიანი ნაერთები: იონები, რადიკალები, მოლეკულები, კრისტალები და სხვა. ქიმიური ბმის წარმოქმნის აუცილებელი პირობაა ატომების მიახლოების შედეგად სისტემის სრული ენერგიის შემცირება. ქიმიური ბმის ყველა თეორიას საფუძვლად უდევს პოსტულატი რვაელექტრონიანი შრის $ns^2 np^6$ (ოქტეტის) განსაკუთრებული მდგრადობის შესახებ. ასეთი სტრუქტურა აქვთ კეთილშობილ აირებს.

ინგლისელმა ქიმიკოსმა ედუარდ ფრანკლენდმა (1852) ჩამოაყალიბა კონცეფცია ვალენტობის შესახებ, რომლის თანახმად თითოეული ელემენტი, იერთებს მეორე ელემენტის ეკვივალენტობის გარკვეულ რიცხვს, ხოლო ერთი ეკვივალენტი პასუხობს ერთი ვალენტობის შესაბამის რაოდენობას. ფ. კეკულემ და ა. კოლბემ (1857) წამოაყენეს დებულება იმის შესახებ, რომ ნახშირბადი ოთხვალენტოვანია. მას შეუძლია სხვა ატომთან წარმოქმნას ოთხი ბმა. ინგლისელმა ქიმიკოსმა ა. კუპერმა (1858) ნათელყო, რომ ნახშირბადის ატომებს აქვთ ერთიმეორესთან შეერთების უნარი, რის შედეგადაც მათ შეუძლიათ ჯაჭვების წარმოქმნა. მის ჩანაწერებში ატომებს შორის ბმები გამოსახული იყო ხაზებით. ტერმინი „ქიმიური აღნაგობა“ პირველად შემოიღო ა. ბუტლეროვმა (1861). იგი აღნიშნავდა, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია აღნაგობის

ერთიანი ფორმულით გამოსახვა და მინიშნება იმისა, თუ როგორ არიან ატომები ერთმანეთთან ბმული მოლეკულაში. ბუტლეროვის თანახმად, ნაერთის ყველა თვისებას განაპირობებს მისი მოლეკულის აღნაგობა.

ელექტრული ძალები ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება. ატომებსა და მოლეკულებში ელექტრონებისა და ბირთვების ელექტრული ძალები, ნაწილაკების მცირე ზომების გამო, ახალ თვისებებს იძენენ. ამიტომ ჩვენ განვიხილავთ ელექტრული ძალების სპეციფიკურ ქიმიურ ურთიერთქმედებას. სხვადასხვა ტიპის ქიმიურ ბმებს შორის ძირითადია იონური (ანუ ჰეტერო-პოლარული) და კოვალენტური (ანუ ატომური) ბმა. იონური ბმა დამახასიათებელია $NaCl$ -ისა და მისი ტიპის, ე.ი. მარილების მსგავსი ნაერთებისათვის, რომელთაც იონური ნაერთები ეწოდა. კოვალენტური ბმა დამახასიათებელია $H_2, N_2, O_2, CH_4, C_6H_6$ და სხვა მოლეკულებისათვის, რომელთაც კოვალენტური ნაერთები ეწოდა.

კოვალენტური ბმა – ქიმიური ბმა, რომელიც ხორციელდება საზიარო ელექტრონების ხარჯზე. კოვალენტური ბმა შეიძლება იყოს როგორც ერთგვარ ატომებს (H_2, Cl_2, N_2), ისევე სხვადასხვა ატომებს (Si და $C-SiC$; H და $O-H_2O$) შორის. კოვალენტური ბმით წარმოქმნილი მოლეკულა ან ქიმიური ნაერთი მტკიცეა, ახასიათებს ნაკლები ქიმიური აქტივობა (მაგალითად, პარაფინულ ნახშირწყალბადებს). არსებობს კოვალენტური ბმის ორი ტიპი – სიგმა (σ) და პი (π). ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ელექტრონული სიმკვრივის განაწილებით და სიმეტრიით. მარტივი ბმები ქიმიურ ნაერთებში ჩვეულებრივ სიგმა (σ) ბმებია. ჯერად ბმებში ერთი ბმა აუცილებლად სიგმაა, ხოლო დანარჩენი–პი. მაგალითად, სამმაგი ბმა ($C\equiv C, N\equiv N$) შედგება ერთი სიგმა და ორი პი ბმისგან.

კოვალენტური ბმა ორი ტიპისაა: არაპოლარული და პოლარული. ბმა არაპოლარულია, თუ მისი წარმოქმნილი ელემენტების ატომების ელექტროუარყოფითობა ერთნაირია (კერძო შემთხვევაა, ერთნაირი ატომებისაგან წარმოქმნილი მარტივი ნივთიერებები).

ელექტროუარყოფითობა ეწოდება ელემენტის ატომის უნარს თავისკენ გადაწიოს ბმის წარმოქმნელი ელექტრონული წყვილი. პოლარული კოვალენტური ბმის შემთხვევაში, ელექტრონული წყვილი გადაწეულია უფრო ელექტროუარყოფითი ელემენტის ატომისაკენ.

არსებობს კოვალენტური ბმის წარმოქმნის განსხვავებული მექანიზმი, როდესაც ბმა წარმოიქმნება მხოლოდ ერთი ელემენტის ატომის თავისუფალი ელექტრონული წყვილის ხარჯზე. ასეთ ბმას დონორულ-აქცეპტორული ბმა ეწოდება.

იონური ბმა – ურთიერთსაპირისპიროდ დამუხტულ იონებს შორის ელექტროსტატიკური მიზიდვით დამყარებული ბმაა. იონური ბმა წარმოიქმნება ელექტროუარყოფითობით მნიშვნელოვნად განსხვავებულ ატომებს შორის. იონური ნაერთები წარმოქმნიან იონურ კრისტალურ მესერს, რომლის კვანძებში განლაგებულია იონები.

მეტალური ბმა ეწოდება მეტალურ კრისტალურ მესერში მეტალის კატიონებს შორის თავისუფალი ელექტრონებით დამყარებულ ბმას. მეტალები იონური და კოვალენტური ნაერთებისაგან განსხვავებით ხასიათდებიან მაღალი სითბო- და ელექტროგამტარობით, რაც მეტალის კრისტალურ მესერში თავისუფლად გადაადგილების უნარის მქონე ელექტრონების არსებობის დამადასტურებელია. მეტალის ატომებს გარე ელექტრონულ შრეზე აქვთ ელექტრონების მცირე რიცხვი (1, 2 ან 3), ამასთან ისინი ხასიათდებიან იონიზაციის დაბალი ენერგიით, რის გამოც სავალენტო ელექტრონები ადვილად გადაადგილდებიან მეტალის მთელ მოცულობაში და სწორედ მათი თავისუფალი მოძრაობის შედეგია მეტალთა ელექტროგამტარობა. მეტალის კრისტალში სავალენტო ელექტრონების რიცხვი ორბიტალების რიცხვზე გაცილებით ნაკლებია. მაგალითად, ტუტე მეტალების თითოეულ ატომს ბმების დასამყარებლად შეუძლია ოთხი ორბიტალისა და მხოლოდ ერთი ელექტრონის გამოყენება. ამ ელექტრონებს შეუძ-

ლიათ ერთი ორბიტალიდან მეორეზე გადასვლა, მეორედან მესამეზე და ა.შ. რაც ამ ორბიტალების ენერგეტიკული სიახლოვით არის განპირობებული.

დონორულ-აქცეპტორული ტიპის სამცენტრიან სუსტ ქიმიურ კავშირს წყალბადსა და ძლიერი ელექტროუარყოფითი ელემენტების (*F, O, N, Cl, S*) ატომებს შორის, წყალბადური ბმა ეწოდება. წყალბადური ბმა შეიძლება იყოს შიდა მოლეკულური ან მოლეკულათშორისი. მოლეკულათშორისი წყალბადური ბმა წარმოიქმნება, როდესაც წყალბადის ატომი ურთიერთქმედებს მეორე მოლეკულის თავისუფალი ელექტრონული წყვილის მქონე ელექტროუარყოფითი ელემენტის ატომთან. იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალბადის ატომი ურთიერთქმედებს იმავე მოლეკულის მასთან არაბმულ ელექტროუარყოფითი ელემენტის ატომთან, წარმოიქმნება შიგა მოლეკულური წყალბადური ბმა (მაგალითად, ცილების მოლეკულებში).

§ 4.4. ქიმიური რეაქცია, მისი სიჩქარე, კინეტიკა და კატალიზი

ქიმიური რეაქცია არის პროცესი, როდესაც გარკვეული მოლეკულები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და სხვა სახის მოლეკულებში დაიქმნებიან. თუ რეაქცია პროცესია, მაშინ იგი შეიძლება იყოს ნელი ან სწრაფი. რკინის კოროზია – რკინის ჟანგბადის მოლეკულებთან ურთიერთმედება – თვეებისა და წლების განმავლობაში მიმდინარეობს, შაქრების სპირტულმა დუდილმა ფერმენტების გავლენით შეიძლება რამდენიმე კვირა გასტანოს, ბარიუმის რომელიმე ხსნად მარილზე სულფატ ანიონების მოქმედებით ნალექის გამოყოფა ჩვენს თვალწინ ხდება, ხოლო ფთორისა და წყალბადის

ურთიერთქმედებას თვალს ვერ მოვკრავთ – აფეთქების სიჩქარით მიმდინარეობს.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, განსაკუთრებით კი სამრეწველო თვალსაზრისით, ვინაიდან ინდუსტრიაში ნივთიერების ყოველი ზედმეტი წვეთი, ყოველი ზედმეტი დახარჯული კილოვატი ენერგია და ყოველი ზედმეტი წამი აღიწერება პროდუქტის თვითღირებულებაზე. ამიტომ ქიმიური რეაქციების შესასწავლად, რომელსაც ხშირად ლაბორატორიაში დიდ ყურადღებას არ ვაქცევთ, ქიმიის ცალკე ქვედარგი გამოიყო და ეწოდა ქიმიური კინეტიკა. ქიმიური კინეტიკის მიზანია დაადგინოს რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები, განსაზღვროს რეაქციის სიჩქარე და ნათელი მოჰფინოს რეაქციის მექანიზმს.

როგორც წესი, გარდაქმნა მიმდინარეობს ერთ ან რამდენიმე სტადიად. თითოეულ სტადიაზე გარკვეული რაოდენობის ნაწილაკები (მოლეკულები, რადიკალები, იონები, ატომები) ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან, რის მიხედვითაც განასხვავებენ მონო-, ბი-, ტრიმოლეკულურ რეაქციებს (ამ მოვლენას რეაქციის მოლეკულურობა ეწოდება).

გარდა მოლეკულურობისა, რეაქციის სიჩქარეზე არაერთი სხვა ფაქტორი ახდენს გავლენას, როგორიცაა ურთიერთქმედების ზედაპირის ფართი, ტემპერატურა, კონცენტრაცია და ა.შ. შესაბამისად, სიჩქარის განსაზღვრისას ყველა ფაქტორი უნდა იქნას გათვალისწინებული. ეს კი, ცხადია, გაანგარიშების პროცესს ართულებს. თუმცა ძალიან მარტივად გამოითვლება რეაქციის საშუალო სიჩქარე.

მოდრავი ობიექტის (ავტომობილის) საშუალო სიჩქარე როგორ შეიძლება გამოვთვალოთ? უნდა ვიცოდეთ რა მანძილი გაიარა და რა დროში. როდესაც ავტომობილი მოძრაობდა, იცვლებოდა მისი მდებარეობა, ანუ კოორდინატი. ამიტომ მათემატიკოსები ობიექტის სიჩქარის განსაზღვრისათვის ამბობენ: სიჩქარე არის კოორდინატის წარმოებული დროით. რა იცვლება ქიმიური რეაქციის დროს? ცხადია, მოლეკულების ბროუნის მოძრაობით

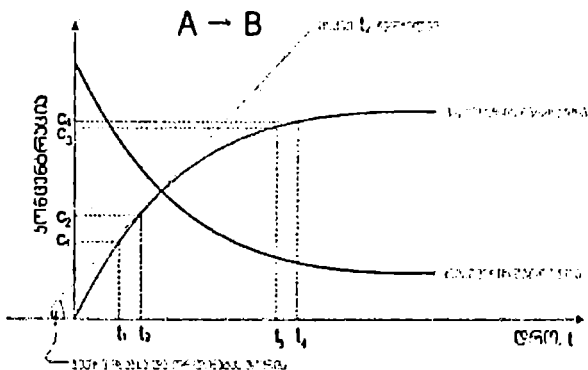
გამოწვეული „გარბენილი“ მანძილი არ იგულისხმება. ქიმიური რეაქციის დროს იცვლება კონცენტრაცია–მცირდება არსებული ნაერთებისათვის, ხოლო იზრდება – პროდუქტებისათვის. აქედან გამომდინარე, რეაქციის საშუალო სიჩქარის გამოსათვლელად უნდა ვიცოდეთ საწყისი და საბოლოო კონცენტრაცია და დრო, რომლის განმავლობაშიც მიღწეული იქნა ეს ცვლილება. ვთქვათ, ჩავატარეთ ესტერის ჰიდროლიზის რეაქცია და ერთი საათის განმავლობაში ესტერის საწყისი კონცენტრაცია 1 მოლი/ლიტრიდან შემცირდა 0,5 მოლი/ლიტრამდე. მაშინ ჰიდროლიზის საშუალო სიჩქარე იქნება:

$$\text{საშუალო სიჩქარე} = \frac{(1-0,5)\text{მოლი/ლ}}{100 \times 60 \times 60 \text{წმ}} = 1,39 \cdot 10^{-4} \text{ მოლი/ლწმ}$$

რეაქციის სიჩქარის განზომილება არის კონცენტრაცია შეფარდებული დროზე – მოლი/ლწმ. რატომ ვსაუბრობთ რეაქციის საშუალო სიჩქარეზე და ზოგადად სიჩქარეზე. განვიხილოთ მარტივი რეაქცია, რომელიც ზოგადი სახით შეიძლება ასე გამოისახოს: $A \rightarrow B$.

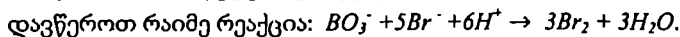
ვთავათ, ერთი მოლი A ნივთიერება გარდაიქმნება 1 მოლ B ნაერთში. რეაქციის საწყის ეტაპზე კოლბაში ჩატვირთული გვაქვს მხოლოდ A ნივთიერება და მისი კონცენტრაცია მაქსიმალურია (100%-ია). გარკვეული დროის შემდეგ ინიცირდება რეაქცია და A ნივთიერება იწყებს გარდაქმნას B ნივთიერებაში. შესაბამისად, A ნივთიერების კონცენტრაცია იწყებს კლებას, ხოლო B ნივთიერების კონცენტრაცია კი – მატებას (მისი კონცენტრაცია საწყის ეტაპზე ნულის ტოლი იყო). ავიღოთ კალციუმის კარბონატის ნატეხი ან თუთიის გრანულა და დავამატოთ მარილმჟავა. თვალნათლივ დავინახავთ, რომ გაზის გამოყოფა რეაქციის დასაწყისში უფრო ენერგიული იქნება, ვიდრე ფინიშისკენ. ზოგადად ყველა რეაქცია ასე მიმდინარეობს. გრაფიკულად თუ გამოვსახავთ კონცენტრაციის ცვლილებას, მაშინ A კომპონენტის კონცენტრაციის ცვლილებას ექნება შემდეგი სახე (ლურჯი ფერის მრუდი), ხოლო B ნივთიერების წარმოქმნა კი შეიძლება გამოვსახოთ

წითელი ფერის მრუდით. დავაკვირდეთ t_2-t_1 და t_4-t_3 ტოლ შუალედებში კონცენტრაციის ცვლილებას B ნაერთისათვის. პირველ შემთხვევაში იგი უფრო მნიშვნელოვნად იცლება, ვიდრე მეორე შემთხვევაში, ვინაიდან C_2-C_1 სხვაობა მეტია C_4-C_3 -ზე.



მაშასადამე, სხვადასხვა წერტილში (დროის სხვადასვა მომენტში) რეაქციის სიჩქარე განსხვავებულია. მოცემული გრაფიკის საშუალებით შესაძლებელია რეაქციის სიჩქარის გამოთვლა დროის გარკვეული მომენტისათვის. ამისათვის საკმარისია ზუსტად გავავლოთ მხები მოცემული წერტილში და გამოვთვალოთ მისი დახრის კუთხის ტანგენსი. იმავე გრაფიკიდან ადვილად შეინიშნება, რომ $t=0$ საწყის მომენტში რეაქციის სიჩქარე ნულის ტოლია.

აქედან გამომდინარე, რეაქციის სიჩქარე დროის გარკვეული მომენტისათვის შეიძლება გამოითვალოს როგორც საწყისი ნაერთის (მისი ხარჯვის), ისე პროდუქტის (მისი დაგროვების) მიმართ: სიჩქარე $v = -\frac{[A]}{dt} = \frac{[B]}{dt}$, სადაც A არის ნივთიერების კონცენტრაცია, ხოლო B - პროდუქტის კონცენტრაცია.



ზემოთ მოყვანილი რეაქციის სიჩქარის ზოგადი განტოლება კონკრეტული რეაქციისათვის სტექიომეტრიული კოეფიციენტების გათვალისწინებით შემდეგნაირად შეიძლება ჩაიწეროს:

$$v = -\frac{d[\text{BrO}_3^-]}{dt} = -\frac{1}{5} \frac{d[\text{Br}^-]}{dt} = \frac{1}{3} \frac{d[\text{Br}_2]}{dt}.$$

კატალიზი (ბერძნ. *Katalysis*) – განადგურება – ქიმიური რეაქციის რამდენიმე შესაძლო თერმოდინამიკურად ნებადართული მიმართულების შერჩევითი დაჩქარება კატალიზატორ(ებ)ის მეშვეობით, რომელიც რეაქციის უბნებთან შუალედურ ქიმიურ ურთიერთქმედებაში მრავალჯერ აღწევს და ყოველი შუალედური ქიმიური ურთიერთქმედების ციკლის შემდეგ აღიდგენს საკუთარ ქიმიურ შემადგენლობას.

ტერმინი „კატალიზი“ 1835 წელს შემოიღო შვედმა მეცნიერმა იენს იაკობ ბერცელიუსმა. კატალიზის მოვლენა ბუნებაში გავრცელებულია (ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე პროცესების უმრავლესობა კატალიტურია) და ფართოდ გამოიყენება ტექნიკაში (ნავთობგადამუშავებასა და ნავთობქიმიაში, გოგირდმჟავის, ამიაკის, აზოტმჟავის წარმოებაში და ა.შ.). სამრეწველო რეაქციების უმეტესი ნაწილი კატალიზურია.

შემთხვევას, როცა კატალიზატორს წარმოადგენს რეაქციის ერთ-ერთი პროდუქტი ან მისი საწყისი ნივთიერება, ეწოდება ავტოკატალიზი.

კატალიზატორი – ნივთიერება, რომელიც რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებებთან მრავალჯერადი შუალედური ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ცვლის ქიმიური რეაქციების სიჩქარეს, მაგრამ არ შედის საბოლოო პროდუქტების შემადგენლობაში. ბიოლოგიური კატალიზატორების – ფერმენტების საშუალებით ხორციელდება ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ნივთიერებათა ცვლა.

კატალიზატორის უმნიშვნელოვანესი თვისებაა მოქმედების სპეციფიკურობა: თითოეული ქიმიური რეაქცია ან მსგავსი რეაქციათა ჯგუფი შეიძლება დაჩქარდეს მხოლოდ გარკვეული

კატალიზატორის მოქმედებით. ამავე დროს ერთი და იმავე ნივთიერებების ურთიერთქმედებისას სხვადასხვა კატალიზატორის მონაწილეობით სხვადასხვა პროდუქტი მიიღება. კატალიზატორის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია კატალიზური აქტიურობა, რაც წარმოადგენს ქიმიური რეაქციის სიჩქარეთა სხვაობას კატალიზატორით და მის გარეშე.

§ 4.5. არაორგანული და ორგანული ნაერთების ქიმიური აგებულებისა და შედგენილობის ურთიერთკავშირი

ქიმიური ნაერთების დასახასიათებლად ხშირად მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ მისი თვისებების ცოდნა ანუ მისი ქიმიური ფორმულის ჩაწერა, არამედ მისი სტრუქტურისაც. ნივთიერების სტრუქტურაზე საუბრისას ქიმიკოსებს მხედველობაში აქვთ მისი მოლეკულური აგებულება (ატომების ერთმანეთთან დაკავშირების რიგი). ტერმინის „სტრუქტურა“ ქვეშ იგულისხმება სივრცეში ატომების განლაგება ნივთიერების მოლეკულების შექმნისას. ქიმიისთვის ამ კონცეპტუალური ცნების გასაგებად მნიშვნელოვანია განვიხილოთ მოლეკულა კვანტური პოზიციიდან.

თანამედროვე გაგებით, მოლეკულის სტრუქტურა არის ატომის ბირთვისა და ელექტრონებისგან შემდგარი კვანტურ-მექანიკური სისტემის სივრცითი და ენერგეტიკული მოწესრიგებულობა. არსი იმაშია, რომ ელექტრონები საკუთარი ატომური ბირთვის ახლოს ქიმიური ბმის წარმოქმნისას ურთიერთქმედებენ სხვა ატომების ელექტრონებთან და ბირთვებთან და აქამდე სტატისტიკურად ხელმისაწვდომი ადგილების დაკავება სივრცეში, არ შეუძლიათ. მიკროსამყაროს რამდენიმე დამუხტული ობიექტის ფუნდამენტური ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების თავისებურებას მივყავართ იქამდე, რომ ატომები მოლეკულაში აღმოჩნდებიან „ლოკალიზებულები“ მკაცრად განსაზღვრულ ად-

გილებში, რომელთა მდებარეობა სივრცეში შეიძლება გავთვალოთ კვანტური ქიმიის მათემატიკური აპარატით.

იზომერია (ძვ. ბერძნ. *σος* – «ტოლი», და *μέρος* – «წილი, ნაწილი») – არის მოვლენა, ქიმიური ნაერთების (იზომერები) არსებობისა, რომლებსაც აქვთ ერთნაირი შემადგენლობა და მოლეკულური მასა, მაგრამ აღნაგობით ან ატომების მდებარეობით სივრცეში განსხვავდებიან და ამის შედეგად განსხვავდებიან თვისებებითაც.

იუსტუს ლიბიხის და ფრიდრიხ ველერის დისკუსიის შედეგად დადგინდა იქნა (1823), რომ არსებობენ ორი მკვეთრად განსხვავებული თვისებების ნივთიერებები შემადგენლობით AgCNO - ციანმჟავიანი ვერცხლი (AgNCO) და AgONC კიდევ ერთ მაგალითია ღვინის და ყურძნის მჟავეები, რომელთა გამოკვლევების შემდეგ იაკობ ბერცელიუსმა 1830 წელს შემოიღო ტერმინი «იზომერია» და გამოთქვა ვარაუდი, რომ განსხვავებები წარმოიშევა «რთულ ატომებში მარტივი ატომების განსხვავებული განთავსებით» (ანუ, თანამედროვე ტერმინით, მოლეკულაში).

ნამდვილი განმარტება იზომერიამ მიიღო მხოლოდ XIX ს. მე-2 ნახევარში, მოხეილ ბუტლეროვის ქიმიური აღნაგობის თეორიის საფუძველზე (სტრუქტურული იზომერია) და იაკობ-ჰენდრიკ ვანტ-ჰოფის სტერეოქიმიურ სწავლების (სივრცული იზომერია) საფუძველზე.

სტრუქტურული იზომერია – ეს არის ქიმიური აღნაგობის განსხვავებულობის შედეგი. ამ ტიპს მიეკუთვნებიან:

ნახშირბადოვანი ჩონჩხის იზომერია, განპირობებულია ნახშირბადის ატომების კავშირების სხვადასხვაგვარობით. უმარტივესი მაგალითია – ბუტანი (ქიმია) $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ და იზობუტანი $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$. სხვა მაგალითები: ანტრაცენი და ფენანტრენი (I და II ფორმულები შესაბამისად), ციკლობუტანი და მეთილციკლოპროპანი (III და IV).

ვალენტური იზომერია – ეს არის სტრუქტურული იზომერიის განსაკუთრებული სახე, რომლის დროსაც იზომერები შეიძლება გადავიყვანოთ ერთმანეთში მხოლოდ კავშირების გადანაწილებით. ფუნქციონალური ჯგუფები განსხვავდებიან ხასიათით; მაგალითად, ეთანოლი ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) და დიმეთილის ეთერი ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$).

სტრუქტურული იზომერიის ტიპი, რომლებიც ხასიათდებიან ერთნაირი ფუნქციონალური ჯგუფების ან ორმაგი კავშირების მდგომარეობის სხვაობით, ერთნაირი ნახშირბადის ჩონჩხისას. მაგალითად: 2-ქლორბუტანის მჟავა და 4-ქლორბუტანის მჟავა.

სივრცული იზომერია (სტერეოიზომერია) წარმოიქმნება მოლეკულის სივრცული კონფიგურაციის სხვაობის შედეგად, რომლებსაც გააჩნიათ ერთნაირი ქიმიური აღნაგობა. სხვადასხვა ტიპის სივრცული იზომერების აღსანიშნავად დამუშავებულია სტერეოქიმიური ნომენკლატურა, რომელიც შეგროვილია ქიმიის იუპაკის ნომენკლატურის (IUPAC) განყოფილება E-ში.

იზომერიის ამ ტიპიდან გამოყოფენ ენანტიომერიას (ოპტიკური იზომერია) და დიასტერეომერია.

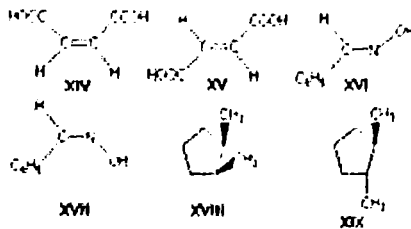
ენანტიომერებს (ოპტიკურ იზომერებს, სარკულ იზომერებს) წარმოადგენს ოპტიკური ანტიპოდების წყვილს – ნივთიერებებს, რომლებიც ხასიათდებიან შუქის პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვის ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნით და ერთნაირი სიდიდით, ფიზიკური და ქიმიური თვისებების (სხვა ოპტიკურად აქტიურ ნივთიერებებთან რეაქციის გარდა) იდენტურობის პირობებში. საჭირო და აუცილებელი მიზეზი ოპტიკური ანტიპოდების წარმოქმნისა არის - მოლეკულის კუთვნილება ერთ-ერთი შემდეგი სიმეტრიის წერტილოვანი ჯგუფისა: *C* თარგი: *Sub*, *D* თარგი: *Sub*, *T*, *O* ან *I*. ყველაზე ხშირად საუბარია ნახშირბადის ასიმეტრიულ ატომზე, ანუ ატომზე, რომელიც დაკავშირებულია ოთხ სხვადასხვა შემცველებთან.

ასიმეტრიულნი შეიძლება სხვა ატომებიც იყვნენ, მაგალითად სილიციუმის, აზოტის, ფოსფორის, გოგირდის ატომები. ასიმეტრიული ატომის არსებობა – არაა ენანტიომერიის ერთადერთი მიზეზი. მაგალითად, ოპტიკური ანტიპოდები გააჩნიათ ადამანტანის (IX), ფეროცენის (X), 1,3-დიფენილალენის (XI), 6,6'-დინიტრო-2,2'-დიფენის მჟავისა (XII) წარმოებულებს. ბოლო ნივთიერების ოპტიკური აქტივობის მიზეზია – ატრაპოიზომერია, ანუ სივრცული იზომერია, რომელიც გამოწვეულია მარტივი კავშირის ირგვლივ ბრუნის არარსებობით. ენანტიომერია ასევე ვლინდება ცილების სპირალურ კონფორმაციაში, ნუკლეინის მჟავებში, ჰექსაგელიგინი (XIII).

დისტერემერულად ითვლება სივრცული იზომერების ყოველი კომბინაცია, რომლებიც არ შეადგენენ ოპტიკური ანტიპოდების წყვილებს განასხვავებენ σ - და π -დიასტერეომერებს.

σ -დიასტერეომერები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ნაწილების კონფიგურაციით რომლებშიც არის ქირალობის ელემენტები. დიასტერეომერებს წარმოადგენენ (+)-ლვინის მჟავა და მეზო=ლვინის მჟავა, D -გლუკოზა და D -მანოზა.

π -დიასტერეომერები, რომლებსაც უწოდებენ ასევე გეომეტრიულ იზომერებს, ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან შემცვლელბის სხვადასხვანაირი სივრცული განლაგებით ორმაგი კავშირების სიბრტყის მიმართ (ყველაზე ხშირად $C=C$ და $C=N$) ან ციკლის მიმართ. მათ მიეკუთვნებიან, მაგალითად, მალეინის მჟავა და ფუმარის მჟავა (ფორმულები XIV და XV შესაბამისად), (E)- და (Z)-ბენზალდოქსიმები (XVI და XVII), ცის- და ტრანს-1,2-დიმეთილციკლოპენტანი (XVIII და XIX).



ქიმიურ გარდაქმნებს, რომელთა შედეგად სტრუქტურული იზომერები გარდაიქმნებიან ერთმანეთედ, ეწოდება იზომერიზაცია. ასეთი პროცესები ძალიან მნიშვნელოვანნი არიან მრეწველობისათვის. ასე მაგალითად, ნორმალური ალკანების იზომერიზაციას იზოალკანებად აწარმოებენ ძრავების საწვავების ოქტანური რიცხვის ასამაღლებლად; პენტანის იზომერიზაციას იზოპენტანად ახდენენ იზოპრენის შემდგომი დეჰიდრირებისათვის. იზომერიზაციას წარმოადგენს ასევე შიდა მოლეკულური გადაჯგუფებები, რომელთაგან დიდი მნიშვნელობა აქვს მაგალითად, ბეკმანის გადაჯგუფებას ციკლოპექსანონოქსიმის გარდაქმნა კაპროლაკტამად (კაპრონის წარმოების ნედლეული).

ენანტიომერების ურთიერთ გარდაქმნების პროცესს ეწოდება რაცემიზაცია: ეკვიმოლური ნარევების (-) და (+) ფორმების, ანუ რეცამენტის წარმოქმნის შედეგად ხდება ოპტიკური აქტივობის დაკარგვა. დიასტერეომერების ურთიერთგარდაქმნებისას წარმოიქმნება ნარევები, რომლებშიც ჭარბობს თერმოდინამიკური უფრო მდგრადი ფორმა. π -დიასტერეომერების შემთხვევაში ეს ჩვეულებრივ არის ტრანსფორმა. კონფორმაციული იზომერების ურთიერთ გარდაქმნებს ეწოდება კონფორმაციული წონასწორობა.

იზომერიის მოვლენა დიდად ხელს უწყობს ცნობილი (და უფრო მეტის კი – პოტენციური შესაძლებელის) ნაერთების რაოდენობის ზრდას. ასე მაგალითად, იზომერული დეცილური სპირტე-

ბის რაოდენობა – 500 მეტია (მათგან ცნობილია მიახლოებით 70), სივრცული იზომერები აქ 1500-ზე მეტია.

იზომერიის პრობლემების თეორიული განხილვისას სულ უფრო მეტ გავრცელებას პოულობს ტოპოლოგიური მეთოდი; იზომერების რაოდენობის დასათვლელად გამოყვანილია მათემატიკური ფორმულები.

§ 4.6. ევოლუციური ქიმია - სამყაროში ქიმიური ელემენტების შერჩევა

XX საუკუნეში ბუნებისმეტყველებაში ზოგადი ევოლუციური წარმოდგენების ფონზე ვითარდება ახალი მეცნიერება – ევოლუციური ქიმია, მეცნიერება ქიმიური სისტემების თვითორგანიზებისა და თვითგანვითარების შესახებ. ევოლუციური ქიმიის ჩარჩოებში ისწავლება ახალი ქიმიური შენაერთების სპონტანური სინთეზის პროცესები. ეს შენაერთები წარმოადგენენ უფრო რთულ და მაღალორგანიზებულ პროდუქტებს საწყის ნივთიერებებთან შედარებით.

ამ მეცნიერებას საფუძველი ჩაეყარა ბიოქიმიური ევოლუციის თეორიის დამუშავებისას, რომელიც ხსნიდა დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობას ფიზიკური და ქიმიური კანონებისადმი დამორჩილებული პროცესების შედეგად. ბიოქიმიური ევოლუციის პირველ სტადიად ითვლება ქიმიური ევოლუცია ან აბიოგენეზი, რომელიც ამ თეორიის თანახმად, მიმდინარეობდა სამ ეტაპად. პირველი ეტაპი -პირველადი ატმოსფეროს აირების დაბალმოლეკულური ორგანული შენაერთების სინთეზი; მეორე ეტაპი – მონომერების პოლიმერიზაცია, რომელიც ქმნის ცილებისა და ნუკლეინების მყავეების ჯაჭვს; მესამე ეტაპი – გარე სამყაროსგან მემბრანებით გამოყოფილი ორგანული ნივთიერებების ფაზურ –

იზოლირებული სისტემების შექმნა. ჩვენი პლანეტის განვითარების პროცესში ხდებოდა ქიმიური ელემენტების შერჩევა ბიოტიკურ და აბიოტიკურ სისტემებში

ცოცხალი სისტემის საფუძველს წარმოადგენს მხოლოდ 6 ელემენტი, რომელთაც მიღებული აქვთ ორგანოგენების სახელწოდება. ესენია: ნახშირბადი, წყალბადი, ჟანგბადი, აზოტი, ფოსფორი, გოგირდი. მათი საერთო ხვედრითი წონა ადამიანის ორგანიზმში შეადგენს 97%-ზე მეტს. მათ მოსდევს 11 ელემენტი, რომელიც ღებულობს მონაწილეობას ბიოსისტემის ბევრ ფიზიოლოგიურად მნიშვნელოვანი კომპონენტის აგებაში. ესენია: ნატრიუმი, კალიუმი, კალციუმი, მაგნიუმი, რკინა, სილიციუმი, ალუმინი, ქლორი, სპილენძი, ცინკი, კობალტი. მათი ხვედრითი წონა ორგანიზმში არის 1,6%. არის კიდევ 20 ელემენტი, რომლებიც მონაწილეობას ღებულობენ ცალკეული სპეციფიკური ბიოსისტემების შექმნასა და ფუნქციონირებაში და მათი წილი 1%-ია. დანარჩენი სხვა ელემენტების მონაწილეობა ბიოსისტემების აგებაში არ არის დაფიქსირებული. აბიოტურ გარემოშიც ხდება ელემენტების შერჩევა. 99%-ზე მეტ ბუნებრივ შენართს შეიცავს იგივე 17 ელემენტი, სხვა დანარჩენზე მოდის 1% -ზე ნაკლები შენაერთი.

თუ ვისაუბრებთ სამყაროს ქიმიურ სურათზე საერთოდ, როგორც ბუნებრივი, ასევე სინთეტიკური პროდუქტების გავალისწინებით, აღმოჩნდა, რომ დღესდღეობით ცნობილია 8 მილიონამდე ქიმიური შენაერთი. მათ შორის 96% - ორგანული შენაერთია, ხოლო არაორგანული შენაერთების წილზე (4%) მოდის 300 000-მდე მარტივი და რთული ნივთიერება. სამყაროში ნივთიერების დიდ ნაწილს შეადგენს წყალბადი და ჰელიუმი. უფრო მძიმე ელემენტები სამყაროში არსებობს ძალიან მცირე რაოდენობით: მაგალითად, ვარსკვლავი - მზე - შეიცავს 2%-მდე მძიმე ელემენტს.

მოცემული განყოფილების შეჯამებისას, ქიმიის, როგორც საბუნებისმეტყველო მეცნიერების, განვითარებაში შეგვიძლია გამოვყოთ ოთხი კონცეპტუალური ეტაპი, თანაც ყოველი ახალი ყალიბდებოდა წინას საფუძველზე და მას მოიცავდა შეცვლილი სახით.

ეს ეტაპებია:

1. სწავლება ნივთიერების შედგენილობის შესახებ დაკავშირებულია ნივთიერებათა სხვადასხვა თვისებების კვლევებთან მათი ქიმიური თვისებების მიხედვით, ქიმიური ელემენტის ცნებასთან და ქიმიურ შენაერთთან.
2. სტრუქტურული ქიმია არის დებულება იმის შესახებ, რომ ნივთიერებათა თვისებები განპირობებულია არა მხოლოდ მათი შემადგენლობით, არამედ მოლეკულათა სტრუქტურითაც.
3. სწავლება ქიმიური პროცესების შესახებ დაკავშირებულია ქიმიური პროცესების მექანიზმების კვლევასთან და მათი მიმდინარეობის პირობებთან, ცნებასთან კატალიზის შესახებ.
4. ევოლუციური ქიმია სწავლობს ქიმიური სისტემების თვითორგანიზაციის პროცესებს სამყაროში საყოველთაო ევოლუციური პროცესის წარმოდგენების და ქიმიური ელემენტების შერჩევის პოზიციებიდან.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რა არის ქიმიური ელემენტი, მარტივი ნივთიერება, რთული ნივთიერება? რა განსხვავებაა ორ უკანასკნელ ცნებას შორის?
2. რა განსხვავებაა დ. მენდელეევის პერიოდული კანონის ფორმულირებასა და ამ კანონის თანამედროვე ინტერპრეტაციას შორის?
3. წყალბადის რამდენი იზოტოპია ცნობილი დღესდღეობით? რა ეწოდებათ მათ? რით განსხვავდება წყალბადის სხვადასხვა იზოტოპის ატომების აგებულება?

4. ფუნდამენტური ფიზიკური რომელი ურთიერთქმედებაა განხორციელებული ქიმიურ ბმაში?
5. რა არის ალოტროპია? რით განსხვავდება ალოტროპული მოდიფიკაციები იზომერებისაგან და იზოტოპებისაგან?
6. რას ეწოდება სტექიომეტრია? რომელმა მეცნიერმა აღმოაჩინა ჯერადი თანაფარდობის კანონი? რა ეწოდება ქიმიაში მუდმივი შემადგენლობის ნივთიერებებს?
7. რას ნიშნავს პირდაპირი და არაპირდაპირი ქიმიური რეაქცია? რა არის ქიმიური წონასწორობა? შეიძლება თუ არა გავლენა მოვახდინოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარის სიდიდეზე და მიმართულებაზე, მისი პირობების შეცვლისას?
8. როგორ შეიძლება ქიმიური პროცესების განმარტების მიცემა კლასიკური მექანიკის XVIII-XIX საუკუნეების ბუნებისმეტყველების პარადიგმის თვალსაზრისით? როგორ განიხილება ქიმიური რეაქცია თანამედროვე კვანტური წარმოდგენების ჩარჩოებში ქიმიურ პროცესებზე?
9. რა არის ქიმიური რეაქციის კატალიზატორი და ინგიბიტორი? განსაზღვრეთ და მოიყვანეთ მაგალითები ბუნებრივ და ხელოვნურ კატალიზატორებზე და ინგიბიტორებზე.
10. რაში ვლინდება ორგანული და არაორგანული შენაერთების სტრუქტურის თავისებურებები?
11. როგორ ხდება სამყაროში ქიმიური ელემენტების შერჩევა? მოიყვანეთ მაგალითები.
12. ჩამოაყალიბეთ კონცეპტუალური ცოდნის ფორმირების ეტაპები თანამედროვე ქიმიაში, განსაზღვრეთ თითოეული მათგანი და ახსენით აღწერილი მოვლენების არსი.

§ 5.1. ნანოტექნოლოგიები და მათი გამოყენების სფეროები

ნანოტექნოლოგიები მომავლის ტექნოლოგიაა, რომელიც წარმატებით გამოიყენება მედიცინაში. ნანოტექნოლოგია გამოყენებით მეცნიერებებსა და უახლეს ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული დარგია და მისი მთავარი ამოცანაა პროცესების მოლეკულურ დონეზე მართვა. ამ მიზნით იგი იყენებს უმცირეს ნანონაწილაკებს, მასშტაბით 1-დან 100 ნანომეტრამდე და ზომის შესაბამის სპეციალურად წარმოებულ მოწყობილობებს. ნანოტექნოლოგიამ საკმაოდ ფართო არეალი მოიცვა. იგი გამოიყენება მეცნიერების სხვადასხვა დარგში.

ყველაფერი 1959 წლის 29 დეკემბერს, ქალაქ კალთეკში დაიწყო, სადაც ამერიკელ ფიზიკოსთა ასოციაციის შეხვედრაზე რიჩარდ ფინმანმა გაახშიანა სრულიად უცნობი ნანოტექნოლოგიური მეცნიერების კონფერენცია (თუმცა ეს ტერმინი მოგვიანებით შემოიღეს). მან აღწერა პროცესი, რომლის მიხედვითაც მანიპულატორების გამოყენებით შესაძლებელია ორგანიზმში ცალკეული ატომის და მოლეკულის გარკვეულ ადგილამდე მიტანა და აღნიშნა, რომ ამ პროცესის განსახორციელებლად საჭიროა ბუნებრივი ცვლადი სიდიდეების, მაგალითად, გრავიტაციის შედარებით ნაკლებად, ხოლო ვან-დერ-ვალსის მიზიდულობის ძალების კი – უფრო აქტიურად გამოყენება. ეს იდეა რეალობას მოწყვეტილი ნამდვილად არ იყო და მოგვიანებით საფუძვლად დაედო ნანოტექნოლოგიას.

ნანოტექნოლოგია, როგორც ტერმინი პირველად მოიხსენიება 1974 წელს ტოკიოს უნივერსიტეტის პროფესორის ნორიო ტანიგუჩის მოხსენებაში „ნანოტექნოლოგიების ძირითადი კონცეფციის საფუძვლები“. 1986 წელს მოხდა ნახშირბადის ნანომილების დაპატენტება, რასაც მოჰყვა ნახევარგამტარული ნანოკრისტალების შესწავლა, ლითონთა ოქსიდების მრავალწერტილიანი ნანონაწილაკების რიცხვის ზრდა.

„ნანო“ – ბერძნული სიტყვაა და „ჯუჯას“ ნიშნავს. ერთი ნანომეტრი (ნმ) არის მილიმეტრის ერთი მემილიონედი. შედარებისთვის, ნახშირბადის ატომებს შორის არსებული ტიპური ბმის სიგრძე 12-15 ნმ-ის ტოლია, დნმ-ის მოლეკულის ორმაგი ჯაჭვის დიამეტრი კი – 2 ნმ-ია.

თანამედროვე ბიოქიმია საშუალებას იძლევა შეიქმნას ნებისმიერი სირთულის უმცირესი ზომის სტრუქტურა. ამის მაგალითი სინთეზური პოლიმერებია, რომლებიც აქტიურად გამოიყენება ნანოტექნოლოგიური საშუალებების დასამზადებლად. არსებობს ნანოტექნოლოგიური მექანიზმების აწყობის ორი მთავარი მიდგომა: „ქვემოდან ზემოთ“; სადაც მოწყობილობები სტრუქტურები იგება მოლეკულური კომპონენტებისგან, რომელთა ქიმიური სტრუქტურის აწყობა ხდება მოლეკულების შეცნობის პრინციპის საფუძველზე და „ზემოდან ქვემოთ“; სადაც ნანო ობიექტების აწყობა ხდება უფრო დიდი ზომის მასალებისაგან ატომური დონის კონტროლის გარეშე.

უკანასკნელ წლებში შექმნეს ნანომასალა, რომელიც თავისი სტრუქტურით ძვლის ქსოვილის ანალოგია. ეს არის 8 ნმ დიამეტრის ბოჭკო, რომელიც კოლაგენის ბოჭკოს იმიტაციაა ჰიდროქსიაპატიტის ნანოკრისტალებით მინერალიზაციით. ადვილად უკავშირდება ძვლოვან ქსოვილს, რის გამოც მომავალში შესაძლებელია მისი გამოყენება „ძვლის წებოს“ ან „შტამის“ სახის თვალსაზრისით. საქმე იმაშია, რომ ასეთ ნანომასალაზე მიმაგრებული ქსოვილი ისწრაფვის დიფერენციაციისკენ და წარმოქმნის იგივე სპეციალიზაციის ან სხვა ტიპის ქსოვილს.

ნანოსტრუქტურები (მაგალითად, ნანორელიეფით დაფარული ზედაპირები) შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც საფარველი და შიდა ქსოვილების შემცველად. მათ ორგანიზმი აღიქვამს, როგორც საკუთარს და ემაგრება ამ ზედაპირს, გამოირიცხება იმუნური კონფლიქტი.

ნანონაწილაკებისგან შეიძლება შეიქმნას ლიპოსომები, პოლიმერული კონიუგატები, პოლიმერული მიცელები და სხვა.

მიკროკაფსულების შესაქმნელად გამოიყენება ფორებიანი მემბრანები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია მრავალი ნივთიერების ორგანიზმში შეყვანა.

ამერიკულმა კომპანიამ *C-Sixsty Inc.* ჩაატარა პრეკლინიკური გამოცდა ნანოსფერო *C60*-ზე, მასზე ქიმიური ჯგუფები მოწესრიგებულადაა განლაგებული. ეს ჯგუფები შერჩეულია ისეთი წესით, რომ მიმართული იყოს სხვადასხვა ბიოლოგიურ სამიზნეზე. მოქმედების სპექტრი საკმაოდ ფართოა. ნანონაწილაკებით შესაძლებელია შეკავებული იქნეს სიმსივნური უჯრედების განვითარება. ამჟამად კვლევები ტარდება რუსეთში, ექსპერიმენტული მედიცინის ინსტიტუტში (სანკტპეტერბურგი), სადაც შექმნილია პოლივინილპიროლიდონის შიგთავსის მქონე ფულერები. ასეთი ნაერთი წყალში კარგად ხსნადია, ხოლო შიგთავსი თავისი სტრუქტურით ახლოსაა *C60*-თან. შედეგად ვიღებთ სითხეში კარგად ხსნად, მაღალი ანტივირუსული აქტივობის მასალას. იქიდან გამომდინარე, რომ საკუთრივ პოლივინილპიროლიდონს არ გააჩნია ანტივირუსული მოქმედება, მთელი აქტივობა მიეწერება *C60*-ს. მისი ეფექტური დოზა ფულერებში შეადგენს დაახლოებით 5 მკგ/მლ-ს, რაც მნიშვნელოვნად დაბალია გრიპის ვირუსის გამანადგურებელ რემანტადინთან შედარებით (25 მკგ/მლ). ასევე აღსანიშნავია, რომ ნანოსფერო მოქმედებს როგორც *A*, ისე *B* ტიპის, რემანტადინი კი მხოლოდ *A* ტიპის გრიპის ვირუსზე. ნანოსფეროების გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა სადიაგნოსტიკო მეთოდშიც, მაგალითად, რენდგენოკონტრასტირება, გარკვეული უჯრედის ზედაპირზე მიმაგრების შემდეგ ნანოსფერო მას ხილვადს ხდის.

დენდრიმერები მიკრო და ნანოკაფსულები არის მინიატურული კაფსულები (1მკმ) ნანოფორებით, რომლებიც გამოიყენება ფარმაკოლოგიური პრეპარატების მისატანად ორგანიზმის ნებისმიერ ადგილას. ასეთი მიკროკაფსულები უკვე გამოიყენება ინსულინის მისაწოდებლად და მისი ფიზიოლოგიური პროდუქ-

ციის სარეგულაციოდ პირველი ტიპის დიაბეტის დროს. კაფსულები დაახლოებით 6 ნმ ზომისაა, რაც იცავს მათ ორგანიზმის იმუნური სისტემის ზემოქმედებისგან. შედარებით მარტივი კონსტრუქციის მიკროსკოპულ კაფსულებს თავის თავზე შეუძლიათ აიღონ ორგანიზმის მნიშვნელოვანი პროცესების გააქტივება.

დღესდღეობით საკმაოდ ფართოდაა გავრცელებული ე.წ. ნანო-გადაცემები – სილიკონის ბოჭკოები, რომლებიც შეიცავენ რეცეპტორებს სიმსივნის მარკერისათვის, როგორცაა მაგალითად, პროსტატის სპეციფიური ანტიგენი. ისინი საკმაოდ მგრძობიარენი გამოდგნენ, რადგანაც შეძლეს გამოველინათ მარკერები დაახლოებით ათ სიმსივნურ უჯრედში.

ნანოჯავშნებს კვარცის გული და ლითონის გარსი აქვს. მისი შეყვანა ადამიანის ორგანიზმში სრულიად უსაფრთხოა. აქვს უმცირესი ზომა და ახასიათებს სელექციურობა სიმსივნური უჯრედების მიმართ. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ შეძლებენ ნანოჯავშნებზე განათავსონ მოლეკულური კონიუგატები იმ ანტიგენების საწინააღმდეგოდ, რომელიც ექსპრესირებულია სიმსივნურ უჯრედებზე ან უშუალოდ სიმსივნურ უჯრედებში.

ნანოტექნოლოგიის ერთ-ერთი პერსპექტიული ამოცანაა ნანო-რობოტების შექმნა და პრაქტიკულ მედიცინაში მისი გამოყენება. ნანორობოტებს აქვთ ორგანიზმში სახეცვლილ უჯრედებამდე შეღწევის უნარი. ასეთი „მომავლის ნანორობოტი“, რომელზეც ამჟამად მიმდინარეობს მუშაობა, არის 0,5 – 3 მიკრომეტრის ზომის ნაწილაკი (ეს არის მაქსიმალური ზომა, რომელსაც კაპილარში გასვლა შეუძლია). მისი მთავარი შემადგენელი კომპონენტი იქნება ნახშირბადის მოლეკულა (ალმასი, გრაფიტი). პროცესის მიმდინარეობაზე დაკვირვება მაგნიტური რეზონანსის საშუალებით განხორციელდება. ულტრაიისფერი დასხივების ფონზე კადმიუმის სელენიდის ნაწილაკები იწყებენ ციმციმს, გააღწევენ სისხლის მიმოქცევის სისტემაში და მივლენსიმსივნურ უჯრედებამდე.

ნანორობოტის დანიშნულებაა ორგანიზმის გაწმენდა ვირუსული ან/და ბაქტერიული ინფექციისგან; სამკურნალო საშუალების ზუსტად იმ ადგილამდე მიტანა, სადაც ის ყველაზე მეტად არის საჭირო; ორგანიზმის ჟანგბადით მომარაგების გაუმჯობესება და შესაბამისად, ნივთიერებათა ცვლის გააქტიურება-მოწესრიგება.

ტიპური ერთჯერადი თერაპიული დოზა ორგანიზმში 1-დან 10 ტრილიონამდე ნანორობოტის შეყვანას გულისხმობს. მორბილი ადამიანის სხეულის მოცულობა 100 000 სმ³-ია. აქედან სისხლის მოცულობა 5400 სმ³-ს შეადგენს, ასე რომ, 3 სმ³ მოცულობის ნანორობოტების დამატებას ორგანიზმი პრაქტიკულად ვერ შეიგრძნობს, მით უფრო, რომ ისინი იმოქმედებენ ისე, როგორც სპეციალური მოწყობილობის მეშვეობით „უბრძანებენ“. ორგანიზმში მოხვედრილი ნანორობოტები სისხლის ნაკადის მეშვეობით გადაადგილდებიან. იმისდა მიხედვით თუ სად განსახლდებიან, განსხვავებული იქნება მათი ზომაც. მაგალითად, ყველაზე დიდი ზომის სისხლის ნანორობოტები იქნებიან, შედარებით პატარა – ქსოვილებში მობინადრენი. რობოტს, ისევე როგორც ნებისმიერ მოწყობილობას, გადაადგილებისა და ფუნქციონირებისათვის ენერგია სჭირდება. მეცნიერებმა ამაზეც იზრუნეს – მოწყობილობა მუშაობისათვის საჭირო ენერგიას თავად ორგანიზმში, ჟანგბადის და გლუკოზის მეტაბოლიზმის დროს მიმდინარე მექანო-ქიმიური რეაქციების საშუალებით მიიღებს.

იმუნური სისტემა სწრაფად ახერხებს ორგანიზმში მოხვედრილ ნებისმიერ უცხო სხეულის ამოცნობას და მის გაუვნებელყოფას. ნანორობოტები ჩვეულებრივი უცხო სხეულები არიან, რომელთაც იმუნური სისტემა მალევე აღმოაჩენს, მაგრამ რაკი გლუვი ალმაზოიდური სტრუქტურის მქონე ნანორობოტები მცირედ გამოხატულ ლეიკოციტურ აქტივობას ამჟღავნებენ და ალმასის ძლიერი ზედაპირული ენერგიის წყალობით მათი გარსი ქიმიურად აბსოლუტურად ინერტულია, იმუნური სისტემის აგრესიას თითქმის არ იწვევენ და არ იღვევებიან.

ნანომოწყობილობათა ერთ ნაწილს უნარი შესწევს ადამიანის ბუნებრივი გამოყოფი არხების მეშვეობით დამოუკიდებლად დატოვოს ორგანიზმი, მეორე ნაწილი კი ისე იქნება კონსტრუირებული, რომ მათ ორგანიზმიდან მედპერსონალი სპეციალური ნანოგამომყვანი აპარატის საშუალებით გამოდენის.

ნანომანიპულატორი გამოიყენება სხვადასხვა ნანოობიექტის – ნანონაწილაკების, მოლეკულის, ცალკეული ატომის მანიპულირებისათვის. დღესდღეობით შექმნილია ასეთი „ნანოპინცეტის“ რამდენიმე ვარიანტი. ერთ შემთხვევაში გამოიყენეს ორი ნახშირწყლოვანი ნანომილი დიამეტრით 50 ნმ, რომლებიც განლაგებულია 2 მკმ დიამეტრის მქონე შუშის ხვეულის გარშემო, ხოლო მეორე შემთხვევაში – დნმ-ის მოლეკულა, რომელიც იცვლის თავის კონფიგურაციას მანიპულაციის შესაბამისად. კორნელის და მასაჩუსეტის უნივერსიტეტის მეცნიერებმა შეძლეს დაეშალათ, გახსნათ დნმ-ის მოლეკულა ნანოპინცეტის გამოყენებით. ნანოტექნოლოგიურ მექანიზმებზე დაფუძნებული სიმსივნის მკურნალობის მეთოდების დანერგვა ფაქტიურად 2007 წელს დაიწყო და ამ კვლევების წარმატება რევოლუციის ტოლფასია სიმსივნესთან ბრძოლის მიზნით. ნანოტექნოლოგიაზე დაფუძნებული სიმსივნის მკურნალობის მეთოდების შანსები საკმაოდ მაღალია, რადგან ამ დროს ძალზე მცირეა გვერდითი ეფექტების რიცხვი. ნანოტექნოლოგიურ საშუალებებს გააჩნიათ ტროპიზმი სიმსივნური უჯრედების მიმართ და არ იწვევენ ჯანმრთელი უჯრედების დაზიანებას სიმსივნურთან ერთად. ნანოტექნოლოგიური მეთოდი დღესდღეობით წარმოადგენს ალტერნატივას კიბოს მკურნალობაში. მეცნიერების ვარაუდით, სულ რამდენიმე წელიწადში ის ჩაანაცვლებს ქიმიო და რადიოთერაპიული მკურნალობის მეთოდებს. ის ფაქტი, რომ ნანოტექნოლოგიური მექანიზმები თავისი ზომით ათჯერ და ათასჯერ უფრო მცირეა, ვიდრე ადამიანის უჯრედები, მათ საშუალებას აძლევს გააღწიონ სისხლძარღვში, გაცდნენ ჰემატოენცეფალურ,

ეპითელი-ენდოთელიურ ბარიერებს, იმოქმედონ როგორც სიმსივე-
ნური უჯრედის ზედაპირზე, ასევე უჯრედის შიგნით.

ნანონაწილაკები სრულიად არაინვაზიურია და ბოჭავს უშუა-
ლოდ სიმსივნურ უჯრედებს, განსაზღვრავს მათ ანატომიურ სტრუქ-
ტურას, დაზიანების კონტურს და ხილვადს ხდის მას. ნანონა-
წილაკები გვამლევს საშუალებას დავინახოთ ის მოლეკულები და
უჯრედები, რომელსაც რუტინული ტესტებით და მეთოდებით ვერ
გამოვყოფთ. ის ფაქტი, რომ შეგვიძლია მონიტორინგი ვაწარმოოთ
სიმსივნურ უჯრედზე, წარმატებულს ხდის ნანონაწილაკების
გამოყენებას სადიაგნოსტიკოდ და სამკურნალოდ და
ფარმაკოლოგიური პრეპარატების და საკონტრასტო ნივთიერებების
ტრანსპორტირებისათვის. ნანოჯავშანში, რომელიც შექმნეს რაისის
უნივერსიტეტში, გარედან დაფარულია ოქროთი, ისინი ანადგურებენ
თაგვების სიმსივნურ უჯრედებს. დასხივებისას ოქრო ცხელდება
საკმარის ტემპერატურამდე და ანადგურებს სიმსივნურ უჯრედებს.

პერსპექტიულია ნანოტექნოლოგიური საშუალებების გამოყე-
ნება ფარმაკოლოგიური პრეპარატების ორგანიზმში შესაყვანად.
ნანოსკალებს და ნანონაწილაკებს წამლის მოლეკულები მიაქვთ
უშუალოდ იმ ადგილამდე, სადაც ყველაზე მეტადაა საჭირო
მედიკამენტის მოქმედება.

წამლის მიწოდების სისტემაში ძირითადად გამოიყენება
ლიპიდებზე და ლიპომერებზე დაფუძნებული ნანონაწილაკების
სისტემები. თუ ფარმაკოლოგიური პრეპარატების დიდი ზომის
მოლეკულები ჩვეულებრივ შემთხვევაში ტრანსფომაციის დროს
გამოიყოფა ორგანიზმიდან, ასეთი ტიპით მიწოდებული წამლის
ნანონაწილაკები კვდება სიმსივნურად დაავადებული უჯრედებით,
რაც გარკვეულწილად განპირობებულია მათი მცირე ზომით.

არსებობს მოსაზრება იმის შესახებ, რომ ზოგიერთი ნანომასა-
ლა საზიანოა ჯანმრთელობისათვის. რაც უფრო მცირეა ნაწილაკი,
მით უფრო მაღალია მისი ქიმიური რეაქტიულობა და ბიოლო-
გიური აქტიურობა, უფრო დიდი რაოდენობით გამოყოფს

რეაქტიული ჟანგბადის ნაწილაკებს, რომელიც შეიცავს თავისუფალ რადიკალებს. რეაქტიული ჟანგბადის გამოყოფა დაფიქსირებულია ნახშირბადის შემცველი ფულერების ნანომასალებში, ნახშირბადის ნანომილებში და ნანონაწილაკებში ლითონის ჟანგის შემცველობით. მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ დაჟანგვა, აალებს, ცილების, მემბრანების, დნმ-ის მოლეკულის შეუქცევადი დაზიანება. ის ფაქტი, რომ ნანომასალას შეუძლია ნებისმიერი ბარიერის გადალახვა ორგანიზმში, ნებისმიერ ორგანომდე მიღწევა და ბოლომდე ათვისებადია ორგანიზმის მიერ, ერთის მხრივ მის დადებით, ხოლო მეორეს მხრივ მის უარყოფით მხარეზეც მეტყველებს, რადგანაც იგი ბევრად უფრო ტოქსიური შეიძლება იყოს, ვიდრე დიდი ზომის მოლეკულა.

ამრიგად, ნანოტექნოლოგიებს შესწევთ უნარი სულ ცოტა ხანში შეაღწიონ ადამიანის ორგანიზმის ნებისმიერ წერტილში, აიღონ ლოკალურად სადიაგნოსტიკო ინფორმაცია, მიაწოდონ ფარმაკოლოგიური საშუალებები და საუკეთესო შემთხვევაში ადგილზევე აწარმოონ „ნანოქირურგიული“ ოპერაციები – ათეროსკლეროზული ფოლაქის მოცილება, ავთვისებიანად გადაგვარებული სიმსივნური უჯრედების განადგურება, დაზიანებული ნერვული ბოჭკოების აღდგენა და ა.შ. ნანოტექნოლოგიები მომავლის ტექნოლოგიაა, რომლის გამოყენება წარმატებით დაიწყო მედიცინაში და თანდათან უფრო ფართო გავრცელებას პოულობს. დღეს არსებული პროგნოზით 2015 წლისათვის იგი დაიკავებს წამყვან ადგილს მედიცინის უამრავს დარგში.

ტრადიციული თანამედროვე მოწყობილობები დაფუძნებულია თვალში კაჟის კრისტალის ჩანერგვაზე, რომლის მიზანია ნერვების ელექტრული სტიმულაცია, მაგრამ ამ კრისტალებს სერიოზული ნაკლოვანებები აქვს. კერძოდ, კაჟის კრისტალები საკმაოდ დიდები, შეუძლიათ თვალის ბედურის დაუზიანებელ ადგილებზე მოხვედრილი სინათლის სხივების დაბლოკვა და ბადურის დაზიანება.

ამერიკელმა მეცნიერებმა ამ პრობლემის გადაწყვეტის საკუთა-

რი ვარიანტი წამოაყენეს. მისი არსი მდგომარეობს თვალის ჯანმრთელი, მოქმედი, შუქმგრძობიარე უჯრედების გამოყენებაში, რომლებიც გააძლიერებს ბადურამდე მიღწეულ სინათლეს. ასეთი ეფექტის მიღწევა შესაძლებელია თვალის ბადურაში 1-100 ნმ ზომის ნახევარგამტარი ნანონაწილაკების ჩანერგვა.

ნანონაწილაკები ფლუორესცირებენ ფოტონებთან ურთიერთქმედებისას და ქმნიან ეფექტს, რომელიც ბადურის მიერ მიღებულ ნებისმიერ გამოსახულებას უფრო მკაფიოს და ნათელს ხდის. იგეგმება ნანონაწილაკების დამზადება თვალის ქსოვილებთან თავსებადი ბიოლოგიური მასალის გარსით. ასეთი ნანონაწილაკები არ მოითხოვს გარედან კვებას და გაცილებით კომპაქტურია კაჟის მასალებთან შედარებით. ამერიკელებმა ეს მეთოდი ჯერ მხოლოდ ვირთაგვებზე გამოსცადეს. ჩატარებულმა ცდებმა ასეთი მიდგომის მიზანშეწონილობა აჩვენეს.

ნანომედიცინის მიზანი საუკუნის ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ დაავადებათა განკურნება, ტკივილის დამარცხება, ადამიანის სიცოცხლის ასაკისა და მისი გონებრივი შესაძლებლობების გაზრდაა.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. ნანოტექნოლოგია წარმოადგენს:
 - ა) ქიმიის ნაწილს;
 - ბ) ფიზიკის ნაწილს;
 - გ) ასტრობიოლოგიის ნაწილს;
 - დ) დისციპლინათა შორის მიმართულებას ბუნებისმცოდნეობაში.
2. ნანოტექნოლოგიები აპერირებს ობიექტებით, რომელთა ზომები შეადგენს:
 - ა) 1-დან 10^6 -მდე;
 - ბ) 10^9 -დან 10^9 მ-მდე;
 - გ) 10^{-7} -დან 10^{-9} -მდე.

§ 6.1. ზოგადი წარმოდგენები სამყაროზე

ფიზიკური კოსმოლოგია (ბერძ.*κοσμολογία*-სამყაროს ვსწავლობ)–ასტროფიზიკის განშტოებაა და შეისწავლის კოსმოსის სტრუქტურას, ცდილობს პასუხი გასცეს ისეთ ფუნდამენტულ შეკითხვებს, როგორიცაა სამყაროს შექმნა და ევოლუცია. კოსმოლოგია ჩართულია კოსმიურ სხეულთა მოძრაობისა და პირველადი საწყისის შესწავლაში. ადამიანთა განვითარების ისტორიის დიდი ნაწილის მანძილზე ეს საკითხი მეტაფიზიკის საგანი იყო. კოსმოლოგიას, როგორც მეცნიერებას, დასაბამი მისცა კოპერნიკის პრინციპმა, რომლის მიხედვით ციური სხეულები დედამიწისთვის იდენტურ ფიზიკურ კანონებს ემორჩილებიან და ნიუტონის მექანიკამ, რომელმაც საშუალება მისცა ადამიანებს გარკვეულიყოვნენ ამ სხეულთა მოძრაობის კანონზომიერებებში. ფიზიკური კოსმოლოგია, დღევანდელი გაგებით, დაიწყო მე-20 საუკუნეში ალბერტ აინშტაინის ფარდობითობის თეორიისა და უკიდურესად შორეულ ობიექტებზე გაუმჯობესებული ასტრონომიული დაკვირვების მეთოდების განვითარებასთან ერთად.

ასტროფიზიკა არის ფიზიკის მნიშვნელოვანი დარგი, რომელიც შეისწავლის სამყაროში მიმდინარე ფიზიკური მოვლენების მთელ სპექტრს. კვლევის ობიექტების შესაბამისად გამოყოფენ ასტროფიზიკის შემდეგ დარგებს:

- მზის ფიზიკა;
- პლანეტების ფიზიკა;
- ვარსკვლავთშორისი სივრცის ფიზიკა;
- ვარსკვლავების ფიზიკა;
- კოსმოლოგია და სხვა.

ასტროფიზიკა სათავეს იღებს მე-19 საუკუნეში სპექტროსკოპის გამოგონებიდან, რამაც ასტრონომებს ვარსკვლავთა მიერ გამო-

სხივებული სინათლის მიხედვით მათი სტრუქტურის ანალიზის საშუალება მისცა. ასტროფიზიკოსები სამყაროს განიხილავენ როგორც უზარმაზარ ლაბორატორიას, სადაც შეიძლება მატერიის შესწავლა სხვადასხვა ტემპერატურის, წნევისა და სიმკვრივის შემთხვევაში, რისი გაკეთებაც დედამიწის პირობებში შეუძლებელია.

წარმოდგენები გარე სამყაროს აგებულების შესახებ კაცობრიობის კულტურის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენენ. ეს წარმოდგენები ყოველი ეპოქის ცოდნის დონესა და ბუნების შესწავლის გამოცდილებას ასახავდნენ. ადამიანის მიერ შეცნობილი სამყაროს სივრცულ-დროითი მასშტაბების ზრდასთან ერთად კოსმოლოგიური წარმოდგენები განიცდიდნენ ცვლილებებს. მათემატიკური დასაბუთების მქონე პირველკოსმოლოგიურ მოდელს კლავდიუს პტოლემეოსის გეოცენტრული სისტემა წარმოადგენდა. ეს სისტემა მეცნიერებაში დაახლოებით ათას ხუთასი წლის განმავლობაში ბატონობდა.

გეოცენტრული სისტემა (მგ.ბერძნ. *Γῆ, Γαῖα* – დედამიწა) არის პირველი კოსმოლოგიური მოდელი, წარმოდგენილი კლავდიუს პტოლემეოსის მიერ რომლის დროსაც საზოგადოებას სწამდა, რომ უძრავი დედამიწა იყო როგორც უხილავი ისე ხილული სამყაროს ცენტრი, რომლის გარშემოც ბრუნავდა არა მარტო მთვარე, არამედ მზეც და ვარსკვლავებიც. ეს სისტემა მეცნიერებაში დაახლოებით ათას ხუთასი წლის განმავლობაში ბატონობდა. თუმცა თვით ეს სისტემაც კაცობრიობას თავიდანვე არ ჰქონია, არამედ იხვეწებოდა საუკუნეების მანძილზე.

მეთექვსმეტე საუკუნეში, გეოცენტრულ სისტემას კოპერნიკის ჰელიოცენტრული სისტემა ჩაენაცვლა. ტელესკოპების გამოგონებამ და სრულყოფამ შეცნობილი სამყაროს მასშტაბების არნახული ზრდა გამოიწვია. ბოლოს, XX საუკუნის დასაწყისში ადამიანმა სამყარო მეტაგალაქტიკად ანუ გალაქტიკების ერთობლიობად მოიაზრა. კოსმოლოგიური მოდელების ამ ისტორიული ჯაჭვის განხილვა ცხადყოფს, რომ სამყაროს ყოველი სისტემა იმხანად

საკმარისად კარგად შესწავლილ ციურ სხეულთა უდისესი სისტემის მოდელს წარმოადგენდა. მაგალითად, პტოლემეოსის სისტემა სწორედ ასახავდა დედამიწის და მთვარის ერთობლიობას, კოპერნიკის სისტემა მზის სისტემის მოდელი იყო, ხოლო უილიამ ჰერშელის იდეები გალაქტიკის აგებულების ზოგიერთ თვისებას ასახავდნენ. თუმცა, თავის დროზე, ყოველ სისტემას მთელი სამყაროს აგებულების აღწერის პრეტენზია ჰქონდა. კოსმოლოგიის განვითარების ეს მდგრადი ტენდენცია დაიშორება XX საუკუნის კოსმოლოგიაშიც. ჯერ კიდევ XIX საუკუნეში გაირკვა, რომ ნიუტონის მიზიდულობის კანონი და კლასიკური ფიზიკა ადეკვატურად ვერ აღწერენ მატერიის უსასრულო განაწილებას სივრცეში. მათი გამოყენების მცდელობას პარადოქსების მთელი წყება მოჰყვა. თანამედროვე კოსმოლოგია ჩაისახა XX საუკუნის დასაწყისში, მას შემდეგ, რაც აინშტაინმა ფარდობითობის ზოგადი თეორია შექმნა. მიზიდულობის ახალ თეორიაზე დაფუძნებული პირველი კოსმოლოგიური მოდელი (რელატივისტული მოდელი) 1917 წელს შეიქმნა. მისი ავტორი თავად აინშტაინი იყო. ეს მოდელი სტატიკურ სამყაროს აღწერდა და ეწინააღმდეგებოდა ასტროფიზიკურ დაკვირვებებს. 1922-1924 წწ. ფრიდმანმა ამოხსნა ფარდობითობის ზოგადი თეორიის განტოლებები ერთგვაროვანი და იზოტროპული სამყაროსთვის (ეს ისეთი სამყაროა, რომელშიც ნივთიერება სივრცეში საშუალოდ თანაბრადაა განაწილებული, ხოლო სივრცის ყველა მიმართულება ეკვივალენტურია). ზოგად შემთხვევაში, ამონახსნები არასტაციონარულ სამყაროს შესაბამებიან, აღწერენ სამყაროს გაფართოვებას ან შეკუმშვას. 1929 წელს ედუინ ჰაბლი მრავალწლიანი ასტროფიზიკური დაკვირვებების შედეგად, სამყაროს გაფართოვება აღმოაჩინა. ფრიდმანის მოდელები კოსმოლოგიის მომდევნო განვითარების ქვაკუთხედს წარმოადგენენ. ეს მოდელები სამყაროში მასათა მოძრაობის მექანიკურ სურათს და სამყაროს გლობალურ სურათს აღწერენ. ძველი კოსმოლოგია ცდილობდა სამყაროს მოჩვენებითი სტაციონარობის

ახსნას. ფრიდმანის ევოლუციური მოდელები სამყაროს დღევანდელ მდგომარეობას მის ისტორიასთან აკავშირებდნენ. XX საუკუნის 40 - იანი წლებიდან კოსმოლოგია სამყაროს გაფართოების სხვადასხვა ეტაპებზე მიმდინარე პროცესით დაინტერესდა. 1948 წელს გამოვმა ცხელი სამყაროს მოდელი შექმნა. ამ თეორიის თანახმად, გაფართოების დასაწყისში ნივთიერება უზარმაზარი ტემპერატურით ხასიათდებოდა. ამავე დროს შემუშავებულ იქნა ასტრონომიული დაკვირვებების პრინციპულად ახალი მეთოდები შეიქმნა რადიოასტრონომია, რენტგენული ასტრონომია, გამაასტრონომია. ახალი შესაძლებლობები ოპტიკურ ასტრონომიასაც გაუჩნდა. 1965 წელს პენზიასმა და უილსონმა რელიქტური გამოსხივება აღმოაჩინეს. ამ გაცივებულ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას სამყაროს გაფართოების საწყის ეტაპებზე ძალიან მაღალი ტემპერატურა ჰქონდა. ამ აღმოჩენამ გამოვის თეორიის ჭეშმარიტება ცხადყო. თანამედროვე კოსმოლოგია ინტენსიურად იკვლევს კოსმოლოგიური გაფართოების დასაწყისის პრობლემას. გაფართოების დასაწყისში მატერიის სიმკვრივე წარმოუდგენლად დიდი იყო, ხოლო ნაწილაკების ენერგია – ძალზედ მაღალი. აქ კოსმოლოგია აქტიურად „თანამშრომლობს“ ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკასთან, ვინაიდან მხოლოდ უკანასკნელს ძალუმს ნივთიერების ასეთი ექსტრემალური მდგომარეობის აღწერა. კოსმოლოგიის მეორე, არანაკლებ მნიშვნელოვან, პრობლემას სამყაროს არსებული სტრუქტურის წარმოშობა წარმოადგენს.

ასტროფიზიკური დაკვირვებები ადასტურებენ, რომ დიდ მასშტაბებში (სივრცის იმ უბნებში, რომელთა ზომა ასეულობით მეგაპარსეკს აღემატება) მატერიის განაწილება სამყაროში ერთგვაროვანია, ხოლო სივრცის ყველა მიმართულება ეკვივალენტურია. ამ ფაქტებზე დაფუძნებულ ფრიდმანისეულ მოდელებში მატერია განიხილება როგორც უწყვეტი გარემო, რომელიც თანაბრად ავსებს მთელ სივრცეს და დროის ყოველ მომენტში სიმკვრივის და წნევის გარკვეული მნიშვნელობებით ხასიათდება. ამ გარემოს მოძრაობის

გასაანალიზებლად თანმხლებ ათვლის სისტემას იყენებენ. ამ სისტემაში ნივთიერება უძრავია, ნივთიერების დეფორმაციას ათვლის სისტემის დეფორმაცია ასახავს, ასე რომ ამოცანა ათვლის სისტემის დეფორმაციის აღწერაზე დაიყვანება. თანმხლები ათვლის სისტემის სამგანზომილებიან სივრცეს თანმხლები სივრცე ვუწოდოთ. ერთგვაროვანი და იზოტროპული სივრცის შემთხვევაში სივრცის ელემენტის კვადრეტი შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$dP = R^2 \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{1 + \frac{k(x^2 + y^2 + z^2)}{4}}$$

რაც ეხება ოთხგანზომილებიან ინტერვალს, მას შემდეგი სახე აქვს:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2$$

აქ t დროა, x, y, z - უგანზომილებო სივრცითი კოორდინატებია, R - სივრცის სიმრუდის რადიუსი, c - სინათლის სიჩქარე, $k = -1$ (სივრცეს აქვს უარყოფითი სიმრუდე), 0 (ევკლიდური სივრცე), 1 (დადებითი სიმრუდე). დროის მიხედვით R -ის ცვლილება თანმხლები ათვლის სისტემის და მაშასადამე, ნივთიერების გაფართოებას ან შეკუმშვას აღწერს. ათვლის სისტემის დეფორმაციის ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა ერთადერთი $R(t)$ ფუნქციის პოვნა, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში ფარდობითობის ზოგადი თეორიის შემდეგ ორ განტოლებას აკმაყოფილებს:

$$\frac{R_t}{R} = -\frac{4\pi G(\rho + \frac{3P}{c^2})}{3} + \frac{\lambda c^2}{3} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{R_t}{R} \right)^2 - \frac{4\pi G\rho}{3} = \frac{kc^2}{2R^2} + \frac{\lambda c^2}{3} \quad (2)$$

აქ შტრიხები R - ის თავზე და t ინდექსი აღნიშნავენ გაწარმოებას დროის მიხედვით შესაბამისად ორჯერ და ერთხელ. λ კოსმოლოგიური მუდმივაა, რომელიც ვაკუუმის გრავიტაციას აღწერს. $\frac{R_t}{R}$ სიდიდე ათვლის სისტემაში წრფივი მასშტაბების ფარდობითი ცვლილების სიჩქარეს განსაზღვრავს. ეს სიდიდე H ასოთი აღინიშნება, მას ჰაბლის მუდმივა ეწოდება. (1) და (2) განტოლებებიდან შემდეგი თანაფარდობა გამომდინარეობს:

$$P_t + \frac{3R_t(\rho + \frac{P}{c^2})}{R} = 0 \quad (3)$$

ეს განტოლება გრავიტაციის გამო სამყაროს გაფართოების ტემპის შენელებას აღწერს. მასში გათვალისწინებულია, რომ მიზიდულობა ნივთიერების წნევითაც იქმნება. ვინაიდან ერთგვაროვან სამყაროში წნევის გრადიენტი არ არსებობს, ადგილი არ აქვს ჰიდროდინამიკულ ძალებს, რომლებიც წნევათა სხვაობითაა გამოწვეული და რომლებიც ნივთიერების მოძრაობაზე გავლენას ახდენენ. წნევა მხოლოდ მიზიდვაში ვლინდება. (1) და (2) განტოლებათა ამოსახსნელად უნდა ვიცოდეთ კავშირი წნევასა და სიმკვრივეს შორის (ნივთიერების მდგომარეობის განტოლება). სამყაროს ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპებზე ეს დამოკიდებულება სხვადასხვაა. თანამედროვე სამყაროში კოსმოლოგიური მუდმივა $\lambda=0$, ან იმდენად მცირეა, რომ (3) და (4) განტოლებებში ის შეიძლება უგულებელვყოთ.

§ 6.2. გალაქტიკები

გალაქტიკა- გრავიტაციულად დაკავშირებული მატერიის მასიური სისტემაა, რომელიც შეიცავს ვარსკვლავებს, ვარსკვლავურ ნარჩენებს, გაზისა და მტვრის ვარსკვლავთშორის სივრცეს და ბნელ მატერიას-მნიშვნელოვან, მაგრამ თითქმის უცნობ კომპონენტს. სიტყვა გალაქტიკა ბერძნულიდანაა წარმოებული „*γαλαξίας*“ (იკითხება გალაქსია) და ნიშნავს „რძიანს“. ამიტომაც ინგლისურად ჩვენს გალაქტიკას „რძიან გზას“ უწოდებენ, ხოლო ქართულში მას ძირითადად, „ირმის ნახტომად“ მოიხსენიებენ. გალაქტიკების მრავალფეროვნება იწყება ჯუჯებით, რომლებიც 10 მილიონამდე-(10^7) ვარსკვლავს შეიცავს და მთავრდება გიგანტებით, რომელთა შემადგენლობაში 100 ტრილიონი (10^{14}) ვარსკვლა-

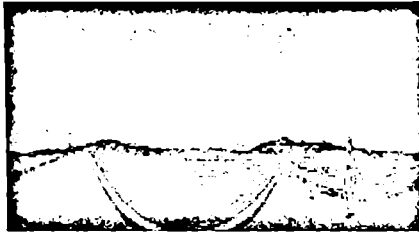
ვი შედის. თითოეული ვარსკვლავი საკუთარი გალაქტიკის მასის ცენტრის ირგვლივ მოძრაობს.

გალაქტიკები პლანეტების, ვარსკვლავების, ვარსკვლავთგროვების და გარკვეული ტიპის ვარსკვლავთშორისი ღრუბლების სხვადასხვა რაოდენობას შეიცავს. ამ ობიექტებს შორის არის კოსმოსური სხივების, გაზისა და მტვრის მეჩხერი ვარსკვლავთშორისი. სივრცის უმეტეს გალაქტიკათა ცენტრში ზემასიური შავი ხვრელი ბინადრობს. თანამედროვე მოსაზრების მიხედვით, ზემასიური შავი ხვრელი გალაქტიკის აქტიური ბირთვის ძირითადი მომმარაგებელია. ცნობილია, რომ „ირმის ნახტომი“ სულ ცოტა ერთ ასეთ ობიექტს შეიცავს.

ისტორიულად, გალაქტიკები კატეგორიებად იყო დაყოფილი მათი ხილული ფორმების მიხედვით, რომელსაც ჩვეულებრივ ვიზუალურ მორფოლოგიას უწოდებენ. გავრცელებული ფორმა არის ელიფსური გალაქტიკა, რომელსაც ელიფსის ფორმის სინათლის მოხაზულობა აქვს. სპირალური გალაქტიკები დისკოს ფორმისაა მტვრიანი, მრუდე მკლავებით. უჩვეულო ფორმისა და უსწორმასწორო გალაქტიკებს არაწესიერი გალაქტიკები ეწოდება და ჩვეულებრივ წარმოიქმნება მეზობელი გალაქტიკების გრავიტაციული მიზიდულობის შეწყვეტით. ასეთი ურთიერთქმედება ერთმანეთთან ახლოს მდებარე გალაქტიკებს შორის, რომელიც საბოლოოდ შეჯახებით მთავრდება, ზოგჯერ იწვევს ვარსკვლავების წარმოქმნის შესამჩნევად ზრდად შემთხვევებს.

ხილულ სამყაროში 170 მილიარდზე მეტი გალაქტიკაა. გალაქტიკათა უმეტესობის დიამეტრი 1000-დან 100 000 პარსეკამდეა და ერთმანეთისგან მილიონობით პარსეკის (ან მეგაპარსეკი) მანძილითაა დაშორებული. გალაქტიკათშორის სივრცეში (სივრცე გალაქტიკებს შორის) გათხელებული გაზია, რომლის საშუალო სიმჭიდროვე კუბურ მეტრზე ერთიატომია. გალაქტიკათა უმეტესობა არც სრულიად შემთხვევითაა დალაგებული, არც სრულიად

განსაზღვრული წყობათა ერთობლიობით, რომელსაც გალაქტიკათა ჯგუფები ან გროვები ეწოდება, რომელიც მეორე მხრივ, უფრო დიდ ზეგროვებს წარმოქმნის. უდიდეს მასშტაბებზე ეს გაერთიანებები დალაგებულია ფილამენტებად და ქსოვილებად, რომლებიც გარშემორტყმულია უზარმაზარი ვოიდებით (სიცარიელით).



„ირმის ნახტომის“ რეალი პარანალის ობსერვატორიის თავზე.

ასტრონომიულ ლიტერატურაში დიდ ასოზე დაწყებული სიტყვა „Galaxy“ ჩვენი გალაქტიკის, „ირმის ნახტომის“, აღსანიშნად გამოიყენება, რათა არ აგვერიოს სხვა მილიარდობით გალაქტიკაში. ინგლისური ტერმინი „Milky Way“ ჩოსერის ერთ მოთხრობას უკავშირდება:

„See yonder, lo, the Galaxy. Which men clepeth the Milky Wey, For hit is whyt.“- ჯეფრი ჩოსერი. დიდების სახლი, 1380.

როდესაც უილიამ ჰერშელმა 1786 შექმნა ღრმა ციური სხეულების კატალოგი მან გამოიყენა სახელი „სპირალური ნისლეული“ გარკვეული ობიექტებისთვის, როგორცაა M31 (ანდრომედას გალაქტიკა). შემდეგ ეს აღიარებულ იქნა, როგორც ვარსკვლავების უზარმაზარი თავმოყრა, როცა ამ ობიექტებამდე ნამდვილი მანძილის დადგენა დააფასეს, შემდეგ ის მოიხსენიეს, როგორც კუნძულისებრი სამყაროები. თუმცა, იმ დროს სიტყვა „სამყაროს“ მნიშვნელობა ესმოდათ, როგორც არსებობის მთლიანობა, ამიტომ ეს გამოთქმა ხმარებიდან გამოვიდა და ამის ნაცვლად ამ ობიექტებს გალაქტიკები დაერქვა.

ათობით ათასი გალაქტიკა კატალოგშია შეტანილი. მხოლოდ მათმა მცირე რიცხვმა მიიღო განსაკუთრებული სახელი, როგორცაა ანდრომედა, მაგელანის დიდი ნისლეული, მორევის გალაქტიკა და სომბრეროს გალაქტიკა. ასტრონომები რამდენიმე გარკვეულ კატალოგზე მუშაობენ: მესიეს კატალოგი, NGC (ახალი საერთო კატალოგი—*New General Catalogue*), IC (ინდექს კატალოგი - *Index Catalogue*), CGCG (გალაქტიკებისა და გალაქტიკების გროვების კატალოგი - *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*), MCG (გალაქტიკების მორფოლოგიური კატალოგი - *Morphological Catalogue of Galaxies*) და UGC (უფსალას გალაქტიკების საერთო კატალოგი). ყველა კარგად ნაცნობი გალაქტიკა ერთ ან მეტ კატალოგში ჩნდება, მხოლოდ სხვადასხვა სახელებით. მაგალითად, „მესიე 109“ სპირალური სისტემაა, რომელსაც ნომერი 109 აქვს მესიეს კატალოგში. ასევე აქვს სხვა კოდებიც: *NGC3992*, *UGC6937*, *CGCG 269-023*, *MCG +09-20-044* და *PGC 37617*.

მეცნიერებაში ყველაზე სწავლებად ობიექტებზე სახელების დარქმევა აუცილებელია, ყველაზე პატარებზეც კი. ბელგიელმა ასტროფიზიკოსმა ჯერარდ ბოდიფემ და კლასიკოსმა მიშელ ბერგერმა შექმნეს ახალი კატალოგი (*CNG - Catalogue of Named Galaxies*- სახელდარქმეული გალაქტიკების კატალოგი), რომელშიც კარგად ცნობილი ათასობით გალაქტიკა ლათინურადაა მოცემული მრავალმნიშვნელოვანი, თვალსაჩინო სახელებით ბინომიალურ ნომენკლატურასთან შეთანხმებით, რომელიც გამოიყენება სხვა მეცნიერებებში, როგორებიცაა ბიოლოგია, ანატომია, პალეონტოლოგია და ასტრონომიის სხვადასხვა დარგი. მაგალითად, მარსის გეოგრაფია. ამის გაკეთების ერთ-ერთი არგუმენტი ისაა, რომ ეს მიმზიდველი ობიექტები უფრო მეტს იმსახურებს, ვიდრე რთულ და მოსაწყენ კოდებს. მაგალითად, ბოდიფემ და ბერგერმა არაფორმალური, თვალსაჩინო სახელი „*Callimorphus Ursae Majoris*“ დახურული გალაქტიკა „მესიე 109-ის“ აღსანიშნად,

რომელიც დიდი დათვის (*Ursa Major*) თანავარსკვლავედში მდებარეობს.

იმის გააზრება, რომ გალაქტიკაში ვცხოვრობთ და ფაქტობრივად, რომ კიდევ მრავალი სხვა გალაქტიკაა სამყაროში, პარალელს ავლებს აღმოჩენებზე, რომლებიც „ირმის ნახტომსა“ და ლამის ცაზე არსებულ სხვა ნისლეულებზე გაკეთდა.

ბერძენმა ფილოსოფოსმა დემოკრიტემ (ძვ.წ. 450-370) ივარაუდა, რომ ლამის ცაზე არსებული კაშკაშა რკალი, რომელსაც „რძიანი გზა“ ეწოდება, შეიძლება შორეულ ვარსკვლავებს შეიცავდეს. თუმცა, არისტოტელეს (ძვ.წ. 384-322) სჯეროდა, რომ „რძიანი გზის“ გამომწვევი მიზეზი იყო „ზოგიერთი ვარსკვლავის ცეცხლოვანი ღრმად ამოსუნთქვის აალება, რომლებიც უზარმაზარი, ურიცხვი და ერთმანეთთან ახლოს მყოფი იყო“ და რომ „აალება ატმოსფეროს ზედა ნაწილში ხდება—მსოფლიოს რეგიონში, რომელიც უწყვეტია ზეციური მოძრაობებით.“ ნეოპლატონისტ ფილოსოფოსი ოლიმპიოდორ უმცროსი (495-570 ახ.წ.) მეცნიერულად კრიტიკულად უყურებდა ამ შეხედულებას. მისი თქმით, თუ „რძიანი გზა“ სუბლუნარული (მთვარესა და დედამიწას შორის მოთავსებული) იყო, მაშინ ის უნდა გამოჩენილიყო განსხვავებულად სხვადასხვა დროსა და ადგილიდან, და მას უნდა ჰქონოდა პარალაქსი, რომელიც სინამდვილეში არ აქვს. მისი შეხედულებით, „რძიანი გზა“ ღვთაებრივი იყო. ეს მოსაზრება მოგვიანებით ისლამურ სამყაროში ძალზე გავლენიანი გახდა.

მოჰანი მოჰაბედის თანახმად, არაბმა ასტრონომმა ალ-ჰაზენმა (965-1037) პირველად სცადა დაკვირვებოდა და გაეზომა „რძიანი გზის“ პარალაქსი. აქედან გამომდინარე, „დაასკვნა, რომ რადგანაც „რძიან გზას“ არ აქვს პარალაქსი, ის ძალიან შორს იყო დედამიწიდან და არ ეკუთვნოდა ატმოსფეროს“. სპარსელმა ასტრონომმა ალ-ბირუნიმ (973-1048) ივარაუდა, რომ „ირმის ნახტომის“ გალაქტიკა იყო „ბუნდოვანი ვარსკვლავების უთვალავი ბუნების ფრაგმენტის

გროვა“. ანდალუზიელმა ასტრონომმა იბნ ბაჯაჰმა კი ივარაუდა, რომ „ირმის ნახტომი“ შედგებოდა მრავალი ვარსკვლავისაგან, რომლებიც თითქმის ერთმანეთს ეხება და უწყვეტ სურათად ჩანს სუბლუნარული მატერიისგან გამოწვეული გარდატეხის ეფექტის გამო. თავისი დაკვირვების დასამოწმებლად კი მტკიცებულებად მოიყვანა იუპიტერისა და მარსის შეერთება დამის ცაზე. ეს ხდება მაშინ, როცა ეს ობიექტები ერთმანეთთან ახლოსაა. XIV საუკუნეში სირიაში დაბადებულმა იბნ ქაიიმ ივარაუდა, რომ „ირმის ნახტომი“ იყო „პაწაწინა ვარსკვლავების უთვალავი რაოდენობა, რომელიც თავმოყრილია ერთად უძრავი ვარსკვლავების სფეროში“.



„ირმის ნახტომის ფორმა, რომელიც უილიამ ჰერშელმა დაასკვნა ვარსკვლავების დათვლით 1785 წელს. მზის სისტემა ცენტრთან ახლოს იყო.

ის ფაქტი, რომ „ირმის ნახტომი“ უამრავ ვარსკვლავს შეიცავს, გალილეო გალილეიმ დაამტკიცა 1610 წელს, როცა მან გამოიყენა ტელესკოპი ჩვენი გალაქტიკის შესასწავლად და აღმოაჩინა, რომ მასში ურიცხვი რაოდენობის მკრთალი ვარსკვლავი შედის. ინგლისელმა ასტრონომმა თომას რაითმა 1750 წელს თავის გამოცემაში, სახელად „სამყაროს თავდაპირველი თეორია ან ახალი ჰიპოთეზა“, ივარაუდა, რომ გალაქტიკა შეიძლება ყოფილიყო უამრავი ვარსკვლავის, რომლებიც ერთმანეთთან გრავიტაციუ-

ლადა დაკავშირებული; მბრუნავი სხეული; მზის სისტემის მონა-
თესავე, მხოლოდ ბევრად დიდ მასშტაბებზე. წარმოქმნილი
ვარსკვლავების დისკოს დანახვა ჩვენი გადმოსახედიდან (დისკოს
შიგნით) შესაძლებელია, როგორც ზონარი ცაზე. 1755 წელს ტრაქ-
ტატში იმანუელ კანტმა გულმოდგინედ დაამუშავა რაითის იდეა
„ირმის ნახტომის“ სტრუქტურის შესახებ.

„ირმის ნახტომის“ ფორმისა და მასში ჩვენი მზის ადგილმდებ-
არეობის განსაზღვრა პირველად უილიამ ჰერშელმა სცადა 1785
წელს. მან დიდი სიზუსტითა და სიფრთხილით დათვალა ვარსკ-
ვლავების რაოდენობა ცის სხვადასხვა რეგიონში. მან შექმნა გა-
ლაქტიკის ფორმის დიაგრამა, სადაც მზის სისტემა ცენტრთან ახ-
ლოს იყო. დახვეწილი მიდგომით აკობ კაპტეინმა 1920 წელს მიი-
ღო სურათი პატარა (დიამეტრი 15 კილოპარსეკი) ელიფსოიდური
გალაქტიკისა, სადაც მზე ცენტრთან ახლოს იყო. განსხვავებული
მეთოდი ჰარლოუ შაპლიმ გამოიყენა, რომელიც დაფუძნებული
იყო სფერული გროვების დაკატალოგებაზე. ამან კი რადიკალუ-
რად განსხვავებული სურათი მიაღებინა: ბრტყელი დისკო დია-
მეტრით 70 კილოპარსეკი და მზე ცენტრიდან ძალიან შორს. ორივე
ანალიზი შეცდა იმაში, რომ უგულებელყვეს სინათლის შთანთქმა
ვარსკვლავთშორისი მტვრის მიერ, რომელიც გალაქტიკურ
სიბრტყეზე მდებარეობს, მაგრამ მას შემდეგ, რაც რობერტ იულიუს
ტრამპლერმა გაზომა ეს ეფექტი 1930 წელს ღია გროვების
შესწავლით, „ირმის ნახტომის“ თანამედროვე სურათი მივიღეთ.

სხვა ნისლეულებისგან გარჩევა

მეთაე საუკუნეში სპარსელმა ასტრონომმა ალ-სუფიმ ანდრო-
მედას გალაქტიკის ყველაზე ადრეული კვლევები ჩაატარა და იგი
აღწერა, როგორც „პატარა ღრუბელი“. ალ-სუფიმ, რომელმაც
კვლევები თავის „*უძრავი ვარსკვლავების წიგნში*“ გამოაქვეყნა.
ასევე, აღმოაჩინა მაგელანის დიდი ნისლეული, რომელიც
ხილულია იემენიდან, თუმცა არა ისპაჰანიდან. მაგელანის დიდი

ნისლეული ევროპელებმა XVI საუკუნეში მაგლანის ვოიაჟამდე ვერ დაინახეს. საიმონ მარიუსმა ანდრომედას გალაქტიკა ხელახლა აღმოაჩინა დამოუკიდებლად 1612 წელს. ესენი მხოლოდ ის გალაქტიკებია, რომლებიც ადვილად შესამჩნევია შეუიარაღებელი თვალით, ამიტომ ისინი დედამიწიდან შესწავლილი პირველი გალაქტიკები იყო. თომას რაითმა 1750 წელს თავის პუბლიკაციაში, სახელად „სამყაროს თავდაპირველი თეორია ან ახალი ჰიპოთეზა“, ივარაუდა, რომ „რძიანი გზა“ იყო ვარსკვალვების გაბრტყელებული დისკო და რომ ზოგიერთი ნისლეული, რომელიც ღამის ცაზე ჩანს, შეიძლება განცალკევებული „რძიანი გზები“ იყოს. 1755 წელს იმანუელ კანტმა გამოიყენა ტერმინი „კუნძულისებრი სამყარო“ ამ შორეული ნისლეულების აღსაწერად.



„უზარმაზარი ანდრომედას ნისლეულის“ სურათი 1899 წელს გადაღებული შემდგომში ესანდრომედას გალაქტიკა გახდა.

XVIII საუკუნის დასასრულს ჩარლზ მესიემ შეადგინა კატალოგი, რომელიც 109 ყველაზე კაშკაშა ნისლეულს (ციური სხეულები ღრუბლისებრი გარეგნობით) შეიცავდა, მის შემდეგ კი უფრო დიდი კატალოგი, რომელიც 5000 ნისლეულს შეიცავდა, უილიამ ჰერშელმა შექმნა. 1845 წელს ლორდ როზემ ააგო ახალი ტელესკოპი, რამაც საშუალება მისცა, გაერჩია ელიფსური და სპირალური ნისლეულები. მან ასევე შეძლო ამ ნისლეულებში ცალკეული წერტილოვანი რეგიონების დადგენა, რითაც გაამყარა კანტიისეული ვარაუდი.

1912 წელს ვესტო სლიფერმა ყველაზე კაშკაშა სპირალური ნისლეულების სპექტროგრაფიული კვლევები ჩაატარა, რათა განესაზღვრა, იყო თუ არა ისინი შედგენილი იმ ქიმიური ელემენტებით, რაც მოსალოდნელი იყო პლანეტარულ სისტემაში. თუმცა, სლიფერმა აღმოაჩინა, რომ სპირალურ ნისლეულებს მაღალი წითელი წანაცვლება ჰქონდა, რაც იმაზე მიუთითებდა, რომ ნისლეულები იმ სიჩქარეზე სწრაფად მოძრაობდა, ვიდრე „ირმის ნახტომის“ გრავიტაციისგან თავის დასაღწევად საჭირო (კოსმოსური სიჩქარე; მაგალითად, დედამიწის გრავიტაციული ველისგან თავის დასაღწევად საჭიროა 8 კმ/წმ, ხოლო შავი ხვრელიდან – სინათლის სიჩქარეც კი არაა საკმარისი). აქედან გამომდინარე, ეს ნისლეულები „ირმის ნახტომთან“ გრავიტაციულად არ იყო დაკავშირებული და შეუძლებელი იყო გალაქტიკის ნაწილი ყოფილიყო.



1845 წელს ლორდ როზეს მიერ გაკეთებული „მესიე-51-ის“ მონახაზი. მას შემდეგ „მორევის გალაქტიკა“ ეწოდა.

1917 წელს ჰებერ კარტისმა ზეახალი *S Andromedae* დააფიქსირა „უზარმაზარ ანდრომედას ნისლეულში“. ფოტოგრაფიული ჩანაწერების თვლიერებისას მან კიდეც 11 ზეახალი იპოვა. კარტისმა შენიშნა, რომ ეს ზეახლები, საშუალოდ, 10 ვარსკვლავური სიდიდით მკრთალი იყო, ვიდრე ისინი, რომლებიც ჩვენს გალაქტიკაში ხდებოდა. შედეგად, მან წამოაყენა ვარაუდი, რომ მანძილი 150 000 პარსეკი იყო. ის გახდა ე.წ. „კუნძულისებრი სამყაროების“

დამცველი, რომლის მიხედვითაც სპირალური გალაქტიკები სინამდვილეში დამოუკიდებელი გალაქტიკებია.

1920 წელს ე.წ. „დიდი დებატები“ გაიმართა ჰარლოუ შპალისა და ჰებერ კარტის შორის „ირმის ნახტომის“, სპირალური ნისლეულებისა და სამყაროს განზომილებების ბუნების შესახებ. თავისი განცხადების მხარდასაჭერად, რომ „უზარმაზარი ანდრომედას ნისლეული“ გარეშე გალაქტიკა იყო, კარტისმა აღნიშნა, რომ ბნელი ბილიკების გარეგნობა „ირმის ნახტომში“ არსებულ მტერის ღრუბლებს წააგავს, ასევე შესამჩნევი დოპლერის წანაცვლება. საკითხი საბოლოოდ 1920-იან წლებში გადაწყდა. 1922 წელს ესტონელმა ასტრონომმა ერნესტ იოპიკმა მანძილის გაზომვის ახალი მეთოდი შემოიტანა, რითაც მხარი დაუჭირა თეორიას, რომ ანდრომედას ნისლეული სინამდვილეში შორეული გალაქტიკა იყო. უილსონის მთაზე არსებული 100 ინჩიანი (250სმ.) ტელესკოპით ედუინ ჰაბლმა შეძლო, დაენახა ზოგიერთი სპირალური ნისლეულის გარე ნაწილები, როგორც ცალკეული ვარსკვლავების შეჯგუფება და ასევე, აღმოაჩინა რამდენიმე ცვალებადი ცეფეიდი. აქედან გამომდინარე, ამან საშუალება მისცა მას მანძილი განესაზღვრა ნისლეულებამდე. 1936 წელს ჰაბლმა შექმნა გალაქტიკების კლასიფიკაციის სისტემა, რომელიც დღესაც გამოიყენება. მას ჰაბლის მიმდევრობა ეწოდება.

თანამედროვე კვლევა

ტიპური სპირალური გალაქტიკის ბრუნვითი სიმრუდე: ნაწინასწარმეტყველებია ხილულ მატერიასა (A) და დაკვირვებულზე (B) დაფუძნებით. მანძილი არის გალაქტიკის ბირთვიდან.

1944 წელს ჰენდრიკ ვან დე ჰულსტმა იწინასწარმეტყველა მიკროტალღური გამოსხივება 21 სმ-ის სიგრძის ტალღაში, რომელიც მიიღება ვარსკვლავთშორისი ატომური წყალბადის გაზისგან. ეს გამოსხივება 1951 იქნა შესწავლილი. გამოსხივებამ უზრუნ-

ველყო „ირმის ნახტომის“ გაუმჯობესებული შესწავლა, რადგანაც მასზე მტერის შთანთქმა არ ახდენს გავლენას და მისი დოპლერის წანაცვლების გამოყენებით შესაძლებელია გალაქტიკაში არსებული გაზის მოძრაობის ტრაექტორიის განსაზღვრა. ამ დაკვირვებებმა გალაქტიკის ცენტრში მზრუნავი ბარის სტრუქტურის პოსტულაცია წარმოქმნა. გაუმჯობესებული რადიოტელესკოპებით წყალბადის გაზის კვალის დაფიქსირება სხვა გალაქტიკებშიცაა შესაძლებელი.



მორე კვლაზე შორეული გალაქტიკა: UDFy-38135539

1970-იანებში გალაქტიკებში არსებულ გაზის ბრუნვითი სიჩქარის კვლევაში, რომელიც ვერა რუბინს ეკუთვნოდა. აღმოჩნა, რომ მთლიანი ხილული მასა (ვარსკვლავებიდან და გაზებიდან) ზუსტად არ ემთხვევა მზრუნავი გაზის სიჩქარეს. გალაქტიკის მოძრაობის ეს პრობლემა იხსნება დიდი რაოდენობით უხილავი ბნელი მატერიის არსებობით.

1990-იანების დასაწყისში ჰაბლის კოსმოსურმა ტელესკოპმა გაუმჯობესებული დაკვირვებები დაიწყო. სხვა მრავალთა შორის მან დაამტკიცა, რომ ჩვენს გალაქტიკაში დაკარგული ბნელი მატერია (არსებითად) შეუძლებელი იქნებოდა, რომ მკრთალ და პატარა ზომის ვარსკვლავებში ყოფილიყო. ჰაბლის ღრმა ხედმა – ცის შედარებით ცარიელი ნაწილის უკიდურესად დიდი დაყოვნებით მიღებული ფოტო – უზრუნველყო მტკიცებულება, რომ 125 მილიარდზე მეტი გალაქტიკა არსებობს სამყაროში. გაუმჯობესე-

ბულმა ტექნოლოგიამ, რომელიც ადამიანის თვალისთვის უხილავ სპექტრში ხედავს (რადიოტელესკოპები, ინფრაწითელი კამერები და რენტგენის ტელესკოპები), მეცნიერებს საშუალება მისცა აღმოეჩინათ ის გალაქტიკები, რომელთაც ჰაბლი ვერ ამჩნევდა. გალაქტიკურმა დაკვირვებებმა მრავალი ახალი გალაქტიკა აღმოაჩინა.



გალაქტიკათა ტიპები ჰაბლის კლასიფიკაციის სქემის მიხედვით. E ნიშნავს ელიფსური ტიპის გალაქტიკას; S სპირალაა; SB დაბურული სპირალური გალაქტიკაა.

არსებობს გალაქტიკათა სამი ძირითადი ტიპი: ელიფსური, სპირალური და არაწესიერი. გალაქტიკათა ტიპების ოდნავ უფრო ფართო აღწერა, რომელიც დაფუძნებულია მათ გარეგნობაზე, „ჰაბლის მიმდევრობით“ არის მოცემული. რადგანაც „ჰაბლის მიმდევრობა“ მთლიანად დაფუძნებულია ვიზუალურ მორფოლოგიურ ტიპზე, ის არ ითვალისწინებს გალაქტიკათა გაკრვეულ მნიშვნელოვან მახასიათებლებს, როგორცაა ვარსკვლავთწარმოქმნის ტემპი (მაღალი ტემპის ვარსკვლავთწარმოქმნადობის გალაქტიკაში) და აქტიურობა ბირთვში(აქტიურ გალაქტიკებში).

ელიფსური

ჰაბლის კლასიფიკაციის სისტემა ელიფსურ გალაქტიკებს მათ ელიფსურობაზე დაფუძნებით აფასებს: დაწყებული E0-ით, რომელიც თითქმის სფერულია და დამთავრებული E7-ით, რომელიც ძალიან წაგრძელებულია. ამ გალაქტიკებს ელიფსოიდური მოხაზულობა აქვს, რის გამოც მათი გარეგნობა ელიფსურია,

ხედვის კუთხის მიუხედავად. მათი გარეგნობა მცირე სტრუქტურას გვიჩვენებს და მათ ჩვეულებისამებრ შედარებით მცირე ვარსკვლავთშორისი მატერია აქვს. ამ გალაქტიკებს ასევე, აქვს ღია გროვების მცირე ნაწილი და ახალი ვარსკვლავების წარმოქმნის შემცირებული ტემპი. სამაგიეროდ, ასეთი ტიპის გალაქტიკებში დომინანტობს ხნიერი, უფრო განვითარებული ვარსკვლავები, რომლებიც გრავიტაციის საერთო ცენტრის გარშემო მოძრაობს შემთხვევითი მიმართულებებით. ეს ვარსკვლავები მძიმე ელემენტებს მცირე რაოდენობით შეიცავს, რადგან ვარსკვლავთწარმოქმნელი პროცესები წყდება თავდაპირველი ანთებისას. ამ თვალსაზრისით მათ რაღაც მსგავსება აქვს ბევრად პატარა სფერულ გროვებთან.

უდიდესი გალაქტიკები გიგანტური ელიფსურებია. თანამედროვე წარმოდგენით, მრავალი ელიფსური გალაქტიკა წარმოიქმნება გალაქტიკების ურთიერთქმედებით, რის შედეგადაც ხდება შეჯახება და შერწყმა. მათ უზარმაზარ ზომამდე შეუძლიათ გაზრდა (მაგალითად, სპირალურ გალაქტიკებთან შედარებით) და გიგანტური გალაქტიკები ხშირად უზარმაზარ გალაქტიკათა გროვების ბირთვთან დაიმზირება. მაღალი ტემპის ვარსკვლავთწარმოქმნადობის გალაქტიკები ასეთი გალაქტიკური შეჯახების შედეგია, რომელიც შედეგად იძლევა ელიფსური გალაქტიკის ფორმირებას.

სპირალური



მორეის გალაქტიკა (მარცხნივ) - ღია სპირალური გალაქტიკის ნათელი მაგალითი.

სპირალური არის ის გალაქტიკა, რომლის ხილული ვარსკვლავები სპირალურად ეხვევა ტრიალას ფორმით. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთ გალაქტიკებში მოთავსებული ვარსკვლავები და სხვა ხილული მატერია ძირითადად სიბრტყეზე მდებარეობს, სპირალური გალაქტიკის მასის უმეტესობა ბნელი მატერიის სფერულ ჰალოზე მოდის, რომელიც ხილული ნაწილის გაღმა იშლება.

სპირალური გალაქტიკები მოიცავს ვარსკვლავების მბრუნავ დისკოსა და ვარსკვლავთშორის სივრცეს, უმეტესად ხნიერი ვარსკვლავების ცენტრალური ბალჯით (ამონუნეილობა). ბალჯიდან გარეთ მიმართული მკლავები შედარებით კაშკაშაა. ჰაბლის კლასიფიკაციის სქემაში სპირალური გალაქტიკები დაჯგუფებულია N ტიპად, რომელსაც ასო (a , b ან c) მოსდევს. ეს კი მიუთითებს სპირალური მკლავების სიმჭიდროვესა და ცენტრალური ბალჯის ზომაზე. Na ტიპის გალაქტიკას მჭიდრო „ჭრილობა“ აქვს, უხეიროდ გამოკვეთილი მკლავები და შედარებით დიდი ბირთვის რეგიონს ფლობს. მეორე უკიდურესობაა Nc გალაქტიკა, რომელსაც აქვს ღია, კარგად გამოკვეთილი მკლავები და პატარა ბირთვის რეგიონი. უხეიროდ გამოკვეთილი მკლავების მქონე გალაქტიკას ზოგჯერ „ფლოკულენტულ სპირალურ გალაქტიკას“ უწოდებენ.

ზოგი სპირალური გალაქტიკა სქელი და ბალჯიანია, ხოლო ზოგი კი ბრტყელი დისკოა, რადგან ასეთი ობიექტები ძალიან სწრაფად ბრუნავს.



NGC 1300- დაბურული სპირალური გალაქტიკის ნათელი მაგალითი.

სპირალურ გალაქტიკებში სპირალურ მკლავებს მიახლოებითი ლოგარითმული სპირალების ფორმა აქვს – ფორმა, რომლის თეორიულად ჩვენება შეიძლება ვარსკვლავების ერთფეროვნად მბრუნავი მასის ალგზნებით. ვარსკვლავების მსგავსად სპირალური მკლავებიც ცენტრის გარშემო ბრუნავს მაგრამ ისინი მუდმივი კუთხური სიჩქარით ბრუნავს. მეცნიერთა ვარაუდით, სპირალური მკლავები მაღალი სიმკვრივის მატერიის ადგილია, ამას კი ზოგჯერ „სიმკვრივის ტალღებს“ უწოდებენ. რადგანაც ვარსკვლავები მკლავის გავლით მოძრაობს, თითოეული ვარსკვლავური სისტემის სიჩქარე მაღალი სიმკვრივის რეგიონის გრავიტაციული ძალის გავლენით იცვლება (სიჩქარე ჩვეულებრივ მაშინ უბრუნდება, როცა ვარსკვლავები მკლავის სხვა მხარეს გადავა). ეს ეფექტი ჰგავს მოძრაობის შენელების „ტალღას“ მოძრავი მანქანებით სავსე გზატკეცილზე. ეს მკლავები ხილულია, რადგან მაღალი სიმკვრივე ვარსკვლავთწარმოქმნელ პროცესებს აადვილებს და აქედან გამომდინარე, ასეთ რეგიონებში უამრავი კაშკაშა და ახალგაზრდა ვარსკვლავია.

ჩვენი „ირმის ნახტომის“ გალაქტიკის ჩათვლით, სპირალური გალაქტიკების უმეტესობას სწორხაზოვანი, ვარსკვლავების ძეღაკის ფორმის ჯგუფი აქვს, რომელიც იჭიმება ბირთვის ორივე მხრიდან გარეთკენ, შემდეგ ერწყმება სპირალური მკლავის სტრუქტურას. ჰაბლის კლასიფიკაციის სქემაში ასეთები აღნიშნულია *SB*-თი, რომელსაც ასოები (*a*, *b* ან *c*) მოსდევს. ეს კი მიუთითებს სპირალური მკლავების ფორმაზე (იმავე წესით, როგორც ნორმალური სპირალური გალაქტიკების კატეგორიებად დაყოფისას). ნავარაუდევია, რომ გალაქტიკის ბარი დროებითი სტრუქტურაა, რომლის გამომწვევი მიზეზი „სიმკვრივის ტალღის“ ბირთვიდან გარეთკენ გამოსხივებაა ან სულაც სხვა გალაქტიკასთან გრავიტაციული ურთიერთქმედება. დახურული სპირალური გალაქტიკები აქტიურია, სავარაუდოდ იმიტომ, რომ გაზი ჩაედინება ბირთვში მკლავების გასწვრივ.

ჩვენი გალაქტიკა „ირმის ნახტომი“ არის დიდი დისკოს ფორმის დახურული სპირალური გალაქტიკა, რომლის დიამეტრი 30 კილოპარსეკია, ხოლო სისქე – 1 კილოპარსეკი. ის შეიცავს დაახლოებით 200 მილიარდ (2×10^{11}) ვარსკვლავს და მისი მასა 600 მილიარდი (6×10^{11}) მზის მასის ტოლია.

სხვა მორფოლოგიები

უჩვეულო გალაქტიკები არის გალაქტიკური წარმონაქმნები, რომლებიც უცნაურ ნიშან-თვისებებს ივითარებენ სხვა გალაქტიკებთან გრავიტაციული ურთიერქმედების გამო. ამის მაგალითი არის რგოლისებრი გალაქტიკა, რომელსაც აქვს ვარსკვლავებსა და ვარსკვლავთშორისი სივრცის რგოლისებრი სტრუქტურა, რომელიც გარს აკრავს მოშიშვლებულ ბირთვს. მეცნიერთა ვარაუდით, რგოლისებრი გალაქტიკა მაშინ წარმოიქმნება, როცა შედარებით პატარა გალაქტიკა სპირალური გალაქტიკის ბირთვისკენ ჩაივლის. ასეთმა მოვლენამ შესაძლოა ანდრომედას გალაქტიკაზე მოახდინა გავლენა, რადგან მას ინფრარწითელ დიაპაზონში მრავალრგოლიანი სტრუქტურის მსგავსი ფორმა აქვს.

ლინზისებრი გალაქტიკა შუალედური ფორმაა, რომელსაც ელიფსურისა და სპირალური გალაქტიკების თვისებები აქვს. ჰაბლის კლასიფიკაციით, ასეთი ობიექტების ტიპი არის *S0* და მათ არასრულყოფილად გამოკვეთილი მკლავები აქვს ვარსკვლავების ელიფსური ჰალოთი (დახურულმა ლინზისებრმა გალაქტიკებმა ჰაბლის კლასიფიკაციით *SB0* ტიპი მიიღო).

ზემოთ ხსენებული კლასიფიკაციების დამატებით, არსებობს გალაქტიკების გარკვეული რაოდენობა, რომლის ადვილად კლასიფიცირება ელიფსურად ან სპირალურად შეუძლებელია. ასეთი ტიპის ობიექტებს არაწესიერი გალაქტიკები ეწოდება. *Irr-I* ტიპის გალაქტიკას რაღაც სტრუქტურა გააჩნია, მაგრამ სუფთად არ ეწყობა ჰაბლის კლასიფიკაციის სქემას. *Irr-II* ტიპის გალაქტიკას არანაირი სტრუქტურა არ გააჩნია, რომელიც ჰაბლის კლასიფიკა-

ციას ჰგავს და შეიძლება დანგრეულიც იყოს. არაწესიერი (ჯუჯა) გალაქტიკების უახლოესი მაგალითებია მაგელანის ნისლეულები.

ჯუჯა

მიუხედავად იმისა, რომ უზარმაზარი ელიფსური და სპირალური გალაქტიკები მნიშვნელოვანია. გალაქტიკათა უმეტესობა სამყაროში ჯუჯაა. ეს გალაქტიკები შედარებით პატარა ზომისაა სხვა დიდ გალაქტიკურ წარმონაქმნებთან შედარებით – „ირმის ნახტომის“ დაახლოებით 1/100, რომელიც რამდენიმე მილიარდ ვარსკვლავს შეიცავს. ულტრაკომპაქტური ჯუჯა გალაქტიკები ახლახანს აღმოაჩინეს, რომელთა დიამეტრი სულ რაღაც 100 პარსეკია.

უპრავი ჯუჯა გალაქტიკა უფრო დიდი გალაქტიკის გარშემო ბრუნავს. „ირმის ნახტომს“ ასეთი თანამგზავრი სულ ცოტა 12 ცალი ჰყავს, ხოლო მეცნიერთა შეფასებით 300-500 კიდევ აღმოსაჩენია. ჯუჯა გალაქტიკების კლასიფიცირება შეიძლება ელიფსურებად, სპირალურებად ან არაწესიერებად. რადგანაც ჯუჯა ელიფსურ გალაქტიკებს მცირე მსგავსება აქვს დიდ ელიფსურ გალაქტიკებთან, მათ ხშირად მოიხსენიებენ, როგორც ჯუჯა სფეროიდულ გალაქტიკებად.

„ირმის ნახტომის“ 27 მეზობელზე ჩატარებული კვლევებით დაადგინა, რომ ყველა ჯუჯა გალაქტიკაში ცენტრალური მასა 10 მილიონი მზის მასაა, მიუხედავად იმისა, შეიცავს თუ არა იგი ათასობით ან მილიონობით ვარსკვლავს. ამან კი წარმოშვა ვარაუდი, რომ გალაქტიკების წარმოქმნაში დიდი წვლილი ბნელ მატერიას მიუძღვის და რომ მინიმალური ზომა მიუთითებს თბილი ბნელი მატერიის ფორმაზე, რომელსაც არ შეუძლია გრავიტაციული გაერთიანება უფრო მცირე მასშტაბებზე.

გალაქტიკებს შორის ურთიერქმედება შედარებით ხშირია და უდიდეს როლს თამაშობს მათ ევოლუციაში. გალაქტიკების ერთმანეთთან ახლოს ჩავლის (და აცდენის) შემთხვევები იწვევს მათ დეფორმაციასა და დამახინჯებას გრავიტაციული ურთიერთ-

ქმედებების გამო და გაზსა და მტვერს უცვლის ერთმანეთს. შეჯახებები ხდება მაშინ, როცა ორი გალაქტიკა ერთმანეთში გაივლის და აქვს საკმარისი ფარდობითი ინერცია, რომ არ შთანთქან ერთმანეთი. ამ ურთიერთქმედ გალაქტიკებში არსებული ვარსკვლავები ჩვეულებრივ შეჯახების გარეშე ჩაუვლის ერთმანეთს. თუმცა, გაზი და მტვერი ორ ფორმაში იურთიერთქმედებს. ეს კი გამოიწვევს ვარსკვლავთწარმომქმნელი პროცესების დაწყებას, რადგან ვარსკვლავთშორისი სივრცე გარღვეული და შეკუმშული ხდება. შეჯახებას ძალუმს საგრძნობლად დაამახინჯოს ერთი ან ორივე გალაქტიკა და წარმოქმნას ბარები, რგოლები ან კუდის მსგავსი სტრუქტურები.

ურთიერთქმედების უკიდურესი ფორმა გალაქტიკური შთანთქმაა. ამ შემთხვევაში ორი გალაქტიკის ფარდობითი ინერცია არასაკმარისია იმისათვის, რომ გალაქტიკებმა ერთმანეთში უპრობლემოდ გაიარონ. ამის ნაცვლად ისინი თანდათანობით შთაინთქმებიან და ერთ, უფრო დიდ გალაქტიკას წარმოქმნიან. შთანთქმები შესამჩნევ ცვლილებას იწვევს მორფოლოგიაში თავდაპირველ გალაქტიკასთან შედარებით. იმ შემთხვევაში, თუ ერთი გალაქტიკა ბევრად მასიურია, ვიდრე მეორე, შედეგს კანიბალიზმი ეწოდება. ამ შემთხვევაში დიდი გალაქტიკა შთანთქმის შედეგად შედარებით დაუმახინჯებელი დარჩება, ხოლო მცირე გალაქტიკა ნაწილებად დაქუცმაცდება. „ირმის ნახტომი“ ამჟამად „მშვილდოსნის ჯუჯა ელიფსურ გალაქტიკას“ და „დიდი ქოფაკის ჯუჯა გალაქტიკას“ შთანთქავს, ანუ ამ გალაქტიკების კანიბალიზმის პროცესშია.

გალაქტიკის წარმოქმნისა და ევოლუციის კვლევა ცდილობს, რომ უპასუხოს შეკითხვებს იმის შესახებ, თუ როგორ წარმოიქმნა გალაქტიკები და მათი ევოლუციური გზა სამყაროს ისტორიის მანძილზე. ამ სფეროში ზოგი თეორია ფართოდ აღიარებული გახდა, თუმცა ეს კვლავ აქტიური სფეროა ასტროფიზიკაში.

ადრეული სამყაროს მიმდინარე კოსმოლოგიური მოდელები დაფუძნებულია დიდი აფეთქების თეორიაზე. ამ მოვლენიდან დაახლოებით 300 000 წლის შემდეგ, წყალბადისა და ჰელიუმის ატომებმა წარმოქმნა დაიწყეს პროცესში, რომელსაც რეკომბინაცია (ხელახალი გაერთიანება) ეწოდება თითქმის მთელი წყალბადი ნეიტრალური იყო (არაიონიზირებული) და ადვილად შთანთქავდა სინათლეს. ამ დროს კი – ვარსკვლავები ჯერ არ იყო წარმოქმნილი. შედეგად ამ პერიოდს „ბნელი წლები“ დაერქვა. ამ თავდაპირველ მატერიაში სიმკვრივის ფლუქტუაციებიდან (ან ანიზოტროპული არათანაბრობა) შედარებით დიდი სტრუქტურები გამოჩნდა. შედეგად ბარიონული მატერიის მასები კონდენსირდა ცივი ბნელი მატერიის ჰალოებში. ეს თავდაპირველი სტრუქტურები საბოლოოდ გახდა ის გალაქტიკები, რომელთაც ჩვენ დღეს ვხედავთ.

გალაქტიკების ადრეული გამოჩენის მტკიცებულება 2006 წელს იპოვეს, როდესაც აღმოჩნდა, რომ გალაქტიკა IOK-1 -ს უჩვეულოდ მაღალი წითელი წანაცვლება ჰქონდა—6,96, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ის დიდი აფეთქებიდან 750 მილიონი წლის შემდეგ ჩამოყალიბდა და გახდა ყველაზე შორეული და თავდაპირველი გალაქტიკა, რაც კი ოდესმე უნახავთ. მიუხედავად იმისა, რომ მეცნიერთა ნაწილი აცხადებს, რომ სხვა ობიექტებს უფრო მაღალი წითელი წანაცვლება აქვს (აქედან გამომდინარე, სამყაროს ევოლუციის უფრო ადრეულ ეტაპზეა დანახული), IOK-1-ის ასაკი და შედგენილობა ბევრად საიმედოდაა დამტკიცებული. თუმცა, 2012 წლის დეკემბერში ასტრონომებმა განაცხადეს, რომ გალაქტიკა UDFj-39546284 ყველაზე შორეული გალაქტიკაა და წითელი წანაცვლების მაჩვენებელი 11,9-ია. გალაქტიკა, რომელიც მეცნიერთა შეფასებით დიდი აფეთქებიდან 380 მილიონი წლის შემდეგ არსებობდა (ანუ 13,8 მილიარდი წლის წინ), 13,42 მილიარდი სინათლის წლითაა დაშორებული. ასეთი ადრეული პროტო-

გალაქტიკის არსებობა მეტყველებს იმაზე, რომ ისინი უნდა გაზრდილიყვნენ ზომაში ე.წ. ბნელ წლებში.

დეტალური პროცესი, რომლითაც ასეთი ადრეული გალაქტიკა წარმოიქმნა, მთავარი ამოცანაა ასტრონომიაში. თეორიები ორ კატეგორიად იყოფა: ზედა-ქვედა და ძირეული-ზედა. ზედა-ქვედა თეორიებში (როგორცაა ეგენ-ლინდენბელ-სანდუჯის (ელს) მოდელი) პროტოგალაქტიკები წარმოიქმნა მასშტაბური ერთდროული კოლაფსით, რომელიც დაახლოებით 100 მილიონი წელიწადი გრძელდება. ძირეულ-ზედა თეორიებში (როგორცაა სირლ-ზინის (სზ) მოდელი) კატარა სტრუქტურები, როგორცაა სფერული გროვები, თავდაპირველად წარმოიქმნება და შემდეგ ასეთი სხეულების გარკვეული რაოდენობა შეგროვდება და წარმოიქმნება უფრო დიდი ობიექტი – გალაქტიკა.

გალაქტიკის წარმოქმნიდან მილიარდ წელიწადში მთავარი სტრუქტურები ჩნდება: სფერული გროვების, ცენტრალური ზემასიური შავი ხვრელის და მეტალით ღარიბი II პოპულაციის ვარსკვლავების გალაქტიკური ბალჯი წარმოიქმნება. მომდევნო ორი მილიარდი წლის განმავლობაში მოგროვებული მატერია გალაქტიკურ დისკოში თავსდება. გალაქტიკა მთელი თავისი სიცოცხლე გააგრძელებს მატერიის შთანთქმას მაღალი სიჩქარის მქონე ღრუბლებიდან და ჯუჯა გალაქტიკებიდან. ეს მატერია უმეტესად წყალბადი და ჰელიუმი. ვარსკვლავების დაბადებისა და სიკვდილის ციკლი ნელი ტემპით ზრდის მძიმე ელემენტების რაოდენობას, რაც საბოლოოდ პლანეტების წარმოქმნას უწყობს ხელს.

გალაქტიკების ევოლუციაზე დიდ გავლენას ურთიერთქმედებები და შეჯახებები ახდენს. გალაქტიკების შთანთქმა გავრცელებული იყო ადრეულ ეპოქაში და მათი უმეტესობა მორფოლოგიაში უცნაური იყო. ვარსკვლავებს შორის ამ მანძილებში შეჯახებად გალაქტიკებში ვარსკვლავური სისტემების უმრავლესობა დაუზიანებელი დარჩება. თუმცა, გრავიტაციული გავლენა ვარსკვ-

ლავური გაზისა და მტვრისა, რომლებიც სპირალური მკლავების შედგენილობაშია, წარმოქმნის ვარსკვლავების გრძელ მატარებელს, რომელსაც მიქცევა-მოქცევის კუდები ეწოდება. ამ ურთიერთქმედების მაგალითია „ირმის ნახტომი“ და მეზობელი ანდრომედას გალაქტიკა, რომლებიც ერთმანეთის მიმართულებით მოძრაობს 130 კმ/წმ სიჩქარით, დამოკიდებულია ჰორიზონტალურ მოძრაობაზე და 5 ან 6 მილიარდ წელიწადში ერთმანეთს შეეჯახება. თუმცა, „ირმის ნახტომი“ არასოდეს შეეჯახება ანდრომედას სიდიდის გალაქტიკას, მაგრამ მტკიცებულებათა რიცხვი იმაზე, რომ ჩვენი გალაქტიკა ჯუჯა გალაქტიკებს წარსულში შეეჯახა, იზრდება.

ასეთი მასშტაბური ურთიერთქმედებები იშვიათია. რაც დრო გადის, თანაბარი ზომის ორი სისტემის შთანთქმა უფრო ნაკლებად ხდება. კავშირს გალაქტიკათა უმეტესობა ფუნდამენტურად უცვლელი დარჩა უკანასკნელი რამდენიმე მილიარდი წლის მანძილზე და ვარსკვლავთწარმოქმნელი პროცესების ტემპმა პიკს დაახლოებით 10 მილიარდი წლის წინ მიაღწია.

ამჟამად ვარსკვლავთწარმოქმნელი პროცესების უმეტესობა უფრო მცირე ზომის გალაქტიკებში ხდება, სადაც გრილი გაზი ძალიან არაა გამოლეული. სპირალური გალაქტიკები, „ირმის ნახტომის“ მსგავსად, ვარსკვლავების ახალ თაობას წარმოქმნიან მანამდე, სანამ აქვს ვარსკვლავთშორისი წყალბადის მკვრივი მოლეკულური ღრუბელი სპირალურ მკლავებში. ელიფსური გალაქტიკები უკვე ძალიან განიცდიან ამ გაზის ნაკლებობას და აქედან გამომდინარე, ახალი ვარსკვლავები ვერ წარმოიქმნება. ვარსკვლავების წარმოქმნელი მატერიის მარაგი სასრულია: როგორც კი ვარსკვლავები წყალბადის არსებულ მარაგს გადააქცევენ მძიმე ელემენტებად, ახალი ვარსკვლავების წარმოქმნა შეწყდება.

ვარსკვლავების წარმოქმნის მიმდინარე ეპოქა 100 მილიარდი წელი გაგრძელდება. შემდეგ კი „ვარსკვლავური ხანა“ საბოლოოდ

დამთავრდება 10-დან 100 ტრილიონამდე წელიწადში (10^{13} - 10^{14} წელიწადი), რადგან ყველაზე პატარა, ხანგრძლივი ვარსკვლავები ჩვენს ასტროსფეროში – პანაწინა წითელი ჯუჯები, კვდომას დაიწყებს. „ვარსკვლავური ხანის“ დასასრულს გალაქტიკების შემადგენლობაში კომპაქტური ობიექტები შევა: ყავისფერი ჯუჯები, თეთრი ჯუჯები, რომლებიც გაგრილების პროცესშია ან ცივია („შავი ჯუჯები“), ნეიტრონული ვარსკვლავები და შავი ხვრელები. საბოლოოდ, გრავიტაციული შესუსტების შედეგად ყველა ვარსკვლავი ან ცენტრალურ-ზემასიურ შავ ხვრელში შთაინთქმება, ან შეჯახებების შედეგად გალაქტიკათშორის სივრცეში გაიტყორცნება.

ცის სიღრმისეულად დაკვირვებების მიხედვით, გალაქტიკები ხშირად სხვა გალაქტიკებთან შედარებით ახლო გაერთიანებებში ცხოვრობს. მარტოხელა გალაქტიკები, რომელთაც ურთიერთქმედება არ ჰქონიათ სხვა გალაქტიკასთან მილიარდობით წლების განმავლობაში, შედარებით იშვიათია. გამოკვლეულ გალაქტიკათა მხოლოდ 5%-ია ნამდვილად იზოლირებული. თუმცა, ამ იზოლირებულ წარმონაქმნებს შესაძლებელია წარსულში ურთიერთქმედება ჰქონდათ და შთაინთქმენ კიდევ სხვა გალაქტიკებთან და ისიც შესაძლებელია, რომ მათ ორბიტას პატარა თანამგზავრული გალაქტიკები მართავდეს. იზოლირებულ გალაქტიკებს ვარსკვლავების წარმოქმნა უფრო მაღალი ტემპით შეუძლია, ვიდრე ჩვეულებრივს, რადგან მათში არსებულ გაზს სხვა გალაქტიკები არ იპარავს.

უდიდეს მასშტაბებზე სამყარო განუწყვეტლივ ფართოვდება. ეს კი შედეგად ცალკეულ გალაქტიკებს შორის დაშორების საშუალო ზრდას იწვევს. გალაქტიკათა გაერთიანებებს ამ გაფართოების დაჯაბნა შეუძლია თავიანთი საერთო გრავიტაციული მიზიდულობის დახმარებით. ეს გაერთიანებები ადრეულ სამყაროში წარმოიქმნა, როცა ბნელი მატერიის გროვებმა თავიანთი შესაბამისი გალაქტიკები გააერთიანეს. უახლოესი ჯგუფები მოგვიანე-

ბით ერთმანეთს შეერწყა და წარმოიქმნა უფრო დიდი მასშტაბის გროვები. შთანთქმის ეს მოქმედი პროცესი (ისევე, როგორც ვარდნადი გაზის შენაკადი) ათბობს გროვაში არსებულ გალაქტიკათშორის გაზს ძალიან მაღალ ტემპერატურამდე, რომელიც 30-100 მეგაკელვინს აღწევს. გროვაში არსებული მასის 70-80% ბნელი მატერიის ფორმითაა, ხოლო 10-30% ამ გამთბარ გაზს შეიცავს, მატერიის დანარჩენი რამდენიმე პროცენტი კი – გალაქტიკის სახითაა.

სამყაროში არსებულ გალაქტიკათა უმეტესობა გრავიტაციულად დაკავშირებულია გარკვეული რაოდენობის სხვა გალაქტიკებთან. ასეთი ტიპის ყველაზე პატარა გაერთიანებას ჯგუფი ეწოდება. გალაქტიკათა ჯგუფები გალაქტიკათგროვების ყველაზე გავრცელებული ტიპია და ეს წარმონაქმნები სამყაროში არსებულ გალაქტიკათა უმეტესობას შეიცავს (ისევე, როგორც ბარიონული მასის უმეტეს ნაწილს). ამ ჯგუფთან გრავიტაციულად დაკავშირებული რომ დარჩეს, თითოეულ წევრ გალაქტიკას უნდა ჰქონდეს საკმარისად დბალი სიჩქარე, რომ ვერ „გაიქცეს“. თუმცა, თუ არასაკმარისი კინეტიკური ენერჯიაა, ჯგუფი შეიძლება განვითარდეს უფრო პატარა გალაქტიკებად შთანთქმების შედეგად.

დიდ სტრუქტურებს, რომლებიც ათასობით გალაქტიკას შეიცავს იმ სივრცეში, რომელიც რამდენიმე მეგაპარსეკზეა გადაჭიმული, გროვები ეწოდება. გალაქტიკათგროვებს ხშირად ერთი გიგანტური ელიფსური გალაქტიკა აკონტროლებს, რომელსაც გროვის ყველაზე კაშკაშა გალაქტიკა ეწოდება, რომელიც დროთა განმავლობაში გრავიტაციული ზემოქმედებით ანადგურებს მის თანამგზავრ გალაქტიკებს და მათ მასას თავისას ამატებს. ზეგროვები ათობით ათას გალაქტიკას შეიცავს, რომლებიც ნაპოვნია გროვებში, ჯგუფებსა და ზოგჯერ ცალკეულადაც.

„ირმის ნახტომი“ ადგილობრივი ჯგუფის წევრია – გალაქტიკათა შედარებით მცირე ჯგუფი, რომლის დიამეტრი დაახლოებით 1 მეგაპარსეკია. „ირმის ნახტომი“ და ანდრომედას გალაქტიკა ორი

ყველაზე კაშკაშა გალაქტიკაა ჯგუფში. სხვა მრავალი წევრი ჯუჯა გალაქტიკა ამ ორი გალაქტიკის კომპანიონია. ადგილობრივი ჯგუფი თავის მხრივ, ღრუბლის მსგავსი სტრუქტურის ნაწილია „ქალწულის ზეგროვაში“ – გალაქტიკების ჯგუფებისა და გროვების დიდი, ფართოდ გადაჭიმული სტრუქტურა, რომლის ცენტრში ქალწულის გროვაა. თავის მხრივ, ქალწულის ზეგროვა ნაწილია ვეშაპი-თევზების ზეგროვის კომპლექსისა.

მას შემდეგ, რაც დამტკიცდა, რომ „ირმის ნახტომის“ გარდა სხვა გალაქტიკებიც არსებობს, თავდაპირველი დაკვირვებები ძირითადად, ხილული სინათლის გამოყენებით მიმდინარეობდა. უმეტესი ვარსკვლავის გამოსხივების პიკი ამ დიაპაზონშია, ამიტომ ვარსკვლავების შესწავლა, რომლებიც გალაქტიკებს წარმოქმნის, ოპტიკური ასტრონომიის მთავარი კომპონენტი გახდა.

ვარსკვლავთშორის სივრცეში არსებული მტვერი ხილული სინათლისთვის გაუმჭვირვალა. ის ბევრად გამჭვირვალეა შორეული ინფრაწითელისთვის, რომელიც გამოიყენება გალაქტიკის ბირთვებისა და გიგანტური მოლეკულური ღრუბლების შინაგანი ნაწილების დეტალური კვლევისთვის. ინფრაწითელი ასევე, გამოიყენება შორეული, დიდი წითელი წანაცვლების მქონე გალაქტიკების შესწავლისათვის, რომლებიც სამყაროს ადრეულ ისტორიაში ჩამოყალიბდა. წყლის ორთქლი და ნახშირორჟანგი ინფრაწითელი სპექტრის სასარგებლო ნაწილებს შთანთქავს, ამიტომ ინფრაწითელი ასტრონომიისთვის მაღალ ადგილზე მდებარე ან კოსმოსური ტელესკოპები გამოიყენება.

გალაქტიკების პირველი არავიზუალური კვლევა, კონკრეტულად კი აქტიური გალაქტიკების, რადიოსიხშირეების გამოყენებით ჩატარდა. ატმოსფერო თითქმის გამჭვირვალეა რადიოტალღებისთვის 5 მმ-სა და 30 გვ-ს შორის (იონოსფერო ბლოკავს სიგნალებს ამ ზღვარს ქვემოთ). დიდი რადიო ინტერფერომეტრების გამოყენებით მეცნიერებმა შეძლეს აქტიური ბირთვიდან გამოსხი-

ვებული აქტიური ჰავლების რუკის შედგენა. რადიოტელესკოპების გამოყენება შეიძლება ნეიტრალური წყალბადის დასაკვირვებლად, არაიონიზირებული მატერიის ჩათვლით, რომელიც ადრეულ სამყაროში არსებობდა და მოგვიანებით გალაქტიკები ჩამოაყალიბა.

ულტრაიისფერ და რენტგენულ ტელესკოპებს მაღალი ენერგიების გალაქტიკური ფენომენების შესასწავლად იყენებენ. ულტრაიისფერი ნათება მაშინ დაფიქსირდა, როცა შორეულ გალაქტიკაში ვარსკვლავი შავმა ხვრელმა ნაწილებად გახლიჩა. გალაქტიკურ გროვებში ცხელი გაზის გავრცელების რუკის შედგენა რენტგენის სხივების საშუალებითაა შესაძლებელი. ზემასიური შავი ხვრელების არსებობა გალაქტიკების ბირთვებში რენტგენული ასტრონომიის საშუალებით დამტკიცდა.

§ 6.3. ვარსკვლავები

ვარსკვლავი არის პლანეტის მასიური და კაშკაშა სფერო, რომელიც თავისივე გრავიტაციითაა შეკავებული. დედამიწასთან მდებარე უახლოესი ვარსკვლავი მზეა, რომელიც პლანეტის ძირითადი ენერგიის წყაროა. დედამიწიდან ღამით ზოგიერთი სხვა ვარსკვლავიც ჩანს. ისინი პატარა წერტილებად ჩნდება ცაზე, რადგან დედამიწიდან ძალიან შორ მანძილზე მდებარეობს. ისტორიულად, ყველაზე ცნობილი ვარსკვლავები დაჯგუფებული იყო თანავარსკვლავედებად და ასტერიზმებად, კაშკაშა ვარსკვლავებმა კი თავიანთი შესაფერისი სახელები მიიღო. ვარსკვლავთა ვრცელი კატალოგი ასტრონომებმა შექმნეს, რომელიც სტანდარტიზირებულ ვარსკვლავურ აღნიშვნებს უზრუნველყოფს.

ვარსკვლავი წყალბადისა და ჰელიუმის თერმობირთვული სინთეზის (რომელიც მის ბირთვში მიმდინარეობს) წყალობით ანთებს და გამოყოფს ენერგიას, რომელიც ვარსკვლავის შიდა ნაწილს გაივლის და შემდეგ გარე კოსმოსში გამოსხივდება. როგორც კი წყალბადი ბირთვში გამოილევა, ბუნებრივად არსებული, ჰელიუმზე მძიმე თითქმის ყველა ელემენტი წარმოიქმნება ვარსკვლავური თერმობირთვული სინთეზის დროს, ხოლო ზოგიერთ ვარსკვლავში კი ზეახლად ანთებისას დაწყებული თერმობირთვული სინთეზით. სიცოცხლის დასასრულს ვარსკვლავი შეიცავს გადაგვარებულ მატერიას. ასტრონომებს ვარსკვლავის მოძრაობაზე, სიკაშკაშესა და სპექტრზე დაკვირვებით შეუძლიათ განსაზღვრონ მასა, ასაკი, ქიმიური შედგენილობა და მისი სხვა მრავალი თვისება. ვარსკვლავის მთლიანი მასა მისი ევოლუციისა და საბოლოო ბედის მთავარი განმსაზღვრელია. სხვა მახასიათებლები, როგორცაა ტემპერატურა და დიამეტრი, მისი სიცოცხლის განმავლობაში იცვლება, ხოლო ვარსკვლავის გარემო კი-მის ბრუნვასა და მოძრაობაზე დიდად მოქმედებს.

ვარსკვლავის სიცოცხლე იწყება წყალბადით, ჰელიუმითა და მცირე რაოდენობით მძიმე ელემენტებით გაჯერებული გაზური ნისლეულის გრავიტაციული კოლაფსით (ჩაშლით). როცა ვარსკვლავის ბირთვი საკმარისად მკვრივია, წყალბადი ჰელიუმად თერმობირთვული სინთეზით გადაიქცევა და ამ პროცესისას უზარმაზარი ენერგია გამოიყოფა. ვარსკვლავის შიგნეულობის ნარჩენს ენერგია ბირთვიდან გარეთ გამოაქვს რადიაციული და კონვექციური პროცესების კომბინაციით. ვარსკვლავის შიდა წნევა გრავიტაციას ხელს უშლის, რომ ჩაშალოს ის. როგორც კი წყალბადი ბირთვში ამოიწურება, ვარსკვლავი სულ ცოტა მზის 0,4-ის ტოლი მასით ფართოვდება და ხდება წითელი გიგანტი. ზოგ შემთხვევაში კი ხდება სხვა უფრო მძიმე ელემენტების სინთეზი ბირთვში ან ბირთვის გარშემო არსებულ გარსებში. ვარსკვლავი შემდეგ ევოლუციონირებს გადაგვარებულ ფორმაში, რადგან ამუშავებს

თავისი მატერიის პორციებს ვარსკვლავთშორის გარემოში, სადაც ის ხელს შეუწყობს ვარსკვლავთა ახალი თაობის ფორმირებას მძიმე ელემენტების უფრო დიდი რაოდენობით. ამასობაში, ბირთვი ვარსკვლავური ნარჩენი ხდება: თეთრი ჯუჯა, ნეიტრონული ვარსკვლავი ან (თუ საკმარისად მასიურია) შავი ხვრელი.

ბინარული (ორმაგი) და მრავალვარსკვლავიანი სისტემა მოიცავს ორ ან მეტ ვარსკვლავს, რომელიც გრავიტაციულად ერთმანეთთანაა დაკავშირებული და ძირითადად, ერთმანეთის გარშემო ბრუნავენ სტაბილურ ორბიტებზე. როცა ორ ასეთ მნათობს შედარებით ახლო ორბიტა აქვს, მათი გრავიტაციული ურთიერთქმედება მნიშვნელოვან დარტყმას მიაყენებს მათ ევოლუციას. ვარსკვლავებით შეიძლება ჩამოყალიბდეს გრავიტაციულად უფრო მეტად დაკავშირებული სტრუქტურა, როგორცაა ვარსკვლავთგროვა ან გალაქტიკა.

ხალხი ვარსკვლავებში ფორმებს უძველესი დროიდან ხედავდა. ეს არის 1690 წელს შესრულებული ნახატი, რომელზეც ასახულია ლომის თანავარსკვლავედი. ნახატი იოჰანეს ჰეველს ეკუთვნის.



ლომის თანავარსკვლავედი ისეა გამოსახული, როგორც შეუიარაღებელი თვალით ჩანს. ხაზები ხელოვნურადაა დამატებული.

ისტორიულად, ვარსკვლავები ცივილიზაციებისთვის მნიშვნელოვან როლს თამაშობდა მთელი მსოფლიოს მასშტაბით. ისინი

რელიგიური რიტუალების ნაწილი იყო და გამოიყენებოდა ციური ნავიგაციისა და ორიენტაციისათვის. ძველ ასტრონომებს სჯეროდათ, რომ ვარსკვლავები სამარადჟამოდ უცვლელად იყო მიბმული ციურ სფეროზე. ასტრონომებმა პირობითად დააჯგუფეს ვარსკვლავები თანავარსკვლავედებად და მათ იყენებდნენ პლანეტათა მოძრაობის დასადგენად და მზის პოზიციის გასარკვევად. მზის მოძრაობამ ვარსკვლავების ფონზე (და ჰორიზონტის) საფუძველი ჩაუყარა კალენდრების შექმნას, რომლებიც გამოიყენებოდა სამეურნეო საქმიანობისთვის.

უძველესი ზუსტად დათარიღებული ვარსკვლავური დიაგრამა ძველ ეგვიპტურ ასტრონომიაში გამოჩნდა ძვ. წ. 1534 წელს. ყველაზე ადრეული ვარსკვლავური კატალოგი მესოპოტამიის ბაბილონელმა ასტრონომებმა მეორე ათასწლეულის მიწურულს შექმნეს.

ცის უცვლელობის მიუხედავად, ჩინელმა ასტრონომებმა იცოდნენ, რომ ახალი ვარსკვლავების დაბადება შესაძლებელი იყო. ახალი წელთაღრიცხვით 185 წელს ისინი ზეახლის პირველი დამკვირვებლები და აღმწერები იყვნენ. ზეახლის სახელია SN 185. ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავური მოვლენა, რომელიც ისტორიაში ჩაიწერა, იყო ზეახალი SN 1006, რომელიც 1006 წელს დაიმზირებოდა და ეგვიპტელმა ასტრონომმა ალი იბნ რიდუანმა და რამდენიმე ჩინელმა ასტრონომმა აღწერა. ზეახალი SN1054, რომელმაც კიბორჩხალის ნისლეული წარმოქმნა, ასევე, ჩინელი და მუსლიმი ასტრონომების მიერ დაიმზირებოდა.

შუა საუკუნეების მუსლიმმა ასტრონომებმა მრავალ ვარსკვლავს არაბული სახელები დაარქვეს, რომლებიც დღესაც გამოიყენება. მათ გამოიგონეს მრავალი ასტრონომიული ინსტრუმენტი, რომლებსაც შეეძლო გამოეთვალა ვარსკვლავების ადგილმდებარეობა. მათ ააშენეს პირველი დიდი კვლევითი ობსერვატორიის ინსტიტუტი ძირითადად იმისათვის, რომ შეექმნათ „ზოჯის“ ვარსკვლავური კატალოგები. მათ შორის იყო „უძრავი ვარსკვლავების

წიგნი", რომელიც სპარსელმა ასტრონომმა აბდ ალ-რაჰმან ალ-სუფიმ შეადგინა. ის აკვირდებოდა ვარსკვლავებს, ვარსკვლავთგროვებსა და გალაქტიკებს.

იოზეფ პუგის თანახმად, ანდალუზიელმა ასტრონომმა იბნ ბაჯაჰმა ივარაუდა, რომ „ირმის ნახტომი“ მრავალი ვარსკვლავისგან შედგებოდა, რომლებიც თითქმის ერთმანეთთან იყო მიკრული და ჩანდა უწყვეტ სურათად, რომელიც გამოწვეული იყო სუბლუნარული მატერიის გარდატეხის ეფექტისგან. მან თავისი დაკვირვების დასამტკიცებლად გამოიყენა მტკიცებულება იუპიტერი-სა და მარსის შეერთებით 500 AH-ზე. ადრეული ევროპელი ასტრონომები, როგორცაა ტიხო ბრაჰე, ახალ ვარსკვლავებს (მოგვიანებით ზეახალი დაერქვა) აფიქსირებდნენ ღამის ცაზე, რაც იმის მტკიცებულება იყო, რომ ცა მუდმივი არ იყო. 1584 წელს ჯორდანო ბრუნომ წამოაყენა ვარაუდი, რომ ვარსკვლავები მზის მსგავსი იყო და ჰქონდა პლანეტებითაგანთ ორბიტებზე, შეიძლება დედამიწის მსგავსებიც კი. ეს იდეა ბევრად ადრე წამოაყენეს უძველესმა ბერძენმა ფილოსოფოსებმა დემოკრიტემ და ეპიკურემ და შუა საუკუნეების მუსლიმმა კოსმოლოგებმა, როგორც იყო ალ-დინ ალ-რაზი. მომდევნო საუკუნეში ასტრონომები შეთანხმდნენ იმ იდეაზე, რომ ვარსკვლავები ისეთივე იყო, როგორც მზე. ნიუტონმა ჩამოაყალიბა იდეა, რომ ვარსკვლავები თანაბრად იყო განაწილებული ყველა მიმართულებით. ამ იდეას კი ბიძგი მისცა თეოლოგმა რიჩარდ ბენტლიმ.

უილიამ ჰერშელი პირველი ასტრონომი იყო, რომელმაც ვარსკვლავების ცაში განაწილების განსაზღვრა სცადა. 1780-იანებში მან გაზომვათა სერია ჩაატარა 600 მიმართულებით და დაითვალა ხედვის თითოეულ ხაზზე დანახული ვარსკვლავი. აქედან მან დაასკვნა, რომ ვარსკვლავების რიცხვი ცის ერთ მხარეს – „ირმის ნახტომის“ ბირთვის მიმართულებით – საგრძნობლად იზრდება. მისმა შვილმა, ჯონ ჰერშელმა გაიმეორა ეს კვლევა სამხრეთ ნახევარსფეროზე და აღმოაჩინა შესაბამისი ზრდა იმავე

მიმართულებით. უილიამ ჰერშელმა სხვა მიღწევებთან ერთად თავის აღმოჩენაში შენიშნა, რომ ზოგი ვარსკვლავი მარტივად არ მდებარეობს იმავე ხედვის ხაზზე. ისინი ფიზიკური კომპანიონებია, რომლებიც ორმაგ ვარსკვლავურ სისტემებს აყალიბებს.

ვარსკვლავური სპექტროსკოპიის მეცნიერება პირველად იოზეფ ფონ ფრაუნჰოფერმა და ანჯელო სეკიმ შემოიტანეს. სხვა ვარსკვლავების, მაგალითად, „სირიუსის“, სპექტრის მზესთან შედარებით მათ აღმოაჩინეს სხვაობა ამ ვარსკვლავების შთანთქმელი ხაზების სიგრძესა და რაოდენობაში – ბნელი ხაზები ვარსკვლავურ სპექტრში გამოწვეულია ატმოსფეროს მიერ სპეციფიკური სიხშირეების შთანთქმით. 1865 წელს სეკიმ ვარსკვლავების სპექტრულ კატეგორიებად კლასიფიცირება დაიწყო. თუმცა, ვარსკვლავური კლასიფიკაციის თანამედროვე სქემა ანა ქენონმა 1900-იან წლებში შექმნა.

ვარსკვლავამდე მანძილის პირდაპირი დადგენა 1838 წელს ფრიდრიხ ბესელმა პარალაქსის ტექნიკით მოახერხა. პარალაქსურმა გაზომვებმა აჩვენა ვარსკვლავების უკიდევანო დაშორება ცაზე. ორმაგ ვარსკვლავებზე დაკვირვებებმა ზრდადი მნიშვნელობა მე-19 საუკუნეში მიიღო. 1834 წელს ფრიდრიხ ბეზელმა დააფიქსირა ცვლილებები ვარსკვლავ „სირიუსის“ ჩვეულ მოძრაობაზე დაკვირვებით და აღმოაჩინა დამალული კომპანიონი. ედუარდ პიკერინგმა პირველი სპექტროსკოპული ორმაგობა 1899 წელს აღმოაჩინა, როცა ის აკვირდებოდა ვარსკვლავ „მიცარის“ სპექტრული ხაზების პერიოდულ რღვევას 104 დღიანი პერიოდით. მრავალი ორმაგი ვარსკვლავური სისტემის დეტალური კვლევები ჩაატარეს ასტრონომებმა უილიამ სტრავმა და შერბარნ ბურნემმა, რის შედეგადაც ორბიტალური ელემენტების გამოთვლის საფუძველზე ვარსკვლავების მასების განსაზღვრა შესაძლებელი გახდა. ორმაგი ვარსკვლავების ორბიტაზე წარმოქმნილი პრობლემა პირველად ფელის სევერიმ გადაჭრა 1827

წელს. XX საუკუნეში ვარსკვლავების შესწავლის წარმატებაში უდიდესი ნაბიჯები იდგმებოდა. ფოტოსურათი ღირებული ასტრონომიული ხელსაწყო გახდა. კარლ შვარცშილდმა აღმოაჩინა, რომ ვარსკვლავის ფერი და აქედან გამომდინარე, ტემპერატურა, შესაძლებელია მისი ხილული ვარსკვლავური სიდიდის ფოტოგრაფიულ ვარსკვლავურ სიდიდესთან შედარებით განისაზღვროს. ფოტოელექტრული ფოტომეტრის განვითარებამ ხელი შეუწყო ვარსკვლავური სიდიდის უზუსტეს გაზომვებს მრავალი ტალღის სიგრძის ინტერვალში. 1921 წელს ალბერტ მაიკელსონმა ვარსკვლავის დიამეტრი პირველად გაზომა ჰუკერის ტელესკოპზე მიმაგრებული ინტერფერომეტრით.

მნიშვნელოვანი თეორიული მუშაობა ვარსკვლავების ფიზიკურ სტრუქტურაზე XX საუკუნის პირველ ათწლეულებში მოხდა. 1913 წელს ჰერცშპრუნგ-რასელის დიაგრამა შეიქმნა, რომელმაც ვარსკვლავების ასტროფიზიკურ შესწავლას მისცა ბიძგი. ვარსკვლავური ევოლუციისა და ვარსკვლავის შიგნეულობის აღსაწერად წარმატებული მოდელები იქმნებოდა. სესილია პეინგაპოსჩინმა თავის 1925 წლის სადოქტორო ნაშრომში პირველმა წამოაყენა იდეა, რომ ვარსკვლავები ძირითადად შედგებოდნენ წყალბადისა და ჰელიუმისაგან. კვანტური ფიზიკის წარმატებასთან ერთად ვარსკვლავების სპექტრი უფრო სიღრმისეულად იქნა გაგებული. ამან კი საშუალება მისცა, ვარსკვლავური ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა განსაზღვრულიყო.

ცნობილია, რომ თანავარსკვლავედებზე წარმოდგენა ჯერ კიდევ ბაბილონურ პერიოდში არსებობდა. ცის უძველესი დამკვირვებლები ვარსკვლავთა შესამჩნევ წყობაში ფორმას ამჩნევდნენ და ისინი ამ ფორმებს ბუნებას ან თავიანთ მითებს უკავშირებდნენ. ამ წარმონაქმნებიდან 12 ეკლიპტიკის სიგრძივ მდებარეობს და ეს გახდა ასტროლოგიის საფუძველი. შესამჩნევ ცალკეულ ვარსკვ-

ლავებს სახელებს არქმევდნენ, უმეტესად – არაბულ და ლათინურ სახელწოდებებს.

როგორც თანავარსკვლავედებსა და მზეს, ისე ცალკეულ ვარსკვლავებს, საკუთარი მითები ჰქონდა. უძველესი ბერძნებისთვის ზოგი „ვარსკვლავი“, რომელსაც პლანეტის (პლანეტა ბერძნულად მოხეტიალეს ნიშნავს) სახელით იცნობდნენ, წარმოადგენდა სხვადასხვა მნიშვნელოვან ღვთაებებს, რისგანაც მოდის პლანეტათა სახელები: „მერკური“, „ვენერა“, „მარსი“, „იუპიტერი“ და „სატურნი“. („ურანი“ და „ნეპტუნი“ ასევე, ბერძნული და რომაული ღვთაებებია, მაგრამ მანამდე არც ერთი მათგანი არ იყო ცნობილი, რადგან მათ ძალიან დაბალი სიკაშკაშე აქვთ და ამიტომ ძველმა ასტრონომებმა ისინი ვერ აღმოაჩინეს. მათ ეს სახელები გვიანდელი ასტრონომების მიერ შეერქვა).

დაახლოებით 1600-იან წლებში თანავარსკვლავედები გამოიყენებოდა ცის შესაბამის რეგიონში არსებული ვარსკვლავების სახელების დასარქმევად. გერმანელმა ასტრონომმა იოჰან ბეიერმა ვარსკვლავების რუკისა და კუთვნილი ბერძნული ასოების სერიები შექმნა, როგორც თითოეულ თანავარსკვლავედში არსებული ვარსკვლავების სახელწოდებები. მოგვიანებით ვარსკვლავის პირდაპირ ასვლაზე დაფუძნებული ნუმერაციული სისტემა გამოიგონეს და ჯონ ფლემსტიდის ვარსკვლავურ კატალოგს დამატა მის წიგნში „*Historia coelestis Britannica*“, სადაც ამ ნუმერაციულ სისტემას „ფლემსტიდის აღნიშვნა“ ან „ფლემსტიდის ნუმერაცია“ ეწოდა.

მიუხედავად იმისა, რომ ვარსკვლავური პარამეტრების გამოსახვა შესაძლებელია *SI* ან *CGS* სისტემებში, ხშირად უფრო მოსახერხებელია მასის, სიკაშკაშისა და რადიუსის გამოსახვა მზიურ ერთეულებში, რომელიც მზის მახასიათებლებზეა დაფუძნებული:

მზის მასა – 1,9891კგ

მზის სიკაშკაშე – 3,827 ვატი

მზის რადიუსი – $6,960 \cdot 10^8$ მ

დიდი სიგრძეების გასაზომად, როგორცაა გიგანტური ვარსკვლავის რადიუსი ან ორმაგი ვარსკვლავური სისტემის დიდი ნახევარღერძი, ხშირად იყენებენ ასტრონომიულ ერთეულს (აე).

ვარსკვლავები წარმოიქმნება შედარებით მაღალი სიმკვრივის ფართო რეგიონებში. თუმცა, მისი სიმკვრივე გაცილებით მცირეა ვაკუუმის კამერის სიმკვრივეზე. ამ რეგიონებს მოლეკულური ღრუბლები ეწოდება და უმეტესად წყალბადით, 23-28% ჰელიუმით, ხოლო მცირე რაოდენობით შედარებით მძიმე ელემენტებითაა გაჯერებული. ვარსკვლავთწარმომქმნელი რეგიონის ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი მაგალითი ორიონის ნისლეულია. როცა მასიური ვარსკვლავები მოლეკულური ღრუბლისგან წარმოიქმნება, ისინი ამ ღრუბლებს მძლავრად ანათებენ. ვარსკვლავს ასევე შეუძლია წყალბადის იონიზაცია.

ყველა ვარსკვლავი თავისი სიცოცხლის უმეტესობას მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავად ატარებს, რომელიც საწვავად წყალბადის თერმობირთვული რეაქციების საშუალებით ჰელიუმად გადაქცევის პროცესს იყენებს. თუმცა, განსხვავებული მასის მქონე ვარსკვლავებს შესაძენევად განსხვავებული თვისებები აქვს განვითარების სხვადასხვა ეტაპებზე. მასიური ვარსკვლავების საბოლოო ბედი განსხვავდება ნაკლებად მასიური ვარსკვლავების ბედისაგან. ამიტომ ასტრონომები ვარსკვლავებს მასის მიხედვით აჯგუფებენ.

- ძალიან დაბალი მასის ვარსკვლავები 0,5 მზის მასით. ასეთი ვარსკვლავი არ შედის ასიმპტოტურ გიგანტურ განშტოებაში, მაგრამ პირდაპირ ევოლუციონირებს თეთრ ჯუჯად.

- დაბალი მასის ვარსკვლავები (მზის ჩათვლით) 0,5-1,8/2,2 მზის მასით (დამოკიდებულია შედგენილობაზე). ასეთი ვარსკვლავი შედის ასიმპტოტურ გიგანტურ განშტოებაში, სადაც ის წარმოქმნის გადაგვარებულ ჰელიუმის ბირთვს.

- შუალედური მასის ვარსკვლავი გადის ჰელიუმის სინთეზს და წარმოქმნის გადაგვარებულ ნახშირბად-ჟანგბადის ბირთვს. მასიური ვარსკვლავების მინიმალური მასა შეიძლება 7-10 მზის მასა იყოს, მაგრამ შეიძლება 5-6 მზის მასასაც გაუტოლდეს. ამ ვარსკვლავებში მიმდინარეობს ნახშირბადის სინთეზი, მათი სიცოცხლე კი – ბირთვული ჩაშლით გამოწვეული ზეახლის ანთებით მთავრდება.

ვარსკვლავი თავისი სიცოცხლის 90%-ს წყალბადისა და ჰელიუმის სინთეზში ატარებს. ასეთ ვარსკვლავი მთავარი მიმდევრობისაა და ჯუჯა ვარსკვლავი ეწოდება. ვარსკვლავი დაბადებისას მთავარ მიმდევრობაში ხვდება და ჰელიუმის მარაგი მასში საკმაოდ იზრდება, ბირთვული სინთეზი ბირთვში ნელ-ნელა იზრდება, როგორც ვარსკვლავის ტემპერატურა და სიკაშკაშე. მაგალითისთვის, მეცნიერთა გამოთვლით, მზის სიკაშკაშე 40%-ით გაიზარდა მას შემდეგ, რაც ის მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავი გახდა 4,6 მილიარდი წლის წინ.

ყოველი ვარსკვლავი წარმოქმნის ნაწილაკების ვარსკვლავურ ქარს, რომელიც იწვევს გაზის უწყვეტ გამოდენას კოსმოსში. ვარსკვლავთა უმეტესობისთვის მასის დაკარგვა უმნიშვნელოა. მზე წელიწადში 10^{-14} მზის მასას კარგავს, ან დაახლოებით მთლიანი მასის 0,01%-ს თავისი მთლიანი სიცოცხლის განმავლობაში. თუმცა, ძალიან მასიური ვარსკვლავები 10^{-7} -დან 10^{-5} -მდე მზის მასას კარგავს ყოველ წელს, რაც მნიშვნელოვნად მოქმედებს მათ ევოლუციაზე. ის ვარსკვლავი, რომლის დაბადება 50 მზის მასით იწყება, მთავარ მიმდევრობაში ყოფნისას თავისი მასის ნახევარს კარგავს. ვარსკვლავის მთავარ მიმდევრობაში ყოფნის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია საწვავის რაოდენობაზე, რომლის სინთეზიც უნდა მოახდინოს და ტემპზე, რომელზეც ის ასინთეზირებს საწვავს, ე.ი. მის საწყის მასასა და სიკაშკაშეზე. მეცნიერთა შეფასებით, მზის სიცოცხლე დაახლოებით 10 მილიარდი წელიწადია. მასიური ვარსკვლავები საწვავს ძალიან სწრაფად მოიხმარს

და ამიტომ მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა მცირეა. მცირე მასის ვარსკვლავები პირიქით, ძალიან ნელა მოიხმარს საწვავს. 0,25 მზის მასაზე ნაკლებ ვარსკვლავებს, რომელთაც წითელი ჯუჯები ეწოდება, შეუძლია თავიანთი მთლიანი მასა მოიხმაროს საწვავად, ხოლო ვარსკვლავებს 1 მზის მასით თავიანთი მასის მხოლოდ 10%-ის გამოყენება შეუძლია საწვავად. საწვავის ნელა მოხმარებისა და შედარებით დიდი გამოყენებადი საწვავის მარაგის კომბინაციით, ვარსკვლავის ევოლუციური გამოთვლებით, 0,25 მზის მასის ტოლ ვარსკვლავს შეუძლია 1 ტრილიონი წელიწადი იცოცხლოს, ხოლო ყველაზე ნაკლებად მასიური ვარსკვლავი (0,08 მზის მასა) 12 ტრილიონი წელიწადი იცოცხლებს. სიცოცხლის დასასრულს წითელი ჯუჯები ჩვეულებისამებრ, უფრო და უფრო მკრთალები ხდება. თუმცა, რადგანაც ასეთი ვარსკვლავების სიცოცხლის ხანგრძლივობა სამყაროს ასაკზე (13,7 მილიარდი წელიწადი) მეტია, 0,85 მზის მასაზე დაბალ ვარსკვლავს არ გადაუხვევია მთავარი მიმდევრობიდან.

მასის გარდა, ჰელიუმზე მძიმე ელემენტები მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ვარსკვლავების ევოლუციაში. ასტრონომები ჰელიუმზე მძიმე ელემენტებს „მეტალებს“ უწოდებენ და ამ ელემენტების ქიმიურ კონცენტრაციას-მეტალურობას. მეტალურობას შეუძლია გავლენა მოახდინოს ხანგრძლივობაზე, რომლის განმავლობაშიც ვარსკვლავი საწვავს მოიხმარს, აკონტროლოს მაგნიტური ველების ფორმირება და შეცვალოს ვარსკვლავური ქარის სიძლიერე. უფრო ხნიერ, II პოპულაციის ვარსკვლავებს არსებითად ნაკლები მეტალურობა აქვს, ვიდრე უფრო ახალგაზრდა I პოპულაციის ვარსკვლავს, რადგან იმ მოლეკულური ღრუბლის შემადგენლობაზეა დამოკიდებული, რომელშიც ეს ვარსკვლავები წარმოიქმნა. დროთა განმავლობაში ეს ღრუბლები საკმაოდ მდიდრდება მძიმე ელემენტებით, რადგან ხნიერი ვარსკვლავები კვდება და თავიანთი ატმოსფეროს ფენებს აფრქვევს.

როდესაც სულ მცირე 0,4 მზის მასის ვარსკვლავი თავის წყალბადის მარაგს ამოწურავს ბირთვში, მისი გარე შრეები ძალიან ფართოვდება და გრილდება, რის შედეგადაც წითელი გიგანტი წარმოიქმნება. დაახლოებით 5 მილიარდ წელიწადში, როცა მზე ამ ფაზაში შევა, ის თავის მაქსიმუმ რადიუსამდე გაფართოვდება - 1 ასტრონომიულ ერთეულამდე. ეს კი მის ახლანდელ ზომას 250-ჯერ აღემატება. როგორც გიგანტი, მზე ამჟამინდელი მასის 30%-ს დაკარგავს. 2,25 მზის მასის წითელ გიგანტებში წყალბადი სინთეზს ბირთვის გარშემო არსებულ გარსში აგრძელებს. საბოლოოდ, ბირთვი იმდენადაა შეკუმშული, რომ ჰელიუმის სინთეზი იწყება, ვარსკვლავის რადიუსი თანდათან მცირდება და მისი ზედაპირის ტემპერატურა იზრდება. უფრო დიდი ვარსკვლავებისთვის ბირთვის რეგიონი წყალბადის სინთეზიდან პირდაპირ გადადის ჰელიუმის სინთეზში.

მას შემდეგ, რაც ვარსკვლავი მოიხმარს ჰელიუმს ბირთვში, სინთეზი ნახშირბადისა და ჟანგბადის ცხელი ბირთვის გარშემო არსებულ გარსში გრძელდება. შემდეგ ვარსკვლავი იმ ევოლუციურ ბილიკს მიჰყვება, რომელიც თავდაპირველი წითელი გიგანტის ფაზის პარალელურია, მხოლოდ ზედაპირის უფრო მაღალი ტემპერატურით.

მასიური ვარსკვლავები

ვარსკვლავი 9 მზის მასაზე მეტი მასით, ჰელიუმის წვის ფაზისას ფართოვდება და წარმოიქმნება წითელი ზეგიგანტი. როგორც კი ბირთვში ეს საწვავი ამოიწურება, ვარსკვლავი აგრძელებს ჰელიუმზე მძიმე ელემენტების სინთეზს.

ბირთვი იკამდე იკუმშება, სანამ ტემპერატურა და წნევა ნახშირბადის სინთეზისთვის არ იქნება საკმარისი. ეს პროცესი გრძელდება თანმიმდევრული საფეხურებით: ნეონით, ჟანგბადითა და სილიციუმით. ვარსკვლავის სიცოცხლის დასასრულს, სინთეზი გრძელდება ხახვის გარსისებრი სერიებით: თითოეული შრე განსხვავებული ელემენტის სინთეზირებას ახდენს, ხოლო

ყველაზე კიდურა გარსი – წყალბადს, შემდეგი – ჰელიუმს და ა.შ. საბოლოო საფეხური იწყება მაშინ, როცა მასიური ვარსკვლავი რკინის წარმოქმნას იწყებს. რადგანაც რკინის ბირთვი ყველა მძიმე ელემენტის ბირთვზე მჭიდროდ არის შეკრული, რკინის შემდეგ სინთეზი აღარ წარმოქმნის ენერგიას – პირიქით, ის მოიხმარს მას. ამგვარად, რადგან რკინის ბირთვი ყველაზე მჭიდროდაა შეკრული, ვიდრე სხვა მძიმე ელემენტები, ენერგიის გამოთავისუფლება ატომის გახლეჩითაც შეუძლებელია. შედარებით ხნიერ და ძალიან მასიურ ვარსკვლავებში ინერტული რკინის უზარმაზარი ბირთვი შეიკვრება ვარსკვლავის ცენტრში. ამ ვარსკვლავებში უფრო მძიმე ელემენტებს შეუძლია თავიანთ გზაზე იმუშაოს ამ ვარსკვლავების ზედაპირზე, რის შედეგადაც ყალიბდება განვითარებული ობიექტები, რომელთაც ვოლფ-რაიეს ვარსკვლავები ეწოდება. ამ ვარსკვლავებს მკვრივი ვარსკვლავური ქარი აქვს, რომელიც გარე ატმოსფეროს აფრქვევს.

როცა ვარსკვლავის ბირთვი იკუმშება, გამოსხივების ინტენსივობა ზედაპირიდან იზრდება, რაც წარმოქმნის ისეთ გამოსხივებით წნევას გაზის გარე გარსზე, რომ ის გამოაგდებს ამ ფენებს, შედეგად კი პლანეტური ნისლეული წარმოიქმნება. გარე ატმოსფეროს გამოფრქვევის შემდეგ რაც დარჩა, ის თუ 1,4 მზის მასაზე ნაკლებია, იკუმშება შედარებით პაწაწინა ობიექტად, დაახლოებით დედამიწის ზომამდე, რომელსაც თეთრი ჯუჯა ეწოდება. თეთრ ჯუჯას არ აქვს საკმარისი მასა უფრო მძლავრი გრავიტაციული შეკუმშვა რომ წარმართოს. თეთრ ჯუჯაში აღარაა პლაზმა, მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი ვარსკვლავები პლაზმის სფეროებად ითვლება. საბოლოოდ, თეთრი ჯუჯა ძალიან გრძელი პერიოდის განმავლობაში შავ ჯუჯად გადაიქცევა.



კიბორჩხალის ნისლეული - ზეახლის ნარჩენები, რომელიც პირველად 1054 წელს დააფიქსირეს

მოზრდილ ვარსკვლავებში სინთეზი იქამდე გრძელდება, სანამ რკინის ბირთვი იმდენად არ გაიზრდება (1,4 მზის მასაზე მეტი), რომ საკუთარ მასას ვეღარ გაუძლოს. ეს ბირთვი უცებ ჩაიშლება, რადგან მისი ელექტრონები მის პროტონებს შეერწყმება და წარმოქმნის ნეიტრონებს, ნეიტრონებსა და გამა სხივებს ელექტრონის დატყვევებისა და შებრუნებული ბეტა დაშლის პროცესში. ამ უეცარი კოლაფსის შედეგად წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღა მთლიანი ვარსკვლავის ზეახლად ანთებას იწვევს. ზეახალი იმდენად კაშკაშა ხდება, რომ მას შეუძლია მთლიანი გალაქტიკის სიკაშკაშეს ცოტა ხნით გადააჭარბოს. როცა ზეახალი ინთებოდა ირმის ნახტომში, შეუიარაღებელი თვალით დამკვირვებლები მას „ახალ ვარსკვლავს“ უწოდებდნენ.

ზეახლად ანთება ვარსკვლავის მატერიის უდიდეს ნაწილს აფრქვევს და წარმოქმნის ნისლეულს, როგორცაა კიბორჩხალის ნისლეული. შემდეგ აქ რჩება ნეიტრონული ვარსკვლავი (რომელიც ზოგჯერ პულსარად ან რენტგენის სხივების მფრქვეველად იქცევა) ან უდიდესი ვარსკვლავების შემთხვევაში (იმდენად დიდი, რომ 4 მზის მასაზე მეტი მასის ნარჩენი დატოვოს), შავი ხვრელი. ნეიტრონულ ვარსკვლავში მატერია ე.წ. ნეიტრონ გადაგვარებულ მდგომარეობაში იმყოფება. გადაგვარებული მატერიის უფრო ეგზოტიკური ფორმა, *QCD* მატერია, შესაძლებელია

ბირთვში არსებობს. შავ ხვრელში კი მატერია იმ მდგომარეო-ბაშია, რომელიც ჯერჯერობით არ არის ცნობილი.

მომაკვდავი ვარსკვლავების გამოტყორცნილი გარე ფენები მძიმე ელემენტებს შეიცავს, რომლებიც შესაძლოა სხვა ახალი ვარსკვლავების ფორმირებისას გადამუშავდეს. ამ მძიმე ელემენტების წყალობით ხდება კლდოვანი პლანეტების ფორმირება. ზეახლიდან წამოსული მატერია და დიდი ვარსკვლავების ვარსკვლავური ქარი გადამწყვეტ როლს თამაშობს ვარსკვლავთშორისი სივრცის ფორმაზე.

იზოლირებული ვარსკვლავების დამატებით, მრავალვარსკვლავიანი სისტემა შეიძლება გრავიტაციულად ჩაჭერილ ორ ან მეტ ვარსკვლავს მოიცავდეს, რომლებიც ერთმანეთის ირგვლივ მოძრაობს. უმარტივესი და ყველაზე გავრცელებული მრავალვარსკვლავიანი სისტემა ორმაგი ვარსკვლავია, მაგრამ სამი ან მეტი ვარსკვლავისგან შემდგარი სისტემაც არის აღმოჩენილი. ორბიტალური სტაბილურობის მიზეზისთვის ასეთი მრავალვარსკვლავიანი სისტემა ხშირად ორმაგი ვარსკვლავების იერარქიულ ნაკრებადაა მოწყობილი. უფრო დიდი ჯგუფებიც არსებობს, რომელთაც ვარსკვლავთგროვები ეწოდება. ვარსკვლავების რაოდენობა იწყება ღია გროვებით, რომელშიც მხოლოდ რამდენიმე ვარსკვლავი შედის და მთავრდება უზარმაზარი სფერული გროვებით, რომლებშიც ასობით ათასი მნათობი არსებობს.

დიდი ხანია ვარაუდობენ, რომ ვარსკვლავთა უმრავლესობა გრავიტაციულად ჩაჭერილ მრავალვარსკვლავიან სისტემებში არსებობს. ეს მართებულია ძალიან მასიური O და B კლასის ვარსკვლავებისთვის, სადაც მიჩნეულია, რომ ამ ვარსკვლავთა უმეტესობა მრავალვარსკვლავიანი სისტემების ნაწილია. თუმცა, ცალკეული ვარსკვლავების სისტემების პროპორცია იზრდება უფრო მცირე ვარსკვლავებისთვის, რადგან წითელი ჯუჯების მხოლოდ 25%-ს ჰყავს კომპანიონი. რადგანაც ვარსკვლავთა 85%

წითელი ჯუჯაა, „ირმის ნახტომში“ დაბადებულ ვარსკვლავთა უმეტესობა იზოლირებულია.

ვარსკვლავები სამყაროში ერთფეროვნად არ არის გავრცელებული. ისინი ჩვეულებრივ ჯგუფდებიან გალაქტიკებში ვარსკვლავთშორის გაზთან და მტვერთან. ტიპური გალაქტიკა ასობით მილიარდ ვარსკვლავს შეიცავს, ხილულ სამყაროში კი – 100 მილიარდზე მეტი გალაქტიკაა. 2010 წლის ვარსკვლავთ-აღრიცხვამ აჩვენა, რომ ხილულ სამყაროში 300 სექსტილიონი (3×10^{23}) ვარსკვლავია. მართალია, მეცნიერებს ხშირად მიაჩნიათ, რომ ვარსკვლავები მხოლოდ გალაქტიკებში არსებობს, მაგრამ აღმოჩენილია გალაქტიკათშორისი ვარსკვლავებიც.

დედამიწასთან მდებარე უახლოესი ვარსკვლავი, მზის გამოკლებით, არის პროქსიმა კენტავრი, რომელიც 39,9 ტრილიონი კილომეტრით ან 4,2 სინათლის წლითაა დაშორებული. ამ ვარსკვლავის მიმართულებით კოსმოსური შატლით რომ გავემგზავროთ ორბიტალური სიჩქარით (8 კმ/წმ – თითქმის 30 000 კმ/სთ), სულ რაღაც 150 000 წელიწადი დაგვჭირდება იქ მოსახვედრად. ასეთი მანძილები ტიპურია გალაქტიკურ დისკოებში, მზის სისტემის მიდამოების ჩათვლით. ვარსკვლავები ერთმანეთთან შეიძლება ძალიან ახლოს იყოს გალაქტიკის ცენტრში ან სფერულ გროვებში, ან ბევრად შორს გალაქტიკურ ჰალოში.

გალაქტიკის ბირთვის გარეთ არსებულ ვარსკვლავებს შორის უკიდველად მანძილის გამო მათი შეჯახებები იშვიათია. უფრო მჭიდრო რეგიონებში, როგორცაა სფერული გროვების ბირთვი ან გალაქტიკის ცენტრი, შეჯახებები უფრო ხშირია. ასეთი შეჯახებები იწვევს ე.წ. ლურჯ ჩამორჩენილებს. ამ არაწესიერ ვარსკვლავებს ზედაპირის იმაზე მაღალი ტემპერატურა აქვს, ვიდრე გროვაში არსებულ მთავარი მიმდევრობის სხვა ვარსკვლავებს იმავე სიკაშკაშით.

ვარსკვლავის შესახებ თითქმის ყველაფერს მისი საწყისი მასით საზღვრავენ, ასევე სიკაშკაშითა და ზომით, ევოლუციით, სიცოცხლის ხანგრძლივობითა და საბოლოო ბედით.

ასაკი

ვარსკვლავთა უმეტესობა 1-დან 10 მილიარდამდე წლისაა. ზოგი ვარსკვლავი შეიძლება 13,8 მილიარდი წლისაც კი იყოს. აქამდე აღმოჩენილთა შორის უხუცესი ვარსკვლავი, ზედმეტ სახელად „მათუსალას ვარსკვლავი“, $14,46 \pm 0,8$ მილიარდი წლისაა. რაც უფრო მასიურია ვარსკვლავი, მით მცირეა მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა, რადგან მასიურ ვარსკვლავს ბირთვში ბევრად მძლავრი წნევა აქვს, რაც წყალბადის სწრაფ დაწვას იწვევს. ყველაზე მასიური ვარსკვლავების საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა რამდენიმე მილიონი წელიწადია, ხოლო ყველაზე მცირე მასის მქონე ვარსკვლავები იმდენად ნელა მოიხმარს საწვავს, რომ მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა ათობით და ასობით მილიარდი წელიწადია.

ქიმიური შედგენილობა

როცა ვარსკვლავები იბადება „ირმის ნახტომში“, ისინი 71% წყალბადითა და 27% ჰელიუმითაა გაჯერებული (მძიმე ელემენტების მცირე ნაწილით). ჩვეულებრივ, მძიმე ელემენტების პორცია იზომება ვარსკვლავის ატმოსფეროში არსებული რკინის შიგთავსით, რადგან რკინა გავრცელებული ელემენტია და მისი შთანთქმის ხაზების გაზომვა შედარებით ადვილია. რადგან მოლეკულური დრუბლები, სადაც ახალი ვარსკვლავები ფორმირდება, მძიმე ელემენტებითაა გაჯერებული, ვარსკვლავის ქიმიური შედგენილობის დადგენით ვარსკვლავის ასაკს ადვილად გამოვთვლით. მძიმე ელემენტების პორცია, ასევე შეიძლება იყოს იმ ალბათობის მაჩვენებელი, აქვს თუ არა ვარსკვლავს პლანეტარული სისტემა.

ვარსკვლავი ყველაზე დაბალი რკინის შიგთავსით არის ჯუჯა HE 1327-2326, რომელსაც მზის რკინის შიგთავსის 1/200 000

ჰქონდა. ამის საპირისპიროდ, მეტალით ყველაზე მდიდარი ვარსკვლავი არის μ ლეონისი, რომელსაც თითქმის მზის რკინის შიგთავსზე 2-ჯერ მეტი აქვს, ხოლო პლანეტების წარმომქმნელ ვარსკვლავ 14 ჰერკულესს –3-ჯერ მეტი. არსებობს კიდევ ქიმიურად განსაკუთრებული ვარსკვლავები, რომლებიც გარკვეული ელემენტების განსაკუთრებული სიუხვით გამოირჩევა, განსაკუთრებით ქრომითა და იშვიათი დედამიწური ელემენტებით.

დიამეტრი

ვარსკვლავების დედამიწიდან უზარმაზარი დაშორების გამო, ყველა ვარსკვლავი, მზის გარდა, შეუიარაღებელი თვალისთვის ღამის ცაზე მნათ წერტილებად ჩანს, რომელიც ციმციმებს დედამიწის ატმოსფეროს ეფექტის გამო. მზეც ვარსკვლავია, მაგრამ ის საკმარისად ახლოსაა დედამიწასთან, რომ დისკოდ გამოჩნდეს და დღის შუქი უზრუნველყოს. ვარსკვლავთა უმეტესობის დისკო ძალიან მცირეა კუთხურ ზომაში, რომ ახლანდელი ხმელეთზე არსებული ოპტიკური ტელესკოპებით დავაკვირდეთ. ამიტომ საჭიროა ინტერფერომეტრული ტელესკოპები ამ ობიექტების სურათების მისაღებად. ვარსკვლავების კუთხური ზომის დასადგენი სხვა ტექნიკა არის დაბნელება. ვარსკვლავის სიკაშკაშის ვარდნის ზუსტი გაზომვით, როცა მას მთვარე დააბნელებს (ან ამოსვლისას, როცა მას მთვარე გაეცლება), მისი კუთხური დიამეტრის გამოთვლა შესაძლებელია.

ვარსკვლავების ზომების მრავალფეროვნება ნეიტრონული ვარსკვლავიდან იწყება, რომლის დიამეტრი 20 კმ-დან 40 კმ-მდე იცვლება და მთავრება ზეგიგანტებით, რომლის დიამეტრი მზისას 650-ჯერ აღემატება – დაახლოებით 900 000 000 კილომეტრია.

მაგნიტური ველი

ვარსკვლავის მაგნიტური ველი წარმოიქმნება შიდა რეგიონებში, სადაც კონვექციური ცირკულაცია ხდება. პლაზმის ეს მოძრაობა დინამო მანქანასავით ფუნქციონირებს: წარმოქმნის მაგნიტურ ველებს, რომელიც იკიმება მთელ ვარსკვლავზე.

მაგნიტური ველის სიძლიერე დამოკიდებულია ვარსკვლავის შედგენილობასა და მასაზე. მაგნიტური ზედაპირის აქტიურობის რაოდენობა დამოკიდებულია ვარსკვლავის ბრუნვის ტემპზე. ეს ზედაპირული აქტივობა წარმოქმნის ვარსკვლავთაქებს, რომლებიც ძლიერი მაგნიტური ველების რეგიონებია და ნორმალურ ზედაპირის ტემპერატურაზე დაბალია. გვირგვინული მარყუქი არის რკალისებრი მაგნიტური ველი, რომელიც აქტიური რეგიონებიდან გვირგვინში იწელება. ვარსკვლავური ანთება მაღალი ენერგიების ნაწილაკების ანთებაა, რომელიც იმავე მაგნიტური აქტიურობის გამო გამოსხივდება.

ახალგაზრდა, სწრაფად მოძრავ ვარსკვლავებს, ძირითადად, მაღალი დონის ზედაპირული აქტივობები აქვს თავიანთი მაგნიტური ველის გამო. მაგნიტურ ველს შეუძლია ძალა მისცეს ვარსკვლავის ვარსკვლავურ ქარს. ეს უკანასკნელი კი როგორც მუხრუჭი, ისე ფუნქციონირებს და თანდათანობით ვარსკვლავის ბრუნვის ტემპს ანელებს. ამგვარად, მზის მსგავს ხნიერ ვარსკვლავებს უფრო ნელი მოძრაობის ტემპი აქვს და ზედაპირული აქტივობის დაბალი დონე. ნელა მოძრავი ვარსკვლავების აქტიურობის დონე იცვლება ციკლურად და შეუძლია რაღაც დროის განმავლობაში სრულიად გაითიშოს.

მასა

ერთ-ერთი ყველაზე მასიური ვარსკვლავი არის *Eta Carinae* 100-150 მზის მასით, რომლის სიცოცხლის ხანგრძლივობა მხოლოდ რამდენიმე მილიონი წელიწადი იქნება. თაღების გროვის კვლევამ აჩვენა, რომ 150 მზის მასა ვარსკვლავებისთვის ზედა ზღვარია სამყაროს მიმდინარე ხანაში. ამ ზღვრის მიზეზი ზუსტად არ არის ცნობილი, მაგრამ ნაწილობრივ „ედინგტონის სიკაშკაშის“ გამო, რომელიც განსაზღვრავს სიკაშკაშის მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელსაც შეუძლია ვარსკვლავის ატმოსფეროში ისე გაიაროს, რომ გაზები კოსმოსში არ გამოტყორცნოს. თუმცა, ვარსკვლავს R136a1 მაგელანის დიდ ნისლეულში 265 მზის მასა

აქვს, რომელიც ამ ზღვარს კითხვის ნიშნის ქვეშ აყენებს. კვლევამ დაადგინა, რომ 150 მზის მასაზე დიდი ვარსკვლავები R136-ში წარმოიქმნა ახლო ორმაგ სისტემებში მყოფ მასიური ვარსკვლავების შეჯახებების დროს, რაც უზრუნველყოფს გზას, რომ 150 მზის მასიანი ზღვარი უგულვებელყოფთ.

დიდი აფეთქების შემდეგ ჩამოყალიბებული პირველი ვარსკვლავები შესაძლოა უფრო დიდი იყო, 300 ან მეტ მზის მასამდე, რადგან იმ დროს ლითიუმზე მძიმე ელემენტები საერთოდ არ იყო მათ შედგენილობაში. თუმცა, ზემასიური ვარსკვლავების ეს თაობა, III პოპულაციის ვარსკვლავები დიდი ხნის წინ გადაშენდა, ახლა კი მხოლოდ თეორიულად არსებობს.

ძალიან მკრთალი ვარსკვლავების ახალმა კვლევამ აჩვენა, რომ თუ ვარსკვლავის მეტალურობა დაბალია, მისი მინიმალური ზომა მზის მასის 8,3%-ია ან 87 იუპიტერის მასა. უფრო მცირე სხეულებს ყავისფერი ჯუჯები ეწოდება, რომლებიც ძლივს იკავებენ ადგილს ვარსკვლავებსა და გაზურ გიგანტებს შორის.

ვარსკვლავის მასისა და რადიუსის ერთობლიობა განსაზღვრავს ზედაპირის გრავიტაციას. გიგანტურ ვარსკვლავებს გაცილებით მცირე ზედაპირის გრავიტაცია აქვს, ვიდრე მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავებს, ხოლო საპირისპირო ხდება გადაგვარებულ, კომპაქტურ ვარსკვლავებში, როგორცაა თეთრი ჯუჯები. ზედაპირის გრავიტაცია დიდ გავლენას ახდენს ვარსკვლავის სპექტრის გარეგნობაზე: მაღალი გრავიტაცია იწვევს შთანმთქმელი ხაზების გაფართოებას.

ბრუნვა

ვარსკვლავის ბრუნვის ტემპის განსაზღვრა სპექტროსკოპული დაკვირვებებითაა შესაძლებელი ან უფრო ზუსტად განსასაზღვრად, ვარსკვლავთლაქების ბრუნვის ტემპის მონიტორინგია საჭირო. ახალგაზრდა ვარსკვლავებს ძალიან სწრაფი ბრუნვის ტემპი აქვს, რომელიც 100 კმ/წმ-ს აღემატება ეკვატორზე. B კლასის ვარსკვლავ ალფა ერიდანის ეკვატორული ბრუნვის სიჩქარე

დაახლოებით 225 კმ/წმ ან მეტია, რაც იწვევს მისი ეკვატორის დიამეტრის გაზრდას. ამის შედეგად კი მისი ეკვატორული დიამეტრი 50%-ით დიდი ხდება, ვიდრე მანძილი პოლუსებს შორის. ბრუნვის ასეთი ტემპი კრიტიკულ 300 კმ/წმ-მდე ოდნავ მცირეა. ამ სიჩქარეზე ვარსკვლავი შუაზე იხლიჩება. მზე მხოლოდ 25-35 დღეში ერთხელ აკეთებს სრულ ბრუნს 1,994 კმ/წმ ეკვატორული სიჩქარით. ვარსკვლავის მაგნიტური ველი და ვარსკვლავური ქარი მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავის ბრუნვის ტემპის შესამჩნევად შენელებაზე ზრუნავს.

გადაგვარებული ვარსკვლავები შეიკუმშა კომპაქტურ მასად, შედეგად კი ძალიან სწრაფი ბრუნვის ტემპი მიიღო. თუმცა, მათ შედარებით დაბალი ბრუნვის ტემპი აქვთ იმასთან შედარებით, რაც იყო მოსალოდნელი კუთხური მოძრაობის შენახვით – მბრუნავი სხეულის მიდრეკილება, აინაზღაუროს ზომის დანაკლისი მისი ბრუნვის ტემპის გაზრდით. ვარსკვლავის კუთხური მოძრაობის დიდი ნაწილი იფანტება ვარსკვლავური ქარის შედეგად დაკარგული მასის გამო. ამის მიუხედავად, პულსარის ბრუნვის ტემპი ძალიან სწრაფია. მაგალითად, კიბორჩხალის ნისლეულში არსებული პულსარი 30-ჯერ ბრუნავს წამში. პულსარის ბრუნვის ტემპი თანდათან შენელდება რადიაციის გამოსხივების გამო.

ტემპერატურა

მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურა განისაზღვრება ბირთვში ენერჯის გამომუშავების ტემპითა და რადიუსით, ხშირად კი ვარსკვლავის ფერის ინდექსით. ჩვეულებრივ, ტემპერატურა მოცემულია მარგ ტემპერატურად, რომელიც იდეალური შავი სხეულის ტემპერატურაა. ეს კი ასხივებს თავის ენერჯიას იმ იმავე სიკაშკაშით, როგორც ვარსკვლავი. მარგი ტემპერატურა მხოლოდ მახასიათებელი სიდიდეა, რადგან ტემპერატურა ბირთვისკენ უფრო იზრდება. ვარსკვლავის

ბირთვში არსებული ტემპერატურა რამდენიმე მილიონი კელვინია.

ვარსკვლავის ტემპერატურა რამდენიმე განსხვავებული ელემენტის იონიზაციის ტემპს განსაზღვრავს, რომელიც აისახება სპექტრში არსებული მახასიათებელი შთანთქმელი ხაზებით. ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურა, მის სრულ ვარსკვლავურ სიდიდესთან ერთად, გამოიყენება მისი კლასიფიცირებისთვის.

მთავარი მიმდევრობის მასიური ვარსკვლავების ზედაპირის ტემპერატურა 50 000 კელვინს აღწევს. უფრო მცირე, მზის მსგავსი ვარსკვლავების ზედაპირის ტემპერატურა რამდენიმე ათასი კელვინია. წითელ გიგანტებს შედარებით დაბალი ზედაპირის ტემპერატურა აქვს: დაახლოებით 3600 K, მაგრამ ამის მიუხედავად, მაღალი სიკაშკაშე აქვთ უზარმაზარი გარეგანი ფართობის გამო.

ვარსკვლავების მიერ გამოსხივებული ენერგია კოსმოსში ელექტრომაგნიტური და ნაწილაკური გამოცხივებით ვრცელდება. ვარსკვლავის მიერ გამოსხივებული ნაწილაკური რადიაცია ვარსკვლავურ ქარად გვევლინება, რომელიც გარე ფენებიდან გამოედინება თავისუფალ პროტონებად და ელექტრულად დამუხტულ ალფა და ბეტა ნაწილაკებად. თუმცა, არსებობს უმასო ნეიტრონების დიდი ნაკადი, რომელიც ვარსკვლავის ბირთვიდან სხივდება.

ბირთვში ენერგიის გამომუშავება არის ვარსკვლავის ასეთი კაშკაშით ნათების მიზეზი: ორი ან მეტი ატომბირთვი ერთმანეთს ერწყმება და ფორმირდება უფრო მძიმე ელემენტის ერთი ატომბირთვი, შემდეგ კი – ამის შედეგად გამა სხივების ფოტონები გამოთავისუფლდება. ეს ენერგია გადაიქცევა ელექტრომაგნიტური ენერგიის სხვა ფორმებად, როგორცაა ხილული სინათლე, როცა ის ვარსკვლავის გარე ფენებს მიაღწევს.

ვარსკვლავის ფერი, რომელიც ხილული სინათლის ინტენსიური სიხშირით განისაზღვრება, დამოკიდებულია ვარსკვლავის

გარე ფენების ტემპერატურაზე, მისი ფოტოსფეროს ჩათვლით. ხილული სინათლის გარდა ვარსკვლავი ასევე ასხივებს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სხვა ფორმებს, რომლებიც ადამიანის თვალისათვის უხილავია. ვარსკვლავურ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებაში შედის მთელი ელექტრომაგნიტური სპექტრი, დაწყებული უგრძესი რადიოტალღებით, შემდეგ ინფრაწითელი, ხილული სინათლე, ულტრაიისფერი და დამთავრებული უმოკლესი რენტგენისა და გამა სხივებით. ვარსკვლავის მიერ სრული ენერჯის გამოსხივების თვალთახედვიდან, ვარსკვლავური ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ყველა კომპონენტი მნიშვნელოვანი არ არის. თუმცა, ყველა სიხშირე უზრუნველყოფს ვარსკვლავის ფიზიკის გაგებას.

ვარსკვლავური სპექტრის გამოყენებით ასტრონომებს შეუძლიათ განსაზღვრონ ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურა, ზედაპირის გრავიტაცია, მეტალურობა და ბრუნვის სიჩქარე. თუ ვარსკვლავამდე მანძილი ცნობილია, მაგალითად, პარალაქსური გაზომვით, შემდეგ მისი სიკაშკაშის გაგებაცაა შესაძლებელი. მასა, რადიუსი, ზედაპირის გრავიტაცია და ბრუნვის პერიოდი შემდეგ შეიძლება განისაზღვროს ვარსკვლავურ მოდელებზე დაფუძნებული შეფასებებით. ამ პარამეტრებთან ერთად ასტრონომებს ასევე ძალუბთ მნათობის ასაკი განსაზღვრონ.

ნათება

ვარსკვლავის ნათება არის სინათლისა და გამოსხივების სხვა ფორმის ენერჯის რაოდენობა, რომელსაც ის ასხივებს ყოველი დროის რაღაც ერთეულში. მისი ერთეულია სიმძლავრე. ვარსკვლავის სიკაშკაშე განისაზღვრება რადიუსითა და ზედაპირის ტემპერატურით. თუმცა, მრავალი ვარსკვლავი არ ასხივებს ერთგვაროვანი დინებით (ენერჯის რაოდენობა, რომელიც გამოსხივდა ფართობის გარკვეული ერთეულიდან) მთელი თავისი ზედაპირიდან. მაგალითად, სწრაფად მბრუნავ ვარსკვლავ ვეგას

უფრო მაღალი ენერჯის დინება აქვს პოლუსებზე, ვიდრე ეკვატორზე.

ზედაპირული ლაქა, შედარებით დაბალი ტემპერატურითა და სიკაშკაშით, ვარსკვლავთლაქად მოიხსენიება. პატარა, ჯუჯა ვარსკვლავებს, როგორც ჩვენი მზეა, ძირითადად მცირე ვარსკვლავთლაქებიანი დისკო აქვს. უფრო დიდ, გიგანტ ვარსკვლავებს კი – ბევრად დიდი, უფრო აშკარა ვარსკვლავთლაქები და ასევე აქვს ძლიერი ვარსკვლავური დისკოსებრი დაბნელება. ეს უკანასკნელი არის ეფექტი, რომლის დროსაც ვარსკვლავის შუაგული უფრო კაშკაშა ჩანს, ვიდრე გვერდები.

§ 6.4. მზის სისტემა

მზის სისტემა შედგება მზისა და მის გარშემო მოძრავი გრავიტაციულად ჩაჭერილი ასტრონომიული ობიექტებისაგან. მზის სისტემის ფორმირება 4,6 მილიარდი წლის წინ, მოლეკულური ღრუბლის კოლაფსის შედეგად მოხდა. სისტემის მასის უმეტესობას (99,86%) მზე შეიცავს. ოთხი შედარებით პატარა შიდა პლანეტა – მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი ძირითადად, ქვისა და მეტალისაგან შედგება, ხოლო ორი უდიდესი პლანეტა – იუპიტერი და სატურნი ძირითადად წყალბადითა და ჰელიუმითაა გაჯერებული. ორ უშორეს პლანეტაზე –ურანსა და ნეპტუნზე მეთანის, წყალბადისა და ამიაკის ყინულების დიდი მარაგია, რის გამოც მათ ზოგჯერ „ყინულის გიგანტებად“ მოიხსენიებენ.

მზის სისტემაში ასევე არის რეგიონები, სადაც შედარებით პატარა ობიექტები ბინადრობს. ასტეროიდული სარტყელი, რომელიც მარსსა და იუპიტერს შორის მდებარეობს, კლდოვანი პლანეტების მსგავსია, რადგან მათ შედგენილობაში ძირითადად ქვა და მეტალი შედის, თუმცა ზომით ძალიან პატარებია,

პლანეტებად რომ ჩაითვალოს. ნეპტუნის ორბიტის გაღმა კოიპერის სარტყელი – მიმოფანტული დისკო მდებარეობს. მასში ე.წ. ტრანსნეპტუნისეული ობიექტები ბინადრობს, რომლებიც წყლის, მეთანისა და ამიაკის ყინულებითაა გაჯერებული. ამ არე-ალში 5 ცალკეული ობიექტი გამოიყოფა: ციცერა, პლუტონი ჰომეა, მაკე-მაკე და ერისი. ისინი საკმარისად დიდებია იმისთვის, რომ თავიანთი გრავიტაციით მრგვალი (მთლად მრგვალი არა, მომრგვალო) ფორმა მიიღონ. სწორედ ამიტომ, მათ ჯუჯა პლანეტებად მოიხსენიებენ.

მზიური ქარი არის წამოსული პლაზმა, რომელიც ვარსკვლავთშორის სივრცეში ქმნის დიდ ჰბუშტს, სახელად ჰელიოსფეროს. ურტის ნისლეული, რომელიც მიჩნეულია, რომ გრძელპერიოდიანი კომეტების წყაროა, შესაძლებელია 1000-ჯერ შორს მდებარეობდეს, ვიდრე ჰელიოსფერო. ჰელიოპაუზა არის ის წერტილი, როდესაც მზიური ქარის წნევა ტოლია ვარსკვლავთ-შორისი ქარის (ანუ საპირისპირო) წნევისა. მზის სისტემა მოთავსებულია „ირმის ნახტომის“ ერთ-ერთ მკლავში. ჩვენი მზის სისტემა ცენტრალური შავი ხვრელიდან 26000 სინათლის წლითაა დაშორებული.

ათასეულობით წლის განმავლობაში, ადამიანები მზის სისტემის არსებობას ვერ ამჩნევდნენ (თუ არ ჩავთვლით რამდენიმე გამონაკლის პიროვნებას). ხალხს მიაჩნდა, რომ დედამიწა სამყაროს ცენტრში მოთავსებული სტაციონალური (უძრავი) ობიექტი იყო, რომელიც მთლიანად განსხვავდებოდა იმ ობიექტებისაგან, რომლებიც ღამის ცაზე მოძრაობდა. თუმცა, ბერძენ ფილოსოფოსს არისტარქეს მოსაზრება ჰქონდა ჰელიოცენტრულ გადაადგილებაზე, ხოლო ნიკოლას კოპერნიკი იყო პირველი ადამიანი, რომელმაც მათემატიკურად იწინასწარმეტყველა ჰელიოცენტრული სისტემა. მისმა XVII საუკუნის მემკვიდრეებმა – გალილეო გალილეიმ, იოჰანეს კეპლერმა და ისააკ ნიუტონმა ფიზიკის საკითხი განავითარეს, რომელმაც საერთო თანხმობა მისცა იმ

აზრს, რომ დედამიწა მზის გარშემო მოძრაობს და ეს პლანეტები იმავე ფიზიკური ძალით იმართება, რითაც დედამიწა. გარდა ამისა, ტელესკოპის გამოგონებამ მეცნიერებს საშუალება მისცა უფრო შორეული პლანეტები და მთვარეები აღმოეჩინათ. შედარებით გვიან, ტელესკოპების გაუმჯობესებამ და უპილოტო ზონდების გაშვებამ საშუალება მოგვცა სხვა პლანეტებზე გამოგვეკვლია ისეთი გეოლოგიური ფენომენები, როგორებიცაა მთები და კრატერები, სეზონური მეტეოროლოგიური ფენომენები – ღრუბლები, მტვრის შტორმები და სხვა.

მზის სისტემის მთავარი შემადგენელი ნაწილი მზეა – მთავარი მიმდევრობის G2 ტიპის ვარსკვლავი, რომელიც მზის სისტემის მასის 99,86%-ია. იგი გრავიტაციულად დომინირებს მთელ სისტემაში. მზის ოთხი უდიდესი პლანეტა – გაზური გიგანტები დანარჩენი მასის 99%-ია, მარტო იუპიტერი და სატურნი კი – 90%-ზე მეტი.

მზის გარშემო მოძრავი დიდ ობიექტთა უმეტესობა დედამიწის ორბიტის სიბრტყესთან ახლოს (სახელად ეკლიპტიკა) მოძრაობს. პლანეტები ძალიან ახლოსაა ეკლიპტიკასთან, ხოლო კომეტებს და კოიპერის სარტყლის ობიექტებს ხშირად შედარებით დიდი დახრილობა აქვს ეკლიპტიკის მიმართ. ყველა პლანეტა და სხვა ობიექტთა უმეტესობა იმავე მიმართულებით ბრუნავს, საითაც მზე. არსებობს გამონაკლისები, მაგალითად, ჰალეის კომეტა.

მზის სისტემის საერთო სტრუქტურას მზე შეადგენს ოთხი შედარებით პატარა შიდა პლანეტით, რომლებიც გარშემორტყმულია ასტეროიდული სარტყლით და ოთხი გაზის გიგანტით, რომელთაც გარს კოიპერის სარტყლის გაყინული ობიექტები აკრავს. ზოგჯერ ასტრონომები ამ სტრუქტურას ორ რეგიონად ყოფენ: შიდა და გარე მზის სისტემად. შიდა მზის სისტემა მოიცავს 4 კლდოვან პლანეტას და ასტეროიდულ სარტყელს. გარე მზის

სისტემა კი - ასტროიდების გაღმა ვრცელდება 4 გაზური გიგანტის ჩათვლით.

შიდა მზის სისტემაში არსებული ობიექტები, ძირითადად ქვისგან შედგება (ქვა კრებითი სახელია დნობის მაღალ ტემპერატურიანი ელემენტებისთვის), როგორცაა სილიკატები, რკინა ან ნიკელი, რომლებიც მყარად რჩება პროტოპლანეტარულ ნისლეულის თითქმის ყველა მდგომარეობაში. იუპიტერი და სატურნი ძირითადად გაზებისგან შედგება. გაზი ასტრონომიული ტერმინებით ისეთ მატერიას მოიცავს, რომელსაც დნობის ძალიან დაბალი ტემპერატურა აქვს, ხოლო ორთქლის წნევა - მაღალი. ასეთებია წყალბადი, ჰელიუმი და ნეონი, რომლებიც ყოველთვის გაზურ მდგომარეობაში იყო ნისლეულში. ყინულებს, როგორცაა წყალი, მეთანი, ამიაკი, წყალბადის სულფიდი და ნახშირორჟანგი, დნობის ტემპერატურა რამდენიმე ასეული გრადუსი კელვინი აქვს, ხოლო მათი მდგომარეობა დამოკიდებულია გარემომცველ წნევასა და ტემპერატურაზე. ეს ყინულები შესაძლოა ნებისმიერ მდგომარეობაში აღმოვაჩინოთ მზის სისტემის განსხვავებულ ადგილებზე, ხოლო ნისლეულში ისინი მყარ ან გაზურ მდგომარეობაში იყო. ყინულოვანი მატერია გიგანტი პლანეტების თანამგზავრებზე გვხვდება, ასევე ყინულის მარაგი დიდია ურანსა და ნეპტუნზე, რის გამოც მათ „ყინულოვან გიგანტებს“ უწოდებენ.

მზიდან დედამიწამდე მანძილი 1 ასტრონომიული ერთეულია (150000 000 კილომეტრი). შედარებისთვის, მზის რადიუსი სულ რაღაც 0,0047 ასტრონომიული ერთეულია (700000 კმ). აქედან გამომდინარე, მზე დედამიწის ორბიტის რადიუსის მქონე სფეროს მოცულობის 0,00001%-ს იკავებს, ხოლო დედამიწის მოცულობა მზის მოცულობის მემილიონედ ნაწილს იკავებს. ყველაზე დიდი პლანეტა იუპიტერი მზიდან 5,2 ასტრონომიული ერთეულითაა (780 000 000 კმ) დაშორებული და მისი რადიუსი 71 000 კილომეტრია (0,00047 ასტრონომიული ერთეული), ხოლო ყველა-

ზე შორეული პლანეტა ნეპტუნი მზიდან 30 ასტრონომიული ერთეულითაა ($4,5 \times 10^9$ კმ.) დაშორებული.

ჩვენთვის ნაცნობი მზის სისტემა ასეთი მანამდე დარჩება, სანამ მზის ბირთვში არსებული წყალბადის მთლიანი მარაგი არ გადაიქცევა ჰელიუმად, რომელიც დღევანდელიდან 5,4 მილიარდ წელიწადში მოხდება. ამით მზის მთავარ მიმდევრობაში სიცოცხლე დამთავრდება. ამ დროს მზის ბირთვი კოლაფსირდება და ენერჯის გამოცემა უფრო დიდი იქნება, ვიდრე ახლაა. მზის გარე ფენები გაფართოვდება ამჟამინდელ დიამეტრზე 260-ჯერ მეტად და მზე წითელი გიგანტი გახდება. იმის გამო, რომ მისი ზედაპირის ფართობი გაიზარდა, ზედაპირის ტემპერატურა შესამჩნევად დაბალი იქნება (2600K ყველაზე ცივი), ვიდრე მთავარ მიმდევრობაზე ყოფნის პერიოდში იყო. მეცნიერთა ვარაუდით, გაფართოებადი მზე მერკურსა და ვენერას შთანთქავს, ხოლო დედამიწას სიცოცხლისთვის შეუფერებელ ადგილს გახდის. მისი სასიცოცხლო ზონა კი მარსის ორბიტაზე გადაინაცვლებს. საბოლოოდ, ბირთვის ტემპერატურა საკმარისი იქნება ჰელიუმის სინთეზისთვის. მზე ჰელიუმს დაწვავს წყალბადის წვის ხანგრძლივობის მცირე ნაწილით. მზის მასა არ არის საკმარისი უფრო მძიმე ელემენტების სინთეზის დასაწყებად და თერმო-ბირთვული რეაქციები ბირთვში შემცირდება. მისი გარე შრეები კოსმოსში გაიფანტება და დარჩება თეთრი ჯუჯა – უჩვეულოდ მკვრივი ობიექტი, რომლის მასა მზის თავდაპირველი მასის ნახევარია, მაგრამ ზომით დედამიწის ტოლი. გაფანტული გარე ფენები წარმოქმნის ე.წ. პლანეტარულ ნისლეულს, ანუ დაბრუნდება ის მატერია, რისგანაც მზე ვარსკვლავთშორის სივრცეში წარმოიქმნა, მხოლოდ ახლა ის გამდიდრებულია მძიმე ელემენტებით, როგორცაა ნახშირბადი.

მზე მზის სისტემის ერთადერთი ვარსკვლავია. მისი უზარმაზარი მასა (დედამიწაზე 332 900-ჯერ მძიმე) ბირთვში წარმოქმნის ისეთ უზარმაზარ ტემპერატურასა და სიმკვრივეს, რომ ხელს უწყ-

ობს თერმობირთვული სინთეზის გადვივებას, სინთეზისა, რომელიც უზარმაზარი ენერჯის წყაროა. მზე თავის ენერჯის ძირითადად, ელექტრომაგნიტური სპექტრის 400-700 ნანომეტრი ტალღის სიგრძეში ასხივებს. ეს ელექტრომაგნიტური სპექტრის ის დიაპაზონია, რომელსაც ჩვენი თვალი აღიქვამს (ხილული სინათლე).

მზე სინათლესთან ერთად დამუხტული ნაწილაკების განუწყვეტელ ნაკადს ასხივებს. მას მზიური ქარი ეწოდება. ეს ნაწილაკების ნაკადი მზიდან დაახლოებით 1,5 მილიონი კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს, რის შედეგადაც ქმნის გათხელებულ ატმოსფეროს – ჰელიოსფეროს, რომელიც მზის სისტემიდან დაახლოებით 100 ა.ე.-მდე აღწევს. ამას პლანეტაშორისი სივრცე ეწოდება. აქტივობები მზის ზედაპირზე, როგორცაა მზიური ამოფრქვევები და კორონალური მასის გამოტყორცნა, ჰელიოსფეროს „აწუხებს“, რის შედეგადაც კოსმოსური ამინდი წარმოიქმნება, ეს უკანასკნელი კი – გეომაგნიტურ შტორმებს იწვევს.

შიდა პლანეტები: მერკური, ვენერა, დედამიწა და მარსი.

ოთხ შიდა ან კლდოვან პლანეტას მკვრივი და ქვიანი შედგენილობა აქვს. ზოგს ან ძალიან ცოტა თანამგზავრი ჰყავს, ან საერთოდ უთანამგზავროდაა. ისინი ძირითადად ცეცხლგამძლე მინერალებისგან შედგება, როგორცაა სილიკატები, რომლებიც ქერქისა და მანტიის ფორმირებას უწყობს ხელს. ასევე შიდა პლანეტების შედგენილობაში შედის ისეთი მეტალები, როგორცაა რკინა და ნიკელი. ეს უკანასკნელი კი პლანეტის ბირთვის წარმოქმნაზე პასუხისმგებელი. 4 კლდოვანი პლანეტიდან 3-ს (ვენერას, დედამიწას და მარსს) აქვს იმდენად მყარი ატმოსფეროები, რომ მათ ამინდის წარმოქმნა შეუძლია.

მერკური (მზიდან დაშორებულია 0,4 ასტრონომიული ერთეულით) მზესთან მდებარე უახლოესი და მზის სისტემაში ყველაზე პატარა პლანეტაა (0,055 დედამიწის მასა). მერკურის ბუნებრივი თანამგზავრები არ ჰყავს. მას ძალიან უმნიშვნელო ატმოსფერო

აქვს, რომელიც იმ ატომებისგან შედგება, რომელიც მზიური ქარებიდან მოხვდა მის ზედაპირზე.

ვენერა (მზიდან დაშორებულია 0,7 ასტრონომიული ერთეულით) თითქმის დედამიწის ზომისაა (0,815 დედამიწის მასა) და ჩვენი პლანეტის მსგავსად სქელი სილიკატური მანტია აქვს რკინის ბირთვის გარშემო. ვენერას საკმაოდ მყარი და მკვრივი ატმოსფერო აქვს. პლანეტის წიაღში გეოლოგიური აქტივობები შეინიშნება. თუმცა, ის დედამიწაზე ბევრად მშრალია და მისი ატმოსფეროს სიმკვრივე ჩვენი პლანეტის სიმკვრივეს 9-ჯერ აღემატება. ვენერას ბუნებრივი თანამგზავრები არ ჰყავს. ის მზის სისტემაში ყველაზე ცხელი პლანეტაა (მიუხედავად იმისა, რომ მეორეა მზიდან დაშორების მიხედვით), რომლის ზედაპირის ტემპერატურა 400°C აღწევს. ვენერაზე გეოლოგიური აქტივობების საბოლოო მტკიცებულება დაფიქსირდა, მაგრამ მას მაგნიტური ველი არ აქვს, რომელიც თავს აარიდებინებდა პლანეტას მისი მყარი ატმოსფეროს დაკარგვისგან.

დედამიწა (მზიდან დაშორებულია 1 ასტრონომიული ერთეულით) შიდა პლანეტებს შორის ყველაზე დიდი და მკვრივია. ჩვენი პლანეტა ცნობილი ერთადერთი ადგილია მზის სისტემაში (და არა მარტო), სადაც სიცოცხლე არსებობს. მისი თხევადი ჰიდროსფერო კლდოვან პლანეტებს შორის უნიკალურია. დედამიწის ატმოსფერო რადიკალურად განსხვავდება სხვა პლანეტების ატმოსფეროებისგან. ჩვენს პლანეტას ერთადერთი ბუნებრივი თანამგზავრი – მთვარე ჰყავს. ის კლდოვანი პლანეტების მთვარეებს შორის უდიდესია.

მარსი (მზიდან დაშორებულია 1,5 ასტრონომიული ერთეულით) დედამიწაზე და ვენერაზე პატარაა (0,107 დედამიწის მასა). მისი ატმოსფერო ძირითადად გაჯერებულია ნახშირორჟანგისგან, ხოლო ზედაპირზე წნევა დაახლოებით 6,1 მილიბარია (დედამიწის 0,6%). მისი ზედაპირი დაფარულია უკიდევანო ვულკანებით და ნაპრალიანი ხეობებით. მარსს წითელ

პლანეტადაც მოიხსნიებენ. მისი წითელი ფერი კი რკინის ოქსიდებითაა გამოწვეული, რომელიც მის ნიადაგზე უხვადაა. მარსს ორი პანაწინა ბუნებრივი თანამგზავრი ჰყავს.

გარე პლანეტები

იუპიტერი

იუპიტერი (მზიდან დაშორებულია 5,2 ასტრონომიული ერთეულით) დედამიწაზე 318-ჯერ მასიურია, ხოლო ყველა პლანეტის მასა ერთად რომ ავიღოთ, ამ გიგანტის მასა 2,5-ჯერ მეტი იქნება. ის ძირითადად გაჯერებულია წყალბადისა და ჰელიუმისაგან. იუპიტერის ძლიერი წიაღისეული სითბო წარმოქმნის არასტაბილურ მახასიათებლებს, როგორცაა „დიდი წითელი ლაქა“. იუპიტერს 66 თანამგზავრი ჰყავს. 4 უდიდესი თანამგზავრი - იო, ევროპა, განიმედე და კალისტო კლდოვანი პლანეტების მსგავს თვისებებს ამჟღავნებს, როგორცაა ვულკანიზმი და წიაღისეული, შინაგანი სითბო. განიმედე – უდიდესი მთვარე მზის სისტემაში, რომელიც პლანეტა მერკურზე დიდია.

სატურნი

სატურნი (მზიდან დაშორებულია 9,5 ასტრონომიული ერთეულით) ცნობილია თავისი ამოუცნობი და ულამაზესი რგოლური სისტემით. მას იუპიტერის მსგავსი რამდენიმე თვისება აქვს, როგორცაა ატმოსფერული შედგენილობა და მაგნიტოსფერო. თუმცა, სატურნს იუპიტერის მოცულობის მხოლოდ 60% აქვს და მისი მასის მხოლოდ 1/3-ია, ხოლო დედამიწას 95-ჯერ აჭარბებს. ეს ყველაფერი კი სატურნს ყველაზე ნაკლები სიმკვრივის პლანეტად აქცევს (მისი სიმკვრივე წყლისაზე ნაკლებია, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ სატურნს წყლიან ჭურჭელში მოვათავსებთ, ის ტივტივს დაიწყებს). მისი რგოლური სისტემა შედგება ყინულისა და ქვის ნატეხებისგან. სატურნს 52 ბუნებრივი თანამგზავრი ჰყავს (იუპიტერის მსგავსად, მეტი ჯერჯერობით არ აღმოუჩენიათ). ორ მათგანზე – ტიტანსა და ენცელადზე გეოლოგიური აქტივობები შეინიშნება. ისინი უმეტესად ყინულებისგან შედგება. ტიტანი

სიდიდით მეორე მთვარეა მზის სისტემაში, რომელიც პლანეტა მერკურიზე დიდია. ის ერთადერთი ბუნებრივი თანამგზავრია მზის სისტემაში, რომელსაც ატმოსფერო აქვს.

ურანი

ურანი (მზიდან დაშორებულია 19,6 ასტრონომიული ერთეულით) დედამიწაზე 14-ჯერ მასიურია და უმსუბუქესია გარე პლანეტებს შორის. ის უნიკალურია პლანეტებს შორის, რადგან მზეს „მხარზე წამოწოლილი“ უვლის გარშემო. მისი ღეპული დახრა ეკლიპტიკის მიმართ 90 გრადუსამდეა. მისი ბირთვი გაცილებით ცივია, ვიდრე სხვა გაზური გიგანტებისა. ურანი ძალიან მცირე რაოდენობის სითბოს ასხივებს კოსმოსში. მას 27 თანამგზავრი ჰყავს, რომელთაგან უდიდესია ტიტანია, ობერონი, ამბრილი, არიელი და მირანდა.

ნეპტუნი

ნეპტუნი (მზიდან დაშორებულია 30 ასტრონომიული ერთეულით) ურანზე ოდნავ პატარაა, მაგრამ მასზე მასიურია (17 დედამიწის მასა), ანუ უფრო მეტი სიმკვრივე აქვს. ის უფრო მეტ წიაღისეულ სითბოს ასხივებს, მაგრამ სატურნისა და იუპიტერის ოდენობისას – ვერა. ნეპტუნს 13 ბუნებრივი თანამგზავრი ჰყავს. მათგან უდიდესი ტრიტონი გეოლოგიურად აქტიურია, რომლის ზედაპირზეც თხევადი აზოტის გეიზერები შეინიშნება. ტრიტონი ერთადერთი დიდი მთვარეა, რომელიც უკუღმა ბრუნავს ორბიტაზე. ნეპტუნს თავის ორბიტაზე უმცროსი პლანეტები დაჰყვება, რომელთაც ნეპტუნის ტროელები ეწოდება.

კომეტები

კომეტები მზის სისტემის პატარა სხეულებია. მათი ტიპური ზომა რამდენიმე კილომეტრია, რომლებიც უმეტესად გაკურებულია აქროლადი ყინულებით. მათ მეტად ექსცენტრული ორბიტა აქვს. ძირითდად, მათი პერიპელიუმი შიდა პლანეტის ორბიტებს კვეთს ხოლმე, ხოლო აფელიუმი პლუტონის ორბიტის გაღმა შეიძლება იყოს. როდესაც კომეტა შიდა მზის

სისტემაში იჭრება, მზესთან მიახლოება იწვევს მისი ზედაპირის სუბლიმაციასა და იონიზაციას, რის შედეგადაც ის გარსს წარმოქმნის: გაზისა და მტვრის გრძელი კუდი, რომელიც ხშირად შეუიარაღებელი თვალითაცაა შესამჩნევი.

მოკლე პერიოდის კომეტების ორბიტა 200 წელიწადზე ნაკლები გრძელდება, ხოლო გრძელ პერიოდისათვის ათასობით წელიწადი. კომეტების უმეტესობას, რომელთაც თავიანთი აქროლადი მატერია თითქმის ამოწურეს მზის სითბოს დახმარებით, ხშირად ასტეროიდებადაც აკლასიფიცირებენ.

კენტავრები

კენტავრი არის კომეტის მსგავსი ყინულოვანი ობიექტი, რომლის დიდი ნახევარდღრძი იუპიტერისაზე (5,5 ა.ე.) დიდია და ნეპტუნისაზე (30 ა.ე.) ნაკლებია. უდიდესი კენტავრის დიამეტრი დაახლოებით 250 კილომეტრია. მეცნიერებმა პირველად აღმოჩენილი კენტავრი კომეტების ჯგუფს მიაკუთვნეს, რადგანაც მან მზესთან მიახლოებისას კუდი წარმოქმნა, როგორც ამას ჩვეულებრივი კომეტა აკეთებს.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას სწავლობს ასტრონომია?
2. რა ერთეულებში ზომავენ მანძილს ასტრონომიაში?
3. როგორ მოხდა სამყაროს დიდი აფეთქება?
4. რისი ტოლია გალაქტიკებს შორის საშუალო მანძილი?
5. როგორია ჩვენი გალაქტიკის აგებულება?
6. როგორია ვარსკვლავის ქიმიური შედგენილობა?
7. დაასახელეთ ვარსკვლავთა სახეები.
8. როგორია მზის აგებულება?
9. რა წარმოადგენს მზის ენერჯის წყაროს?
10. როგორ წარმოიქმნა მზის სისტემა?
11. დაახასიათეთ მზის სისტემის პლანეტები.

თავი VII. დედამიწა

§ 7.1. დედამიწის ფორმა და ზომები

დედამიწის წარმოშობაზე პირველ მოსაზრებებს ჯერ კიდევ ძველი ბერძნები გამოთქვამდნენ, თუმცა ეს მოსაზრებები მეცნიერულად არ იყო დასაბუთებული. პირველი მეცნიერული ჰიპოთეზა წამოყენებულ იქნა XVIII საუკუნეში, რომლის მიხედვითაც ის კოსმიური აირებიდან და მტვრისგან წარმოიშვა. გამდნარი, გავარვარებული და სწრაფად მზრუნავი მასა ცენტრალური მიზიდულობის ძალით უზარმაზარ სფეროდ იქცა. დროთა განმავლობაში სფერო გაცივდა და მისი ზედაპირი მყარი ქერქით დაიფარა. XX საუკუნეში, დედამიწის წარმოშობასთან დაკავშირებით, მეცნიერთა მიერ უამრავი მოსაზრება გამოითქვა. მიუხედავად ამისა, დედამიწის სფეროს წარმოშობის ზუსტი მექანიზმი დღემდე უცნობია. ამჟამად ინტენსიურად იკვლევენ დედამიწის ამგებ ქანებს, მთვარიდან ჩამოტანილ მასალას და მეტეორიტებს.

დედამიწის ფორმა და სიდიდე

შორეულ წარსულში დედამიწას მიიჩნევდნენ ბრტყელ, შემდეგ დისკოსებურ სხეულად, რომელიც სამყაროს ცენტრში უძრავად მდებარეობს და ზემოდან გუმბათისებურად ახურავს ვარსკვლავებით მოჭედული ცის სფერო. პირველმა ბერძენმა ფილოსოფოსმა და მათემატიკოსმა პითაგორამ გამოთქვა აზრი დედამიწის სფეროსებურობის შესახებ, რომელიც შემდეგ არისტოტელემ განავითარა. 1687 წლის ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოქვეყნების შემდეგ შეიქმნა დედამიწის საერთო სახის შესახებ ახალი წარმოდგენა. ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვისა და პოლუსებიდან ეკვატორისკენ ცენტრიდანული ძალის ზრდის ზეგავლენით, დე-

დამიწა პოლუსებთან ოდნავ შეკუმშულია და ბრუნვის ელიფსოიდს წარმოადგენს.

დედამიწის სფეროს სიდიდე

დედამიწის საკმარის ზუსტი განზომილებები დადგენილია მრავალგზის გეოდეზიური გაზომვებით. მისი ზედაპირის ფართობია 510 მლნ.კვ.კმ, საიდანაც 71% უკავია წყალს, ხოლო 29% – ხმელეთს. დედამიწის მოცულობა 1083 მლნ.კუბ.კმ-ია; ეკვატორის სიგრძე არის 40076 კმ, მისი რადიუსი 6378 კმ-ია, ხოლო პოლარული რადიუსი – 6357კმ. დედამიწის სიდიდესა და მასას დიდი გეოგრაფიული მნიშვნელობა აქვს, რადგან მათ გამო დედამიწას გააჩნია მიზიდულობის ძალა და ამიტომ ის აკავებს ატმოსფეროს და ჰიდროსფეროს, რომელთა გარეშე დედამიწაზე სიცოცხლე არ იქნებოდა. დედამიწის მიზიდულობა აკავებს მთვარესაც.

დედამიწის დღე - ღამური ბრუნვა

დედამიწა ასრულებს რამოდენიმე სახის მოძრაობას ერთდროულად: ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, მზის გარშემო და მზესთან ერთად გადაადგილდება გალაქტიკაში. ჩამოთვლილი მოძრაობებიდან ყველაზე საგრძნობი და შესამჩნევია დედამიწის დღე - ღამური ბრუნვა. ის ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო და ერთ სრულ ბრუნს 24 საათში ასრულებს. დროის ამ მონაკვეთს დღე-ღამე ეწოდება. დედამიწის სფეროსებურობის გამო მზე ერთდროულად დედამიწის მხოლოდ ერთ მხარეს ანათებს. განათებულ მხარეს დღეა, ხოლო მეორე მხარეს – ღამე. დღე-ღამური ბრუნვა კი იწვევს დღისა და ღამის ცვლილებას, რასაც ცოცხალი – ორგანული სამყაროსთვის სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს.

დედამიწის ზედაპირის ყველა წერტილი, გარდა პოლუსებისა, ერთ საათში 15 გრადუსით გადაადგილდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ – დედამიწის კუთხური სიჩქარე საათში 15 გრადუსია და ის ყველა განედზე ერთნაირია. ხაზოვანი სიჩქარე კი ყველაზე მეტია ეკვატორზე, პოლუსებისკენ პარალელების წრეების სიგრძე კლებულობს და ხაზოვანი სიჩქარეც მცირდება

შესაბამისად. დროის ათვლის გაადვილების მიზნით დედამიწის ზედაპირი პირობითად დაყოფილია 24 სასაათო ზოლად. თითოეული სასაათო ზოლი განფენილია 15 გრადუსზე. მეზობელ ზოლებს შორის დროის განსხვავება ერთი საათია, გამონაკლისია თარიღთა ცვლის ხაზის მეზობლად მდებარე ზოლები, რომელთა შორის დროის სხვაობა 24 საათია.

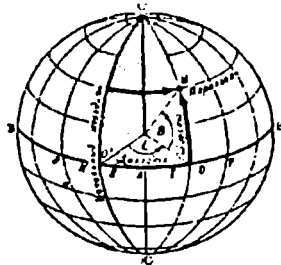
როგორც ვიცით, დედამიწა ბრუნავს წარმოსახვითი ღეძის გარშემო. ბრუნვის ღერძის ბოლოებს პოლუსები ეწოდება. პოლუსი ორია: ჩრდილოეთი და სამხრეთი. ჩრდილოეთ პოლუსი ყოველთვის პოლარული ვარსკვლავისკენაა მიმართული. არქტიკაში ჩრდილოეთ პოლუსთან პოლარული ვარსკვლავი ჩანს დამკვირვებლის თავს ზემოთ – ზენიტში. პლუსები წრეებს არ შემოხაზავენ, ისინი ერთ წრტილშია. ყველაზე დიდ წრეს შემოხაზავს ის წერტილი, რომელიც ორივე პოლუსიდან თანაბარი მანძილითაა დაშორებული. ამ წრფეს ეკვატორი ეწოდება. ლათინურად „ეკვატორი“ გამთანაბრებელს ნიშნავს. ეკვატორი დედამიწას ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროებად ყოფს. მისი სიგრძე დაახლოებით 40 000 კმ-ია. ჩრდილოეთით და სამხრეთით ეკვატორის პარალელურად გავლებულ წარმოსახვით წრეხაზებს პარალელები ეწოდება. ისინი გვიჩვენებენ დასავლეთ და აღმოსავლეთ მიმართულებებს. დედამიწის ზედაპირზე პოლუსების შემაერთებელ წარმოსახვით ხაზებს მერიდიანები ეწოდება. მერიდიანი საშუადადლო ხაზს ნიშნავს და ის ჩრდილო და სამხრეთ მიმართულებებს გვიჩვენებს. იმ მერიდიანს, რომელიც ლონდონის გარეუბან გრინვიჩში მდებარე ობსერვატორიაზე გადის ნულოვან მერიდიანს უწოდებენ.

ეკვატორი, პარალელები და მერიდიანები წრეხაზებს წარმოადგენს. წრისა და მისი ნაწილების გასაზომად იხმარება განსაკუთრებული საზომი, რომელსაც გრადუსი ეწოდება. გრადუსი წრეხაზის 1/360 ნაწილია. 1 გრადუსი იყოფა 60 წუთად, 1 წუთი კი – 60 წამად.

პარალელებისა და მერიდიანების ერთობლიობას რუკაზე ან გლობუსზე გრადუსთა ბადე ეწოდება. მისი ელემენტებია: პარალელები (მ.შ. ეკვატორი, ტროპიკები, პოლარული წრეები) და მერიდიანები. სწორედ მათი ქსელით იქმნება გრადუსთა ბადე.



გრადუსთა ბადე



გეოგრაფიული კოორდინატები

გრადუსობით გამოთვლილ მანძილს ეკვატორიდან ჩრდილოეთისკენ და სამხრეთისკენ, პოლუსების მიმართულებით, გეოგრაფიული განედი ეწოდება. წერტილის გეოგრაფიული განედი არის კუთხე შექმნილი აღებული წერტილის შვეულის მიერ ეკვატორულ სიბრტყესთან. გეოგრაფიული განედი ორია: ჩრდილოეთის და სამხრეთის.

მანძილს გრადუსობით საწყისი ანუ ნულოვანი მერიდიანიდან აღმოსავლეთით ან დასავლეთით გეოგრაფიული გრძედი ეწოდება. წერტილის გეოგრაფიული გრძედი არის კუთხე შექმნილი ნულოვანი (გრინვიჩის) მერიდიანისა და აღებული წერტილის მერიდიანის სიბრტყეებს შორის. მანძილი ნულოვანი მერიდიანიდან აღმოსავლეთით 180 გრადუსამდე აღმოსავლეთ გრძედია, ხოლო დასავლეთით 180 გრადუსამდე – დასავლეთი გრძედი.

გლობუსზე და რუკაზე განედებისა და გრძედების განსაზღვრის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს. მათი საშუალებით ადვილად ხდება ნებისმიერი წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა დედამიწის ზედაპირზე.

გეოგრაფიული გრძედისა და განედის გადაკვეთის წერტილს გეოგრაფიული კოორდინატი ეწოდება. მათი მეშვეობით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ყოველი წერტილის ადგილმდებარეობა დედამიწის ზედაპირზე, რასაც დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

დედამიწის წლიური მოძრაობა და წლის დროთა ცვლა

დედამიწა მზის გარშემო ელიფსზე მოძრაობს და ერთ შემოვლას ერთ წელიწადს ანდომებს, ანუ 365 დღე-ღამესა და 6 საათს. 6 საათისგან ყოველ 4 წელიწადში იქმნება ერთი დღე-ღამე ანუ 24 საათი და ეს წელიწადი ხდება 366 დღიანი. მას ნაკიანი წელიწადი ეწოდება.



დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვა

დედამიწა მზის გარშემო მოძრაობს დახრილი ღერძით. ღერძი დახრილია მუდმივად ერთ მხარეს, ორბიტის სიბრტყის მიმართ $23,5$ გრადუსით. ღერძის დახრილობის მუდმივობა და დედამიწის მზის გარშემო მოძრაობა იწვევს წელიწადის დროთა ცვლას. ვინაიდან იცვლება დედამიწის მდებარეობა მზის მიმართ, მზე ერთ პერიოდში ჩრდილო ნახევარსფეროშია, მეორე პერიოდში – სამხრეთ ნახევარსფეროში. ამასთან დაკავშირებით ერთი და იგივე განედზე იცვლება სხივის დაცემის კუთხე და შესაბამისად მზისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა. წელიწადის დროთა

ცვლას ყველაზე მეტად ნათელყოფს დედამიწის მდებარეობა ელიფსზე მზის მიმართ 22 ივნისს, 23 სექტემბერს, 22 დეკემბერს და 21 მარტს.

22 ივნისს მზე ზენიტშია ჩრდილო ნახევარსფეროს 23,5 გრადუსიანი პარალელის მიმართ. ამ დროს ჩრდილო ნახევარსფეროში ასტრონომიული ზაფხული დგება ყველაზე გრძელი დღით, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში—ასტრონომიული ზამთარი ყველაზე მოკლე დღით. 23 სექტემბერს მზე ზენიტშია ეკვატორის მიმართ და თანაბრად განათებული ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროები, დღე და ღამე ტოლია.

22 დეკემბერს მზის სხივები შვეულად ეცემა სამხრეთ ნახევარსფეროს 23,5 გრადუსიან პარალელს. სამხრეთ ნახევარსფეროში დგება ასტრონომიული ზაფხული ყველაზე გრძელი დღით, ხოლო ჩრდილო ნახევარსფეროში ასტრონომიული ზამთარი ყველაზე მოკლე დღითა და ყველაზე გრძელი ღამით.

21 მარტს მეორდება 23 სექტემბერის მდგომარეობა. 21 მარტი და 23 სექტემბერი გაზაფხულისა და შემოდგომის ბუნობის დღეებია, ხოლო 22 ივნისი და 22 დეკემბერი ზაფხულისა და ზამთრის ნაბუნობის დღეებია.

დედამიწის წლიურ მოძრაობასთან და წელიწადის დროთა ცვლასთან დაკავშირებულია ბუნებრივი პროცესების სეზონური რითმი, რაც ნათლად არის გამოხატული მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროს განვითარებაში, ადამიანის სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობაში.

დედამიწის გარშემო ორბიტაზე მოგზაურობისას გამოირჩევა რამოდენიმე გამოკვეთილი კომპონენტი: ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, კრიოსფერო, ბიოსფერო და მყარი დედამიწა. თითოეული ეს კომპონენტი ურთიერთქმედებს ერთმანეთთან რიგი საშუალებებით. გეოლოგები ამ კომპონენტებს და მათ შორის კომპლექსურ ურთიერთკავშირს უწოდებენ დედამიწის სისტემას. მზის სისტემის ყველა პლანეტიდან დღეისთვის მხოლოდ დედამიწაზეა

სიცოცხლე და თხევადი წყალი. დედამიწა მდებარეობს საცხოვრებლად გამოსადეგ ზონაში მზიდან დაშორებით იმ მანძილზე, რომ შესაძლებელია არსებობდეს თხევადი წყალი.

დედამიწის დღელამური ბრუნვის გეოგრაფიული შედეგები

დედამიწის დღელამური ბრუნვით გამოწვეულ შედეგებს მიეკუთვნება: 1. დღისა და ღამის მორიგეობა, რაც ქმნის დღელამურ რიტმს დედამიწის ლანდშაფტური გარსის ცხოვრებასა და პროცესებში; 2. მოგზაური, რომელსაც სურს გარშემოუაროს დედამიწას აღმოსავლეთიდან მზის შემხვედრი მიმართულებით, ყოველდღიურად მზის ამოსვლას შეხვდება უფრო ადრე, ვიდრე წინა დღეს და იგი დაიწყებს საათის გადაწევას წინ, ისე, რომ საათმა ჩვენება მზეს შეათანხმოს. როდესაც შემოუვლის დედამიწას და დაბრუნდება იმ წერტილში საიდანაც მოგზაურობა დაიწყო, იგი მოიგებს ერთ დღე-ღამეს. მოგზაური, რომელიც გარს შემოუვლის დედამიწას დასავლეთიდან, ადგილზე დაბრუნებისას დაკარგავს ერთ დღე-ღამეს. ასეთ „შეცდომას“ ადგილი რომ არ ჰქონდეს, დადგენილია თარიღთა ცვლის საერთაშორისო ხაზი, რომელიც დაახლოებით თანხვდება 180 გრადუსიან მერიდიანს გრინვიჩიდან. გემი, რომელიც ამ ხაზს გადაკვეთს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, ერთი და იგივე დღეს ორჯერ იანგარიშებს (მაგალითად, 10 იანვარს თუ გადაკვეთა ეს ხაზი მეორე დღეს 11 იანვარს კვლავ 10 იანვრად მითვლის). აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ გადაკვეთისას კი პირიქით—ერთი დღე თვიდან უნდა იქნას ამოღებული (10 იანვრიდან უცებ 12 იანვარი დადგება); 3. დედამიწის ბრუნვის შედეგად ყველა ჰორიზონტალურად მოძრავი სხეული, ინერციის კანონის თანახმად, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გადაიხრება მარჯვნივ, სამხრეთში კი – მარცხნივ (დამკვირვებლის მიმართ, რომელიც სხეულის მოძრაობის მიმართულებით იცქირება). დედამიწის მოძრაობის გადამხრელი მოქმედება გავლენას ახდენს ქარის მასების, ზღვის დინებებისა და მდინარეების მიმართულებაზე, აგრეთვე ზოგიერთ სხვა

მოვლენაზე; 4. ცნობილია, რომ მთვარის მიზიდულობის ძალით დედამიწა დრეკად დეფორმაციას განიცდის, რის გამოც სიმეტრიული კვერცხის ფორმას ღებულობს, რომელიც გაჭიმულია დედამიწისა და მთვარის ცენტრების შემაერთებელი ხაზის გასწვრივ, ამასთან ერთად განსაკუთრებით შესამჩნევად იცვლება დედამიწის წყლის გარსი: ოკეანის ზედაპირის იმ წერტილში, რომელიც მთვარესთან უახლოესია და მისგან დიამეტრალურად საწინააღმდეგო (ყველაზედაშორებულ) წერტილში ადგილი აქვს წყლის მასის გამობერვას (მოქცევითი შვერილი), ხოლო წრეზე, რომელიც ამ წერტილებს შორის დედამიწა-მთვარის ხაზის პერპენდიკულარულად მდებარეობს, ადგილი აქვს წყლის ზედაპირის დაწევას. დედამიწის სფეროს მთვარისაკენ მიქცეულ მხარეზე ოკეანის ზედაპირის გამობერვა აიხსნება იმით, რომ აქ მთვარის მიერ წყლის ნაწილაკების მიზიდვა ჭარბობს ამ ნაწილაკების მთვარიდან განზიდვას, რაც შედეგია იმ ცენტრიდანო ძალისა, რომელიც წარმოიშობა დედამიწის და მთვარის ბრუნვის შედეგად მათი საერთო სიმძიმის ცენტრის ირგვლივ (უკანასკნელი მდებარეობს დედამიწის შიგნით – მისი ცენტრის მახლობლად); ოკეანური ზედაპირის ამობერვა დედამიწის სფეროს მეორე მხარეზე აიხსნება იმით, რომ აქ ხსენებული განზიდვის ძალები ჭარბობენ მთვარის მიზიდულობის ძალას (დედამიწის ის ნაწილი, რომელიც მთვარესთან უახლოესია, მთვარის მიერ მიზიდება ისეთი ძალით, რომელიც თითქმის 7%-ით მეტია მთვარისაგან ყველაზე უფრო დაშორებული ნაწილის მიზიდულობის ძალაზე). დედამიწის ღერძის გარშემო ბრუნვის შედეგად მოქცევითი შვერილები გადაიქცევიან მოქცევით ტალღად, რომელიც გარს უვლის დედამიწას ამ უკანასკნელის ბრუნვის შემხვედრი მიმართულებით, ე. ი. აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ. მოქცევების წარმოშობაში, მთვარის გარდა, მონაწილეობს მზეც, მაგრამ დედამიწიდან უფრო მეტი დაშორების გამო (მთვარესთან შედარებით) მზის მოქცევები 2,17-ჯერ ნაკლებია.

§ 7.2. გეგმა და რუკა

გაშლილ ადგილზე (ვრცელი ვაკე, ზღვა და ა. შ.) ადამიანის ხედვის არეში მოქცეულ მიდამოს, ანუ გარსახედველს, რომლის ფარგლებშიც დამკვირვებლის თვალი სწვდება, ჰორიზონტი ეწოდება (ჰორიზონტი ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს შემოფარგვლას), ხოლო მის შემომფარგვლელ მოჩვენებით ხაზს, ჰორიზონტის ხაზი ეწოდება. ადამიანის განცდა ისეთია, თითქოს ჰორიზონტის ხაზზე ცა ხმელეთს უერთდება. ეს გამოწვეულია იმით, რომ დედამიწა სფეროსებურია და მისი ზედაპირის ამობურცულობა დამკვირვებლის ხედვის არეს ფარგლავს.

ჰორიზონტის ხაზის მიმართულებით გადაადგილებისას დამკვირვებლის წინაშე ახალი ჰორიზონტი გადაიშლება. ჩვეულებრივი სიმაღლის ადამიანს გაშლილ ზედაპირზე შეუძლია დაინახოს საგნები 4-5 კმ მანძილზე. რაც უფრო მაღლა ავდივართ ჰორიზონტის ხაზი ფართოვდება და თანაც ყველა მხარეზე თანაბრად. მაგალითად, 20 მეტრი სიმაღლის ხის კენწეროდან საგნები შეიძლება დავინახოთ 16 კმ მანძილზე, ძალიან მაღალი შენობის სახურავიდან-50 კმ-ზე, თვითმფრინავიდან (3 კმ სიმაღლე) ჰორიზონტის სიშორე იქნება 200 კმ და ა. შ. ჰორიზონტი არის ღია და დახურული. ღია ჰორიზონტი დამახასიათებელია ღია ადგილებისათვის. იქ სადაც გარსაწიერის ხედვა იზღუდება შენობანაგებობებით, ტყეებით, ბორცვებით, მაღლობებით, მთებით, ასევე – ქალაქის ქუჩებში, ღრმა ხეობებში ჰორიზონტი დახურულია. ჰორიზონტს გააჩნია მხარეები. ჰორიზონტის მხარე ეს არის ნებისმიერი მიმართულება ადამიანის დგომის წერტილიდან ჰორიზონტის ხაზის გადაკვეთამდე. მხარე იმდენია, რამდენი წერტილიც არსებობს ჰორიზონტის ხაზზე. არჩევნ ოთხ ძირითად და ოთხ შუათანა მხარეს. 21 მარტსა და 23 სექტემბერს (გაზაფხულისა და შემოდგომის დღედამსწორობის-ბუნიობის დღეები) მზე საიდანაც ამოდის, ის მხარე არის ჭეშმარიტი აღმოსავ-

ლეთი, ხოლო სადაც ჩადის – ჭეშმარიტი დასავლეთი. აღმოსავლეთი, დასავლეთი, ჩრდილოეთი, სამხრეთი ჰორიზონტის ძირითადი მხარეებია. მათ შორის მდებარეობენ შუთანა მხარეები: ჩრდილო-აღმოსავლეთი (ჩა), ჩრდილო-დასავლეთი (ჩდ), სამხრეთ-აღმოსავლეთი (სა) და სამხრეთ-დასავლეთი (სდ). ადგილზე ჰორიზონტის მხარეების მოძებნას (განსაზღვრას) გაგნება ანუ ორიენტირება ეწოდება (ორიენტირება ლათინური სიტყვაა – „ორიენს“ და აღმოსავლეთს ნიშნავს). ორიენტირების მრავალნაირი ხერხი არსებობს. გაგნება შეიძლება მზის, ვარსკვლავების, ირგვლივ მდებარე საგნების, საათის, კომპასისა და სხვ. საშუალებებით. მზე ზუსტად აღმოსავლეთით ამოდის 21 მარტსა და 23 სექტემბერს (ბუნიაობის დღეებში). დანარჩენ დღეებში მზის ამოსვლა-ჩასვლის წერტილები აღმოსავლეთიდან და დასავლეთიდან გადაიწევენ შუალედური მხარეებისაკენ. ასე მაგალითად, ზაფხულში მზე ამოდის ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან და ჩადის

ჩრდილო-დასავლეთით, ხოლო ზამთარში ამოდის სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან და ჩადის სამხრეთ-დასავლეთით. მზე მუდამ სამხრეთითაა შუადღისას, სავსე მთვარე-შუადამისას. მზის მიხედვით გაგნება შესაძლებელია შუადღეზეც, მზიან ამინდში, მარტივი ხელსაწყო ე. წ. გნომონის საშუალებით. ამისათვის მოსწორებულ ჰორიზონტალურ ღია ადგილზე (რომელიც შენობებით და მცენარეებით არ იჩრდილება) შეეულად (რაც შეეულშობით უნდა შემოწმდეს) დაასობენ წვეტიან ჯოხს, ისარს, რომელსაც გნომონი ეწოდება. ჯოხის ჩრდილი დილიდან თანდათან მოკლდება და შუადღისას, როდესაც მზე ჰორიზონტიდან ყველაზე მაღლაა, იგი უმოკლესი ხდება, შემდეგ კი კვლავ გრძელდება. თუკი ჩვენ შუადღისას, დავუშვათ 13-14 საათის პერიოდში, ყოველ 4-5 წუთში ჯოხის მიერ წარმოშობილი ჩრდილის ბოლოში დავასობთ პატარა პალოებს (ან დავაწყოთ პატარა ქვებს) ადვილად შევძლებთ ჯოხის მიერ წარმოშობილი ყველაზე მოკლე ჩრდილის დადგენას, რომელიც ემთხვევა მერიდიანის (ჩრდილო-

სამხრეთის) მიმართულებას. ჩრდილის შიდა ბოლო მიმართული იქნება სამხრეთისაკენ, მეორე ბოლო კი-ჩრდილოეთისაკენ. თუ დავდგებით პირისახით ჩრდილოეთისაკენ, მარჯვნივ იქნება აღმოსავლეთი, მარცხნივ კი – დასავლეთი.

ღამით, როცა ცა მოწმენდილია შეიძლება მხარეების გაგნება პოლარული ვარსკვლავის საშუალებით, რომელიც ყოველთვის ჩრდილო პოლუსის თავზეა და ჩრდილოეთს გვიჩვენებს. იგი შედის მცირე დათვის თანავარსკვლავედში, რომელიც შვიდი ვარსკვლავისაგან შედგება და აქვს კოვზის (ციცხვის) ფორმა. „ციცხვის ტარის“ ბოლოში მდებარეობს პოლარული ვარსკვლავი, რომლის მოძებნა გაძნელებულია თუ არ მოვებნეთ დიდი დათვის თანავარსკვლავედი, რომელიც მცირე დათვის თანავარსკვლავედის შებრუნებულად მდებარეობს და გაცილებით ვრცელი სივრცე უკავია, უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებისაგან შედგება და მკაფიოდ ჩანს. როცა მივაგნებთ დიდი დათვის თანავარსკვლავედს, „კოვზის პირში“ მდებარე ორ უკანასკნელ ვარსკვლავს შორის მანძილს გონების თვალთ იმავე მიმართულებით სწორ ხაზზე ხუთჯერ გადავზომავთ და მივადგებით ჩრდილოეთის მაჩვენებელ კაშკაშა პოლარულ ვარსკვლავს. გაგნება შეიძლება ირგვლივ მდებარე საგნების მიხედვით. ცალკე მდგომ ხეებს ჩრდილოეთ მხარეზე ტოტები ძლიერ მეჩხერად ან სულ არ აქვთ განვითარებული (ნაკლები მზის სხივების გამო), ხოლო სამხრეთ მხარეზე, რომელიც მეტ სითბოს ღებულობს, განვითარებულია ხშირი ტოტები. გაგნება შესაძლებელია ისეთი ხეების გადანაჭრებზე ზრდის რგოლების მიხედვით, რომლებიც ჩრდილოეთ მხარეზე შედარებით უფრო შემჭიდროებულია, ვიდრე სამხრეთ მხარეზე. ცალკე მდგომი ხეები, დიდი ლოდები, აგრეთვე კრამიტის სახურავები ჩრდილოეთ მხარეზე იკეთებენ ხავსს. დღისით, მოწმენდილ ამინდში, ორიენტირება შეიძლება ისრებიანი საათის საშუალებით: საათს დავიკავებთ ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და პატარა ისარს მივმართავთ მზისაკენ. გავავლებთ წარმოსახვით სწორ ხაზს

საათის ციფერბლატზე წარწერილ 1-ზე. კუთხეს, რომელიც შეიქმნა მზის მიმართულებასა და 1-ზე გამავალ ხაზს შორის, წარმოსახვით გავყოფთ შუაზე სწორი წარმოსახვითი ხაზით, ეს ხაზი გვიჩვენებს სამხრეთის მიმართულებას. გაგნების ყველაზე კარგ საშუალებას წარმოადგენს კომპასი. იგი მრავალი სახეობისაა, მაგრამ ჩვენთვის უფრო ხელმისაწვდომია სასკოლო კომპასი. კომპასი გამოგონილი იქნა ჩინეთში. კომპასის ნაწილია დამაგნიტებული ისარი (მისი ერთი ბოლო შეღებილია მუქად, რომელიც ყოველთვის გვიჩვენებს ჩრდილოეთს, მეორე – წითელი ბოლო კი სამხრეთის მაჩვენებელია), რომელსაც თავისუფლად შეუძლია ბრუნვა ნემსისმაგვარ ბჯენზე. იგი ჩასმულია მინით დახურულ მრგვალ კოლოფში, რომლის ძირზე დატანილია გრადუსული სკალა ჰორიზონტის ძირითადი მხარეების აღმნიშვნელი წარწერებით (ასობით). ისარს გააჩნია მაჩერებელი (მუხრუჭი). ჰორიზონტის მხარეების გასარკვევად კომპასი უნდა დავიკავოთ ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და ისარი გავათავისუფლოთ მუხრუჭისაგან. ამის შემდეგ ისარი დაიწყებს ციმციმს და მისი მუქად შეფერილი (დამაგნიტებული) ბოლო გაჩერდება ჩრდილოეთისაკენ, მაგრამ კომპასი შეიძლება გაგნებული არ იყოს. ამიტომ იგი უნდა ვაბრუნოთ მანამ, სანამ ჩრდილოეთის აღმნიშვნელი წარწერა არ დაემთხვევა ამავე მიმართულების მაჩვენებელ ისრის დამაგნიტებულ (მუქად შეფერილ) ბოლოს. ასეთ მდგომარეობაში კომპასი გაგნებულია, ვინაიდან ძირითადი მხარეების აღმნიშვნელი ყველა წარწერა შესატყვისი მიმართულებითაა. კომპასით ღამით სარგებლობისათვის მასზე აღნიშნულ წარწერებს მანათობელი ნივთიერებებისაგან აკეთებენ. კომპასის ხმარებისას მასთან ახლოს არ უნდა იყოს შავი ლითონები (თუჯი, ფოლადი და სხვ.), რომელთაც შეუძლიათ თავისკენ მიიზიდონ დამაგნიტებული ისარი. მაგნიტზე არ მოქმედებენ ფერადი ლითონები, ამიტომ კომპასის ნაწილები, მაგნიტური ისრის გარდა, მინისგან ან პლასტმასისაგან არის დამზადებული. კომპასის მუშაობა ემყარება დედამიწის მაგნიტურ

თვისებებს. დამაგნიტებულ ისარს იზიდავენ დედამიწის მაგნიტური პოლუსები (ჩრდილო ნახევარსფეროში ჩრდილოეთი, სამხრეთ ნახევარსფეროში-სამხრეთი), რომელთა მდებარეობა არ ემთხვევა გეოგრაფიულ პოლუსებს. ამიტომ კომპასის ისარი გვიჩვენებს არა გეოგრაფიული, არამედ მაგნიტური მერიდიანის მიმართულებას.

აზიმუტის განსაზღვრა

როგორც აღვნიშნეთ, კომპასზე აღნიშნავენ მხოლოდ ძირითად და შუათანა მხარეებს. დანარჩენი მხარეების გასარკვევად იყენებენ აზიმუტს. აზიმუტი არაბული სიტყვაა და ნიშნავს მიმართულებას. იგი არის კუთხე, რომელიც იქმნება ჩრდილოეთის მიმართულებასა, დამკვირვებელსა და დასაკვირვებელ საგანს შორის. იგი აითვლება საათის ისრის მოძრაობის თანხვედრილად 0°-დან 360°-მდე. არჩევენ ნამდვილ ანუ მაგნიტურ და გეოგრაფიულ აზიმუტს. ჰორიზონტის მხარეების ამოცნობას, გარდა თეორიულისა, აქვს დიდი პრაქტიკულ-გამოყენებითი მნიშვნელობისა ჩვენს ყოველდღიურ ცხოვრებაში. იგი აუცილებელია უცნობ და დაუსახლებელ ადგილებში მოგზაურობისას, საჭაერო და საზღვაო ტრანსპორტის მუშაობისათვის ა. შ.

მასშტაბი და მისი სახეები

გლობუსზე, რუკაზე ან გეგმაზე რომელიმე ხაზის შემცირების ხარისხს, ადგილზე მათ ნამდვილ სიგრძესთან შედარებით, მასშტაბი ეწოდება. ანუ, დიდი ან პატარა ზომის მაგიერ პირობითად არებულ ზომას მასშტაბს უწოდებენ. იგი გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ არის შემცირებული ან გადიდებული ობიექტი მისი ქალაქზე (მ. შ. რუკაზე, გეგმაზე, გლობუსზე) გამოსახვისას. „მასშტაბი“ გერმანული სიტყვაა და ნიშნავს: „მას“ -ზომას, ხოლო „შტოკ“- ჯოხს. მთლიანად დედამიწის, ან მისი ნაწილის ქალაქზე გამოსახვა შემცირების გარეშე შეუძლებელია. თუმცა ზოგიერთი მცირე ზომის საგნების ნახაზის (გეგმის) შედგენისას საჭირო ხდება მათი გადიდება. მასშტაბი სამი სახისაა: რიცხვითი გამოსახება

შეფარდების სახით რომლის მრიცხველი არის „1“, ხოლო მნიშვნელი გვიჩვენებს შემცირების ხარისხს. მაგალითად, მასშტაბი 1:1000 000. ეს ნიშნავს, რომ რუკაზე (ან გლობუსზე) აღებულ ერთ სანტიმეტრიან მონაკვეთს ადგილზე შეესაბამება 1000 000 ასეთი მონაკვეთი (სანტიმეტრი). თუ მას გადავიყვანთ კილომეტრებში ჩამოვამორებთ ხუთ ნოლს (კილომეტრში ხომ 1000 სანტიმეტრია) და მივიღებთ 10 კილომეტრს. ე. ი. რუკაზე ან გლობუსზე ერთ სანტიმეტრიან მონაკვეთს შეესაბამება 10 კილომეტრი. ხაზოვანი მასშტაბის აგებისას გაავლებენ სწორ ხაზს, რომელსაც ყოფენ თანაბარი ზომის მონაკვეთებად. თითოეული მონაკვეთი პირობითად გამოსახავს რომელიმე დიდი ზომის ხაზს. თითოეულ დანაყოფს სახელად მასშტაბის ფუძე ეწოდება. მას აწერია რიცხვი, რომელიც გვიჩვენებს, რომელი დიდი ზომის გამომსახველია ფუძე. თუ ჩვენს მიერ აღებული მასშტაბი 1 სმ-ში 10 კმ-ს გულისხმობს, მაშინ იგი ასე გამოისახება: გავავლებთ სწორ ხაზს, საწყის წერტილზე დავაწერთ 0-ს, მომდევნო დანაყოფებზე – მარჯვნივ დავაწერთ 10, 20 და ა. შ., ხოლო ნოლიდან მარცხნივ ერთი მონაკვეთი დაყოფილია უფრო მცირე დანაყოფებად, რომელსაც ფუძის სიზუსტეს უწოდებენ. იგი ორ წერტილს შორის მანძილის ზუსტად გაზომვის საშუალებას იძლევა. სახელდებითი მასშტაბი მიწერილია სიტყვიერად, გადაყვანილი კილომეტრებში. მაგალითად, ერთ სმ-ში არის 10 კმ. ცნება გლობუსის, გეგმის, რუკისა და გეოგრაფიული ატლასის შესახებ. გლობუსი (ლათინურად სფერო) დედამიწის შემცირებული მოდელია, ე. ი. სფეროსმაგვარი ფორმისაა, რის გამოც მასზე მანძილები, ფართობები და კუთხეები დამახინჯებული არ არის. ერთ-ერთი პირველი გლობუსი შექმნილი იქნა მეთხუთმეტე საუკუნეში გერმანელი გეოდეზისტისა და მათემატიკოსის – ბჰაჰიმის მიერ. მასშტაბის მიხედვით განასხვავებენ სამი სახის სასწავლო გლობუსს: პატარა (1:83 000 000), საშუალო (1: 50 000 000) და დიდი (1: 30 000 000). თუ შევადარებთ ერთსა და იმავე პუნქტებს შორის გაზომილ მანძილს რუკაზე და

გლობუსზე, დავინახავთ, რომ განსხვავება საკმაოდ დიდი იქნება. მანძილი გაცილებით დაუმახინჯებელია გლობუსზე. ამიტომ ძლიერ დაცილებულ პუნქტებს შორის მანძილის გზომვა მასზე უნდა ჩატარდეს. გეგმა ესაა დედამიწის ზედაპირის სიბრტყედ მიჩნეული მცირე მონაკვეთის, ნაგებობის ან რაიმე საგნის ნახაზი გამოსახული 1:10 000-იანი და უფრო მსხვილი მასშტაბით. გეგმაზე საგნებსა და ობიექტებს გამოსახავენ პირობითი ნიშნებით, რომელთაც ტოპოგრაფიულ ნიშნებს უწოდებენ. ადგილის გეგმის შესადგენად ჩატარებულ სამუშაოს ადგილის აგეგმვა ეწოდება. ადგილის გეგმა იქმნება ადგილზე პლანშეტით მუშაობით, ასევე აეროფოტოგადაღებების საშუალებით. ამჟამად ფართოდ გამოიყენება აეროფოტოსურათები. რუკა ეწოდება დედამიწის სფერული ზედაპირის მთლიანად, ან მისი ცალკეული ნაწილის შემცირებულ და განზოგადებულ გამოსახულებას სიბრტყეზე (ქაღალდზე) პირობითი ნიშნებით, განსაზღვრულ მასშტაბსა და კარტოგრაფიულ პროექციაში. რუკის სახეები. რუკები მასზე გამოსახული ტერიტორიების სიდიდის მიხედვით შეიძლება იყოს მსოფლიოს, ცალკეული კონტინენტების, ქვეყნების და ა. შ. შინაარსის მიხედვით რუკებს ყოფენ ზოგადგეოგრაფიულ და თემატურ (დარგობრივ) რუკებად. ზოგადგეოგრაფიულ რუკებზე გამოსახულია ბუნებრივი კომპლექსის რამოდენიმე კომპონენტი, აგრეთვე ზოგიერთი ეკონომიკური და კულტურულ-ისტორიული ხასიათის მონაცემებიც. თემატურ რუკებზე ბუნებრივი კომპონენტის რომელიმე კომპონენტი ან კიდევ მეურნეობის დარგი უფრო სრულად და დეტალურადაა გამოსახული. მაგალითად, რელიეფის, ნიადაგების, მცენარეულობის, ტრანსპორტისა და სხვ. დანიშნულების მიხედვით რუკებს ყოფენ: სასწავლო, საგზაო, ტურისტულ, სამხედრო, საზღვაო და სხვ. რუკებად. მასშტაბით განასხვავებენ მსხვილმასშტაბიან (1:1000-დან 1:200 000-მდე), საშუალო-მასშტაბიან (1:200 000-დან 1:1 000 000-მდე და წვრილმასშტაბიან (1: 1 000 000-დან და უფრო წვრილი) რუკებად. გეოგ-

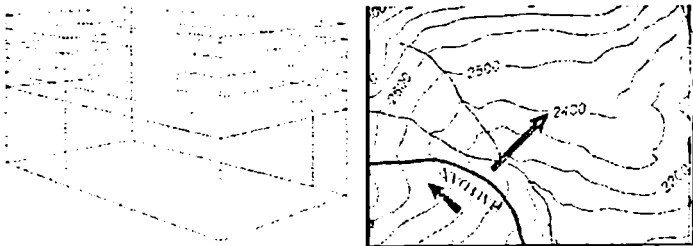
რაფიული ატლასი წარმოადგენს პროგრამით (სისტემით) შედგენილ გეოგრაფიულ რუკათა კრებულს (ერთიან კარტოგრაფიულ ნაწარმოებს), რომლის უძველეს ნიმუშად მიჩნეულია ძველი ბერძენი ასტრონომისა და კარტოგრაფის კლავდიოს პტოლომეს (დაახლოებით II საუკუნე) მიერ შედგენილი რუკათა კრებული. რუკათა კრებულს „ატლასი“ პირველად (1595 წ.) უწოდა ცნობილმა ფლამანდრიელმა კარტოგრაფმა გ. მერკატორმა მითოლოგიური მეფის-ატლასის სახელის მიხედვით. მერკატორის გარდაცვალებამდე მისი რუკების კრებულის ყდაზე გამოხატული იყო ბერძენი ატლასის ან ატლანტის გამოსახულება, რომელსაც მხრებით ცის სფერო ეკავა. ამის გამო ატლასის ყდებზე ასეთ გამოსახულებას დიდხანს ათავსებდნენ. გეოგრაფიული რუკის ძირითადი განსხვავებანი ადგილის გეგმისაგან. გეოგრაფიულ რუკასა და ადგილის გეგმას შორის არსებობს ოთხი ძირითადი განსხვავება: 1. მასშტაბის მიხედვით. გეგმა უფრო მსხვილმასშტაბიანია ვიდრე რუკა, რის გამოც რუკა ვრცელ ტერიტორიებს ასახავს, გეგმა კი მცირე ობიექტებს, შენობებს ან რაიმე საგნებს. 2. რუკაზე გეოგრაფიული ობიექტები (ტერიტორიები) ზოგადად არის ასახული, გეგმაზე კი დეტალურად, ე. ი. მათზე საგნები და ობიექტები განსხვავებული დეტალიზაციითაა ასახული, თანაც რუკისაგან განსხვავებით გეგმაზე ყველა ობიექტი მასშტაბშია გამოსახული. 3. რუკას გააჩნია გრადუსთა ბადე-ჰორიზონტის მხარეების მაჩვენებელი მერიდიანები და პარალელები, გეგმაზე კი ჰორიზონტის მხარეების გამოსახვას ვახდენთ მისი ჩარჩოს მიხედვით. გრადუსთა ბადეს კი მოკლებულია. 4. რუკის შედგენისას მხედველობაშია მიღებული დედამიწის სფერულობა, გეგმის შედგენისას კი იგი არ არის გათვალისწინებული, ვინაიდან მასზე გამოსახება დედამიწის ზედაპირის სიბრტყედ მიჩნეული მცირე მონაკვეთი. ტერიტორიული მომცველობის მიხედვით ჩვენს დროში განასხვავებენ მსოფლიოს, კონტინენტებისა და ოკეანეების, ცალკეული ქვეყნებისა და ოლქების, მათ შორის საქართველოსა და სხვ.

ატლასებს. შინაარსის (თემატიკის) მიხედვით კი გამოყოფენ ზოგად-გეოგრაფიულს, ფიზიკურ-გეოგრაფიულს, სოციალურ-ეკონომიკურსა და სხვა ატლასებს. დანიშნულების მიხედვით ატლასი შეიძლება იყოს სასწავლო, სამეცნიერო-საცნობარო, ტურისტული, საგზაო, სამხედრო და სხვ. გეოგრაფიული ატლასი წარმოადგენს მსოფლიოს ცალკეული ქვეყნების ბუნების, მოსახლეობის, მეურნეობის დარგების, აგრეთვე მეცნიერებისა და კულტურის განვითარების შესახებ სრული ინფორმაციის მიღების ყველაზე უნივერსალურ საშუალებას. მანძილების გაზომვა რუკაზე მასშტაბის საშუალებით. რუკა წარმოდგენას გვაძლევს დედამიწის ზედაპირზე არსებული საგნებისა და ობიექტების არა მარტო კონფიგურაციაზე, არამედ მათი განლაგების თავისებურებებზე. ამიტომ მასშტაბის საშუალებით შეიძლება ვაწარმოოთ მთელი რიგი გაზომვები. ასე მაგალითად, რუკაზე მასშტაბის თავისებურებების გათვალისწინებით, შეიძლება გავზომოთ ობიექტის სიგრძე, სიგანე, ფართობი, ზოგიერთ შემთხვევაში კი ხერხდება მოცულობის გაანგარიშებაც (ტბის, მთის, ზღვის და ა. შ.). ორ პუნქტს შორის მანძილის გაგებისათვის, საჭიროა რუკაზე გავზომოთ მათ შორის მანძილი და შევუფარდოთ ის რუკის მასშტაბს. რუკაზე სიგრძეს ვზომავთ სახაზავით, ძაფით, ფარგლით ან კურვიმეტრით. დავუშვათ, გვსურს საქართველოს 1: 600 000 – მასშტაბიანი რუკით გავიგოთ მანძილი თბილისიდან ფოთამდე. გავზომავთ სახაზავით მათ შორის მანძილს. აღნიშნულ რუკაზე იგი 45 სმ უდრის. ვიცით რომ ყოველი სმ ამ რუკაზე სინამდვილეში შეესაბამება 6 კმ-ს. ე. ი. პირდაპირი მანძილი თბილისსა და ფოთს შორის ყოფილა 270 კმ. ასეთი წესით შეიძლება გაიზომოს მანძილი ნებისმიერ პუნქტს შორის. რუკაზე ორ წერტილს შორის მანძილი შეიძლება გაიზომოს ძაფითაც და შემდეგ თვით ამ ძაფს შევუფარდეთ მასშტაბის მონაცემებს. რუკაზე სწორი ხაზის მიმართულებით მანძილების გასაზომად გამოყენებულია ხელსაწყო-საზომი ფარგალი, რომლის ორივე ფეხი ნემსებით

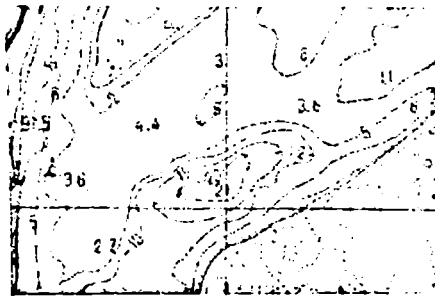
ბოლოვდება. მანძილის გასაზომად გავშლით ფარგლის ფეხებს მასშტაბის ფუძის მცირე დანაყოფზე (ფუძის სიზუსტეზე) და ვერტიკალურ მდგომარეობაში, ისე, რომ ფარგლის ფეხებს არ შევეხოთ, სახელურით ვატარებთ გასაზომ ხაზზე. „ვაბიჯებთ“ ფარგალს გასაზომ ხაზს, ვიდრე გასაზომ მანძილს არ გავივლით მოცემულ წერტილებს შორის და თან ვთვლით ნაბიჯებს. რამდენ „ნაბიჯსაც“ გადავადგმევინებთ ფარგალს, იმდენი ფუძის სიზუსტის ტოლი იქნება მანძილი. ე. ი. „ნაბიჯების“ რაოდენობას ვამრავლებთ ფუძის სიზუსტეზე. მრუდი ხაზის გასაზომადაც ასევე იქცევია, მაგრამ გაზომვა არ არის ზუსტი, რადგან ფარგლის ფეხებს შორის ექცევა სიმრუდე, რომელიც უფრო გრძელია, ვიდრე ფარგლის ფეხებს შორის მოქცეული მანძილი. მრუდი ხაზი შეიძლება გაიზომოს ძაფითაც-გავაყოლებთ მას მდინარეს სათავიდან შესართავამდე, გავშლით ამ ძაფს და გავზომავთ თუ რამდენი სანტიმეტრია იგი, ამდენივე იქნება მდინარის სიგრძე რუკაზე. შემდეგ გადავიყვანთ მასშტაბში და გამოვთვლით მდინარის ნამდვილ სიგრძეს.

მთის სიმაღლის, ოკეანისა და ზღვის სიღრმეების განსაზღვრა
დედამიწის ზედაპირი როგორც ხმელეთზე, ისე ოკეანეებისა და ზღვების ფსკერზე დიდი უსწორმასწორობით ხასიათდება; მნიშვნელოვანი სხვაობაა ცალკეული ადგილის სიმაღლით მდებარეობას შორის. ადგილის სიმაღლით მდებარეობის აზომვას აწარმოებენ ოკეანის დონიდან, რომელსაც ნულ მეტრად ანგარიშობენ. დედამიწის ზედაპირზე ადგილის მდებარეობას ნული მეტრიდან ზევით ხმელეთზე ან ატმოსფეროში სიმაღლეს უწოდებენ, ხოლო მანძილს ვერტიკალურად ოკეანეების, ზღვების, ტბების, მდინარეების ზედაპირიდან ფსკერამდე – სიღრმეს. ხმელეთზე უმდაბლესი ადგილია მკვდარი ზღვის სანაპირო ზოლი, რომელიც ოკეანის დონიდან 392 მ დაბლა მდებარეობს, ხოლო მსოფლიოს უმაღლესი წერტილი ჯომოლუნგმა ანუ ევერესტი (ჰიმალაის მთებში) 8848 მ აღწევს სიმაღლით. ასევე დიდი სხვაობაა

ოკეანეებისა და ზღვების ცალკეული ადგილის სიღრმეებს შორის. ყველაზე ღრმა უბანი წყნარ ოკეანეში (ე. წ. მარიანის ღრმულის რაიონში) 11 ათას მეტრს აღემატება. ამრიგად, დედამიწის ყველაზე დაბალ და მაღალ წერტილთა შორის სხვაობა თითქმის 20 კმ-ს შეადგენს. მთის სიმაღლის, ოკეანის, ზღვის სიღრმეების გასაზომად იყენებენ რუკაზე თანდართულ სიმაღლეებისა და სიღრმეების სკალას. სკალა შეფერილობის მიხედვით საშუალებას გვაძლევს გავიგოთ საჭირო სიმაღლეები და სიღრმეები. სკალას შეფერილობის გარდა აქვს სიმაღლეებისა და სიღრმეების მეტრული დანაწილება. ამრიგად, ფიზიკურ და ტოპოგრაფიულ რუკებზე სხვა თავისებურებებთან ერთად, უჩვენებენ ადგილის სიმაღლეს და ოკეანეებისა და ზღვების სიღრმეებს. სიმაღლეებს რუკაზე ასახავენ ე.წ. იზოჰიფსებით ანუ ჰორიზონტალებით (თანაბარი სიმაღლეების მქონე წერტილების შემაერთებელი მრუდი ხაზებით (ნახ.1), რომლებსაც სათანადო წარწერები გააჩნიათ, ანდა ფერებით. იგივე შეიძლება ითქვას სიღრმეების მიმართაც. თანაბარი სიღრმეების მქონე წერტილების შემაერთებელი ხაზები იზობათებად იწოდება (ნახ.2). თითოეულ მათგანს შესაბამისი სიღრმის ამსახველი რიცხვები აწერია, ანდა შეფერილია სათანადოდ.



ნახ.1.ჰორიზონტალები-იზოჰიფსები



ნახ.2. იზობათები

ცალკეული ადგილების სიღრმეები და მწვერვალების სიმაღლეები უფრო ზუსტად აღინიშნება. მაგ., 5 642 მ მწვერვალ იალბუზთან, ნიშნავს იალბუზის სიმაღლეს მეტრობით. ოკეანებისა და ზღვების სიღრმეები აღნიშნულია ცისფერის სხვადასხვა ტონით. რამდენადაც ღრმა ადგილები, იმდენად მუქდება ცისფერი. უფრო ზუსტად ცალკეული ადგილების სიღრმეებს ციფრებით აღნიშნავენ (მაგალითად, 11 022 მ-აღნიშნულია მარიანის ღრმული). ხმელეთზე სიმაღლეების აღსანიშნავად ზღვის დონიდან (ზ.დ.) 200 მეტრამდე მწვანე ფერს იყენებენ, ზღვის დონეზე დაბლა მდებარე ტერიტორიებს მუქი მწვანე ფერით აღნიშნავენ და ციფრებით გამოხატვის შემთხვევაში წინ მინუსს უწერენ (მაგალი-თად, მკვდარი ზღვის სანაპირო, რომელიც ზღვის დონეზე დაბლა მდებარეობს, აღინიშნება-392 მ). 200-500 მ-მდე სიმაღლის ტერი-ტორიები აღინიშნება ყვითელი ფერით, 500 მ ზემოთ – ყავისფერით. რამდენადაც მაღალია მთები, იმდენად მუქი ყავისფერია.

§ 7.3. დედამიწის ზედაპირის გამოსახვა რუკაზე

რუკის შედგენისას, ე. ი. დედამიწის სფეროს, სიბრტყეზე გამო-სახვის მათემატიკურ ხერხს, კარტოგრაფიული პროექცია ეწოდება. ყოველი რუკისათვის ირჩევა ისეთი კარტოგრაფიული პროექცია, რომელიც უზრუნველყოფს რუკის დანიშნულებისამებრ გამოყენებას. დედამიწის ზედაპირი სფეროსებურია და ცხადია, იგი ჰორიზონტალურ ზედაპირზე (ქაღალდზე-რუკაზე) გადატანისას რამდენადმე მახინჯდება. კარტოგრაფიული პროექციები დამახინჯებათა ხასიათის მიხედვით სხვადასხვა ხასიათისაა: ტოლკუთხა, ტოლდიდი, ტოლშორისი, ნებისმიერი.

ტოლკუთხა ეწოდება ისეთ პროექციას, რომლის დროსაც კუთხეები და ობიექტის ფორმა სფეროდან სიბრტყეზე გადმოტანისას არ მახინჯდება, ე. ი. დაცულია მათი ტოლობა, მაგრამ დამახინჯებულია მანძილები და ფართობები. ამ პროექციით შედგენილ რუკებზე მასშტაბი უცვლელია ერთი წერტილიდან გამავალი ყოველი მიმართულებით, მაგრამ ძალიან მცირე მანძილზე. ასეთი რუკა მოხერხებულია მოძრაობის მიმართულების განსაზღვრისათვის ე. ი. ნავიგაციისათვის.

ტოლდიდი ეწოდება პროექციას, რომლის გამოყენების დროსაც რუკაზე დამახინჯებული არ არის ფართობები, მაგრამ ძლიერაა დამახინჯებული კუთხეები და ობიექტის ფორმები.

ტოლშორისი ეწოება ისეთ პროექციას, სადაც დამახინჯებული არაა მანძილები. ნებისმიერ პროექციაში შედგენის რუკებზე დამახინჯებულია კუთხეებიც და ფართობებიც, მაგრამ ნაკლები ხარისხით. ამ რუკებს შორის განსაკუთრებით გამოიყოფა ტოლშორის პროექციაში შედგენილი რუკები, სადაც გარკვეული მიმართულებით მანძილები დაუმახინჯებულია.

კარტოგრაფიული ბადის აგება შეიძლება სხვადასხვა ხერხით. იმის მიხედვით, თუ სფერულ ზედაპირს რომელი დამხმარე გეომეტრიული ფიგურის

ზედაპირზე ვშლით, კარტოგრაფიული პროექციები შეიძლება იყოს:

1. აზიმუტური. მისი აგება ხდება სიბრტყეზე, რომელიც ეხება ან კვეთს დედამიწის სფეროს (სფეროიდს).

2. ცილინდრული. ამ შემთხვევაში გრადუსთა ბადეს აგეგმილებენ ჯერ ცილინდრის ზედაპირზე და შემდეგ შლიან მის სიბრტყეზე. გრადუსთა ბადეზე მერიდიანები და პარალელები გამოსახულია ურთიერთპარალელური სწორი ხაზებით. დაგეგმილების დროს ცილინდრი შეიძლება ეხებოდეს სფეროს ან კვეთდეს მას.

3. კონუსური. ამ შემთხვევაში გრადუსთა ბადეს აგეგმილებენ ჯერ კონუსის ზედაპირზე და შემდეგ შლიან მას სიბრტყეზე. მასზე პარალელები გამოსახულია ურთიერთპარალელური წრეხაზებით, ხოლო მერიდიანები რადიალურად იშლებიან ერთი წერტილიდან (დაგეგმილების დროს კონუსი შეიძლება ეხებოდეს სფეროს ან კვეთდეს მას).

მსოფლიო პოლიტიკური რუკა შედგენილია ცილინდრული პროექციით, ცალკეული ქვეყნების, კონტინენტების რუკების შედგენისას გამოიყენება როგორც კონუსური, ისე აზიმუტური პროექციები.

რუკაზე მიწერილი მასშტაბი წარმოადგენს მთავარ მასშტაბს, რომლის სიზუსტე მსოფლიო რუკაზე დაცულია ეკვატორზე (ნულოვან დამახინჯებათა ხაზზე), რომლისაგან პოლუსების მიმართულებით დამახინჯება მატულობს. ამიტომ, რომ მსოფლიოს პოლიტიკურ რუკაზე გრენლანდია ფართობით მასზე თითქმის სამნახევარჯერ მეტი ავსტრალიის ტოლია.

კარტოგრაფიული გამოსახვის ხერხები

რუკაზე სხვადასხვა ობიექტებისა და მოვლენების გამოსახატავად გამოიყენება განსაკუთრებული ხელოვნური ანუ რუკის ენა. ასე მაგალითად, სასარგებლო წიაღისეულის საბადოები აღნიშნულია სპეციალური ნიშნებით, საზღვრები, მდინარეები, გზები და ა. შ. – ხაზობრივი ნიშნებით. წერტილები, რომლებიც ხასი-

ათდებიან ამა თუ იმ ბუნებრივი მოვლენის ერთნაირი მნიშვნელობით რუკაზე ერთდებიან იზოხაზებით. ასე მაგალითად, ატმოსფეროს წნევა, (იზობარები), ჰაერის ტემპერატურა (იზოთერმები), ხმელეთის ზედაპირის სიმაღლე (იზოჰიფსები და ჰორიზონტალები) და სხვა.

არეალის ხერხი გამოიყენება ამა თუ იმ მოვლენის (მაგალითად, გამყინვარების, ცხოველთა და მცენარეთა გარკვეული სახეობების და სხვა გავრცელების რაიონის ანუ არეალის (სივრცის) საჩვენებლად.

მოძრაობის ნიშნებით გამოიხატება ზღვის დინებები, ქარები, აგრეთვე სატრანსპორტო გადაზიდვები და სხვაა სპეციალური თვისობრივი ფონით გამოიხატება მოსახლეობის რელიგიური და ეროვნული შემადგენლობა.

კარტოგრამით შეიძლება გამოისახოს მოსახლეობის საშუალო სიმჭიდროვე 1 კვ კმ-ზე, ტერიტორიის გადახნულობა პროცენტებში და სხვა, შეფერადების ან „შტრიხოვკის“ ხერხით.

კარტოსქემა ეს არის სქემატური რუკა, კარტოგრაფიული (გრადუსთა) ბადის გარეშე. მასზე შეიძლება გამოისახოს ამინდი, ქვეყნების სავაჭრო კავშირები, მოგზაურობათა მარშრუტები და სხვა.

რუკების შედგენისას გამოიყენება სხვადასხვა სახის ინფორმაცია (კარტოგრაფიული, აეროკოსმოსური, სტატისტიკური და სხვა) ან უშუალოდ ადგილოს აგეგმვა.

ბოლო პერიოდში რუკების შესადგენად წარმატებით გამოიყენება გეოგრაფიული ინფორმაციის დამუშავების თანამედროვე კომპიუტერული პროგრამები. გეოგრაფიული მცენიერების კომპიუტერიზაციის საფუძველზე შეიქმნა ახალი მიმართულება-გეოინფორმატიკა, რომელიც სწავლობს ბუნებრივი და სოციალურ-ეკონომიკური გეოსისტემების სტრუქტურას, კავშირებს, დინამიკასა და ფუნქციონირებას სივრცესა და დროში კომპიუტერული მოდელირებისა და კარტოგრაფირების საშუალებით.

მონაცემების კომპიუტერულ ბაზას ქმნის გეოინფორმაციული სისტემები (გის), რომელშიც ინახება გეოინფორმაცია სხვადასხვა შინაარსის რუკების სახით.

რუკის მნიშვნელობა და გამოყენება ადამიანის სამეურნეო საქმიანობაში

რუკას ადამიანის ცხოვრებასა და სამეურნეო საქმიანობაში დიდი მნიშვნელობა აქვს. როგორც ვიცით ადამიანის თვალსაწიერი შემოფარგლულია, შეზღუდულია და ჩვენ ერთდროულად დედამიწის მხოლოდ მცირე მონაკვეთი შეგვიძლია დავინახოთ, რუკა კი ნათელ წარმოდგენას იძლევა ამა თუ იმ სახელმწიფოს, ქვეყნის, და მთელი დედამიწის ზედაპირის შესახებ.

რუკა წარმოადგენს დედამიწაზე ხმელეთისა და წყლების, ზედაპირის ძირითადი ფორმების: ვაკეების, მთების, მდინარეების, ტბების, ჭაობების, აგრეთვე ტყეების, სამეურნეო ობიექტების, მოსახლეობის და ა. შ. განლაგების თავისებურებებს.

რუკის საშუალებით შეიძლება გამოვითვალოთ ამა თუ იმ ობიექტის ან ქვეყნის სიგრძე, სიგანე, ფართობი და ზოგიერთი სხვა განზომილებანი.

რუკა საუკეთესო დიდაქტიკური მასალაა სკოლაში გეოგრაფიის სწავლებისათვის. ურუკოდ გეოგრაფიის სწავლება შეუძლებელია. გამოჩენილი გეოგრაფის ნ. ბარანსკის ხატოვანი გამოთქმით რუკა გეოგრაფიის „ალფა“ და „ომეგა“. მისი საშუალებით შევიცნობთ მასზე გამოსახულ ობიექტებს, მოვლენებსა და პროცესებს. მასზე გამოსახება ძალიან მდიდარი და სხვადასხვა შინაარსის ინფორმაცია. რუკით იწყება და ყველა სახის გეოგრაფიული კვლევა რუკით მთავრდება. რუკები გამოიყენება მეურნეობის ყველა დარგში და სხვადასხვა მეცნიერების მიერ. რუკა ჩინებული „მეგზურია“ ტურისტისა და მოგზაურისათვის.

რუკას დიდი მნიშვნელობა აქვს ამა თუ იმ ტერიტორიის სამეურნეო ათვისების (მორწყვა, ამოშრობა, განაშენიანება და ა. შ.)

დაგეგმარების საქმეში. განსაკუთრებით საჭიროა რუკა ქვეყნის თავდაცვის საქმეში.

დედამიწაზე ხმელეთი (კონტინენტები და კუნძულები) იკავებს ზედაპირის დაახლოებით 30%. დედამიწის ზედაპირი ზოგიერთ ადგილას შეიცავს ფუძე ქანებს, ზოგიერთი ადგილი დაფარულია ნალექებით. ზედაპირული წყლები ფარავს დედამიწის დანარჩენ 70%-ს. ზედაპირული წყლების უმეტესი ნაწილი მარილიანია და ავსებს ოკეანეებს, ხოლო გარკვეული ნაწილი კი წარმოდგენილია ტბებისა და მდინარეების სახით.

მხოლოდ ოთხი ელემენტი (რკინა, ქანგბადი, სილიციუმი და მაგნიუმი) შეადგენს დედამიწის მასის 91,2%-ს; დანარჩენი 8,8% შედგება დარჩენილი ელემენტებისგან.

- *ორგანული ნივთიერებები.* ნახშირბადის შემცველი ნაერთები, რომლებიც წარმოდგენილია ცოცხალ ორგანიზმებში ან გააჩნიათ ცოცხალ ორგანიზმებში არსებული ნაერთების მსგავსი მახასიათებლები.

- *მინერალები.* მყარ, ბუნებრივ ნივთიერებას, სადაც ატომები განლაგებულია განსაზღვრული სტრუქტურით ეწოდება მინერალი. მინერალის ცალკეულ ნაწილს, რომელიც იზრდება მასის არსებული ფორმით ეწოდება კრისტალი, ხოლო არათანაბარი ფორმის მქონე ნიმუშს ან ოდესღაც უფრო დიდი კრისტალისგან ან კრისტალების ჯგუფისგან მიღებულ ფრაგმენტს ეწოდება მარცვალი.

- *ქანები.* მინერალის კრისტალების ან მარცვლების და ბუნებრივი მასების ერთობლიობას ქანები ეწოდება. განასხვავებენ ქანების სამ ძირითად ტიპს: 1) ვულკანური ქანები ფორმირდება, როდესაც გამდნარი (თხევადი) ქანი ცივდება, იყინება და მყარ სხეულად გადაიქცევა. 2) დანალექი ქანების ფორმირებას განაპირობებს მასიური ქანების ნგრევის მასალის შეკავშირება; 3) მეტამორფული ქანები ფორმირდება მაშინ, როდესაც უწინ არსებული ქანი ექვემდებარება ცვლილებებს, დედამიწის ღრმა

ფენებში, მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში მოხვედრის შედეგად.

- *ვულკანური ქანები* მაღალი ტემპერატურის შედეგად ლღვობას განიცდის და ამოითხევა რა დედამიწის ზედაპირზე – იძლევა ლავის (თხევადი მასა) ნაკადებს.

- *აქროლადი ნივთიერებები.* მასალები, რომლებიც მარტივად გარდაიქმნება აირად შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე ეწოდებათ აქროლადი ნივთიერებები.

დედამიწაზე ყველაზე გავრცელებული მინერალები შეიცავენ სხვა ელემენტებთან სხვადასხვა პროპორციით შერეულ კვარცს. ამ მინერალებს ეწოდებათ კვარციანი (სილიკატური) ქანები. განასხვავებენ 4 კლასის ვულკანურ სილიკატურ ქანებს რკინასა და მაგნიუმთან შეფარდებით, კვარცის შემცველობის მიხედვით.

რაც უფრო მაღალია ქანებში სილიციუმის შემცველობა მით მეტია მათი სიმჟავე. განასხვავებენ მჟავე, ულტრამჟავე, ფუძე და ულტრაფუძე შედგენილობის ვულკანურ ქანებს. ქანში კვარცის შემცველობის ზრდასთან ერთად მცირდება მისი სიმკვრივე. შესაბამისად, მჟავე ქანები უფრო ნაკლებად მკვრივია ფუძე ქანებთან შედარებით. თითოეულ კლასში გაერთიანებული სხვადასხვა ტიპის ქანები: 1) გრანიტი; 2) გაბრო; 3) ბაზალტი და 4) პერიდოტიტი.

§ 7.4. რისგან შედგება დედამიწის ფენები

დედამიწის ფენები ორი სახისაა: შიდა და გარე.

შიდა ფენები

ლითოსფერო და ასტენოსფერო

როგორც ვიცით არსებობს დედამიწის სამი ძირითადი ფენა – ქერქი, მანტია და ბირთვი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება შემადგენლობით, ამ ფენებში სეისმური ტალღები მოძრაობს

სხვადასხვა სიჩქარით. ფენის შემადგენელ მასალებში, მათი დენადობის ხარისხის მიხედვით განასხვავებენ მყარ მასალებს (რომელიც შეიძლება მოიღუნოს ან დაიმსხვრეს, მაგრამ არ შეუძლია დენა) და პლასტიკურ მასალებს (რომლებიც შედარებით რბილია და შეუძლიათ დენა დამსხვრევის გარეშე).

გეოლოგებმა განსაზღვრეს, რომ დედამიწის გარსის გარეთა 100-150კმ ნაწილი არის შედარებით მყარი, ანუ ეს გარსი შედგება ქანებისგან, რომელთაც არ შეუძიათ მარტივად დენა. ამ გარსს ეწოდება ლითოსფერო და იგი მოიცავს ქერქსა და მანტიის ზედა ნაწილს. ლითოსფეროს შიგნით მანტიის ნაწილს ეწოდება ლითოსფეროს მანტია. ტერმინი ლითოსფერო და ქერქი არ არის სინონიმები. ქერქი წარმოადგენს ლითოსფეროს მხოლოდ ზედა ნაწილს. ლითოსფერო მდებარეობს ასტენოსფეროს თავზე, რომელიც არის მანტიის ის ნაწილი, რომელშიც ქანებს შეუძლიათ დენა. ლითოსფეროსა და ასტენოსფეროს შორის საზღვარი გადის იქ, სადაც ტემპერატურა აღწევს დაახლოებით $1,280^{\circ}\text{C}$ -ს და ამ ტემპერატურაზე მანტიის ქანი ხდება საკმაოდ რბილი იმისთვის, რომ დაიწყოს დენა. მიუხედავად იმისა, რომ ასტენოსფეროს შეუძლია დენა, იგი არ არის თხევადი. პირიქით, ასტენოსფერო საკმაოდ მყარია—ნადნობის მცირე ოდენობა წარმოიქმნება მხოლოდ ზედა ნაწილში, თუმცა ასტენოსფერო საკმაოდ პლასტიკურია იმისთვის, რომ დაიწყოს დენა კონვექციის შედეგად წელიწადში 15სმ-ით.

გეოლოგები განასხვავებენ ორი ტიპის ლითოსფეროს. ოკეანის ლითოსფეროს სისქე, რომლის ზემოდან განთავსებულია ოკეანის ქერქი, ზოგადად შეადგენს 150კმ-ს. ასტენოსფერო მთლიანად მოქცეულია მანტიაში და ზოგადად მდებარეობს 100-150კმ-ს ქვემოთ.

ქერქი

როდესაც ჩვენ ვდგავართ დედამიწის ზედაპირზე, ეს ნიშნავს, რომ ჩვენ ვდგავართ ცენტრიდან ყველაზე დაშორებულ ფენაზე,

ანუ ქერქზე. რა სისქისაა ეს უმნიშვნელოვანესი ფენა? ამ კითხვაზე პასუხი შეიძლება მოვიძიოთ ხორვატი მკვლევარის, ანდრეა მოჰოროვიჩიჩის (*Andrija Mohorovicic*) კვლევებში. 1909 წლს მან აღმოაჩინა, რომ მიწისძვრის ტალღების სიჩქარე უცაბედად იზრდება დედამიწის ზედაპირიდან ათობით კილომეტრზე ქვემოთ და მან გამოთქვა ვარაუდი, რომ ეს გამოწვეული იყო ქანის მახასიათებლების მოულოდნელი ცვლილებით. მოგივიანებით ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ეს ცვლილება შესაძლებელია მოხდეს პლანეტაზე ნებისმიერ ადგილას, რადგან იგი თავს იჩენს სხვადასხვა ადგილას, სხვადასხვა სიღრმეებზე. გეოლოგები დღეისთვის მიიჩნევენ ამას ქერქი-მანტიის საზღვრის ცვლილებად და ამას მოჰოროვიჩიჩის საპატივსაცემოდ უწოდებენ მოჰოს. მოჰოს შედარებით პატარა სიღრმე (ადგილმდებარეობის მიხედვით 7-დან 70კმ-მდე) დედამიწის რადიუსთან მიმართებით მიუთითებს იმაზე, რომ ქერქი სინამდვილეში ძალიან თხელია. რეალურად ქერქი შეადგენს დედამიწის რადიუსის მხოლოდ 0,1%-1,0%-ს და თუ წარმოვიდგენთ, რომ დედამიწას აქვს საჰაერო ბუშტის ზომა, მაშინ ქერქი იქნებოდა ბუშტის კანის სისქის.

გეოლოგები განასხვავებენ ქერქის ორ, ფუნდამენტურად განსხვავებულ ტიპს: ოკეანური ქერქი, რომელიც მდებარეობს ზღვის ფსკერის ქვეშ და კონტინენტური ქერქი, რომელიც მდებარეობს კონტინენტების ქვეშ. ქერქი არ არის უბრალოდ გაგრილებული მანტია, არამედ იგი შედგება რიგი ქანებისგან, რომლებიც განსხვავდება შემადგენლობით ზედა ფენისგან.

ოკეანური ქერქი არის მხოლოდ 7-10კმ სისქის. ზედა მხარეს წარმოდგენილია ნალექების ფენა (ზოგადად 1კმ-ზე ნაკლები სისქის), რომელიც შედგება თიხისა და პაწაწინა ნიჟარებისგან. ამ ფენის ქვეშ ოკეანის ქერქი შედგება ბაზალტის, ხოლო ქვემოთ კი გაბროს ფენისგან.

კონტინენტური ქერქი ძირითადად 35-40კმ სისქისაა (ოკეანურ ქერქზე 4-5-ჯერ სქელი), მაგრამ მისი სისქე მერყეობს მნიშვნე-

ლოვნად. ზოგიერთ ადგილას კონტინენტური ქერქი გაიწეა და გათხელდა და აქედან გამომდინარე ზედაპირიდან მოჰომდე მხოლოდ 25კმ-ა. ზოგიერთ ადგილას ქერქი შეკუმშული და გასქელებულია და იგი შესაძლოა იყოს 70კმ სისქის. ოკეანური ქერქისგან განსხვავებით, კონტინენტური ქერქი შეიცავს უამრავი ტიპის ქანს. საშუალოდ, ზედა კონტინენტური ქერქი ნაკლებად მაფურია, ვიდრე ოკეანური ქერქი. ამ უკანასკნელს გააჩნია მყავედან ზომიერამდე შემადგენლობა და ამიტომ კონტინენტური ქერქი მთლიანობაში ნაკლებად მკვრივია ოკეანურ ქერქთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ქერქში ყველაზე დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია ქანგბადი.

მანტია

დედამიწის მანტია ქმნის 2,885კმ სისქის ფენას, რომელიც გარს აკრავს ბირთვს. მოცულობის მიხედვით იგი დედამიწის ყველაზე დიდი ნაწილია. ქერქისგან განსხვავებით მანტია შედგება მთლიანად ულტრამაფური ქანისგან, რომელსაც ეწოდება პერიდოტიტი. ეს ნიშნავს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ პერიდოტიტი ძალიან იშვიათია დედამიწის ზედაპირზე, იგი რეალურად წარმოადგენს ჩვენს პლანეტაზე ყველაზე დიდი ოდენობით არსებულ ქანს. სეისმური ტალღების სიჩქარის ცვლილების საფუძველზე, გეოლოგები მანტიას ყოფენ ორ ქვეფენად: ზედა მანტია (ქვემოთ 660კმ სიღრმეზე) და ქვედა მანტია (660კმ-დან 2,900კმ სიღრმემდე).

თითქმის მთლიანი მანტია წარმოადგენს მყარ ქანს, მაგრამ მიუხედავად ამისა მანტიის ქანი 100-დან 150კმ სიღრმის ქვემოთ არის იმდენად ცხელი, რომ რბილდება და შეუძლია დენა. თუმცა, ამგვარი დენა მიმდინარეობს ძალიან ნელა – წელიწადში 15სმ-ზე ნაკლები სიჩქარით. აქ სიტყვა „რბილი“ არ ნიშნავს, რომ ქანი თხევადია. ეს ნიშნავს, რომ დროთა განმავლობაში მანტიის ქანს შეუძლია შეიცვალოს ფორმა მსხვრევის გარეშე, ცვილის მსგავსად. თუმცა უნდა აღვნიშნოთ, რომ მანტიის მცირეოდენი ნაწილი

გამლვალა. ლღობა თავს იჩენს მანტიაში მარცვლებს შორის ფირებსა ან ზუშტუკებში ოკეანის ფსკერიდან 100-200კმ სიღრმეზე.

მართალია, მანტიის ტემპერატურა სიღრმის მატებასთან ერთად იზრდება, თუმცა, ტემპერატურა ერთი და იმავე სიღრმეზე სხვადასხვა ადგილას მინც განსხვავებულია. ცხელი რეგიონები ნაკლებად მკვრივია, ხოლო უფრო გრილი რეგიონები – მეტად მკვრივი. უფრო ცხელი და უფრო გრილი მანტიის გავრცელება მიანიშნებს, რომ მანტია ახორციელებს კონვექციას გაცხელებულ ქვაბში წყლის მსგავსად. გამთბარი მანტია ნელ-ნელა იწევს ზემოთ, ხოლო გრილი და უფრო მკვრივი მანტია კი ეშვება ქვემოთ.

დედამიწის ბირთვი

ადრინდელი გამოთვლების მიხედვით ბირთვს გაჩნია იგივე სიმკვრივე, რაც ოქროს და წლების განმავლობაში ადამიანები ფიქრობდნენ, რომ ჩვენი პლანეტის გულში იმალებოდა აურაცხელი სიმდიდრე. თუმცა გეოლოგებმა საბოლოოდ დაასკვნეს, რომ დედამიწის გული შეიცავს ნაკლებად მომხიბვლელ ნივთიერებას – რკინის შენადნობს (სხვა ელემენტების მცირე ოდენობასთან შერეულ რკინას). სეისმური ტალღების შესწავლის საფუძველზე გეოლოგებმა დაყვეს ბირთვი ორ ნაწილად: გარეთა ბირთვად (2,900-5,155კმ სიღრმემდე) და შიდა ბირთვად (5,155კმ სიღრმიდან დედამიწის ცენტრისკენ 6,371კმ სიღრმემდე). გარეთა ბირთვი შეიცავს თხევადი რკინის შენადნობს. იგი თხევადია გარეთა გარსის შიგნით ძალიან მაღალი ტემპერატურის გამო. გარეთა ბირთვის რკინის შენადნობს შეუძლია დენა და აღნიშნული ნაკადი წარმოქმნის დედამიწის მაგნიტურ ველს.

დაახლოებით 1,220კმ რადიუსის მქონე შიდა ბირთვი წარმოადგენს მყარი რკინის შენადნობს, რომელსაც შეუძლია მიაღწიოს 4,700°C-ზე მაღალ ტემპერატურას. მიუხედავად იმისა, რომ გარეთა ბირთვზე ცხელია, შიდა ბირთვი არის მყარი იმიტომ, რომ იგი უფრო ღრმადაა განთავსებული და ექვემდებარება გაცილებით მაღალი წნევის ზემოქმედებას. წნევის ზემოქმედების შედეგად

ატომები ერთმანეთთან მჭიდროდა არიან შეკავშირებულნი და წარმოქმნიან ძალიან მკვირვ ნივთიერებას.

დედამიწის გარე ფენები

ატმოსფერო

დედამიწის ატმოსფერო (მეზერმნ. „*ἀτμός*-ატმოს“- ორთქლი, ჰაერი, „*σφαῖρα*-სფერა“-სფერო)-დედამიწის ჰაერის გარსი. შედგება აზოტის (78 %), ჟანგბადის(21%), ნახშირორჟანგის (0,03 %), ინერტული აირების წყლის ორთქლის, მტვრისა და მიკროორგანიზმებისაგან. ატმოსფეროს სისქე 3000 კილომეტრია. აქ გამოიყოფა 3 ფენა: ტროპოსფერო – 7-18 კმ; სტრატოსფერო – 50 კმ-მდე; მეზოსფერო – 85 კმ-მდე; თერმოსფერო – 300 კმ; 600-1000კმ-ის ზემოთ კი—გზოსფეროა. 50 კმ სიმაღლეზე, ოზონის კონცენტრაცია შეინიშნება (ოზონსფერო).

ატმოსფეროს შემადგენელი აირები კოსმოსიდან შეხედვისას დედამიწას ცისფერ შეფერილობას აძლევენ.

ატმოსფერო დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის უმთავრესი პირობაა. მისი ქვედა საზღვარი დედამიწის ზედაპირია, ხოლო ზედა პირობითად 2000-3000 კილომეტრამდე ვრცელდება. ასეთ სიმაღლეზე ჰაერი ძალზე გაიშვიათებულია. ატმოსფეროს ჰაერი ძირითადად ორი აირისგან – აზოტისა (78%) და ჟანგბადისაგან (21%) შედგება. გარდა ამისა, ჰაერში გაბნეულია ნახშირორჟანგი (1%-ზე ნაკლები, არგონი და სხვა). როგორც ცნობილია, ჟანგბადის გარეშე შეუძლებელია სუნთქვა, წვა, ლპობა; ნახშირორჟანგის გარეშე კი – ორგანულ ნივთიერებათა წარმოქმნა. ატმოსფერო შეიცავს აგრეთვე წყლის ორთქლს, მტვერს, ყინულის კრისტალებს.

სიმაღლეზე ტემპერატურის ცვალებადობის, სიმკვრივისა და სხვა თვისებების მიხედვით დედამიწის ჰაერის გარსი რამდენიმე ნაწილად იყოფა. ატმოსფეროს ქვედა ნაწილის – ტროფოსფეროს სიმაღლე, საშუალოდ, 10-12 კილომეტრია. ატმოსფეროში არსებული აირების 80% ტროფოსფეროზე მოდის. ამიტომ ის ყველაზე მკვირი ფენაა. სწორედ აქ მოყრილია ატმოსფეროს მთელი წყლის

ორთქლი, აქ წარმოიქმნება ღრუბლები, მოდის წვიმა და თოვლი, ადგილი აქვს ჭექა-ქუხილს, ყალიბდება ამინდი და სხვა. სიმაღლის მატებასთან ერთად ტროპოსფეროში ჰაერის ტემპერატურა კლებულობს.

ტროპოსფეროს ზევით სტრატოსფეროა (ლათინურად „სტრატუმ“-ფენა), რომლითაც დაახლოებით 40-50 კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. მასში თავმოყრილია ატმოსფერული აირების მხოლოდ 20%. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ოზონის შრე (20-25 კილომეტრზე), რომელიც შთანთქავს სიცოცხლისათვის ძალზე საშიშ ულტრაიისფერ სხივებს. ბოლო დროს შეინიშნება ოზონის შრის რღვევა, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ცოცხალ ორგანიზმებს. მათი წარმოქმნა ძირითადად დაკავშირებულია ატმოსფეროს ძლიერ გაჭუჭყიანებასთან. კიდევ უფრო ზევით გრძელდება მეზოსფერო.

ატმოსფეროს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისათვის. აირის ფენები დედამიწის ზედაპირზე არ უშვებს მეტეორიტებს, ოზონის ეკრანი იცავს გამოსხივებისაგან, ჟანგბადის გარეშე წარმოუდგენელია სუნთქვა და წვა. ნახშირორჟანგი სითბური ეკრანია, ის იკავებს დედამიწისგან გამოსხივებულ სითბოს და გამოიყენება მცენარეების მიერ ფოტოსინთეზისათვის. წყლის ორთქლი უზრუნველყოფს ნალექების წარმოშობას, მტვრის ნაწილაკები კი – წარმოადგენს წყლის ორთქლის კონდენსაციის უმცირეს ბირთვებს.

ატმოსფერული წნევა – ეს არის ჰიდროსტატიკური წნევა, რომელიც აწევა ყველა მის ქვეშ მყოფ სხეულს. ატმოსფერული წნევა იქმნება დედამიწის მიერ ჰაერის გრავიტაციული მიზიდულობით. მიზიდულობის საზომი ერთეული განისაზღვრება 101325 პა(პასკალი) ან ვერცხლისწყლის მილის 760 ერთეულით. ატმოსფეროს წნევა სიმაღლის მატებასთან ერთად მცირდება.

ჰიდროსფერო (მეზერმნ.- *Υδρα* - წყალი და *σφαίρα* - სფერო) – დედამიწის წყლის გარსი, რომელიც წყვეტილად არის განლა-

გებული ატმოსფეროსა და დედამიწის ქერქს შორის, წარმოადგენს ოკეანეების, ზღვებისა და ხმელეთის ზედაპირული წყლების ერთობლიობას. ფართო გაგებით, მოიცავს აგრეთვე მიწისქვეშა წყლებს, არქტიკისა და ანტარქტიკის ყინულსა და თოვლს, აგრეთვე ატმოსფეროში და ცოცხალ ორგანიზმებში მყოფ წყალს. ჰიდროსფეროს საშუალო ქიმიური შედგენილობა უახლოვდება ზღვის წყლის საშუალო ქიმიურ შედგენილობას. ჰიდროსფეროს წყალი მუდმივად ურთიერთქმედებს ატმოსფეროსთან, დედამიწის ქერქთან და ბიოსფეროსთან.

ჩვენი პლანეტის წყლის 98%-ზე მეტი ოკეანეებსა და ზღვებშია. ხმელეთის წყლებზე მოდის 2%-ზე ნაკლები. ჰიდროსფეროს დაახლოებით 2% მტკნარი წყალია. დანარჩენი წყალი მლაშეა. მტკნარი წყლების 2%-ს ჯერჯერობით კაცობრიობა იყენებს ყველა საჭიროებისათვის – მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობასა და ყოფაცხოვრებაში.

წყლის გარსს მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს დედამიწის ჰაეისათვის. ცნობილია, რომ წყალი ნელა თბება. იმისათვის რომ, ერთი კუბური მეტრი წყალი 1°-ით გათბეს, საჭიროა 3000-ჯერ მეტი სითბო, ვიდრე ამავე მოცულობის ჰაერის გასათბობად. ამავე დროს წყალი ნელა ცივდება. ამრიგად, ზაფხულის განმავლობაში გამთბარი ოკეანეებისა და ზღვების წყალი ზამთარში ათბობს ჩვენი პლანეტის ჰაერს.

ბიოსფერო (ძვ.ბერძნ. *βιοσφαιρα*; *βιος* - სიცოცხლე + *σφαιρα* - სფერო) - დედამიწის თხელი ფენა, სადაც არსებობს და ვითარდება სიცოცხლე. ტერმინი „ბიოსფერო“ პირველად გამოჩენილმა ფრანგმა ნატურალისტმა ჟან ბატისტ ლამარკმა გამოიყენა, ხოლო მწყობრი სწავლება ბიოსფეროს შესახებ მხოლოდ მე-20 საუკუნის დასაწყისში შეიქმნა. მისი ავტორია რუსი მეცნიერი ვლადიმერ ვერნადსკი. თანამედროვე ბიოსფერო მოიცავს ლითოსფეროს, ანუ დედამიწის ქერქს; ჰიდროსფეროს ანუ დედამიწის წყლიან გარსს და ატმოსფეროს ანუ პლანეტის აიროვან გარსს.

ბიოსფეროს ზედა საზღვარი ზღვის დონიდან დაახლოებით 6 კილომეტრს აღწევს. ამ სიმაღლეზე ჯერ კიდევ შეუძლიათ არსებობა ქლოროფილის შემცველ მცენარეებს. ბიოსფეროს ქვედა საზღვარი ვრცელდება 2-3 კმ სიღრმეზე ხმელეთის პირობებში და 1-2 კმ-ის სიღრმეზე ოკეანის ფსკერიდან.

ბიოსფეროს ერთ-ერთი დამახასიათებელი თავისებურებაა ნივთიერების წრებრუნვა მის ცოცხალ და არაცოცხალ ნაწილებს შორის. ამ პროცესს მნიშვნელოვანი ენერგია ესაჭიროება. ამ ენერგიის წყაროა მზე.

მზის ენერგია ნივთიერებათა ორ წრებრუნვას უზრუნველყოფს-დიდს, ანუ გეოლოგიურს და მცირეს, ანუ ბიოლოგიურს. დიდი წრებრუნვის მაგალითია წყლის მიმოქცევა, რომელიც გულისხმობს დედამიწის ზედაპირიდან წყლის აორთქლებას და მის დედამიწაზე დაბრუნებას ნალექის სახით. ოკეანიდან მეტი წყალი ორთქლდება, ვიდრე ბრუნდება. ხმელეთზე პირიქით, მეტი ნალექი გამოიყოფა, რომლის ნაწილი მდინარეებში, იქიდან კი ოკეანეებში ჩაედინება.

ცოცხალი ორგანიზმის გაჩენასთან ერთად დიდ ანუ გეოლოგიური წრებრუნვის წიაღში ჩაისახა მცირე, ანუ ბიოლოგიური წრებრუნვა. ბიოლოგიური წრებრუნვისათვის დამახასიათებელია ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნა და დაშლა ეს პროცესი ხორციელდება ქიმიური ელემენტების მიმოცვლით ცოცხალ ორგანიზმებს შორის.

ადამიანი ბიოსფეროს განვითარების გარკვეულ ეტაპზე წარმოიშვა და მას ნოოსფერო ანუ შეგნების სფერო ჰქვია.

§ 7.5. დედამიწის რელიეფი

დედამიწის ზედაპირზე გარეგანი და შინაგანი ძალების მოქმედების შედეგად წარმოშობილ ნაირგვაროვან ფორმებს რელიეფი ეწოდება. ხმელეთის რელიეფში სიმაღლეების მიხედვით გამოყოფენ ვაკეებს და მთებს.

ვაკე ეს არის სწორი, სუსტად ტალღოვანი ან მცირე ბორცვიანი ხმელეთის ვრცელი ზედაპირი. აქედან გამომდინარე განასხვავებენ ერთფეროვან სწორ ზედაპირიან, ტალღოვანსა და ბორცვიან ვაკეებს. სწორ ზედაპირიანი ვაკის ნიმუშია ამაზონის, დასავლეთ ციმბირის ან თუნდაც კოლხეთის ვაკე-დაბლობი. ბორცვიან ვაკეს მიეკუთვნება აღმოსავლეთ ევროპის ანუ რუსეთის ვაკე-დაბლობი, ხოლო ტალღოვანს-შუა აზიის, საჰარისა და არაბეთის უდაბნოები.

ხმელეთის ნაწილს, რომელის სიმაღლე ზღვის დონიდან არ აღემატება 200 მეტრს, დაბლობი ეწოდება. დაბლობების მეტი ნაწილი ეკუთვნის ვაკეებს, ნაწილი კი – ბორცვიანია.

იმ ვაკეებს, რომელთა მდებარეობა ზღვის დონიდან 200-500 მეტრს შორის მერყეობს, მაღლობი ეწოდება. დედამიწის ვაკე ზედაპირის იმ მონაკვეთს, რომელიც ოკეანის დონიდან 500 მ-ზე მაღლა მდებარეობს ზეგანი ეწოდება. მაგალითად, ტიბეტის, შუა ციმბირის, საქართველოში-ჯავახეთის, იორისა და სხვა ზეგნები. ვაკეებს მიეკუთვნება აგრეთვე პლატოები. ის შემადლებული ბრტყელი ან ტალღოვანი ვაკეა, რომელიც მდებარეობს თითქმის ერთ დონეზე და შედარებით დაბლა განლაგებული მიმდებარე ვაკე ტერიტორიებისაგან გამოყოფილია მკაფიოდ გამოხატული კალთებით ან საფეხურებით.

ვაკეების შემდეგ დედამიწის რელიეფის ფორმებიდან ფართოდაა გავრცელებული ბორცვები და მთები.

ბორცვები ეწოდება 200 მეტრამდე შეფარდებითი სიმაღლის მქონე მომრგვალებული ან ოვალური ფორმის ამაღლებას, რომელთაც ვაკეებსა და მთებს შორის გარდამავალი ტერიტორია უკავიათ.

მთები დედამიწის ზედაპირის ისეთი უბნებია, რომლებიც ცოტად თუ ბევრად იზოლირებულადაა აზიდული მიმდებარე ვაკეებზე და მნიშვნელოვანი სიმაღლითა და მკვეთრი დანაწევრებით ხასიათდება. მთის ფარგლებში მკვეთრად შეინიშნება მთის წვერი ან თხემი, მთის ძირი და მათ შორის მდებარე მთის კალთა. მთების ერთობლიობა კი –ქმნის საწინააღმდეგო მიმართულების მქონე ფერდობებით შემოზღუდულ, ხაზოვნად გადაჭიმულ რელიეფის მსხვილ დადებით ფორმას – ქედს.

რელიეფი განსაზღვრავს არა მარტო ჰავის, შიდა წყლების, ნიადაგებისა და ორგანული სამყაროს, არამედ მათი ერთობლიობით შექმნილი ამა თუ იმ ტერიტორიის ბუნებრივი კომპლექსის თავისებურებებს. ყველაფერ ამასთან კი განუყრელადაა დაკავშირებული ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა, მათ შორის სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგების განვითარება-განლაგება. რელიეფზეა დამოკიდებული გრძელვადიანი და ძვირადღირებული მშენებლობები, სასარგებლო წიაღისეულის ძებნა-ძიების სამუშაოები. რელიეფი ჰავასთან ერთად დიდ გავლენას ახდენს მდინარეების წყლიანობის რეჟიმზე, რაც აუცილებელია ჰიდრორესურსების რაციონალური გამოყენებისათვის – წყალსაცავებისა და ელექტროსადგურებისათვის ადგილის შერჩევისა და მშენებლობისათვის. რელიეფის ხასიათზე დამოკიდებულია ასევე სახმელეთო გზებისათვის ტრასების შერჩევა, საირიგაციო არხების დაპროექტება და სამშენებლო ინდუსტრიაში მათი ღირებულების გათვალისწინება. მაგალითად, რკინიგზების გაყვანისას, ტრასაზე მეწყერებისაგან დაცვისა და გზის სიგრძის შემოკლების მიზნით, მშენებლები იძულებულნი არიან ააგონ ძვირადღირებული გვირაბები და ხიდები. სეისმურ რაიონებში აუცილებელია ასევე სხვადასხვა სპეციალური კონსტრუქციების შენობების აგება, რომლებიც დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. ვინ დაასაბუთა პირველად და როდის მზისმიერი სამყაროს ჰელიოცენტრული კონცეფცია?
2. რა არის პარალელი და რას გვიჩვენებს ის?
3. რა არის მერიდიანი და რას გვიჩვენებს იგი?
4. რას ეწოდება გეოგრაფიული განედი?
5. რას ეწოდება გეოგრაფიული გრძედი?
6. რას ეწოდება გეოგრაფიული კოორდინატები?
7. რა არის ლითოსფერო?
8. რას ეწოდება რელიეფი?
9. ზღვის დონიდან რა სიმაღლეზე მდებარეობს დაბლობი?
10. როგორ ვაკვს ეწოდება მაღლობი?
11. რა არის ჰორიზონტი? ჰორიზონტის ხაზი?
12. რამდენი ძირითადი და შუათანა მხარე გააჩნია ჰორიზონტს შესაბამისად?
13. რომელი მარტივი ხელსაწყო საშუალებით ხდება ჰორიზონტის მხარეების გარკვევა დღისით, მზეზე?
14. რა არის გეოგრაფიული რუკა?
15. რა არის გეგმა და რა მასშტაბში გამოისახება მასზე საგნები და ობიექტები?

§ 8.1. ბიოსფეროს წარსული

ბიოსფერო ბერძნული წარმოშობის სიტყვაა და ნიშნავს „სიცოცხლის გარსს“. ის გულისხმობს და აერთიანებს ატმოსფეროს ქვედა ნაწილს, ჰიდროსფეროს მთლიანად და ლითოსფეროს ზედა ნაწილს, რომელიც დასახლებულია ცოცხალი ორგანიზმებით.

ბიოსფერო წარმოიშვა დედამიწაზე ცოცხალი ორგანიზმების წარმოშობისთანავე, დაახლოებით 3,5-3,8 მილიარდი წლის უკან. მისი წარმოშობის საკითხი ჯერ კიდევ არ არის სრულად შესწავლილი. დღეისათვის ცნობილია მრავალი ჰიპოთეზა, რომლებიც პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად – სიცოცხლის კოსმოსურ და მიწიერ წარმოშობის ჰიპოთეზებად. პირველს მიეკუთვნება მოსაზრებები, რომელთა მიხედვითაც ცოცხალი ორგანიზმი დედამიწაზე შემოვიდა კოსმოსიდან, ხოლო მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ჰიპოთეზები იმის შესახებ, რომ სიცოცხლე წარმოიშვა უშუალოდ დედამიწაზე.

სიცოცხლის წარმოშობის კოსმოსური ჰიპოთეზები გაბატონებული იყო XIX საუკუნეში და მას მხარს უჭერდნენ ისეთი ცნობილი მეცნიერები, როგორებიც იყვნენ კელვინი და ჰელმპოლცი. ისინი თვლიდნენ, რომ ცოცხალი ორგანიზმები დედამიწაზე შემოიტანა მეტეორიტებმა. რა თქმა უნდა ამ ჰიპოთეზას ობიექტური საფუძვლები არ გააჩნდა და ის მივიწყებულ იქნა, თუმცა დღესაც, ცივილიზაციის თანამედროვე ჰიპობებში ამ მიმართულებით ახლებურად დაისვა საკითხი. კერძოდ, ხომ არ შეიძლება ცოცხალი ორგანიზმები შემოსულყვნენ დედამიწაზე სხვა ცივილიზაციის კოსმოსური ხომალდების საშუალებით?

კოსმოსური სიცოცხლის ძიება ინტენსიურად მიმდინარეობს დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრის გაშვების დღიდან. ამის პარალელურად ტარდება აგრეთვე რადიო

ინფორმაციის მიღების ცდები არამიწიერი ცივილიზაციებიდან. ამ მიზნით გამოყენებული ცდების არსებული ისტორია იმდენად ხანმოკლეა, რომ თვითონ ეს დროც არ არის საკმარისი რადიოტალღური სიგნალების გასაცვლელად დედამიწასა და ჩვენი გალაქტიკის სხვა პლანეტებს შორის. ამიტომაც აკადემიკოსი მ.ბუდიკო აღნიშნავს, რომ „ძნელია ითქვას ამომწურავი პასუხი ამ საკითხის შესახებ, რადგანაც ჩვენ არ გავაჩნია დედამიწაზე ციური სხეულებიდან სიცოცხლის შემოტანის რაიმე კონკრეტული ფაქტი, თუმცა არც მისი საწინააღმდეგო ფაქტი გვაქვს“.

ჰიპოთეზების მეორე ჯგუფის თანახმად სიცოცხლის წარმოშობა დედამიწაზე დაკავშირებულია არაცოცხალი ნივთიერებების გარდაქმნასთან ცოცხალში. ამ აზრს იზიარებდნენ XIX საუკუნის გამოჩენილი მეცნიერები ლამარკი, დარვინი და სხვები. ამ ჰიპოთეზის დეტალური დამუშავება მოგვცა აკადემიკოსმა ა.ოპარინმა. მან დაუშვა დედამიწაზე ისეთი პირველადი ორგანიზმების არსებობა, რომელთათვისაც ნივთიერებათა ცვლა მიმდინარეობდა ჟანგბადის მონაწილეობის გარეშე. მათ ეწოდათ ანაირობული ბაქტერიები. ა.ოპარინის მიერ მოყვანილი მოსაზრებები თანამედროვე პერიოდში უკვე დამტკიცდა ექსპერიმენტულადაც.

ვარაუდობენ, რომ უძველეს ბიოსფეროს ეკავა განსაზღვრული ადგილი დედამიწაზე და შედგებოდა ე.წ. „სიცოცხლის კუნძულების“ ჯგუფისაგან, სადაც პრიმიტიული ორგანიზმები პოულობდნენ თავისი არსებობისათვის კეთილსასურველ პირობებს. ამ კუნძულებისათვის გავრცელების ადგილები დღემდე უცნობია. გეოქრონოლოგიური სკალის თანახმად სიცოცხლის წარმოშობა დედამიწაზე თარიღდება 3,8 მილიარდი წლის წინ. უძველეს ცოცხალ არსებათა რიცხვს მიეკუთვნებოდნენ ბაქტერიები და წყალმცენარეები.

კამბრიულ პერიოდამდე წარმოიშვა სხვადასხვა სახის მცენარეები და ფრინველები, მათ შორის მრავალუჯრედიანი ფორმები. ვარაუდობენ, რომ კემბრიულამდელი პერიოდის ცოც-

ხალი ორგანიზმები ცხოვრობდნენ მხოლოდ ჰიდროსფეროში. კემბრიულ პერიოდში, დაახლოებით 570 მილიონი წლის უკან მოხდა ცოცხალი ბუნების რადიკალური ცვლილება. ამ დროს წარმოიშვა პირველი ხერხემლიანი ცხოველი. ამის შემდეგ პალეოზოური ერის პირველ ნახევარში ფაუნა და ფლორა თანდათანობით ივსებოდა სხვადასხვა სახის ახალი ფორმებით. ამასთან ერთად იწყება ამ ფორმების გავრცელება ხმელეთზე და ჰაერში. კერძოდ, ამ დროს გაჩნდნენ სხვადასხვა სახის ქვეწარმავლები და გიგანტური მწერები. ამ ერის მეორე ნახევარში უკვე დიდი ფართობები ეკავა მაღალი ხეებისაგან შემდგარ ტყეებს. იზრდე-მოდა ხეგვიმრები, შვიტები და ლიკოპოდიუმები.

მეზოზოური ერის დასაწყისი (230 მლნ წლის უკან) ხასიათდება შედარებით ღარიბი მცენარეული საფარით და ცხოველთა სამყაროთი. ამის მიზეზი იყო კლიმატური პირობების მკვეთრი ცვლილება. კერძოდ, პალეოზოური ერის დასასრულს მოხდა გამყინვარება. ამის გამო ამოწყდა ცხოველთა მრავალი სახეობა და განადგურდა მცენარეული საფარი. მეზოზოური ერის განმავლობაში მოხდა ფრინველების და ძუძუმწოვრების გაჩენა. ზღვებში ბინადრობდნენ დიდი მტაცებლები – იქტიოზავრები. ხმელეთზე ბინადრობდნენ უდიდესი დინოზავრები, ხოლო ჰაერში დაფრინავდნენ დიდკბილა ხვლიკები.

მეზოზოურიდან კაინოზოურში გარდამავალი პერიოდი(70-80 მლნ წლის უკან) კრიტიკული აღმოჩნდა. ამ დროს შეესაბამება ცოცხალი ორგანიზმების, მათ შორის დინოზავრების მასობრივი ამოწყვეტა. აღნიშნული მოვლენა უკავშირდება ბუნებრივი პირობების მკვეთრ ცვლებადობას. კერძოდ, ტემპერატურის დაწევას და ჰაერში ჟანგბადის რაოდენობის შემცირებას. მიუხედავად ამისა, აკადემიკოს მ.ბუდიკოს აზრით, მსგავს პირობებს არ შეეძლო გამოეწვია ცოცხალი ორგანიზმების მასობრივი ამოწყვეტა, რადგანაც ეს პროცესები მიმდინარეობდა მილიონი წლების მანძილზე და მას თანდათან უნდა შეგუებოდნენ ცოცხალი ორგანიზმები.

ამიტომ ამ მოვლენებს უკავშირებენ ე.წ. ვულკანურ და მეტეორიტულ ჰიპოთეზებს, რომელთა თანახმადაც რომელიმე მძიმე ასტეროიდის დაცემა დედამიწაზე გამოიწვევს მისი ქერქის დაზიანებას მნიშვნელოვან სივრცეზე, რის შედეგადაც მოსალოდნელია ვულკანური მოვლენების გააქტიურება. ეს უკანასკნელი კი გამოიწვევს დედამიწის ტემპერატურის მკვეთრ დაცემას. ასეთი აზრი გამოთქმული იყო 1981 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში და 1983 წელს დასავლეთ ბერლინში ჩატარებულ სპეციალურ სამეცნიერო თათბირებზე.

მესამეული პერიოდის დასაწყისში მომრავლდა ძუძუმწოვრები და ფრინველები, გამოჩნდნენ დათვების, ანტილოპების, ირმების პირველი სახეობები, ამავე დროს წარმოიშვა ადამიანის მსგავსი მაიმუნი.

თვით ადამიანს და მის წინაპარს მიაკუთვნებენ ჰომინიდთა ოჯახს. სხვადასხვა ქვეყნებში აღმოჩენილია ჰომინიდთა ოჯახის ნაშთები, რომლებიც ცნობილია ავსტრალოპიტეხის სახელით. ისინი ითვლებიან ადამიანის უშუალო წინაპრებად, მათი ასაკი დაახლოებით 5 მილიონი წელია.

ევოლუციის შემდგომ ეტაპზე მოხდა ავსტრალოპიტეხების დაყოფა მასიურ ავსტრალოპიტეხებად, რომლებიც შემდგომში მთლიანად ამოწყდნენ და ჰომონიდეებად, კერძოდ ჰომო გაბილის და ჰომო ერექტუს სახით. პირველი შრომის იარაღების პოვნა უკავშირდება სწორედ ჰომო გაბილისს და დაახლოებით 2-2,2 მლნ წლის ასაკისა. ევოლუციის შემდგომ ეტაპზე ჩამოყალიბდა თანამედროვე ადამიანი (ჰომო საპიენს). ეს მოხდა 40 ათასი წლის წინ. სწორედ აქედან იწყება ადამიანის აქტიური ზემოქმედება ბიოსფეროზე.

ადამიანის სამეურნეო საქმიანობამ, განსაკუთრებით გასულ საუკუნეში, მნიშვნელოვნად იმოქმედა ბიოსფეროზე – გაანადგურა ცოცხალი ორგანიზმების მრავალი სახეობა, გაიზარდა ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია, შეიცვალა ჰავა.

§ 8.2. გეოგრაფიული გარსის მთლიანობის კანონი

გეოგრაფიულ სივრცეს ყოფენ ოთხ ნაწილად:

1) ახლო კოსმოსი – მისი ქვედა საზღვარი დედამიწის ზედაპირიდან 1500-2000 კმ-ზე მდებარეობს. აქ აღინიშნება კოსმოსური ფაქტორების, დედამიწის მაგნიტური და გრავიტაციული ველების ურთიერთქმედება.

2) მაღალი ატმოსფერო – ქვემოდან შემოსაზღვრულია სტრატოპაუზით, ზემოდან ახლო კოსმოსით. აქ ხდება კოსმოსური სხივების შეკავება და გარდაქმნა. ამ ფენაში ფიქსირდება ოზონის ფენა, რომელიც გვიცავს მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების დამლუპველი დოზებისაგან.

3) ლანდშაფტური გარსი, იგი მოიცავს სივრცეს სტრატოპაუზიდან ლითოსფეროს ზედაფენის ჩათვლით.

4) ქვეფენილი ქერქი, რომელსაც უკავია მიწის ქერქის მომდევნო ფენები.

როგორც ამ დაყოფიდან ჩანს, გეოგრაფიული გარსი წარმოადგენს გარსს, რომელშიც ერთმანეთს ეხება, ერთმანეთში აღწევს და ურთიერთქმედებს ლითოსფეროს ზედა ნაწილი, ატმოსფეროს ქვედა ნაწილი და ჰიდროსფერო.

გეოგრაფიული გარსის ყოველი კომპონენტი ანუ შემადგენელი ნაწილი – რელიეფი, ნიადაგი, წყლები და ორგანული სამყარო არსებობს და ვითარდება საკუთარი კანონების მიხედვით და ამ განვითარების პროცესში თითოეული მათგანი განიცდის დანარჩენი კომპონენტების გავლენას. ამრიგად, გეოგრაფიული გარსის არც ერთი კომპონენტი არ არსებობს და არ ვითარდება იზოლირებულად, არამედ ისინი ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირში იმყოფებიან. ყველა კომპონენტების ურთიერთქმედება აერთიანებთ მათ ერთიან მატერიალურ სისტემად, რომელი სისტემის ყველა ნაწილი ერთიმეორეზეა დამოკიდებული და გავლენას ახდენს ერთმანეთზე. ამ სისტემას სპეციალისტები გეოკომპლექსს უწოდებენ.

სისტემის ერთიანობა იმდენად დიდია, რომ თუ გეოკომპლექსში ან ლანდშაფტურ გარსში რომელიმე კომპონენტი შეიცვალა, მაშინ მასთან ერთად ყველა დანარჩენებიც დაიწყებენ შეცვლას. სწორედ ამაში მდგომარეობს გეოგრაფიული გარსის მთლიანობის კანონი.

განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი: გამყინვარების პერიოდი, როდესაც იქმნება უზარმაზარი მყინვარული საფარები, უმთავრესად მსოფლიო ოკეანედან აორთქლებული ტენის ხარჯზე, ბუნებრივია რომ ხდება მსოფლიო ოკეანის დონის დაწვევა. ეს კი თავის მხრივ გავლენას ახდენს მთელ დედამიწაზე, როგორც პირდაპირ ისე ირიბად. პირდაპირი გავლენა მდგომარეობს მნიშვნელოვანი უბნების ამოშრობაში რის შედეგადაც ზედაპირზე ამოდის კონტინენტური თავთხელის გარკვეული ნაწილი. იზრდება მატერიკების ფართობი, არქიპელაგები გარდაიქმნებიან კუნძულებად, ერთიანდებიან კუნძულები, მატერიკები და ა.შ. ამან შესაძლოა გამოიწვიოს ცხოველთა და მცენარეთა მიგრაცია.

ოკეანის დონის დაწვევის არაპირდაპირი ანუ ირიბი გავლენა იმაში მდგომარეობს, რომ ეს პროცესი იწვევს ამ ოკეანეებში ჩამდინარე მდინარეების სიღრმითი ეროზიის გაძლიერებას. კერძოდ, ხეობების გაღრმავებას და საერთოდ ხმელეთის რელიეფის ინტენსიურ დანაწევრებას.

თბილ, ანუ გამყინვარებათა შორის ეპოქაში, მყინვარები უკან იხევენ და ნადნობი წყალი ბრუნდება ოკეანეებში. ამის შედეგად ხდება მისი დონის აწევა, რაც თავის მხრივ იწვევს კონტინენტებისა და კუნძულების დანაწევრებას, მდინარეთა ეროზიის ზახისიის აწევას ზევით და გარკვეულ წილად იზღუდება ხმელეთის ფლორისა და ფაუნის მიგრაცია. ამრიგად, როგორც დავინახეთ გეოგრაფიული გარსი წარმოადგენს საოცრად აგებულ მექანიზმს, სადაც ერთ ცვლილებას აუცილებლად მოჰყვება მეორე ანუ წარმოიშვება „ჯაჭვური რეაქცია“. გეოგრაფიული გარსის მთლიანობის კანონიდან გამომდინარე აუცილებელია ამა თუ იმ ტერიტორიაზე

რაიმე სამეურნეო ზემოქმედების დაწყებამდე წინასწარ და დეტალურად შევისწავლოთ მოცემული ტერიტორიის გეოგრაფიული სტრუქტურა და მისი შესაძლო შედეგები. მაგალითად, ვიდრე დავიწყებდეთ წყალსაცავის მშენებლობას, საჭიროა გავითვალისწინოთ მისი აშენების და ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ შესაძლო ცვლილებები. კერძოდ, წარმოქმნილი დატბორილი ფართობის მასშტაბები, გრუნტის წყლების წყალსაცავით შეგულების შედეგები, ჰავის შესაძლო გარდაქმნები და სხვა.

ლიტერატურული წყაროებიდან ცნობილია, რომ წყალსაცავის გავლენა მიმდებარე ტერიტორიის ჰავაზე შესაძლებელია გამოვლინდეს:

1) უყინვო პერიოდების ხანგრძლივობის ერთიდან სამ კვირამდე გაზრდაში.

2) ტემპერატურის ზრდაში საშუალოდ $0,5 - 2,5^{\circ}\text{C}$ -ით.

3) აბსოლუტური სინოტივის გაზრდაში დაახლოებით 1-9 მმ-ით.

4) ქარის სიჩქარის გაზრდაში 30% -ით და ზოგჯერ მეტით.

5) სხვადასხვა ეფექტებში, რომლებიც ვრცელდებიან $0,5$ -დან $5-7$ კმ-მდე და მეტზე.

ჯვარში ადგილობრივი კლიმატური ცვლილებები ემთხვევა ჯვრის წყალსაცავის ექსპლუატაციის დასაწყისს 1982 წელს. წყალსაცავების გამათბობელი ეფექტი აღინიშნება სექტემბერ-ოქტომბერში და არ აღემატება საშუალო თვიური ტემპერატურის $0,5^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო გამაცივებელი ეფექტი აღინიშნება აპრილ-მაისში და შეადგენს $0,5-0,7^{\circ}\text{C}$ -ს.

სიონის წყალსაცავთან გამაცივებელი ეფექტი ვლინდება წყალსაცავის შექმნიდან (1963 წ.) ცოტა მოგვიანებით 1966 წელს. აღსანიშნავია, რომ ჯვრის წყალსაცავთან შედარებით ეს ეფექტი უმნიშვნელოა და $0,2^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს, ხოლო გამათბობელი ეფექტი აღინიშნება ნოემბერ-დეკემბერში, დაწყებული 1962 წლიდან, ე.ი. წყალსაცავის ექსპლუატაციამდე ერთი წლით ადრე. ეს შესაძლებელია გამოწვეული იყოს ტყეების გაჩეხვით და კიდევ სხვა საშუა-

ნებლი სამუშაოების ჩატარების გამო. აღსანიშნავია, რომ ეს გავლენა გამაცივებელზე უფრო უმნიშვნელოა 0,1-0,3°C. ყოველივე ზემოთ თქმულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ბუნების შეგნებულად გარდაქმნა დაუშვებელია, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ გეოგრაფიული გარსის მთლიანობის კანონს, არამედ მსგავსი პრობლემების გადაწყვეტას ყოველთვის წინ უნდა უძღოდეს დასაბუთებული ეკოლოგიური ექსპერტიზების ჩატარება.

§ 8.3. ბიოსფეროს მომავალი

ბევრ მკვლევარს დღემდე ვერ გაუცია პასუხი კითხვაზე თუ რა მოელის ბიოსფეროს მომავალში. ბიოსფეროს მომავალი დამოკიდებულია შემადგენელი გარსების განვითარებაზე, განსაკუთრებით კი ატმოსფეროს ევოლუციაზე და ადამიანების სამეურნეო საქმიანობაზე. ჩვენ ვნახეთ, რომ ატმოსფეროს ევოლუცია ადამიანების სამეურნეო საქმიანობების მიზეზით უარყოფითი მიმართულებით ხდება, რაც გამოიხატება ინტენსიური ტემპებით ჰაერის გათბობაში. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ არსებული ტენდენციების შენარჩუნებით მოსალოდნელია მივიღეთ ისეთ კლიმატურ პირობებთან, როგორც არსებობდა მესამეული პერიოდის მეორე ნახევარში. აკადემიკოს ბუდიკოს თანახმად ასეთ კლიმატურ პირობებს შესაძლებელია მივუახლოვდეთ ამ საუკუნის 50-იანი წლებისათვის. ამრიგად, მიმდინარე პროცესი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ბიოსფეროს კლიმატის ბუნებრივი პირობების აღდგენა. თუ პროცესი წარმართებოდა ნელი ტემპებით, მაშინ შეგვიძლო გვეფიქრა, რომ ის კეთილსასურველ გავლენას მოახდენდა კაცობრიობაზე. მაგრამ პროცესის დიდი სიჩქარე ქმნის მთელ რიგ სირთულეებს, რომლებიც ძალზე ძნელი გადასაჭრელია. დათბობის პროცესი დადებით გავლენას მოახდენს სასოფლო სამეურნეო პროდუქტების მოსავლიანობაზე. სამაგიეროდ

შემცირდება ნალექების საერთო რაოდენობა და შემცირდება მდინარეთა ჩამონადენი. ამრიგად, მოხდება არქტიკული ყინულის გადნობა და ამის შესაბამისად მოიმატებს მტკნარი წყლის მარაგი. ამავე დროს მყინვარული საფარის გადნობა გამოიწვევს მსოფლიო ოკეანის დონის დაახლოებით 90მ-ით აწევას, რის შედეგადაც წყლით დაიფარება ხმელეთის მნიშვნელოვანი ნაწილი, სადაც განლაგებულია მსოფლიოს უდიდესი ქალაქები. ჰავის ასეთ მკვეთრ ცვლილებასთან დაკავშირებით დგება ბიოსფეროს შენარჩუნების უმთავრესი პრობლემა. კერძოდ, ცხოველთა და მცენარეთა მრავალი სახეობის შენარჩუნება, ბიოსფეროს უფრო შორეული მომავალი დაკავშირებულია უამრავ სხავდასხვა ფაქტორებთან.

დღეისათვის სხვადასხვა მეთოდებით საკმაო სიზუსტით არის შესაძლებელი მზესთან დაკავშირებით დედამიწის ზედაპირის მდგომარეობის გამოთვლა შორეულ მომავალში. ასეთი გამოთვლების თანახმად დახლოებით 5000 წლის შემდეგ ზომიერ განედებში მოსალოდნელია რადიაციის მნიშვნელოვანი შემცირება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ახალი მყინვარული ეპოქის დადგომა, მსხვილი კონტინენტური მყინვარის განვითარება.

ვარაუდობენ, რომ დღეისათვის არსებული ტენდენციების შენარჩუნებით მზის რადიაციის შემცირება და გამყინვარების ეპოქის დადგომა შესაძლოა ასეული ათასი წლების შემდეგ. ასეთ პირობებში ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის შემცირებასთან ერთად შემცირდება ატმოსფეროში ნახშიროჟანგის რაოდენობაც და გამოთვლების თანახმად ნახშიროჟანგის კონცენტრაციის შემცირებას იმ დონემდე, როდესაც შესაძლებელია პლანეტის სრული გამყინვარება, დასჭირდება რამდენიმე მილიონი წელი. ცხადია, რომ სრული გამყინვარება დედამიწაზე გამოიწვევს ბიოლოგიური განვითარების შეწყვეტას. ბიოსფერო უკვე იყო ახლო დალუქვასთან ბოლო გამყინვარების ეპოქაში, მაგრამ გამყინვარებამ არ მიაღწია იმ კრიტიკულ განედებს, რის შემდეგაც ყინული ვრცელდება ეკვატორის მიმართულებით. დედამიწის კლიმატის მოდელირებამ აჩვენა,

რომ ასეთი გამყინვარება შესაძლოა დაირღვეს დედამიწის საშუალო ტემპერატურის რამდენიმე გრადუსით აწევსას, რაც ალბათ შესაძლებელია ვულკანური მოქმედების გააქტიურების შედეგად.

აკადემიკოსი მ.ბუდიკო ვარაუდობს, რომ დედამიწის სრული გამყინვარება შეიძლება დაირღვეს მზის გამოსხივების გაზრდის შედეგად, რასაც დასჭირდება რამდენიმე მილიარდი წელი. ამასთან, ჰაერის ტემპერატურა დედამიწაზე გაიზრდება 80°C-მდე. ტემპერატურის შემდგომმა გაზრდამ შეიძლება გამოიწვიოს მსოფლიო ოკეანის ამოშრობა და ყოველივე ამის შემდეგ ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა და დედამიწის ჰავა აღმოჩნდება პლანეტა ვენერასთან არსებულ პირობებთან ახლო.

პეტერბურგის ჰიდროლოგიურ ინსტიტუტში ჩატარებული გამოთვლების თანახმად, ბიოსფეროს შედარებით შორეულ მომავალში მზის გამოსხივება შესაძლებელია შეწყდეს და დედამიწის ტემპერატურა დაეცემა აბსოლუტურ ნულამდე. ბიოსფეროს არსებობის დროის გახანგრძლივების საკითხებზე მუშაობდნენ სხვადასხვა მეცნიერები. ისინი მივიდნენ დასკვნამდე, რომ ბიოსფეროს გახანგრძლივების ერთ-ერთი საშუალება არის ნოსოფეროს, ანუ გონების სფეროს შექმნა.

ნოსოფეროს შექმნა გულისხმობს ადამიანის მიერ გარემომცველი ბუნების საფუძვლიან გარდაქმნას, რასაც უდავოდ დასჭირდება კოლოსალური ენერჯია. ეს იდეა, ნოსოფეროს შესახებ, დაკავშირებულია გლობალური მასშტაბით კლიმატის რეგულირებასთან, კაცობრიობის ინტერესების შესაბამისად. ამის განხორციელება მცირე მასშტაბით შესაძლებელია თანამედროვე ტექნიკის პირობებით. მაგალითად, ცნობილია, რომ სტრატოსფეროში თვითმფრინავებმა და გოგირდის დაწვამ უნდა შეამციროს ატმოსფეროს გამჭვირვალობა და ტემპერატურა დედამიწაზე. აგრეთვე, სტრატოსფეროში სხვადასხვა აირების გავრცელებით, რომლებიც შთანთქავენ გრძელტალღიან რადიაციას, შეიძლება მივაღწიოთ ტემპერატურის გაზრდას.

დედამიწის ზედაპირზე ამჟამად მიმდინარე ნახშიროჟანგის კონცენტრაციის ხშირი ზრდა ატმოსფეროში გამორიცხავს მყინვარული ეპოქების განვითარებას, რომლებსაც არაერთხელ მიაყენეს ზიანი. ბიოსფეროს ასევე დიდი ენერჯის გამოყენებით შესაძლებელია ასტეროიდების ორბიტის შექმნა, რაც გამორიცხავს დედამიწაზე ცოცხალი ორგანიზმების მასობრივ ამოწყვეტას. დღეისათვის კაცობრიობის პირველხარისხოვანი ამოცანაა თერმობირთვული ომის შეჩერება. დედამიწაზე დაგროვილი თერმობირთვული იარაღის საერთო ენერჯია მილიონჯერ აღემატება ხიროსიმაში აფეთქებული ატომური ბომბის აფეთქებას.

გამოთვლების თანახმად, ასეთი ენერჯის მოქმედება შეუძლია გამოიწვიოს ბიოსფეროს დაღუპვა. ეს აფეთქება შეიძლება შევადაროთ დედამიწაზე დაცემული დიდი ასტეროიდის შედეგს. ამიტომ ცხადია, რომ ბიოსფეროს შენარჩუნებისთვის საჭიროა მშვიდობის შენარჩუნება.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რა არის ბიოსფერო?
2. როგორია ბიოსფეროს სტრუქტურა?
3. დაასახელეთ ბიოსფეროს შემადგენელი ნივთიერებები.
4. დაასახელეთ ცოცხალი ნივთიერების კონცენტრაციის ფორმები ბიოსფეროში.
5. რაში მდგომარეობს ბიოსფეროს კოსმიური როლი?
6. რას ეწოდება ბიოგეოცენოზი?
7. დაასახელეთ ბიოგეოცენოზის ჯგუფები, რომელიც გაერთიანებულია ტროფიკული კავშირებით.
8. რა არის კოევილუცია?

§ 9.1. მცენარეთა სამყარო

ცოცხალი ნივთიერება, ისევე როგორც სამყაროს მთელი მატერია შედგება ატომებისა და მოლეკულებისაგან, რომელთათვისაც უკვე ცნობილია ქცევის გარკვეული კანონები, მათ შორს კვანტურ-მოლეკულურ დონეზე. ცოცხალის მეცნიერული შემეცნებისას ყოვლად შესაძლებელია ფიზიკური წარმოდგენებისა და მოდელეზის გამოყენება ბუნების განვითარების გამოკვლევისა და პროცესების კანონზომიერებისას, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმშია.

ბიოლოგია არის მეცნიერება სიცოცხლეზე და ცოცხალ ბუნებაზე. ის, დღესდღეობით, წარმოადგენს ყველაზე მეტად დინამიურად განვითარებად მეცნიერებას. სიცოცხლის შესწავლა იწყება ორგანიზმის შემადგენელი მოლეკულებისა და უჯრედების დონიდან და ვრცელდება მთელ პლანეტაზე სიცოცხლის შესწავლის დონემდე. სიცოცხლე ვერ იარსებებს სიცარიელეში. ყოველი ორგანიზმი მუდმივად ურთირთქმედებს გარემოსთან, რომელშიც ის არსებობს. იმავე გარემოში ბინადრობენ სხვა ცოცხალი ორგანიზმებიც და არსებობენ არაცოცხალი ფაქტორებიც. მაგალითად, მცენარის ფესვები იწოვს ნიადაგიდან წყალს და მინერალურ ნაერთებს; ფოთლები შთანთქავენ ნახშირორჟანგს ჰაერიდან; ფოთლებში არსებული ქლოროფილის მოლეკულები ითვისებს მზის ენერგიას; მზის ენერგიის მეშვეობით ხორციელდება ფოტოსინთეზი; ფოტოსინთეზის დროს წყალი და ნახშირორჟანგი გარდაიქმნება შაქრად და ჟანგბადად. მცენარის ფოთლები ჰაერში გამოყოფს ჟანგბადს, ფესვები კი შლის ქანებს და გარდაქმნის მათ ნიადაგად. ორივე – მცენარე და გარემო მუდმივ ურთირთქმედებაშია ერთმანეთთან. ამავე დროს მცენარე კავშირშია სხვა ცოცხალ ორგანიზმებთან. მაგალითად, მის ფესვებთან მობინადრე

ნიადაგის მიკროორგანიზმებთან და იმ ცხოველებთან, რომლებიც მისი ფოთლებითა და ნაყოფით იკვებებიან.

უჯრედს ისეთივე არსებითი მნიშვნელობა აქვს ბიოლოგიისათვის, როგორც ატომს – ქიმიისათვის. ბიოლოგიური ორგანიზაციის იერარქიაში უჯრედი არის ნივითიერებათა ყველაზე უმარტივესი კოლექცია, რომელსაც სიცოცხლე შეუძლია. მართლაც, არსებობს სიცოცხლის მრავალნაირი ფორმა, რომელიც წარმოდგენილია ერთუჯრედიანი ორგანიზმების სახით. უფრო რთული აგებულების ორგანიზმები, მცენარეებისა და ცხოველების ჩათვლით, მრავალუჯრედიანები არიან. მათი სხეულები წარმოადგენენ მრავალნაირი სპეციფიკური სახის უჯრედების ერთობლიობებს და ეს უჯრედები ცოცხლობენ სწორედ იმდენივე ხანი, რამდენსაც თვით ორგანიზმი. მაგრამ, მაშინაც კი, როცა ორგანიზაციის უფრო მაღალ საფეხურზე მოწესრიგებულად არიან განლაგებული, მაგალითად, ქსოვილებისა და ორგანოების სახით, უჯრედები შეიძლება განხილულ იქნას ორგანიზმის სტრუქტურისა და ფუნქციის ძირითად ერთეულად. ყველაფერი, რასაც ორგანიზმი აკეთებს, ძირითადად, უჯრედულ დონეზე მიმდინარეობს. უჯრედი არის მიკროკოსმი (მინიატურული გამოსახულება). უჯრედულ დონეზე სიცოცხლე წარმოიშობა სტრუქტურული მოწესრიგებულობიდან, რომელიც განამტკიცებს განვითარებადი თვისებებისა და ასევე, სტრუქტურისა და ფუნქციის შესაბამისობის თემებს. მაგალითად, ცხოველური უჯრედის მოძრაობა დამოკიდებულია იმ სტრუქტურათა რთულ ურთიერთქმედებაზე, რომლებიც უჯრედულ ჩონჩხს წარმოქმნიან. უჯრედები გრძნობენ და პასუხობენ (რეაგირებენ) გარემოს. ყველა უჯრედი საერთო წინაპარი უჯრედებიდან წარმოშობის გამო, ნათესაურ კავშირშია ერთმანეთთან. მაგრამ დედამიწაზე არსებული სიცოცხლის ხანგრძლივი ევოლუციური ისტორიის განმავლობაში ისინი მრავალი განსხვავებული მიმართულებით შეიცვალნენ. მიუხედავად იმისა, რომ უჯრედები შეიძლება

არსებითად განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან, მათ მინც აქვთ გარკვეული საერთო თვისებები.

დედამიწაზე სიცოცხლე მცენარეების გარეშე წარმოუდგენელია. ისინი ჟანგბადით ამდიდრებენ ჰაერს. ყოვლდღიურად საკვებად მცენარეულ პროდუქტს ვიყენებთ.

მცენარე ორგანოებისაგან შედგება. ეს ორგანოებია: ფესვი, ღერო, ფოთოლი. თითოეულ მათგანს თავისი დანიშნულება აქვს:

1. მცენარეს სიცოცხლისა და ზრდისთვის წყალი და მარილები სჭირდება. ისინი ნიადაგში მოიპოვება. მცენარის ფესვები ნიადაგში იზრდება და წყალსა და მარილებს შეიწოვს. ეს პროცესი ფესვის ბუსუსების დახმარებით ხდება. ფესვის ბოლოები უწვრილესი ფესვის ბუსუსებითაა დაფარული. რაც მეტი ბუსუსია ფესვზე, მით მეტ წყალს შეიწოვს ის ნიადაგიდან. მცენარეს ფესვები მხოლოდ წყლისა და მარილების შესაწოვად არ სჭირდება. ფესვები მცენარეს ნიადაგში ამაგრებს ასე რომ, მცენარის ნიადაგიდან ამოღება არც თუ ისე ადვილია.

2. მცენარეთა სამ ჯგუფს გამოყოფენ: ხე, ბუჩქი და ბალახი. ისინი ერთმანეთისგან ღეროს აგებულებითა და თვისებებით განსხვავდებიან. ხეს ერთი მსხვილი მთავარი ღერო აქვს. მასზე გარკვეული სიმაღლიდან მრავალი ნაკლებად მსხვილი ღერო იტოტება. ხის ყველა ტოტის ერთობლიობას ვარჯი ეწოდება. ბუჩქი ნიადაგიდან იწყებს დატოტვას, ამიტომ მას მთავარი ღერო გამოსახული არა აქვს. ხისა და ბუჩქის ღეროები ხშირად უხეშია, გამერქნებული. ბალახოვან მცენარეებს მწვანე და წვნიანი ღეროები აქვს. ეს მცენარეები უმეტესად ხეებსა და ბუჩქებზე დაბალი იზრდება. ბანანი ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი ბალახოვანი მცენარეა. მისი სქელი და წვნიანი ღერო შვიდ მეტრამდე იზრდება. ღერო მრავალი მცენარისთვის ერთადერთი საყრდენია. მაგალითად, ხის ღერო სწორად იზრდება და მცენარის მთელი სიმძიმე მას აწევს. ზოგიერთი მცენარის ღერო სუსტია. ასეთი ღერო სიმაღლეში ზრდას ვერ შეძლებს, რადგან ფოთლებისა და ნაყოფის სიმძიმეს

ვერ გაუძლებს. ამიტომ, იგი რაიმე საყრდენს ემაგრება ან მიწაზე გართხმული აგრძელებს ზრდას. ღერო მცენარის ყველა ორგანოს ერთმანეთთან აკავშირებს. ნიადაგიდან მიღებული წყალი და მარილები ფესვების გამტარი მილებიდან ღეროს გამტარ მილებში გადადის. ღეროს მილები გრძელდება ფოთლებში, ნაყოფში და მათი საშუალებით წყალი ფესვებიდან მცენარის ყველა ორგანოში აღწევს. ღერო მცენარეს ფოთლებში წარმოქმნილი საკვების გადატანშიც ეხმარება. საკვები ღეროში არსებული სხვა მილების დახმარებით ფოთლიდან მთელ მცენარეს გადაეცემა. გამოდის, რომ ღერო გამტარ ფუნქციას ასრულებს. მასში არსებული გამტარი მილების დახმარებით მთელ მცენარეს წყალი და საკვები ნივთიერებები მიეწოდება.

3. სუნთქვა ისეთი სასიცოცხლო პროცესია, რომლის დროსაც ორგანიზმში გარემოდან ჟანგბადი შედის, ორგანიზმიდან გარემოში კი ნახშიროქსიდი გამოიყოფა. ცხოველებს სუნთქვისთვის სპეციალური ორგანოები აქვთ. როგორც ყველა ცოცხალი ორგანიზმი, მცენარეც სუნთქავს დღისითაც და ღამითაც. მცენარეს სუნთქვის სპეციალური ორგანო არ გააჩნია. იგი ფოთლის, ფესვის, ღეროს საშუალებით სუნთქავს. ყველაზე მეტ ჟანგბადს მცენარე ფოთლების დახმარებით იღებს. ფოთოლს თვალთ უხილავი მრავალი პანაწინა ნაწილი აქვს. მათ ბაგეები ეწოდება. ღია ბაგეებში წარმოიქმნება სიცარიელე – ბაგეების ხვრელი, რომელშიც ადვილად შედის ჰაერი. სწორედ ამ ხვრელის საშუალებით ფოთოლში ჟანგბადი აღწევს.

მცენარეები (*Plantae* ანუ *Vegetabilia*) არის ორგანიზმები, რომელთათვისაც დამახასიათებელია მზის ენერჯის ხარჯზე ავტოტროფული კვება და ცელულოზის შემცველი სქელგარსიანი უჯრედები. მცენარეებში იშვიათად გვხვდება ჰეტეროტროფული (საპროფიტი და პარაზიტი) სახეობები, რომლებშიც კვების ამ ტიპის გამომუშავება მეორეული მოვლენაა.

ტრადიციულად მცენარეებს მიაკუთვნებდნენ კიდევ ბაქტერიებს, ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებს და სოკოებს. მაგრამ XX საუკუნის შუა წლებიდან გამოკვლევებმა გააძლიერა დიდი ხნის წინ გამოთქმული ეჭვი ამ ორგანიზმების მცენარეებთან გაერთიანების შესახებ. ახალი სისტემის მიხედვით, ბაქტერიები და ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები (რომელთა უჯრედიც ტიპობრივ ბირთვს მოკლებულია) ერთიანდება პროკარიოტების ქვესამეფოში, სოკოები კი მცენარეებსა და ცხოველებთან ერთად ეუკარიოტების ქვესამეფოში.

ფოტოსინთეზი და მასთან დაკავშირებული ფიზიოლოგიური ბიოქიმიური პროცესები შესაძლებლობას იძლევა მცენარეები შეუცდომლად გავარჩიოთ ნებისმიერ სხვა ორგანიზმისაგან, თუმცა ეს სხვაობა განვითარების დაბალ საფეხურზე (განსაკუთრებით ერთუჯრედიანებში) ნაკლებ თვალსაჩინოა. ერთუჯრედიანებში მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმების გამიჯვნის სიძნელე მიუთითებს ცოცხალი სამყაროს წარმოშობის ერთიანობაზე, რომლის დანაწილებაც პალეონტოლოგიური მონაცემების საფუძველზე დაახლოებით 3 მილიარდი წლის წინ დაიწყო.

მცენარეებს აქვთ როგორც საერთოდ, უჯრედისათვის დამახასიათებელი ორგანოიდები, ისე სპეციფიკური სტრუქტურებიც (ქლოროპლასტები, თავისებურად აგებული გარსი, კარგად გამოხატული ვაკუოლები და სხვა), რაც მათ ეჭვმიუტანლად განასხვავებს ცხოველური ორგანიზმებისაგან.

მცენარეებისთვის დამახასიათებელ საერთო თავისებურებას წარმოადგენს ფოტოსინთეზი. სხვა ნიშან-თვისებები, რაც განსაზღვრავს მათ ზრდას, განვითარებას, ცხოვრების ნირს და სხვა, მცენარეულ სამყაროში არაერთგვაროვანია. მცენარეების მნიშვნელოვანი მორფოლოგიური თავისებურებებია სხეულის ძლიერი დანაწევრება, რაც მათი ზედაპირის დიდ გაზრდას იწვევს. ეს დაკავშირებულია კვების თავისებურებებთან – ატმოსფეროდან აირებისა და ნიადაგიდან წყალში გახსნილი მინერალური

მარილების შთანთქმასთან. უმაღლეს მცენარეებში (ხავსები, გვიმრანაირები, შიშველთესლოვნები, ფარულთესლოვნები) სხეულის დანაწევრებისა და დიფერენცირების შედეგია სპეციალიზებული სტრუქტურებისა და ორგანოების (ფესვი, ღერო, ფოთოლი და სხვა) გამომუშავება. მცენარეების განვითარების თავისებურებას შეადგენს უსქესო და სქესიანი თაობების მონაცვლეობა.

მცენარეების გარეგან და შინაგან აგებულებას, მათში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებს, გამრავლებას, გავრცელებას, ისტორიულ განვითარების ძირითად ეტაპებს და სხვას, შეისწავლის ბოტანიკის სხვადასხვა დარგი.

მცენარეების ბიოლოგიური მნიშვნელობა ჩვენი პლანეტის ცოცხალი სამყაროსთვის განსაკუთრებულია. ცხოველების (ადამიანის ჩათვლით) არსებობა შეუძლებელი იქნებოდა მცენარეების გარეშე, რადგან მხოლოდ მათ შეუძლიათ მზის ენერჯიის ხარჯზე არაორგანულიდან ორგანული ნივთიერებების სინთეზი. ამასთანავე, მცენარეები ფოტოსინთეზის დროს ატმოსფეროდან ითვისებენ ნახშირორჟანგს და გამოყოფენ ჟანგბადს, რის შემწეობითაც ატმოსფერო გამუდმებით ინარჩუნებს სუნთქვისათვის ხელსაყრელ პირობებს.

მცენარეების მრავალფეროვანი სამყაროდან განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს თესლოვან, ძირითადად კი – ყვავილოვან მცენარეებს. მათ განეკუთვნება თითქმის ყველა კულტურული მცენარე, მათ შორის უპირატესად მარცვლეული (ხორბალი, ბრინჯი, სიმინდი, ჭვავი, ქერი, შვრია). ზამბა, სელი, კანაფი, ჯუთი, რამი და სხვა ბოჭკოვანი მცენარეები ადამიანს უზრუნველყოფს ტანსაცმლითა და ტექნიკური ქსოვილებით. ტყე იძლევა ძვირფას საშენ მასალას, მცენარეული წარმოშობის ტორფი და ქვანახშირი – საწვავს. დღემდე არ დაუკარგავს ეკონომიკური მნიშვნელობა მცენარეულ ბუნებრივ კაუჩუკს. ფისი, ეთერზეთები, საღებავები და სხვა მცენარეული პროდუქტები მნიშვნელოვან ადგილს იკავებს ადამიანის საქმიანობაში. ფასდაუდებელია მცენარეული ვიტამინები და სამკურნალო

პრეპარატები. მცენარეული საფარი არა მარტო გვაწვდის ორგანულ ნაერთებს და ჟანგბადს, არამედ ქმნის ცხოველური ორგანიზმების არსებობისათვის აუცილებელ პირობებს დედამიწაზე.

თავისი მრავალსაუკუნოვანი გამოცდილების შედეგად ადამიანმა ისწავლა დიდ ფართობებზე მცენარეული საფრის შექმნა. მაგრამ ადამიანისავე ინტენსიური და განსაკუთრებით კი – არარაციონალურმა საქმიანობამ გაანადგურა კიდევ ბუნებრივი მცენარეული საფარი დიდ ფართობებზე და ბევრი სახეობის გაქრობის საშიშროება შექმნა. ბევრ ქვეყანაში მიღებული კანონით უკვე დაიწყეს მცენარეული სამყაროს დაცვა. ბოტანიკური დაწესებულებების ინტენსიური მუშაობის შედეგად შედგენილია „წითელი წიგნი“, სადაც შეტანილია ის მცენარეები, რომელთაც გადაშენება ემუქრებათ.

ფლორის მრავალრიცხოვან წარმომადგენელთა რიცხვი, დღევანდელი გამოკვლევებით, 450-ათასზე მეტ სახეობას ითვლის და მისი გავრცელების გეოგრაფია ძალზე ფართოა. იმ უამრავ სახეობათა შესწავლა, რითაც დღეს წარმოდგენილია მცენარეთა სამყარო, შესაძლებელია მწყობრი, მეცნიერულად დასაბუთებული ბიოლოგიური თეორიის დახმარებით, რომლის ამოცანას შეადგენს არსებულ მცენარეთა სრული აღწერა და იმ მცენარეებთან შედარება, რომლებიც წინათ არსებობდა დედამიწაზე.

განსაკუთრებით დიდია მცენარეთა როლი და მნიშვნელობა ადამიანისთვის. მათ გარეშე შეუძლებელია ადამიანისა და საერთოდ, ცხოველთა სამყაროს არსებობა.

ადამიანისთვის საჭირო ნივთიერებათა შექმნის ერთადერთი და უნივერსალური წყაროა მზე. მცენარეების მიერ ხდება მზის სხივური ენერგიის აკუმულაცია და ის გადაჰყავს პოტენციურ, ფარულ ენერგიაში (ნახშირწყლების, ცილების, ცხიმების, ვიტამინებისა და ორგანულ ნივთიერებათა სახით). მზის ენერგიის გამოყენება შეუძლიათ მხოლოდ მწვანე, ქლოროფილიან მცენარეებს. მცენარის ამ კოსმიური როლის შესახებ მიუთითებდა თავის

დროზე ცნობილი რუსი მეცნიერი კ.ა. ტიმირიაზევი. მცენარის-თვის მზის სხივური ენერჯის მაქსიმალურად გამოყენებისათვის საჭიროა მისთვის ხელსაყრელი პირობების მეცნიერულ დონეზე დაყენება.

ფოტოსინთეზის დროს მიმდინარე ბიოქიმიურ პროცესთა არსის მხოლოდ ღრმად გაგება ხდის შესაძლებელს უდიდესი ეფექტურობით იქნეს გამოყენებული მზის სხივების ენერჯია და საბოლოო ჯამში განხორციელდეს ადამიანის ოცნება – მზის ენერჯის დახმარებით ხელოვნურად მივიღოთ ნახშირმჟავა აირისგან და წყლისგან – საკვები ნივთიერებანი. მცენარეული ორგანიზმის მონაწილეობით მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლა და გარდაქმნა ბუნებაში მცენარის შეუცვლელ როლსა და მნიშვნელობაზე მიუთითებს. ნივთიერებათა მიმოქცევის შედეგად, განსაკუთრებით მწვანე (ქლოროფილიანი) მცენარეების სასიცოცხლო პროცესების დროს, იქმნება აზოტოვანი და უაზოტო ორგანული ნივთიერებანი, რომლებსაც მცენარეები მარტივი არაორგანული ნივთიერებისაგან ქმნიან.

ბუნების ცოცხალი ნაწილი, რომელიც მცენარეებისაგან და ცხოველებისაგან შედგება – ბიოსფეროს სახელით არის ცნობილი. მცენარეები და ცხოველები ბუნების არაცოცხალ ნაწილებთან შედარებით მცირეა. ისინი დიდ გავლენას ახდენენ ბუნების არაცოცხალ ნაწილზე. ეს როლი უფრო შეიმჩნევა მცენარეებისთვის, ვინაიდან ეს უკანასკნელი რიცხოვრივად უფრო სჭარბობს ცხოველებს დამათი კავშირი გარემოსთან უფრო მყარია.

ბუნებაში მცენარისთვის დამახასიათებელი პროცესია – ფოტოსინთეზი. ამ პროცესის დროს მცენარის მიერ გამოყენებული მზის სხივური ენერჯია ქიმიურ ენერჯიად გარდაიქმნება. ამის შედეგად წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებები სხვა ცოცხალი ორგანიზმების მიერ გამოიყენება. შორეულ წარსულში ნახშირბადის დიდი მარაგი უმთავრესად მცენარეების მონაწილეობით, ფოტოსინთეზის შედეგად შეიქმნა. ასეთია ქვანახშირის, ნავთობის,

ტორფისა და სხვადასხვა ორგანული ნივთიერების სახით დედამიწის წიაღში დაგროვილი სიმდიდრე. ადამიანისა და სხვა ცოცხალი ორგანიზმის არსებობისათვის აუცილებელ ფაქტორს წარმოადგენს მცენარეები, როგორც სხვადასხვა ენერჯის წყარო (ქიმიური, მექანიკური, სითბური).

ნივთიერებათა ცვლის გარეშე, ორგანიზმის გარემოსთან მუდმივი, განუწყვეტელი კავშირის გარეშე, არ არსებობს სიცოცხლე. თანამედროვე კლასიკური ბიოლოგია მცენარეულ ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის როლის შესახებ ამ წარმოდგენას ემყარება. გამოკვლევის თანამედროვე მეთოდები გვაძლევენ საშუალებას განისაზღვროს მცენარეული ორგანიზმის გარემოსთან კავშირის ხარისხი.

საუკუნეთა მანძილზე ადამიანი თანდათანობით იმორჩილებდა ბუნებას, ეცნობოდა მის მოვლენებს. მცენარეებს, როგორც ბუნების ცოცხალ ორგანიზმებს, იყენებდა მისი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად. ადამიანის მიერ ბუნების შეცნობის ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი მცენარეა. მსოფლიოში გავრცელებული მცენარეების თითქმის ნახევარი ფარულ-თესლოვანებია. მათგან ადამიანმა შეარჩია და გამოიყვანა რამდენიმე ათასი კულტურული მცენარის სახეობა და ჯიში. უპირველესად აღნიშვნის ღირსია საკვები მარცვლოვნები, შემდეგ ხეხილოვანი კულტურების მრავალი წარმომადგენელი. ადამიანი უხსოვარი დროიდან ეწევა კულტურულ მცენარეთა მოშენებას და მის სელექციასაც. ადამიანის სამსახურში მცენარის ჩაყენების სწორი მეთოდოლოგია ზრდის შესაძლებლობას მცენარეული პროდუქტის გამოყენებისა. ფორმათა მრავალფეროვნებით გამორჩეული მცენარეთა სამყაროს ზუსტი კლასიფიცირება წარმოუდგენელია მცენარეული ორგანიზმის ყველა ორგანოს ზუსტი აღწერისა და მათი ფუნქციის სწორი ცოდნის გარეშე. მცენარეთა სამყაროს მეცნიერული შესწავლის თეორიული და პრაქტიკული მოძღვრების ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილი – მცენარის მორფოლოგიაა. მცენარის მორფოლოგიის

ძირითადი პრინციპების ცოდნას უადრესად დიდი და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ფლორის ამა თუ იმ წარმომადგენლის უკეთ შეცნობისათვის.

ბუნებაში მცენარის როლი ნივთიერებათა წრებრუნვის საქმეში ძალზე დიდია. ეს პირდაპირ კავშირშია მცენარის თვისებასთან – აწარმოოს ფოტოსინთეზი. ფოტოსინთეზი – ეს რთული ბიოქიმიური პროცესია, რომელშიც მცენარე მწვანე პიგმენტის – ქლოროფილის მონაწილეობით იჭერს მზის სხივების ენერგიას, გარდაქმნის მისი დახმარებით გარემოსგან შეთვისებულ ნახშირმჟავა გაზსა და წყალს და ასინთეზირებს ამ ნივთიერებებისაგან ენერგიით მდიდარ ორგანულ ნივთიერებებს. ჯამში, მიმდინარეობს გარდაქმნა მზის ენერგიისა ქიმიური კავშირების ენერგიად. ეს ორგანული ნივთიერებები უშუალოდ ან სხვა არსებების დახმარებით წარმოადგენენ საკვებს ყველა დანარჩენი ორგანიზმებისათვის.

შესაბამისად, მწვანე მცენარეები, რომლებიც აწარმოებენ ფოტოსინთეზის პროცესს, წარმოადგენენ პირველწყაროს სიცოცხლის არსებობისა, განვითარებისა და პროგრესისა. ფოტოსინთეზი წარმოადგენს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციას, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ატმოსფეროდან მიღებული ნახშირმჟავა გაზის ურთიერთქმედება წყალთან, რომლის წყაროცაა ნიადაგი. ამ რეაქციას მივყავართ მწვანე ფოთოლში ხსნადი ნახშირწყლების (როგორცაა შაქარი) სინთეზსა და ატმოსფეროში ჟანგბადის გამოყოფამდე. ჟანგბადი წარმოიქმნება არა ნახშირმჟავა გაზის დაშლის შედეგად, არამედ წყლის დაშლის შედეგად. წყლის ჟანგბადი გამოიყენება ნახშირმჟავა გაზის აღდგენისათვის და მონაწილეობს ორგანული შენაერთების წარმოქმნაში, ხოლო ჟანგბადი გამოიყოფა მცენარის ორგანიზმის მიერ ატმოსფეროში. ფოტოსინთეზი მიმდინარეობს დედამიწაზე ყველაგან, რის გამოც მისი ჯამური ეფექტი კოლოსალურია. მიახლოებითი გამოანგარიშებით, ხმელეთის მცენარეული საფარი ყოველწლიურად ასიმილირებს 20-30 მილიარდ ტონა

ნახშირბადს (სხვა მონაცემებით 10-დან 100 მილიარდ ტონამდე) და იგივე რაოდენობით ნახშირბადს მოიხმარს ოკეანეების ფიტოპლანქტონი. 300 წლის განმავლობაში მცენარეები ითვისებენ იმდენ ნახშირბადს, რამდენიცაა ატმოსფეროსა და წყალში. ამასთან, დედამიწის მცენარეულობა ყოველწლიურად, ფოტოსინთეზის შედეგად, წარმოქმნის დაახლოებით 177 მილიარდ ტონა ორგანულ ნივთიერებას. აქედან, 122 მილიარდი ტონა მოდის ხმელეთის მცენარეებზე და 55 მილიარდი ტონა მსოფლიო ოკეანის მცენარეულობაზე. წლიური ქიმიური ენერგია ფოტოსინთეზის პროდუქტებისა, 100-ჯერ აჭარბებს ყველა ელექტროსადგურის მიერ გამოშვებულ ენერგიას.

ნახშირორჟანგი, რომელიც გამოიყოფა ცხოველთა და მცენარეთა სუნთქვის შედეგად ატმოსფეროში, ისევ ფიქსირდება მცენარეული უჯრედების მიერ ფოტოსინთეზის დროს. ეს ატმოსფერული გაზი საკმარისი იქნებოდა ფოტოსინთეზისათვის მხოლოდ სამასი წლის განმავლობაში, რომ არ ყოფილიყო საწინააღმდეგო პროცესი მისი ატმოსფერში დაბრუნებისა – ძირითადად, ორგანიზმების სუნთქვის შედეგად.

ნახშირბადის შეთვისებას მცენარეების მიერ თან ახლავს ატმოსფეროში ჟანგბადის გამოყოფა. ნახშირმჟავა გაზისა და ჟანგბადის აღსადგენად, წყალბადის წყაროს წარმოადგენს წყალი. ფოტოსინთეზის შემდეგ, ითვისებენ რა მცენარეები ნახშირბადს და გამოყოფენ ჟანგბადს, ისინი გამოყოფენ და შლიან ჩვენი პლანეტის მთელ წყალს დაახლოებით 2 მილიონიწლის განმავლობაში.

ფოტოსინთეზი მიმდინარეობს მილიარდზე მეტი წლის განმავლობაში. ამ პერიოდის მანძილზე სინთეზირებულია ორგანული ნივთიერების დიდი რაოდენობა, რომლის ნაწილიც შენარჩუნდა ჩვენს დრომდე – ნავთობის საბადოების, გაზის, ქვანახშირის, ტორფის სახით და სხვა. ნახშირბადის რაოდენობა, რომლის მარაგიც არსებობს ქვანახშირისა და ნავთობის ფორმით –

დაახლოებით 50-ჯერ მეტია სხვა ორგანიზმებში მის რაოდენობასთან შედარებით.

ყველაფერი ეს მოწმობს იმას, რომ ფოტოსინთეზი ჰემმარიტად კოსმიური პროცესია, რომელმაც პლანეტის სახე ძირეულად შეცვალა. ნახშირბადის, წყალბადისა და ჟანგბადის გარდა, მრავალი ორგანული ნივთიერების მოლეკულის შემადგენლობაში შედის, აგრეთვე, აზოტის, გოგირდის, ფოსფორისა და სხვა ელემენტების (მაგნიუმი, რკინა, სპილენძი, კობალტი) ატომები. ნახშირბადის, წყლისა და ენერჯის წრებრუნვაში ერთვებიან ეს ელემენტებიც. ყველა ისინი მოიპოვება მცენარეების მიერ ნიადაგიდან და წყლის გარემოსაგან მარილების იონების სახით – უმთავრეს შემთხვევაში, დაქანგულად. მინერალური მარილები, რომლებიც არიან ნიადაგში, მყისიერად ჩაირეცხებოდა ზედაპირული ფენებიდან, რომ არა მცენარეები. ისინი უწყვეტად იწოვენ ნიადაგიდან მინერალური ნივთიერებების ნაწილს და გადასცემენ მათ ცხოველებს. ეს უკანასკნელები კი – ითვისებენ მას. ცხოველები ისევე, როგორც მცენარეები, სიკვდილის შემდგომ, გადასცემენ მინერალურ ნივთიერებებს ისევ ნიადაგს, საიდანაც ის ისევ შეიწოვება მცენარების მიერ.

ამრიგად, მცენარეები ყოველთვის უზრუნველყოფენ მინერალური მარილების რაოდენობას ნიადაგში, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია მისი ნაყოფიერებისათვის.

ყველაფერი ის, რაც ზემოთ ვთქვით, ხაზს უსვამს მცენარის დიდ როლს ბუნებაში, ნივთიერებათა წრებრუნვისთვის. ამას შესაძლოა ისიც დაემატოს, რომ მცენარე დიდ გავლენას ახდენს კლიმატზე, წყალსატევებზე, ცხოველთა სამყაროსა და ბიოსფეროს სხვა წარმომადგენლებზე, რომელთანაც ის მჭიდროდაა დაკავშირებული. დიდ როლს თამაშობს მცენარეულობა ბუნებრივ ბიოგენოცენოზებში. ის მნიშვნელოვანი ელემენტია დასახელებულისა, რომელიც დიდ გავლენას ახდენს მის სხვა კომპონენტებზე – ნიადაგზე, ცხოველთა სამყაროზე, მიკროორგანიზმებზე. მცენა-

რეული საფარის თვისებაზე დიდადაა დამოკიდებული ბიოგენო-ცენოზის ხასიათიც – მისი მორფოლოგიური და ფუნქციონალური სტრუქტურა.

ბუნების დაცვის კუთხით შესაძლებელია ის ითქვას, რომ ადამიანის სამეურნეო მოქმედების შედეგად არ შემცირდეს მცენარეთა მწვანე საფარი. პირიქით – შესაძლებლობის ფარგლებში, ის უნდა გაიზარდოს. მწვანე მასის შემცირება უეჭველად იწვევს ნივთიერებათა წრებრუნვის ნორმალური მიმდინარეობის დარღვევას, ბუნებაში არსებული შედარებითი წონასწორობის დარღვევასაც, ნიადაგის ნაყოფიერების დაცემასა და ადამიანისათვის სხვა მრავალი არასასარგებლო პროცესის წარმოშობას.

ძალზე დიდია მცენარეულობის როლი ადამიანის ორგანიზმისათვის და საზოგადოებისათვის საერთოდ. უწინარეს ყოვლისა, მცენარეულობა წარმოადგენს აუცილებელ გარემოს ადამიანისა და ცხოველებისათვის. ის არის ამოუწურავი წყარო მრავალი საკვები პროდუქტისა, ტექნიური თუ სამკურნალწამლო ნედლეულისა, სამშენებლო მასალისა და სხვა. მცენარეთა მრავალი სახეობა გამოიყენება, როგორც საკვები მრავალი შინაური თუ გარეული სასარგებლო ცხოველისათვის. მცენარეები გამოიყენება ადამიანის მიერ მრავალი ტექნოლოგიური პროცესის წარმოებისათვის (ლუდის ხარშვა, პურის ცხობა, ჩამდინარე წყლის გაწმენდა და სხვა). მცენარეები მონაწილეობენ სასარგებლო წიაღისეულისა და ნიადაგის წარმოქმნაში, იცავენ ნიადაგის ზედაპირს გადარეცვისაგან და ქვიშის ნაკადებით დაზინძურებისაგან, რომელიც ზოგჯერ თან ახლავს ზოგიერთი ზონის ბუნებას. მცენარეულობა ემსახურება ადამიანს, როგორც ესთეტიკური მოთხოვნილების წყარო, ახდენს რა მასზე ფსიქოპიგიურ ზემოქმედებას. მრავალი მცენარე გახდა ობიექტი მეცნიერული დაკვირვებებისათვის.

მცენარეული სამყაროს უარყოფითი როლი, მის მიერ მოტანილ სარგებლობასთან შედარებით, უმნიშვნელოა. ზოგიერთი ველური მცენარის სახეობა იზრდება, როგორც სარეველა ნაკვეთებსა და

სამოვრებზე. ზოგჯერ, გვიხდება ბრძოლა წყალსატევების მცენარეებისაგან გაწმენდისათვის. ზოგჯერ, მცენარეების მასიური განვითარების შედეგად, ტბებში ვლინდება მათი დიდი მასა. ცნობილია აგრეთვე, ზოგიერთი მცენარის მავნე ზემოქმედების შესახებ ადამიანსა (სოკოვანი დაავადებები, მოწამვლა და სხვა) და სახალხო მეურნეობაზე. მიუხედავად ამისა, მწვანე მცენარეულობა ბიოცენოზის ძალზე მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია და მისი ფუნქციონირების სრულყოფა ადამიანის გონივრულ მოქმედებაზე დამოკიდებული.

მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ცოცხალ არსებათა აგებულებას, ფუნქციებს, გავრცელებას, წარმოშობას, განვითარებას, კავშირს ერთმანეთთან და არაცოცხალ ბუნებასთან, არის ბიოლოგია. იგი მოიცავს სიცოცხლის შემსწავლელ მრავალ სხვა მეცნიერებას. ბიოლოგიის კვლევის მთავარი მეთოდებია: დაკვირვება, აღწერა, შედარება და ცდა. კვლევის შედეგები განიხილება ცოცხალ არსებათა ისტორიული ნათესაობისა და განვითარების თვალსაზრისით. ბიოლოგიის მიერ დადგენილ ფაქტებს და კანონზომიერებებს იყენებს მედიცინა, სოფლის მეურნეობა და სხვა დარგები.

ტერმინი „ბიოლოგია“ მიღებულია ბერძნული სიტყვებისაგან - βίος (bios) „სიცოცხლე“ და λόγος (logos) „მოდვრება“. ეს ტერმინი პირველად 1802 წელს შემოიღეს ფრანგმა მეცნიერმა ჟ. ბ. ლამარკმა და გერმანელმა მეცნიერმა გ. რ. ტრევინარიუსმა.

ბიოლოგიური ცოდნის საწყისებს ვხვდებით ძველი ცივილიზაციების მოაზროვნეთა და მკურნალთა თხზულებებში, მათ შორის: ჰიპოკრატესთან, არისტოტელესთან და სხვა. შუა საუკუნეებში ბიოლოგიის განვითარება შეფერხდა, თუმცა უკვე მე-16-17 საუკუნეების მკვლევარებმა დიდძალი მასალა დააგროვეს ორგანიზმების აგებულების შესახებ.

§ 9.2. ცხოველთა სამყარო

ცხოველები, ცხოველური ორგანიზმები – ცოცხალ არსებათა ერთ-ერთი ძირითადი სამეფოა (მეორე სამეფო მცენარეებია). ცხოველები ჰეტეროტროფული ორგანიზმებია. უმარტივესების ზოგი სახეობა (ევგლენა) იკვებება როგორც ჰეტეროტროფულად, ისე ავტოტროფულად. თანამედროვე ეპოქაში ცხოვრობს 1,5-იდან 2 მლნ-მდე სახეობის ცხოველი (მცენიერთა ვარაუდით ეს რიცხვი შეიძლება 10 მილიონს აღწევდეს), მათ შორის 1 მლნ-ზე მეტი ფესსახსრიანებია. ცხოველებს განსხვავებული რაოდენობის ტიპებად ყოფენ. უფრო მეტად მიღებულია შემდეგი ტიპები: უმარტივესები (ზოგი ამ ტიპს 5 ტიპად ყოფს), ღრუბელები, ნაწლავღრუიანები, ბრტყელი ჭიები, ნემერტინები, მრგვალი ჭიები, თავეკლიანი ჭიები, რგოლოვანი ჭიები, ფესსახსრიანები, ხავსელები, მხარფეხიანები, რბილტანიანები, კანეკლიანები, პოგონოფორები, ჯაგარყბიანები, ნახევრადქორდიანები და ქორდიანები. ცხოველებს შეისწავლის ზოოლოგია და მრავალი სპეციალური ზოოლოგიური დისციპლინა: პროტისტოლოგია, ენტომოლოგია, იქთიოლოგია, ჰერპეტოლოგია, ორნითოლოგია, თერიოლოგია, მალაკოლოგია და სხვა.

ცხოველებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანის ცხოვრებაში. მათ იყენებენ საკვებად, გამწევე ძალად, სამრეწველო ნედლეულად და სხვა. ზოგ ცხოველს ზიანი მოაქვს სახალხო მეურნეობის ამა თუ იმ დარგისათვის. განსაკუთრებით აღნიშვნის ღირსია მათი როლი გარემოს იმ სახით შენარჩუნებაში როგორითაც იგი დღეისათვის მოგვეპოვება. ამ მნიშვნელობას მოსახლეობის დიდი ნაწილი ვერ აცნობიერებს და სწორედ ესაა მთავარი მიზეზი იმ პრობლემებისა რომელთა წინაშეც დგას ცხოველთა სამყარო. მრავალი სახეობა დაუზოგავი განადგურების და ბუნებრივ პროცესებში არასწორი ჩარევის გამო მოისპო ან მოსპობის საფრთხის წინაშე დგას. ამჟამად ქმედითი ღონისძიებები ტარდება ცხოველთა სახეობრივი

რაოდენობის რეგულირებისათვის, დაცვისათვის, აღწარმოებისათვის (გამოცემულია კანონები, დაარსებულია ნაკრძალები, აღკვეთილები, შემოდებულია „წითელი წიგნი“ და სხვა). თუმცა შედეგების მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, აღმოჩნდება რომ ცხოველური სამყაროს დეგრადაციის პროგრესირება გეომეტრიულ პროგრესირებას უახლოვდება. არსებობს მოსაზრება, რომ ბუნების გადაგვარების პროცესი რომელიც ასეთი აშკარაა, წარმოადგენს ევოლუციური განვითარების ერთ-ერთ ეტაპს და შესაბამისად სახეობათა თუ მთლიანად ეკოსისტემათა გაქრობა არაა ნიშანი იმისა, რომ საფრთხე მთლიანად ცოცხალ ბუნებას ემუქრება. თუმცა სანამ ასეთი ვარაუდები თეორიის სახეს არ მიიღებს (თუმცა შეიძლება არც არასოდეს მოხდეს), მანამდე კაცობრიობა დიდ რისკზე მიდის. ამდენად, თითოეული ადამიანი ვალდებულია გაუფრთხილდეს და დაიცვას ცოცხალი ბუნება.

ზოოლოგიის მეცნიერება ცხოველთა სამყაროს მრავალმხრივად შეისწავლის. ის სწავლობს ცხოველთა აგებულებას და სასიცოცხლო პროცესებს, ცხოველთა ინდივიდურ განვითარებას, ფაუნის წარმოშობის კანონზომიერებებს. მათ გეოგრაფიულ გავრცელებას, როგორც დღევანდელ პირობებში ასევე წარსულში. აგრეთვე ცხოველთა ევოლუციურ განვითარებას, ორგანიზმის ურთიერთქმედებას არსებობის პირობებთან და სხვა ცოცხალ ორგანიზმებთან.

ზოოლოგია შეისწავლის როგორც ადამიანისა და ბუნებისათვის სასარგებლო ცხოველებს, ასევე მეტად საშიშ დაავადებების გამომწვევ ან გადამტან ცხოველებს.

ზოოლოგია იყოფა მთელ რიგ დარგებად ანუ მეცნიერებებად, რომელთაგან ერთნი შეისწავლიან ცხოველთა აგებულებას, ცხოველმყოფელურ გავრცელებას, გარემოსთან კავშირს და სხვას. მეორენი შეისწავლიან ცხოველთა ცალკეულ მსხვილ ან პრაქტიკული მნიშვნელობის ჯგუფებს.

პირველში შეიძლება განვასხვავოთ არა სპეციალობები:

1. მორფოლოგია – შეისწავლის ცხოველის ფორმას და აგებულების თავისებურებებს, როგორც ინდივიდუალურ, ისე ისტორიულ განვითარებაში.

მორფოლოგია მოიცავს ცხოველთა ანატომიას, ჰისტოლოგიას, ციტოლოგიას და ემბრიოლოგიას.

ანატომია იკვლევს ორგანოების აგებულებასა და ურთიერთკავშირს.

ჰისტოლოგია შეისწავლის ცხოველთა სხეულის ქსოვილებს და ორგანოების მიკროსკოპულ აგებულებას.

ციტოლოგიის მიზანია ცხოველთა ორგანიზმში არსებული უჯრედების აგებულებისა და ცხოველქმედების შესწავლა.

ემბრიოლოგია სწავლობს ცხოველთა ჩანასახის განვითარების პროცესებს.

2. ფიზიოლოგია შეისწავლის ცხოველის ორგანიზმში მიმდინარე პროცესებს: საჭმლის მონელებას, სუნთქვას, სისხლის მიმოქცევას, გამოყოფას, მოძრაობას, ნერვულ მოქმედებას, გამრავლებას და სხვას. მაგრამ ფიზიოლოგია ეყრდნობა ფიზიკის, ქიმიის, აგრეთვე ანატომიის, ჰისტოლოგიის და ზოგიერთი სხვა მეცნიერებების მონაცემებს.

3. ეკოლოგია (ბერძ. *Oikos* – სახლი, ადგილსამყოფელი) შეისწავლის ცხოველთა, სხვა ორგანიზმებთან და ორგანულ სამყაროსთან ურთიერთდამოკიდებულებას. ე.ი. ცხოველების ურთიერთობას ბიოტურ და აბიოტურ ფაქტორებთან. ეკოლოგიასთან მჭიდრო კავშირშია პარაზიტოლოგია და ჰიდრობიოლოგია.

პარაზიტოლოგია შეისწავლის ადამიანის, ცხოველებისა და მცენარეთა პარაზიტებს და მათ წინააღმდეგ ბრძოლის ღონისძიებებს.

ჰიდრობიოლოგია სწავლობს წყალში (მტკნარ წყლებში, ზღვებსა და ოკეანეებში) მცხოვრებ ცოცხალი ორგანიზმების მთელ კომპლექსს და მათ ურთიერთკავშირს.

4. გენეტიკა შეისწავლი ცხოველთა ცვალებადობასა და მემკვიდრეობას.

5. სისტემატიკა შეისწავლის ცხოველთა სამყაროს მრავალფეროვნებას, ცხოველთა შორის მსგავსებასა და განსხვავებას. აჯგუფებს ცხოველებს ერთმანეთთან მსგავსების ხარისხის მიხედვით და ამის საფუძველზე აგებს ცხოველთა სისტემას. იგი ყოველ ცხოველს ჰყოფს ურთიერთდამოკიდებულ ჯგუფებად.

ზოოლოგიური მეცნიერების მეორე ჯგუფს (სპეციალურ ზოოლოგიას) ეკუთვნის:

პროტოზოოლოგია (ბერძ. *protomi* – უმარტივესი) არის მეცნიერება უმარტივეს ცხოველებზე. იგი შეისწავლის ერთუჯრედიან ორგანიზმებს, მათ მიკროსკოპულ აგებულებას, სასიცოცხლო ფუნქციას და ბიოლოგიას.

ჰელმინთოლოგია შეისწავლის ადამიანის, ცხოველთა და მცენარეთა პარაზიტულ ჭიებს ანუ ჰელმინთებს.

არაქნოლოგია სწავლობს ობობასნაირებს გარდა ტკიპებისა.

აკროლოგია განსაზღვრავს ტკიპებს, მათ სისტემატიკას, ბიოლოგიას და როლს სახალხო მეურნეობაში და ადამიანის ჯანმრთელობაში.

ენტომოლოგია (ბერძ. *Entomon*–მწერი) არის მეცნიერება მწერების შესახებ.

მალაკოლოგია (ბერძ. *Malakion* – მოლუსკი) არის მოლუსკების ანუ რბილტანიანების შემსწავლელი მეცნიერება.

იქტიოლოგია (ბერძ. *Ictios* - თევზი) მოიცავს თევზებს, მათ აგებულებას, სისტემატიკას, ეკოლოგიას და სხვას.

ბატრაქოლოგია – ამფიბიებს.

ჰერპეტოლოგია არის მეცნიერება ქვეწარმავალ ცხოველებზე.

ორნითოლოგია (ბერძ. *Orniz* - ფრინველი) ფრინველების შესახებ.

თერიოლოგია ან მამალიოლოგია (ლათ. *Mamalia*–ბუბუმწოვარი) არის მეცნიერება ბუბუმწოვარ ცხოველებზე.

ამრიგად, ზოოლოგია არის მეცნიერული სისტემა (კომპლექსური), რომელიც ყოველ მხრივ იკვლევს ცხოველთა სამყაროსა და ცხოველური ორგანიზმების თავისებურებებს.

ზოოლოგიის განვითარების ძირითადი ეტაპები

მართალია, ცნობები ზოოლოგიის განვითარების შესახებ მოიპოვება ძველი ბერძენი ფილოზოფების და ბუნების მეტყველების ნაშრომებში, მაგრამ პირველი ცდა ცხოვრების კლასიფიკაციის შესახებ ეკუთვნის ძველ ბერძენ ფილოსოფოსს არისტოტელეს (384 -322 ჩვ. წ. აღ-მდე). არისტოტელე იცნობდა 500 - მდე სახეობის ცხოველს. მან მისთვის ცნობილი სამყარო ორ დიდ ჯგუფად დაყო: სისხლიან და უსისხლო ცხოველებად. არისტოტელემ სისხლიან ცხოველებში გააერთიანა:

1. ოთხფეხიანი ცოცხალი მშობები. თმებით დაფარული (ძუძუმწოვრები);
2. კვერცხმდებელი ოთხფეხიანები (ქვეწარმავლები ანუ რეპტილიები);
3. კვერცხმდებელი ორფეხიანები, ბუმბულით შემოსილი (ფრინველები);
4. ცოცხლად მშობი უფეხონი (ვეშაპის ნაირები);
5. კვერცხმდებელი უფეხონი, ქერცლებით ან სადა კანით, სუნთქვენ ლაყურებით (თევზები).

უსისხლო ცხოველების ჯგუფი:

1. რბილსხეულიანები-თავზე აქვთ ფეხები (თავფეხიანი მოლუსკები);
2. რბილნაჭუჭიანები (კიბოსნაირები);
3. ქალაკანიანები(მოლუსკები, თავფეხიანების გარდა);
4. მწერები (მწერები, ობობასნაირები, ჭიები).

ამგვარად, არისტოტელემ სისხლიან ცხოველებში გააერთიანა ხერხემლიანი ცხოველები, ხოლო უსისხლოებში – უხერხემლოები.

არისტოტელეს მიერ ზოოლოგიის დარგში დატოვებული მეცნიერული მემკვიდრეობა დღესაც არ არის ინტერესმოკლებუ-

ლი. არისტოტელეს სისტემამ დიდი როლი შეასრულა განვითარებაში, ვინაიდან ის წარმოადგენდა ბუნებრივი სისტემის ჩანახატს.

არისტოტელეს შემდეგ XVII საუკუნის დამლევს მიღწევები სისტემატიკაში უმნიშვნელო იყო და საერთოდ მიღებულ სისტემად რჩებოდა არისტოტელეს სისტემა.

XVI საუკუნეში 1665 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა ანტონ ვან ლევენჰუკმა პირველად (1632-1728) გამოიგონა და გამოიყენა მიკროსკოპი. მან აღმოაჩინა ინფუზორია. მანამდე უმარტივესი ცხოველთა სამყარო არ იყო ცნობილი.

არისტოტელეს შემდეგ ცხოველთა სისტემატიკის საქმეში ნაბიჯი გადადგა ინგლისელმა ბუნებისმეტყველმა ჯონ რეიმ (1627-1705). მისი შრომები მიეძღვნა მცენარეთა და ცხოველთა კლასიფიკაციის საკითხებს. განსაკუთრებით საყურადღებოა მისი ნაშრომი „ცხოველთა სისტემატიკური მოძღვრება“ (1693 წელი). ამ წიგნში რეიმ მოგვცა ცხოველთა კლასიფიკაციის თავისი სისტემა. აღსანიშნავია, რომ რეი თავის ნაშრომში სარგებლობდა ორი საკლასიფიკაციო ცნებით (გვარი და სახეობა). უნდა აღინიშნოს, რომ რეის სისტემა ჯერ კიდევ არ იყო სრულყოფილი და ის შემდგომმა სისტემატიკოსებმა გააუმჯობესეს. ჯონ რეის დამსახურება იმაში მდგომარეობს, რომ მან პირველმა გამოყო სახეობა და მოგვცა მისი პირველი განმარტება: „ორგანიზმების შედარებით წვრილ ჯგუფებს, რომლებიც ერთმანეთში მრავლდებიან და იძლევიან შთამომავლობას და ამ მსგავსებას ინარჩუნებენ“, ჯონ რეიმ უწოდა სახეობა (ლათ. *Species*). სახეობის ასეთი ცნება არსებობდა ჯონ რეის შემდეგ თითქმის 100 წლის განმავლობაში. კლასიფიკაციის უნივერსალობის დადგენაში დიდი ღვაწლი მიუძღვის შვედ ბუნებისმეტყველ კარლ ლინეს (1707-1778). კარლ ლინემ თავის ნაშრომში „ბუნების სისტემა“ (1735 წელს გამოქვეყნდა) დააზუსტა წარმოდგენა სახეობის შესახებ. მისი განმარტებით სახეობაში გაერთიანებულია მორფოლოგიურად მსგავსი ინდივიდები, რომელთაც

აქვთ ერთმანეთში შეეჯვარების უნარი და იძლევიან შთამომავლობას. ლინეს ძირითადი დამსახურებაა ის რომ, მან სისტემაში მოიყვანა მცენარეთა და ცხოველთა მრავალგვარობა და შეიმუშავა სისტემა, რომლის მიხედვით მონათესავე სახეობები გააერთიანა გვარში, გვარი - რიგში და რიგი - კლასში. გარდა ამისა ლინეს მიერ იქნა შემოღებული ბინალური ანუ ორმაგი ნომენკლატურა. ამ ნომენკლატურის მიხედვით ყველა სახეობის სახელწოდება მოცემულია ორმაგად. პირველი სიტყვა ნიშნავს გვარს რომელიც საერთოა ამ გვარში შემავალი სახეობებისათვის, ხოლო მეორე სიტყვა საკუთრივ სახეობას აღნიშნავს– *Fasciola hepatica* L., 1758.

კარლ ლინეს დამსახურება იმაში მდგომარეობს, რომ მან დაყო ცხოველთა სამყარო 6 კლასად:

I. კლასი – ძუძუმწოვრები - *Mammalia*.

II. კლასი-ფრინველები-*Aves*.

III. კლასი-ამფიბიები-*Amphibia*.

IV. კლასი-თევზები-*Pisces*.

V. კლასი-მწერები-*Insecta*.

VI. კლასი -ჭიები -*Wermes*.

როგორც ჩანს მან ხერხემლიანებში გააერთიანა ოთხი კლასი, ხოლო უხერხემლოებში – ორი კლასი. კარლ ლინეს სისტემატიკა ხელოვნური იყო. მისი კლასიფიკაციის ძირითად კრიტერიუმად მიღებული იყო ნებისმიერად აღებული ნიშნები და არა ნიშანთა კომპლექსი. უნდა ითქვას, რომ ლინე ბუნებრივი კლასიფიკაციის მომხრე იყო, მაგრამ მოღვაწეობა უხდებოდა მეტაფიზიკის პერიოდში და მას არ შეეძლო დაემუშაებინა ბუნებრივი სისტემატიკა. კარლ ლინეს შემდეგ მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა ზოოლოგიურ სისტემაში ფრანგმა მეცნიერმა ჟან-ბატისტ ლამარკმა (1744-1829 წწ.). ლამარკმა პირველმა დაყო მთელი ცხოველთა სამყარო ხერხემლიან და უხერხემლო ცხოველებად და კარლ ლინეს ექვსი კლასის მაგიერ თოთხმეტი კლასი დაადგინა, რომლეთაგან ათი კლასს უხერხემლოები შეადგენენ. ლამარკმა

კლასები გაანაწილა ექვს საფეხურად ცხოველთა სამყაროს განვითარებისა და ევოლუციის მიხედვით:

I საფეხური: 1. ინფუზორია; 2. პოლიპები;

II საფეხური: 3. სხივარები; 4. ჭიები;

III საფეხური: 5. მწერები; 6. ობობასნაირები;

IV საფეხური: 7. კიბოსნაირები; 8. რგოლიანი ჭიები; 9. ულვაშფეხიანები; 10. მოლუსკები;

V საფეხური: 11. თევზები; 12. რეპტილიები;

VI საფეხური: 13. ფრინველები; 14. ძუძუმწოვრები.

ლამარკის ეს საინტერესო სისტემა ასახავდა ცხოველთა ორგანიზაციის თანდათანობით გართულებას, ინფუზორიებიდან – ძუძუმწოვრებამდე, რასაც ადგილი აქვს ცხოველთა სამყაროს განვითარების პროცესში. ლამარკის კლასიფიკაცია შედარებით უკეთესი იყო ლინეს სისტემაზე. ზოოლოგიური კლასიფიკაციის შემდგომ მსხვილ ეტაპს წარმოადგენდა ფრანგი მეცნიერის ჟორჟ კიუვიეს (1769 – 1832 წწ.) შრომები კიუვიემ მთელი ცხოველთა სამყარო დაყო 4 ჯგუფად და მასში 19 კლასი გააერთიანა. კიუვიეს ეს ჯგუფები შემდგომში ტიპებად იყო წოდებული. კიუვიე მეტაფიზიკურ პოზიციებზე იდგა. ლამარკისაგან განსხვავებით კიუვიე თავის ჯგუფებს ან ტიპებს გამოყოფდა არა როგორც ცხოველთა სამყაროს განვითარების საფეხურებს, არამედ როგორც დამოუკიდებლებს. კიუვიეს შემდეგ საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა განვითარების საქმეში და ცხოველთა სამყაროს კლასიფიკაციის სრულყოფის საქმეში უდიდესი წვლილი შეიტანა ინგლისელმა ბიოლოგმა ჩარლზ დარვინმა. დარვინის შრომებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია „სახეობათა წარმოშობა“ (1859 წ.), რომელშიც ცოცხალი ბუნების განვითარების ახსნას საფუძვლად დაედო ორგანიზმთა ცვალებადობა, მემკვიდრეობითობა, არსებობისათვის ბრძოლა და ბუნებრივი გადარჩევა. დარვინის მოძღვრების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ბუნებრივი

კლასიფიკაციის შემუშავება. ასევე მოგვცა ჩვენ სახეობის განმარტება.

თანამედროვე მეცნიერების სისტემატიკის კატეგორიებია:

1. სახეობა - *Spesies*.
2. გვარი - *Ienus*.
3. ოჯახი - *Familie*.
4. რიგი - *Orda*.
5. კლასი - *Clasis*.
6. ტიპი - *Typus (Phylum)*.

მაშასადამე, ტიპში გაერთიანებულია ისეთი ცხოველები, რომელთაც აქვთ არსებითად საერთო ნიშნები, ხოლო ცხოველთა ძირითადი, სისტემატიკური ჯგუფია სახეობა. ყველა სახეობა უნდა აკმაყოფილებდეს სამ კრიტერიუმს:

1. სახეობა ყველა ინდივიდი ფორმათა და სხეულის აგებულებით, არსებითად უნდა ემსგავსებოდეს ერთმანეთს, ამავე დროს ეს მსგავსება უნდა იყოს შთამომავლობითი (სახეობის მორფოლოგიური კრიტერიუმი).

2. ისინი თავისუფლად უნდა ეჯვარებოდნენ ერთმანეთს და იძლეოდნენ ნაყოფიერ შთამომავლობას (სახეობის ფიზიოლოგიური კრიტერიუმი).

3. ყველა ინდივიდის ერთობლიობა, რომელიც წარმოადგენს ერთ სახეობას დედამიწაზე იკავებს გარკვეულ არიალის ნაწილს (სახეობის გეოგრაფიული კრიტერიუმი).

სახეობის გავრცელების მხარეს ხმელეთზე ან ოკეანეში ეწოდება მისი არიალი - (ლათ. *area*). ცალკეული ორგანიზმის მთელ სასიცოცხლო ციკლს კვერცხუჯრედის განაყოფიერებიდან, ორგანიზმის სიცოცხლის დასრულებამდე ინდივიდუალური განვითარება ანუ ონტოგენეზი, ხოლო ცხოველთა ისტორიულ განვითარებას ფილოგენეზი ეწოდება.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. ჩამოაყალიბეთ მცენარის ორგანოების დანიშნულებები.
2. დაახასიათეთ ფოტოსინთეზის მოვლენა.
3. ზოოლოგიური მეცნიერების რომელი ჯგუფები იცით?
4. ცხოველთა სამყაროს რომელი კლასები იცთ?
5. დასახელეთ თანამედროვე მეცნიერების სისტემატიკის კატეგორიები.

თავი X. ეკოლოგიის საფუძვლები

სიტყვა ეკოლოგია წარმოქმნილია ბერძნული სიტყვიდან „oikos“, რაც ნიშნავს საცხოვრებელ ადგილს ანუ „სახლს“, ხოლო „logos“ მოძღვრებას. ეს ტერმინი 1866 წელს შეიმუშავა გერმანელმა ზოოლოგმა ე. ჰეკელმა და სათავე დაუდო მეცნიერების ახალ დარგს, რომელიც მან ასე განმარტა: „ეკოლოგია ესაა მეცნიერება ცოცხალი ორგანიზმების ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ გარემოს ორგანულ და არაორგანულ კომპონენტებთან“. სხვაგვარად, ეკოლოგია არის მეცნიერება ცოცხალი ორგანიზმების შესახებ მათ „საკუთარ სახლში“. ინგლისელი ეკოლოგის ტენსელის მიხედვით ეკოლოგია, ფართო გაგებით, არის მცენარეთა და ცხოველთა ცხოვრების შესწავლა მათ ბუნებრივ ადგილსამყოფელში.

ეკოლოგია სწავლობს არა მარტო ორგანიზმების ურთიერთობას გარემოსთან, არამედ თითოეული სახეობისთვის ისტორიულად ჩამოყალიბებულ სპეციფიკურ შეგუებებს, სპეციფიკურ სტრუქტურებსა და შიგა სახეობრივ ურთიერთობებს. აგრეთვე სხვადასხვა პირობებში ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად შექმნილ თანასაზოგადოებებს.

ამრიგად, ეკოლოგია ბიოლოგიის ნაწილია, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმებს შორის ურთიერთკავშირებს, აგრეთვე ცოცხალ ორგანიზმებსა და მათ საცხოვრებელ გარემოს ურთიერთდამოკიდებულებას შეისწავლის.

ტერმინი „ეკოლოგია“ ზოგჯერ ცნების „გარემოს დაცვა“ აღსანიშნავადაც გამოიყენება. თუმცა, ბოლო წლებში ამ ორი ტერმინის გამოიყენების ტენდენცია შეიმჩნევა, სადაც „ეკოლოგია“ აღნიშნავს ბიოლოგიის დარგს, ხოლო „გარემოს დაცვა“ – ადამიანის საქმიანობის შედეგად მისი გარემოს დეგრადაციასთან დაკავშირებულ საკითხებს.

არსებობს ტერმინის „ეკოლოგია“ კიდევ რამდენიმე განმარტება:

- ეკოლოგია არის მეცნიერება, რომელიც მიმართულია ცო-

ცხალ არსებათა განთავსების და განაწილების, მათ გარემომცველ სამყაროსთან ურთიერთობის და წონასწორობის პირობების შეცნობისაკენ;

- ეკოლოგია ბუნების ეკონომიკაა;

- ეკოლოგია გარემოს ორგანულ და არაორგანულ კომპონენტებთან ცოცხალი ბუნების ურთიერთობების შემსწავლელი მეცნიერებაა;

- ეკოლოგია არის მეცნიერება, რომელიც ცოცხალ ბუნებაში არსებულ რთულ ურთიერთკავშირებს სწავლობს.

როგორც ჩანს, არც ისე დიდი დრო გავიდა მას შემდეგ, რაც გერმანელმა მკვლევარმა ე.ჰეკელმა ხმარებაში შემოიღო ტერმინი „ეკოლოგია“ (1866წ) და იგი ბევრი ჩვენგანისთვის დღეს პლანეტაზე შექმნილი საშიში სიტუაციის სინონიმი გახდა.

როგორი იქნება გარემო-სამყაროს მდგომარეობა უახლოეს თუ შორეულ მომავალში? რა გველოდება ჩვენ? მოწამლული ჰაერი და წყალი, განადგურების პირას მისული საფარველი – ოზონის ფენა, სიცოცხლის თანდათანობით გაქრობა? შეძლებს თუ არა ადამიანი დაიცვას პლანეტა გაჭუჭყიანებისგან, გონივრულად გამოიყენოს მისი რესურსები? ასეთი კითხვები კარგა ხანია დადგა თითოეული ადამიანის წინაშე.

§ 10.1. ეკოლოგიური ფაქტორები და მცენარეული საფარი

გარემო, სადაც არსებობს მცენარე, არაერთგვაროვანია და შეიცავს უამრავ ელემენტს, ანუ ფაქტორს, რომლიც გავლენას ახდენს მცენარეულობაზე. მათ ეკოლოგიურ ფაქტორებს უწოდებენ. ეკოლოგიურ ფაქტორებს მიეკუთვნება: სინათლე, სითბო, წყალი, ნიადაგი, მინერალური ნივთიერებები და ა.შ. ისინი, ყველა ერთად, შეადგენენ მცენარის არსებობის პირობებს. თითოეული ეკოლო-

გიური ფაქტორი ხასიათდება მნიშვნელობათა განსაზღვრული დიაპაზონით. ამასთან დაკავშირებით მიღებულია ფაქტორის ინტენსივობის განსაზღვრული 3 კარდინალური მნიშვნელობა:

1. მინიმუმი; 2. მაქსიმუმი; 3. ოპტიმუმი.

მიდამოებს ოპტიმუმსა და მინიმუმს შორის და აგრეთვე ოპტიმუმსა და მაქსიმუმს შორის, სადაც დაიკვირვება ფაქტორის დეფიციტი ან პირიქით სიჭარბე, უწოდებენ „პესიმუმის ზონებს“. ამ ზონებში მცენარეთა განვითარება უარესდება. მცენარეთა საუკეთესო განვითარების პირობები შეესაბამება ფაქტორის ოპტიმალურ მნიშვნელობებს. ეკოლოგიურ ფაქტორებს ყოფენ სამ ჯგუფად:

1. აბიოტური; 2. ბიოტური; 3. ანთროპოგენული.

აბიოტურ ფაქტორებს მიეკუთვნება: კლიმატური პირობები, ნიადაგი, ჰიდროლოგიური და ოროგრაფიული ფაქტორები.

ბიოტური ფაქტორებია: ცოცხალი ორგანიზმების ზემოქმედების ფაქტორები. მაგალითად, ცხოველთა ნაწილი იკვებება მცენარეებით, ცხოველები და მწერები ავრცელებენ მცენარეულ თესლებს და ა.შ.

ანთროპოგენული ფაქტორი უშუალოდ ადამიანის ზემოქმედების ფაქტორია. მასში იგულისხმება ტყეების გაჩეხვა, ცხოველთა დახოცვა და სხვა.

დაწვრილებით შევჩერდეთ ზოგიერთ ფაქტორზე.

აბიოტური ფაქტორები

სინათლე. მას დიდი ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს მცენარეებისათვის. სინათლესთან დამოკიდებულების მიხედვით ერთმანეთისგან განასხვავებენ სამ ჯგუფს:

1. სინათლის მოყვარულები – ტუნდრის, უდაბნოს და სტეპის მცენარეულობა, უტყეო მთათა მწვერვალები და ასე შემდეგ;

2. ჩრდილგამძლე მცენარეულობა, რომლებშიც უმთავრესად იგულისხმება ველებზე გაზრდილი მცენარეები;

3. ჩრდილმოყვარული მცენარეულობის ჯგუფი, მათ მიეკუთვნება ტყის მცენარეები, რომლებიც მხოლოდ ჩრდილში იზრდებიან.

სითბო სითბო აუცილებელია მცენარეთა განვითარებისთვის, ფოტოსინთეზისათვის, მცენარეთა სუნთქვისათვის, ტრანსპირაციისთვის, ზრდისთვის და ა.შ. მის განაწილებას დედამიწაზე ძირითადად განსაზღვრავს მზის სხივური ენერჯია და დედამიწის ფორმა. სწორედ ამის გამო დედამიწაზე ყალიბდება სხვადასხვა სითბური სარტყელები.

წყალი. მას მცენარეულობა ლეზულობს ნიადაგიდან ფესვების დახმარებით. შემდეგ იგი გადაეცემა ღეროს, ფოთლებს და აქედან ორთქლდება. მცენარის ფოთლებიდან წყლის აორთქლების პროცესს ეწოდება ტრანსპირაცია. წყალი ნიადაგში ძირითადად ხვდება ნალექების საშუალებით. ჩვენ თუ ნალექების განაწილების რუკას მცენარეულობის განაწილების რუკას შევადარებთ, დავინახავთ გარკვეულ კანონზომიერებას. ტროპიკული ტყეები შეგუებულია 2000-1200 მმ ნალექებს, ევრაზიის ზომიერი ტყეები 500-700 მმ-ს, უდაბნოები მაქსიმუმ 250 მმ-ს.

ნიადაგი. მისი უმთავრესი თვისება არის ნაყოფიერება. სხვადასხვა მცენარე კმაყოფილდება ნაყოფიერების სხვადასხვა ხარისხით. ამის მიხედვით მცენარეულობაში განასხვავებენ 3 ჯგუფს: 1. ევტროფები, 2. ოლიგოტროფები და 3. მეზოტროფები.

1. ევტროფები მოითხოვენ ნიადაგების მაღალ ნაყოფიერებას. მათ მიეკუთვნება: სტეპის, ტყესტეპის და ფართო ფოთლოვანი ტყეები;

2. ოლიგოტროფები იზრდებიან ღარიბ ნიადაგებზე. მათ მიეკუთვნება: ქვიშიანი ნიადაგების და ჭაობის ნიადაგების მცენარეულობა;

3. მეზოტროფებს კი – შუალედური მდგომარეობა უკავიათ ამ ორს შორის.

ოროგრაფია. ხმელეთის რელიეფი დიდ გავლენას ახდენს მცენარეული საფარის განვითარებაზე, რადგანაც ის განაპირობებს სითბოსა და ტენის განაწილებას. მაგალითად, სამხრეთით ორიენტირებული ფერდობები უფრო თბილია და ნოტიო, ვიდრე

ჩრდილოეთით ორიენტირებულნი. ამიტომ სამხრეთის ფერდობებზე უფრო სითბოს მოყვარული მცენარეები გვხვდება. განსაკუთებით დიდია მთების მნიშვნელობა. მთებში ვიცით, რომ აღინიშნება სიმაღლებრივი სარტყელურობა ე.ი. სიმაღლის მიხედვით იცვლება სითბოც და ნალექებიც. ეს კი გავლენას ახდენს მცენარეულობის გავრცელებაზე. გარდა ამისა დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე თვითონ რელიეფის ფორმას. კერძოდ, უარყოფითია თუ დადებითი.

ბიოტური ფაქტორები

ბიოტური ფაქტორებიდან განვიხილოთ ერთი სახის მცენარეულობის გავლენა მეორე სახის მცენარეულობაზე. ამ შემთხვევაში ერთმანეთისგან განასხვავებენ მცენარეთა ურთიერთკავშირის რამოდენიმე ტიპს: 1. ბუტუალიზმი, 2. კომენსალიზმი, 3. პარაზიტები და 4. კონკურენცია.

1. „მუტუას“ – ლათინური სიტყვაა და ნიშნავს „ურთიერთს“. ბუტუალიზმის დროს მცენარეები ერთად არსებობის პირობებში ღებულობენ სარგებლობას. ეს ურთიერთკავშირი აუცილებელია მათთვის.

2. რაც შეეხება კომენსალიზმს, იგი მცენარეთა ურთიერთობის ისეთი ფორმაა, როდესაც ერთად არსებობა ხელსაყრელია მხოლოდ ერთი მათგანისათვის, ხოლო მეორესთვის ამას არსებითი მნიშვნელობა არ აქვს. ამ შემთხვევაში ერთმა მცენარემ შესაძლებელია გამოიყენოს მეორე მცენარე მიმაგრების ობიექტად.

3. პარაზიტობი ურთიერთობის განსხვავებული ფორმაა. მცენარე პარაზიტი ცხოვრობს სხვა მცენარის ხარჯზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც პარაზიტულ მცენარეს გააჩნია მწვანე შეფერილობა, ე.ი. განიცდის ფოტოსინთეზს, მაშინ მას ნახევრად პარაზიტს უწოდებენ.

4. კონკურენცია წარმოიქმნება მცენარეთა შორის არსებობისთვის ბრძოლაში. ეს ბრძოლა გამოიხატება მცენარის ტანის განვითარებაში, საკვებ ნივთიერებებზე, სინათლეზე და ა.შ. ამ დროს ორივე კონკურენტი მცენარე ერთმანეთზე უარყოფითად მოქმედებს.

ანთროპოგენური ფაქტორები

ადამიანები ოდითგანვე ახდენენ ზემოქმედებას გარემოზე და ბუნებრივია მცენარეულ საფარზეც. ეს განსაკუთრებით საგრძნობია ჩვენს დროში.

ადამიანის გავლენა გარემოზე შეიძლება იყოს პირდაპირი და არაპირდაპირი.

პირდაპირი გავლენაა მოსავლის აღება, ტყის გაჩეხვა, ყვავილების და კვირტების გაკრეფა და ა.შ. ასეთი გავლენა ბუნებრივია უარყოფითად მოქმედებს გარემოზე და იწვევს ზოგიერთი სახის მცენარეულობის შემცირებას და განადგურებასაც კი.

ირიბი გავლენა გამოიხატება მცენარეთა არსებობის პირობების შეცვლაში. მას მიეკუთვნება ყველანაირი ირიგაციული სამუშაოები. კერძოდ, მორწყვა, ჭაობების ამოშრობა და სხვა.

მცენარეულობაზე უარყოფითად მოქმედებს აგრეთვე ადამიანთა მიერ ატმოსფეროს და ნიადაგების დაბინძურება, რაც ხშირად იწვევს მცენარეთა ზოგიერთი სახეობების სრულიად განადგურებას.

§ 10.2. ეკოლოგიური ფაქტორები და ცხოველთა

სამყარო

მცენარეთა ანალოგიურად, განიხილება ცხოველთა არსებობის ეკოლოგიური ფაქტორები. კერძოდ, აბიოტური, ბიოტური და ანთროპოგენული. ზუსტად ანალოგიურად განსაზღვრება ნებისმიერი ფაქტორის მინიმუმი, მაქსიმუმი და ოპტიმუმი, თავისი შესაბამისი პესიმუმებით.

აბიოტური ფაქტორები

სიტბო ცნობილია, რომ სწორედ სიტბო განსაზღვრავს დედამიწაზე ცხოველთა განსახლებას. ცხოველები სიტბოს ამტანობის მიხედვით იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად – ვერითერმები და სტენოთერმები.

„ვერი“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს „ფართოს“. აქედან გამომდინარე ვერთერმულ ჯგუფს მიეკუთვნებიან ცხოველები, რომლებიც იტანენ ტემპერატურის დიდ ცვალებადობას.

„სტენოც“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს „ვიწროს“. ამიტომ ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ისეთი ცხოველები, რომლებიც ვერ იტანენ ტემპერატურის დიდ რყევას და დამოკიდებულნი არიან მხოლოდ გარკვეული, დაბალი ან მაღალი ტემპერატურის პირობებზე. გამომდინარე აქედან სტენოთერმულ ჯგუფში განასხვავებენ ცხოველთა ორ სახეობას: ცივ და თბილ გარემოში მოსახლეები. პირველი სახეობა ქმნის სიცივის მოყვარულთა ჯგუფს, ხოლო მეორე – სითბოს მოყვარულთა ჯგუფს.

სიცივის მოყვარულთა ჯგუფიდან აღსანიშნავია: თეთრი დათვი, სელაპი, პინგვინი, ჩრდილოეთის ირემი და ა.შ.

სითბოს მოყვარულთა ჯგუფში: ადამიანის მსგავსი მაიმუნები, ჟირაფები, ქვეწარმავლები და ა.შ.

თბილსისხლიანი ცხოველები უფრო მეტად ვერთერმულები არიან, ამიტომ მათი განსახლება უმეტეს შემთხვევაში არაა დაკავშირებული ტემპერატურაზე.

ცივისისხლიანთა განსახლება კი მნიშვნელოვნადაა დაკავშირებული ტემპერატურაზე, ამიტომ მათ შორის უმეტეს შემთხვევაში გვხვდებიან სტენოთერმული ცხოველები.

წყალი. ცნობილია, რომ წყალი წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს ცხოველთა სამყაროში. ზოგიერთი ცხოველის უმეტესი ნაწილი 50-90% წყალს შეიცავს. მაგალითად, მედუზის სხეული 98% წყალს შეიცავს. ორგანიზმში წყლის ნაწილობრივი დაკლებისთანავე, ცოცხალი ორგანიზმი ავადდება და ხშირად იღუპება, მაგრამ ზოგიერთ ცხოველს დიდხანს შეუძლია უწყლოდ გაძლება. ასეთ ცხოველებს მიეკუთვნება აქლემი, მრავალი მღრღნელი და ა.შ.

ჰაერის სინოტივეს დიდი მნიშვნელობა აქვს ცხოველთა განსახლებაში. ზოგიერთი ცხოველი საჭიროებს ჭარბ სინოტივეს და მისი

მცირედ შემცირებისას ილუპება. სამხრეთ აფრიკაში გვალვების დროს, როდესაც მდინარეები და წყლის უდიდესი ნაწილი ფაქტურად შრება, მნიშვნელოვნად ეცემა ჰაერის სინოტივე და ამ ორი ფაქტორის გამო მასიურად ილუპებიან შინაური ცხოველები. ეს კი – მოსახლეობას დიდი ზიანს აყენებს. მათ პარალელურად არსებობენ ისეთი ცხოველებიც, რომლებიც სინოტივის დაკლებას ადვილად იტანენ.

სინოტივისა და წყლის მოთხოვნილების მიხედვით ცხოველებს ყოფენ ორ ჯგუფად: ევრიჰიდრობიონტები და სტენოჰიდრობიონტები.

პირველს მიეკუთვნება ისეთი ფორმები, რომლებიც კარგად იტანენ სინოტივისა და წყლის დიდ მერყეობას. ასეთებია: ბუბუშწოვართა უმრავლესობა და ფრინველთა დიდი ნაწილი.

მეორენი საჭიროებენ ან სიმშრალეს ან სინოტივისა და წყლის სიჭარბეს. ამასთან დაკავშირებით მათ შორის განასხვავებენ სიმშრალის და სინოტივის მოყვარულებს.

თოვლიც მნიშვნელოვანი ფაქტორია ცხოველთათვის. კერძოდ, როდესაც ნიადაგი თოვლის საფარითაა დაფარული ზოგიერთი ცხოველი ვეღარ მოიპოვებს საკვებს და ილუპება.

სინათლე. მისი, როგორც ერთერთი ეკოლოგიური ფაქტორის მნიშვნელობა ზღვებში და ხმელეთზე მობინადრე ცხოველებისთვის განსხვავებულია. ზღვას განათებულობის მიხედვით ყოფენ სამ ზონად: ყველაზე მეტად განათებულია ზღვის ზედაპირიდან 30 მ-მდე ზონა, რომელსაც პოლიფოტურ, ანუ ევფოტურ ზონას უწოდებენ. ზოგიერთ შემთხვევაში მისი სიღრმე ვრცელდება 50-80 მ-მდე. ამ ზონის მომდევნო ფენა ვრცელდება 200 მ-ის სიღრმემდე. ის ევფოტურთან შედარებით ნაკლებად განათებულია და მას უწოდებენ მეზოფოტურ ანუ დისფოტურ ზონას. ზოგჯერ ეს შრე ვრცელდება 400-500 მ-მდე. ეს არის პრაქტიკულად საზღვარი, რომლის ქვემოთაც ფოტოფირფიტა რეაქციას აღარ ღებულობს და პრაქტიკულად აღარ გვხვდებიან წყალმცენარეები. მის შემდეგ ვრცელდება შრე, თითქმის

ფსკერამდე და მას აფოტური ზონა ეწოდება. იგი ხასიათდება მუდმივი წყვდიადით.

ჩვენს მიერ ჩამოთვლილი ზონების შესაბამისად ერთმანეთისგან ანსხვავებენ: პოლიფოტურ, დისფოტურ და აფოტურ ცხოველებს. სიღრმის ცხოველებს აბსოლუტური წყვდიადის პირობებში უზღებათ არსებობა. ამასთან დაკავშირებით სიღრმის მრავალ ცხოველს ახასიათებთ მანათობელი ორგანოები. ზიგიერთი მათგანი ბრმაა, ხოლო ზოგი ხასიათდება ტელესკოპური თვალებით.

ხმელეთზე მზის სხივი თითქმის ყველგან აღწევს, გარდა უღრანისა და სწორედ ამიტომ ხმელეთის ცხოველებში ერთმანეთისგან განსხვავდებიან სინათლის და სიბნელის მოყვარულები. პირველს მიეკუთვნება: ძუძუმწოვრები, ფრინველთა დიდი ნაწილი და სხვა. მეორე ჯგუფს კი: ღამის მტაცებელი ფრინველები, ჩლიქოსნების დიდი ნაწილი, მღრღნელები და სხვა.

ჟანგბადი. მისი მოთხოვნილების მხრივ ცხოველები ნაწილდებიან ორ ჯგუფად, ესენია: ევროქსიდიონტები და სტენოქსიდიონტები. პირველს მიეკუთვნებიან ისინი, რომლებიც ჟანგბადის საერთო რაოდენობის ცვალებადობას ადვილად იტანენ. ეს ჯგუფი მცირერიცხოვანია და მათ მიეკუთვნება კობრისებრთა ოჯახის და კარასის სახეობები. დანარჩენები კი – წარმოადგენენ სტენოქსიდიონტებს.

ამრიგად, ჩვენ დავინახეთ, რომ ცხოველთა ესა თუ ის სახეობა ეგუება გარემოს გარკვეულ ფაქტორთა მეტნაკლებ ამპლიტუდას. ცხოველთა ცალკეული სახეობის უნარიანობას გარემოს ფაქტორთა მერყეობის ამტანიანობისადმი, ეკოლოგიური ანუ ზოოლოგიური ვალენტოვნება ეწოდება. რაც უფრო დიდია იგი, მით უფრო ფართო გავრცელება ახასიათებთ.

ასეთ ფორმებს ევრიბიონტები ეწოდებათ, ხოლო მცირე ეკოლოგიური ვალენტოვნების მქონე ცხოველები წარმოადგენენ სტენობიონტებს.

§ 10.3. ბიოცენოზები

კავშირი მცენარეულობასა და ცხოველებს შორის ორმხრივია. კერძოდ, ცხოველები მცენარეულობიდან ღებულობენ ორგანულ ნივთიერებებს, ხოლო მცენარეები თავის მხრივ ცხოველებიდან იღებენ აზოტს. ასეთი ურთიერთკავშირი მიუთითებს იმაზე, რომ არ შეიძლება საუბარი ცალკე მცენარეთა და ცალკე ცხოველთა არსებობაზე. არსებობს მცენარეთა და ცხოველთა გარკვეული დაჯგუფებები, რომელთაც ბიოცენოზებს უწოდებენ. ბიოცენოზი წარმოადგენს ისტორიულად, ეკოლოგიურად და ფიზიოლოგიურად დაკავშირებულ ფორმათა კანონზომიერ კომპლექსს. ყოველ ბიოცენოზს უკავია ბიოსფეროს გარკვეული ადგილი ანუ ბიოტოპი. ბიოცენოზები იქმნება ევოლუციის პროცესში ბუნებრივი შერჩევის საფუძველზე. მსგავსად გეოგრაფიული გარსისა, თუ შევცვლით ბიოცენოზის რომელიმე რგოლს, შეიცვლება სხვა დანარჩენი რგოლებიც. ამ მხრივ გვაქვს სრული ანალოგია გეოგრაფიულ გარსთან.

ხმელეთზე ბიოცენოზის სტრუქტურაში, როგორც წესი, ბატონობენ მცენარეები, ხოლო ზღვებსა და ოკეანეებში კი – ცხოველები. სახეობათა სიმდიდრე ბიოცენოზებში სხვადასხვაა. პოლარულ ქვეყნებში, უდაბნოებში და მაღალმთიან რაიონებში ის შედარებით ღარიბია. უფრო მეტია ტყეებში. განსაკუთრებით კი მრავალფეროვანია ტროპიკულ ტყეებში. ყოველივე ეს განისაზღვრება ნიადაგკლიმატური და საკვები პირობებით.

ბიოცენოზები საკმაოდ მდგრადი წარმონაქმნია. დარღვევისას, მას გააჩნია აღდგენის უნარი. თავისი განვითარების პროცესში ბიოცენოზის ერთი მდგრადი ტიპი იცვლება მეორე მდგრადი ტიპით. ამ შეცვლის პროცესს ეწოდება სუკცესია. იგი წარმოადგენს ბიოცენოზის ცვლილების გამომწვევი შინაგანი და გარეგანი მიზეზების შერწყმის რთულ შედეგს. გარეგან მიზეზებს მიეკუთვნება ბიოცენოზში ახალი ცხოველების და მცენარეების შეღწევა, ჰავის

შეცვლა, ადამიანთა სამეურნეო მოღვაწეობა და სხვა. შინაგანი მიზეზებია – ნიადაგების ევოლუცია, ბრძოლა ბიოცენოზის შიგნით არსებულ ორგანიზმთა შორის და კიდევ სხვა მრავალი.

§ 10.4. ატმოსფეროს ეკოლოგიური პრობლემები

ადამიანი თავისი სამეურნეო საქმიანობის შედეგად აჭუჭყიანებს ატმოსფერულ ჰაერს, რაც თავის მხრივ უარყოფითად უბრუნდება თავით ადამიანს. გარემოს დაბინძურების წყაროებს შორის პირველ ადგილზეა ნახშირბადების წიაღისეული. მათ მიეკუთვნება ნახშირი, ნავთობი და გაზი. მათი წვის შედეგად გამოყოფილი ნარჩენები აჭუჭყიანებენ ატმოსფეროს და უარყოფით გავლენას ახდენენ ადამიანის ორგანიზმზე. ატმოსფეროს გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებები ადამიანის ორგანიზმზე მოქმედების თვალსაზრისით ახდენენ ფიზიკურ და ქიმიურ ზემოქმედებას. ფიზიკურ ზემოქმედებას ახდენს რადიოაქტიური ნივთიერებები, სითბური გაჭუჭყიანება (ტემპერატურის გაზრდა), ხმაური და დაბალ სიხშირიანი ვიბრაციები. ქიმიურ ზემოქმედებას ახდენს თხევადი ნახშირწყალბადები, სარეცხი საშუალებები, პლასტმასები, პესტიციდები და სხვა სინთეტიკური ნივთიერებები, აზოტის და გოგირდის ნარჩენები, მძიმე მეტალები, ფტორის შენაერთები, მყარი მინარევი, ორგანული ნივთიერებები.

წარმოშობის მიხედვით ატმოსფერული ჰაერის გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებები იყოფა ბუნებრივი და ხელოვნური (ანტროპოგენური) წარმოშობის მინარევიებად. ბუნებრივი წარმოშობის მინარევიები ატმოსფეროში ხვდება ვულკანური მოქმედების, ნიადაგისა და მთის ქანების გამოფიტვის, ტყეების ხანძრის, მეტეორიტების წვის შედეგად. ანტროპოგენური წარმოშობის მინარევიები წარმოიქმნება უპირველეს ყოვლისა საწვავის წვის პრო-

ცესში – შიდა წვის ძრავებში, თბოელექტრო სადგურებში, გამათბობელ სისტემებში და აგრეთვე სამრეწველო და ყოფითი ნარჩენების წვის, ბირთვული აფეთქებების და სხვა შედეგად.

ერთ წელიწადში ატმოსფეროში მოხვედრილი მსოფლიო სამრეწველო ყოფითი გამონაბოლქვების საერთო მასა დაახლოებით 600 გტ-ს შეადგენს. გასული საუკუნის განმავლობაში ატმოსფეროში მოხვდა 1,35 მგტ კრემნიუმი, 1,5 მგტ – მიშიაკი, 1 მგტ-ზე მეტი – ნიკელი, 0,6 მგტ – ცინკი.

შემადგენლობის მხრივ ატმოსფეროში მოხვედრილ მინარევებს შორის განასხვავებენ აირად, მყარს და თხევადს. ამასთან აირად ნივთიერებათა წილზე 90% მოდის. მას მიეკუთვნება ნახშირბადის ოქსიდი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის ოქსიდები, ნახშირწყალბადები. მყარ მინარევებზე – მტკერი, მძიმე მეტალები, მინერალები და ორგანული შენაერთები, დაახლოებით 10% რადიოაქტიური ნივთიერებები. თხევადი მინარევების მასა (გოგირდმჟავა) აირად და მყარ მინარევებს შორის ძალზე მცირეა.

ატმოსფეროს ყველაზე გავრცელებული გაზია ნახშირბადის ოქსიდი (CO). მისი ძირითადი მასა წარმოიქმნება სათბობის წვის შედეგად, ხოლო ძირითადი წყარო შიდა წვის ძრავაა. აშშ-ი ავტომანქანები ყოველწლიურად გამოაბოლქვებენ 120 მგტ ნახშირბადის ოქსიდს. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა წარმოიქმნება ძრავას გახურების პროცესში.

ატმოსფეროს გამაჰუჰყიანაბელ ნივთიერებათა შორის სიდიდით მეორე – გოგირდის დიოქსიდია (SO₂). ის ძირითადად წარმოიქმნება ნახშირის წვის შედეგად. გამოთვლების თანახმად, ყოველწლიურად ატმოსფეროში ხვდება 145 მგტ გოგირდის დიოქსიდი. ამავე დროს ამ გამონაბოლქვების 70% წარმოიქმნება ნახშირის, ხოლო 16%-თხევადი სათბობის, ძირითადად მაზუთის, წვის შედეგად.

SO₂-ის დაშლა ატმოსფეროში ხდება მასზე ულტრაიისფერი რადიაციის მოქმედების შედეგად, რაც განაპირობებს გოგირდის

ანგიდრიდის (SO_3) წარმოქმნას. გაჭუჭყიანებულ ნოტიო ატმოსფეროში რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება აგრეთვე გოგირდმჟავა (H_2SO_4). ატმოსფეროში ხვდება აგრეთვე გოგირდწყალბადი (H_2S), რომელიც წარმოიქმნება ნიადაგის მიკროორგანიზმებში და ზღვის გარემოში.

ბენზინისა და დიზელის წვის შედეგად შიდა წვის ძრავებში წარმოიქმნება აზოტის ოქსიდი და დიოქსიდი. აზოტის დიოქსიდი ატმოსფეროში რჩება დაახლოვებით 3 დღე-ღამის განმავლობაში. წყლის ორთქლთან რეაქციის შედეგად ის გარდაიქმნება აზოტმჟავად და სხვა ნიტრატებად, რომლებიც ნალექებთან ერთად უბრუნდებიან ნიადაგს. აზოტის დიოქსიდი იშლება აგრეთვე ულტრაიისფერი რადიაციის ზემოქმედებისას და გარდაიქმნება NO -დ. მისი დაშლა ხდება აგრეთვე მაღალი ტემპერატურების (600-ზე მეტი) დროს.

ნახშირწყალბადის წარმოქმნის ძირითადი წყარო – მცენარეუბია, ანტროპოგენური წყარო კი – ავტოტრანსპორტი. ნახშირწყალბადებს მიეკუთვნება ნახშირბადის და აზოტის ოქსიდები.

ატმოსფეროში, როგორც ბუნებრივი, ისე ანტროპოგენური პროცესების შედეგად ხვდება აგრეთვე მყარი ნაწილაკები, ანუ აეროზოლები. მათ განსხვავებული ფორმები აქვთ. გაჭუჭყიანების ძირითადი წყაროა საშენი მასალების მოპოვებასთან და გამოყენებასთან დაკავშირებული მრეწველობა. კერძოდ, ქანების ხერხვა კარიერებში, ცემენტის დამზადება და სხვა. მყარი ნაწილაკების დიდ რაოდენობას – ცინკს, სპილენძს, ტყვიას და ალუმინს გამოაბოლქვებს ფერადი მეტალურგია.

ატმოსფეროში მოხვედრილი ნივთიერებათა უმრავლესობა უარყოფით გავლენას ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე. ისინი ხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში სასუნთქი ორგანოებიდან. ნაწილაკების 50% აღწევს ფილტვებში და ილექება. ორგანიზმში შეღწეული ნივთიერებები იწვევს ტოქსიკურ ეფექტს. დადგენილია საკმაოდ კარგი სტატისტიკური კავშირი ჰაერის დაჭუჭყიანების დონესა და ისეთ დაავადებათა შორის, როგორიც არის ზედა

სასუნთქი ორგანოების დაავადება, გულის უკმარისობა, ბრონქიტი, ასთმა, პნევმონია, ფილტვების ემფიზემა და სხვა. ჩვენ განვიხილავთ ზოგიერთი მავნე ნივთიერებების უშუალო გავლენის შედეგებს ცოცხალ ორგანიზმებზე.

CO ნახშირბადის ოქსიდის მაღალი კონცენტრაცია, რომელიც აღემატება დასაშვებ ზღვარს, იწვევს ადამიანის ორგანიზმში ფიზიოლოგიურ ცვლილებებს, ხოლო ზოგჯერ სიკვდილსაც. ეს აიხსნება იმით, რომ CO ადვილად უერთდება ჰემოგლობინს. ამ შეერთების დროს წარმოიქმნება კარბოქსილგემოგლობინი, რაც იწვევს მხედველობის დაქვეითებას, გულის და ფილტვების მოქმედების გაუარესებას, თავის ტკივილს, სპაზმებს, სუნთქვის დარღვევასა და სიკვდილს. CO-ს გავლენა ორგანიზმზე ფასდება არა მხოლოდ მისი კონცენტრაციით, არამედ მისი მოქმედების ხანგრძლივობით ანუ ექსპოზიციით. საბედნიეროდ, კარბოქსილგემოგლობინის წარმოქმნის პროცესი შექცევადია. გაზის შესუნთქვის შეჩერების შემდეგ იწყება მისი თანდათანობითი გამოსვლა სისხლიდან.

განსაკუთრებით მავნე გავლენას ადამიანებზე და ცოცხალ ორგანიზმებზე ახდენს SO_2 და SO_3 . მათი მოქმედებით აღინიშნება დაავადებულთა და სიკვდილიანობის სწრაფი ზრდა, მცენარეთა ფოთლების დაზიანება და სხვა.

მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროზე უარყოფით გავლენას ახდენს რადიაქტიური ნივთიერებები. ისინი დაშლის შედეგად მასაში კლებულობენ და უსასრულოდ დიდი დროის შემდეგ თეორიულად უნდა გაქრნენ. იმ დროს, რომლის განმავლობაშიც რადიაქტიური ელემენტის მასა მცირდება 2-ჯერ, ნახევარდაშლის პერიოდს უწოდებენ. სხვადასხვა ნივთიერების ნახევარდაშლის პერიოდი სხვადასხვაა და იცვლება რამოდენიმე საათიდან რამოდენიმე მილიარდ წლამდე.

განსაკუთრებით საშიშია ისეთი რადიაქტიური ნივთიერებები, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი რამოდენიმე კვირიდან რამოდენიმე წლამდეა. ეს დრო საკმარისია იმისათვის, რომ რადია-

ციამ შეაღწიოს მცენარეთა და ცხოველთა ორგანიზმში. კვების პროდუქტების საშუალებით რადიოაქტიური ნივთიერებები ხვდება ადამიანის ორგანიზმში, გროვდება და გარკვეული დოზის მიღწევის შემდეგ ზიანს აყენებს მის ჯანმრთელობას. რადიაციით დასხივების სიმძიმე დამოკიდებულია ორგანიზმის მიერ შთანთქმულ ენერგიაზე. ამ ენერგიის ერთეულად მიღებულია 1 რადი. ის წარმოადგენს დასხივების დოზას, როდესაც ცოცხალი ნივთიერების ერთი გრამი შთანთქავს 10-ჯ ენერგიას. დადგენილია, რომ თუ ადამიანი მიიღებს დოზას – 1000 რადს, იგი იღუპება. 700 რადის შემთხვევაში სასიცოცხლო შედეგი 90%-ა, 200 რადის დროს – 10%-ა, ხოლო 100 რადის შემთხვევაში – ადამიანი ცოცხალი რჩება, მაგრამ მნიშვნელოვნად იზრდება მისი კიბოთი დაავადების და სრული პარალიზების ალბათობა.

სხვადასხვა წყაროებიდან გამოყოფილი ატმოსფეროს გამაჭუჭყიალებელი ნივთიერებები გადაიტანება ჰაერის მასების მიერ და ვრცელდება საკმაოდ დიდ მანძილებზე. ასეთი გზით წარმოიქმნება ატმოსფეროს გლობალური დაჭუჭყიანება. ამ დაჭუჭყიანებაში განსაკუთრებული ადგილი მიეკუთვნება რადიოაქტიურ მინარევებს, რადგანაც სწორედ ისინი წარმოადგენენ უდიდეს საშიშროებას. ატმოსფეროს რადიოაქტიური დაჭუჭყიანება განსაკუთრებით გააქტიურდა XX-ის 50-60-იან წლებში, რაც დაკავშირებული იყო ბირთული იარაღის მასობრივ გამოცდებთან. 1963 წელს ბიეთვული იარაღის გამოცდა ატმოსფეროსა და კოსმოსში აკრძალული იქნა, თუმცა ზოგიერთი ქვეყანა (ჩინეთი, საფრანგეთი და სხვა) არ შეუერთდა ამ კონფერენციას და განაგრძო იარაღის გამოცდა. სწორედ ამიტომ, ატმოსფეროს რადიოაქტიური დაჭუჭყიანების პრობლემა დღესაც ინარჩუნებს აქტუალურობას. რადიოაქტიური მინარევების ატმოსფეროში მოხვედრის ოთხი წყაროა და ამის შესაბამისად მათ ყოფენ ოთხჯგუფად: I-ს მიეკუთვნება დედამიწის ქერქის ზოგიერთი რადიოაქტიური ელემენტის ემინაციები და მათი დაშლის პროდუქტები. II-ს ქმნიან კოსმოგენური იზოტოპები, რომლებიც

წარმოიქმნება ჰაერის ატომების კოსმოსურ სხივებთან ურთიერთ-ქმედების შედეგად. III ჯგუფს ქმნის ბირთვული აფეთქების პროდუქტები, ხოლო IV-ს კი – ატომური მრეწველობის ნარჩენები.

გამოთვლების თანახმად დადგენილია, რომ ბირთვული აფეთქებები იწვევენ არა მხოლოდ ლოკალური მასშტაბის შედეგებს, არამედ სერიოზულ, გლობალურ დარღვევებს, რამაც შესაძლოა მიგვიყვანოს ჰაერის შეუქცევად ცვლილებამდე, დედამიწის ოზონის ფენის გარღვევამდე და ბიოსფეროს არსებით გარდაქმნამდე. ბირთვული აფეთქების დროს წარმოიქმნება გავარვარებული ცეცხლოვანი სფერო, რომელიც წარმოადგენს სინათლის გამოსხივებისა და დარტყმითი ტალღის წყაროს. აფეთქების მომენტში გავარვარებული სფეროს ტემპერატურა შეადგენს რამოდენიმე მილიონ გრადუსს. აფეთქებიდან დაახლოებით 10-15 წამის შემდეგ ტემპერატურა ეცემა 2000-3000 გრადუსამდე და ამავე დროს ცეცხლოვანი სფერო კარგავს სიკაშკაშეს. ერთმანეთისაგან განასხვავებენ საჰაერო, მიწისზედა და მიწისქვეშა ან წყალქვეშა ბირთვულ აფეთქებებს.

საჰაერო აფეთქების დროს ცეცხლოვანი სფერო არ ეხება დედამიწის ზედაპირს და მთელი რადიაქტიური მტვერი შედგება მხოლოდ ბომბის რადიაქტიური ნარჩენებისაგან. კერძოდ, ნამსხვრევებისაგან. ისინი აფეთქების დროს ორთქლდებიან, ხოლო შემდგომი გაცივებისას განიცდიან კონდენსაციას.

მიწისზედა აფეთქების დროს ცეცხლოვანი სფერო ეხება დედამიწის ზედაპირს, რის გამოც ის იტაცებს გრუნტის მნიშვნელოვან მასას. ამ დროს გრუნტის ზედაპირული ფენა, რამოდენიმე ასეული მეტრის რადიუსში ორთქლდება და ერევა აფეთქების რადიაქტიურ პროდუქტებს. გაცივების შედეგად წარმოქმნილი მყარი ნაწილაკები წარმოადგენენ რადიაქტიურობის ძირითად გადამტანებს. როდესაც სფერო კარგავს სიკაშკაშეს, წარმოიქმნება თეთრი ან ნაცრისფერი რადიაქტიური ღრუბელი. ის ღებულობს სოკოსმაგვარ ფორმას და თანდათან ზემოთ მიიწევს. ამ ღრუბლის აღმასვლა

გრძელდება მანამ, სანამ მისი ტემპერატურა არ გაუტოლდება გარემოს ტემპერატურას. ამის შემდეგ ღრუბლის მოძრაობა დამოკიდებულია ორ ძირითად ფაქტორზე: I – სიმძიმის ძალის მოქმედებაზე ჰაერის წინააღმდეგობის ძალებთან ერთად და II – ქარის ველზე.

პირველი ფაქტორის მოქმედებით ხდება ნაწილაკების დაშვება, ხოლო მეორეს მოქმედებით – ღრუბლის გადატანა ჰორიზონტალური მიმართულებით. რადიაქტიური პროდუქტების დაშვების საერთო დრო, საშუალო და დიდი სიმძლავრის ბომბებისათვის შეადგენს 6-8 საათს, ხოლო მათი ჰორიზონტალური გავრცელების ზომები იცვლება დიდ საზღვრებში, რომელიც დაკავშირებულია ქარის სიჩქარეზე და მისი სიმაღლის ცვლილებაზე.

ავტოტრანსპორტის და ავიაციის განვითარებამ არსებითად გაზარდა მათგან გამონაბოლქვი აირების წილი ატმოსფეროში. შეფასებები გვიჩვენებს, რომ საშუალო რაოდენობის მოსახლეობის სამრეწველო ქალაქში ავტოტრანსპორტის წილზე მოდის გამონაბოლქვის საერთო მასის 30-70%. ამერიკის შეერთებულ შტატებში დამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების 40% მოდის მოძრავი წყაროების გამონაბოლქვზე, მათ შორის სატვირთო და სამგზავრო ავტომობილებზე, ორთქმავლებზე და საჰაერო ტრანსპორტზე. ძირითადი წილი მოძრავი წყაროებიდან ატმოსფეროს დაბინძურებაში მოდის ბენზინზე მომუშავე ავტომობილებზე. ა.შ.შ.-ში მათი ხვედრითი წილი შეადგენს 75%-ს, თვითმფრინავების გამონაბოლქვისა – 5% და ა.შ.

ძირითადი დამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებებია ნახშირბადის ოქსიდი, ნახშირწყალბადები და აზოტის ოქსიდები. ნახშირწყალბადებისა და ნახშირბადის ოქსიდის უდიდესი გამონაბოლქვი აღინიშნება ავტოტრანსპორტის დამუხრუჭებისა და თავისუფალი სვლის დროს, ხოლო აზოტის ოქსიდისა შეესაბამება დიდ სიჩქარეებს. საერთოდ, ავტომობილები ძლიერ აჭუჭყიანებენ ჰაერს გაჩერებისა და დაძვრის დროს. დიზელის ძრავები შედარებით ეკონომიურია და გამოაბოლქვენ ზოგიერთი ნივთიერების

შედარებით ნაკლებ რაოდენობას, მაგრამ დიზელის ძრავა დიდი რაოდენობით გამოაბოლქვებს დაუწვავ ნახშირბადს, ამიტომ ის უფრო მეტად აჭუჭყიანებს გარემოს და უფრო ცუდად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. თვითმფრინავის გამონაბოლქვები ნაკლებად მოქმედებს ქალაქის ჰაერზე, ის ძირითად გავლენას ახდენს ჰაერის გაჭუჭყიანებაზე მხოლოდ აეროპორტის რაიონში. შეფასებულია, რომ საწვავის 42% იხარჯება თვითმფრინავის გამოყვანაზე ასაფრენ ბილიკამდე და შეყვანაზე მისი დაჯდომის შემდეგ. ამ დროს დაუწვავი და ატმოსფეროში გამონაბოლქვი საწვავი გაცილებით მეტია, ვიდრე მთელი ფრენის განმავლობაში.

ზოგიერთი დიდი სიჩქარის თვითმფრინავი და კოსმოსური ხომალდი აჭუჭყიანებს სტრატოსფეროს აზოტისა და გოგირდმყავას მოქმედებით, აგრეთვე ალუმინის ოქსიდის ნაწილაკებით. ისინი უარყოფითად მოქმედებენ ოზონის ფენაზე და ჰაერის გლობალურ ტემპერატურაზე. ქლოროფტორ მეთანები, ფრეონი 11, ფრეონი 12–წარმოადგენენ გაზს, რომლებიც წარმოიქმნება იმ აეროზოლური პრეპარატების აორთქლებისას, რომლებიც გამოიყენება თმების შესაღებად. აღნიშნული გაზები ვრცელდება და ხანგრძლივად არსებობს ტროპოსფეროში.

ფრეონები აძლიერებენ სათბურის ეფექტს. გამოთვლების თანახმად, დაახლოებით 2030 წელს ფრეონების გავლენის შედეგად ოზონის საერთო რაოდენობა შემცირდება 18%-ით, ხოლო ქვედა სტრატოსფეროში 40 %-ით. ყოველივე ამის საბოლოო შედეგად, მიწისპირა ტემპერატურა გაიზარდა 12-21 C-ით.

ატმოსფეროს გამჭუჭყიანებელთა რიცხვს მიეკუთვნება აგრეთვე ხმაური. ის გამაღიზიანებლად მოქმედებს ადამიანზე, მისი გავლენა დამოკიდებულია მის ინტენსივობაზე, მის სპექტრალურ შედგენილობაზე და მოქმედების ხანგრძლივობაზე. ადამიანზე განსაკუთრებით მოქმედებს ხმაური 3000-5000 ჰერცი სიხშირის დიაპაზონით. ხმაური დამლუპველად მოქმედებს სასმენ აპარატზე, ცენტრალურ და ვეგეტატურ ნერვულ სისტემაზე და გულის

მუშაობაზე. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ზებგერთი თვითმფრინავების ხმაური, იგი იწვევს ხმის ტალღის დარტყმას და ვიბრაციებს აეროპორტის ახლოს განლაგებულ ბინებში. თანამედროვე ზებგერთი თვითმფრინავები გამოსცემენ ხმას, რომლის ინტენსივობაც გაცილებით აღემატება დასაშვებ ნორმებს.

§ 10.5. ეკოლოგიური განათლება

ეკოლოგიური განათლება არის განათლების სისტემა, რომლის საფუძველია ინტერდისციპლინარული სამეცნიერო სწავლება ცოცხალი ორგანიზმების შესახებ, აგრეთვე ცოცხალ ორგანიზმებსა და მათ საცხოვრებელ გარემოს შორის ურთიერთკავშირზე. მოქალაქის უფლება – მოვალეობას, მიიღოს ეკოლოგიური განათლება, აიმაღლოს გარემოს დაცვითი ცნობიერების დონე, უზრუნველყოფს საქართველოს კანონი გარემოს დაცვის შესახებ. ეკოლოგიური განათლება ეკოპოლიტიკის ნაწილია. მისი მიზანია გარემოს დაცვა და გაჯანსაღება, ბუნებრივი რესურსების რაციონალური მოხმარება და განახლება სოციოსფეროს შენარჩუნება და განვითარება. ეკოლოგიური განათლება, რომელსაც საფუძველი XIX საუკუნეში ჩაეყარა, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების საფუძველზე აღმოცენდა. განათლების სისტემაში მას გარემოსდაცვითი განათლება ჩაენაცვლა. XX ს. 60-იან წლებში დაიწყო მნიშვნელოვანი ცვლილებები – მსოფლიოს ქვეყნებმა შემოიღეს დედამიწის დღე (22 აპრილი), ხოლო 70-იანი წლებიდან გაერთიანებული ერების ორგანიზაცია (გაერო), გარემოს დაბინძურების მასშტაბებისა და ბუნებრივი რესურსების არარაციონალური გამოყენების გამო, მნიშვნელოვან ყურადღებას უთმობს გარემოს დაცვის საკითხებს. გარემოს დაცვის სფეროში გარდატეხის პერიოდის დასაწყისად ითვლება გაეროს 1972 წლის სტოკჰოლმის კონფე-

რენცია „ადამიანის საარსებო გარემო“, სადაც დეკლარირებულ იქნა ეკოლოგიური განათლების აუცილებლობა.

1972 წელს ასევე იქმნება გაეროს გარემოსდაცვითი პროგრამა (*United Nations Environment Programm, UNEP*), როგორც გაეროს გენერალური ასამბლეის ორგანო.

გაეროს გარემოსდაცვითი პროგრამის მიერ გარემოსდაცვითი განათლების საერთაშორისო ხედვა პირველად დაფიქსირდა 1975 წელს, ბელგრადის ქარტიით, სადაც ჩამოყალიბებულია გარემოსდაცვითი განათლების მიზნები, ამოცანები, პრინციპები და გარემოსდაცვითი განათლების სამიზნე აუდიტორია (იუნესკო, გაეროს გარემოსდაცვითი პროგრამა, 1975). ამ მოსაზრებების შემდგომი განვითარება მოხდა 1977 წელს საქართველოში.

გარემოს დაცვის მიზნით თბილისში 1977 წელს მსოფლიოს პირველ სამთავრობათშორისო კონფერენციაზე „გარემოს შესახებ განათლება“, მიიღეს „თბილისის დეკლარაცია“, რომელშიც ხაზი გაესვა ეკოლოგიური განათლების აუცილებლობას როგორც ფორმალურ, ისე არაფორმალურ განათლებაში. ამასთანავე, ნათლად განისაზღვრა გარემოსდაცვითი განათლება, როგორც „სწავლის პროცესი, რომელიც მიმართულია როგორც გარემოსა და მასთან დაკავშირებული გამოწვევების შესახებ ცოდნისა და საზოგადოებრივი ცნობიერების დონის ამაღლებისკენ, ასევე ამ გამოწვევების გადასაჭრელად აუცილებელი უნარებისა და ექსპერტული ცოდნის განვითარებისკენ და ხელს უწყობს სათანადო დამოკიდებულებების, მოტივაციის ჩამოყალიბებას, რომელიც საჭიროა ინფორმირებული გადაწყვეტილებების მისაღებად და პასუხისმგებლობით და გონივრულად მოქმედებისთვის“ (იუნესკო, გაეროს გარემოსდაცვითი პროგრამა, 1978).

საქართველოში ეკოლოგიური განათლების დიდი ტრადიციები არსებობს. შოთა რუსთაველის ვეფხისტყაოსანი გაჯერებულია ფილოსოფიური ცოდნით სამყაროს აგებულების შესახებ, მოცეულია ადამიანისა და ბუნების ჰარმონიული ურთიერთობის მაგალითები.

მნიშვნელოვანია ვახუშტი ბატონიშვილის „აღწერა სამეფოსა საქართველოსა“, სადაც იკვეთება ეკოლოგიური განათლების საწყისები. ასევე არ შეიძლება ეკოლოგიური განათლების მნიშვნელობის უგულებელყოფა ვაჟა-ფშაველას ნაწარმოებებში, ი. გოგებაშვილის „ბუნების კარი“ კი – პედაგოგიური თვალსაზრისით ბავშვის გარემოსთან დაახლოების კონცეფციაა, რაც მოზარდს აძლევს საბუნებისმეტყველო ცოდნას, უნერგავს მას ბუნების სიყვარულს. საქართველოს „გარემოს დაცვის შესახებ“ კანონი ითვალისწინებს საზოგადოების გარემოსდაცვითი დონის ამაღლებას და სპეციალისტების მომზადებას ერთიანი სისტემით, რომელიც მოიცავს საგანმანათლებლო სასწავლებლების, კადრების მომზადებისა და კვალიფიკაციის ამაღლების დაწესებულებათა ქსელს. საყოველთაო, სავალდებულო, ერთიანი და უწყვეტი ეკოლოგიური განათლების სისტემა გულისხმობს გარემოსდაცვითი განათლების თანმიმდევრულ დანერგვას, სკოლამდელი განათლების სტრუქტურებიდან დაწყებული – საშუალო და უმაღლესი სკოლის ყველა საფეხურის ჩათვლით და საბაკალავრიატო – სამაგისტრატურო – სადოქტორანტურო სისტემით დამთავრებული. განათლების სისტემაში წარმოჩენილ თანამედროვე გარემოსდაცვით პრობლემებს შორისაა გარემოსდაცვითი (გლობალური დათბობა, მყავა წვიმები და სხვა), სოციალური (ადამიანის უფლებების დარღვევა, კულტურათაშორისი კონფლიქტი და სხვა) და ეკონომიური (მდიდარ და ღარიბ ქვეყანათა შორის სხვაობა და სხვა) პრობლემები. გარემოს დაცვისა და მისი რესურსების რაციონალურად გამოყენების შესახებ სავალდებულო ცოდნის მინიმუმის დაუფლება უზრუნველყოფილია საგანმანათლებლო დაწესებულების სასწავლო პროგრამით. გარემოსდაცვითი განათლების ერთიანი სისტემა მოიცავს სკოლამდელი, დაწყებითი, საბაზო, საშუალო, პროფესიული და უმაღლესი განათლების ეტაპებს. გარემოსდაცვითი მიმართულებები წარმოდგენილია სხვადასხვა უმაღლეს სასწავლებელში. საქართველოში არსებული კვლევითი ინსტიტუტების ნაწილი

გარემოსდაცვითი მიმართულებისაა. მოქალაქეთა გარემოსდაცვითი ცნობიერების ამაღლებას, ზრდასრულთა განათლებას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე სწრაფად ცვალებად სამყაროში. სახელმწიფოსთან ერთად არასამთავრობო ორგანიზაციებიც ახორციელებენ პროექტებს ეკოლოგიური განათლების ხელშეწყობად როგორც სკოლებში, ასევე უმაღლეს სასწავლებლებში.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. განსაზღვრეთ ეკოლოგია, როგორც მეცნიერება.
2. დაასახელეთ და გაანალიზეთ ეკოლოგიის ძირითადი ამოცანები.
3. რა იგულისხმება გარემოს, ეკოლოგიური ფაქტორის ქვეშ?
4. დაასახელეთ თანამედროვეობის გლობალური ეკოლოგიური პრობლემები, მათი თვისებები.
5. რა იგულისხმება გარემოს დაბინძურებაში? რომელია მისი ძირითადი სახეები?
6. მოიყვანეთ ადამიანის ჯანმრთელობაზე ეკოლოგიური ფაქტორების ზემოქმედების მაგალითები.
7. რაში მდგომარეობს გარემოს მონიტორინგის ჩატარების არსი?
8. რატომ არის აუცილებელი საერთაშორისო თანამშრომლობა ბუნების დაცვის ორგანიზაციაში?
9. ჩამოთვალეთ ბუნებრივი გარემოს დაცვის სფეროში საერთაშორისო თანამშრომლობის ძირითადი პრინციპები.
10. დაასახელეთ ეკოლოგიური განათლების წამყვანი იდეები.

დასკვნა

თანამედროვე მეცნიერებას ახასიათებს დამკვიდრებული მეცნიერული სტერეოტიპების ცვლა. ის განისაზღვრება პირველ რიგში, ანტროპოცენტრიზმიდან ბიოსფეროცენტრიზმზე გადასვლით, რომელიც მყარდება მეცნიერული ცოდნის ინტეგრაციის პროცესებით.

ჩამოყალიბდა სამყაროს თანამედროვე მეცნიერული სურათი, როგორც წარმოდგენების ერთიანი სისტემა სამყაროს, მისი თვისებებისა და კანონზომიერებების შესახებ, რომელიც წარმოიშვა ძირითადი საბუნებისმეტყველო – მეცნიერული თეორიების განზოგადების შედეგად. სამყაროს მეცნიერული სურათის ფორმირების საფუძველს ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს.

თანამედროვე ბუნებისმცოდნეობა წარმოადგენს მეცნიერული ცოდნის გავრცობილ სფეროს ბუნების შესახებ, რომელსაც ახასიათებს მეცნიერული დიფერენციაცია და მეცნიერული ცოდნის ინტეგრაციაზე ორიენტირებული სინთეტიკური დისციპლინების შექმნა. ბუნებისმეტყველების თითოეული დისციპლინა ბუნებაში ხედავს მისი შესწავლის თავის ასპექტს. ეს მრავალფეროვნება აისახა კონცეფციების დიდ რაოდენობაში, რომელიც ეძღვნება თითქმის ყველა ობიექტს, მოვლენასა და პროცესს ბუნებაში. ბუნების სისტემური შესწავლა აჩვენებს, რომ მატერია შედგება ატომებისა და ელემენტარული ნაწილაკებისაგან; ობიექტის თვისებები დამოკიდებულია ელემენტარული ნაწილაკების რაოდენობაზე და მათ განლაგებაზე; სამყარო შეიქმნა დიდი ხნის წინ და მას შემდეგ სულ იცვლება; უჯრედი არის ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ერთეული. სამყარო მრავალფეროვანია და მუდმივად იმყოფება ერთი სისტემების მეორეში გარდაქმნის პროცესში. ამავდროულად, საერთო ცოდნას ბუნების ობიექტების შესახებ, მივყავართ დასკვნამდე, რომ სამყარო ბოლომდე არ არის შეცნობილი და ბევრ ბუნებრივ მოვლენას ჯერ არ აქვს ახსნა, რადგან ამისთვის არ ჩამოყალიბებულია წინაპირობები.

თანამედროვე მეცნიერების განვითარების დინამიკა იმდენად შთამბეჭდავია, რომ აზროვნება იძულებულია შეეგუოს მეცნიერული პარადიგმების ცვლას, ჯერ კიდევ ერთი თაობის სიცოცხლის განმავლობაში. ეს მეტყველებს მეცნიერების გარდაუვალი ფასეულობისა და მნიშვნელობის შესახებ, რომელიც აკავშირებს თანამედროვე კულტურის წარსულსა და მომავალს.

ლიტერატურა

1. ალფენიძე მ., ელიზბარაშვილი ე., ხარაძე კ. ზოგადი ფიზიკური გეოგრაფია. თბ., თსუ. 2003
2. ალფენიძე მ., ელიზბარაშვილი ე., ხარაძე კ. ზოგადი დედამიწისმცოდნეობა. თბ., სსუ. 2016
3. ელიზბარაშვილი ე., სულხანიშვილი ნ. გლობალური ეკოლოგია. თბ. 2009
4. მეზონია ჯ. ატომური ფიზიკა. თბ., თსუ, 2002
5. მეზონია ჯ. ბირთვული ფიზიკა. თბ., თსუ. 2003
6. მირიანაშვილი მ. ზოგადი ფიზიკის კურსი. ნაწილი I (მექანიკა). თბ., თსუ. 1964
7. მირიანაშვილი მ. ზოგადი ფიზიკის კურსი. ნაწილი II (მოლეკულური ფიზიკა). თბ., თსუ. 1966
8. სამსონია შ., ადამია ს., გვერწითელი მ. ორგანული ქიმიის საფუძვლები. თბ. 2000
9. ტიელიძე ზ., ბერიანიძე ნ. ბუნებათმცოდნეობა. თსუ 2013
10. ფირცხელავა ნ. ზოგადი და არაორგანული ქიმიის შესავალი. თბ., თსუ. 1985
11. ხაზარაძე თ. ზოგადი ფიზიკის კურსი. ფარდობითობის თეორია, ელექტრომაგნეტიზმი, ოპტიკა. თბ., თსუ. 2005
12. ხარაძე ე. ასტრონომიის საფუძვლები. ტ. I და II., თბ. 1991.
13. Аверьянов А. Н. Системное познание мира. – М., 1995.
14. Азимов А. Язык науки. – М.: Мир, 1995.
15. Аистов И. А., Голиков П. А., Зайцев В. В. Концепция современного естествознания. – СПб.: Питер, 2005.
16. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, 1994.
17. Войткевич Г. В. Химическая эволюция Солнечной системы. – М.: Наука, 1991.
18. Девис П. Случайная Вселенная. – М., 1995.
19. Игнатова В. Б. Естествознание. – М.: Академкнига, 2002.
20. Кедров Б. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. – М., 1997.
21. Пономарева И. Н. Экология. – М.: Вентана-Графф, 2001.
22. Редже Т. Этюды о Вселенной. – М., 1995.
23. Шкловский И. С. Звезды, их рождение, жизнь и смерть. – М., 1995.



გამომცემლობა „უნივერსალი“

თბილისი, 0186, ა. პულიბაოკსაიას №4. ☎: 5(99) 33 52 02, 5(99) 17 22 30
E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversali@gmail.com