

ერვინ შროდინგერი

1887-1961

ავსტრიელი ფიზიკოსი ერვინ შროდინგერი (*Erwin Schrödinger*) ვენაში, ინტელექტუალურ ოჯახში დაიბადა. დედა ნახევრად ინგლისელი იყო და ერვინმა ინგლისური ენა ბავშვობიდანვე შეითვისა. მამა, რუდოლფ შროდინგერი, მემკვიდრეობით მიღებულ მუშაობის საწარმოს უძღვებოდა, ამავე დროს ხატვითა და ბოტანიკით იყო გატაცებული. პატარა ერვინისათვის მამა იყო მეგობარი, მასწავლებელი და დაუღალავი მოსაუბრე, „უმადლესი სააპელაციო ინსტანცია ყველა საკითხში“, რაც კი მოზარდს აინტერესებდა.



თერთმეტ წლამდე შროდინგერი განათლებას კერძო მასწავლებელთან იღებდა, შემდეგ კი – გიმნაზიაში, სადაც ბერძნულ და ლათინურ ენებს მეტი ყურადღება ეთმობოდა, ვიდრე ზუსტ მეცნიერებებს. იგი ყველა საგანს ერთნაირად კარგად სწავლობდა. „მიყვარდა მათემატიკა და ფიზიკა, მაგრამ ასევე ძველი გრამატიკების მკაცრი ლოგიკა, მხოლოდ ვერ ვიტანდი მეორეხარისხოვანი თარიღებისა და ფაქტების დამახსოვრებას. მიყვარდა გერმანელი პოეტები, განსაკუთრებით დრამატურგები, მაგრამ ასევე ვერ ვიტანდი მათი თხზულებების პედანტურ გარჩევებს“, – იგონებს იგი ავტობიოგრაფიაში.

1906-1910 წლებში ვენის უნივერსიტეტში თეორიული ფიზიკის დაუფლებისას ლუდვიგ ბოლცმანის მეცნიერული მემკვიდრის, ფრიდრიხ ჰაზენიორლის (*Friedrich Hasenöhl*) ლექციებმა თავისი სიღრმითა და დახვეწილობით შროდინგერზე წარუშლელი შთაბეჭდილება მოახდინა. როგორც მან ნობელის პრემიით დაჯილდოებისას წაკითხულ ლექციაში აღნიშნა – ჰაზენიორლი რომ ცოცხალი ყოფილიყო (ორმოცი წლისა იგი პირველ მსოფლიო ომში დაიღუპა), შროდინგერის ადგილას სწორედ მისი მასწავლებელი შეიძლებოდა მდგარიყო.

მიუხედავად თეორიული ფიზიკაში მიღებული განათლებისა, მეცნიერული კარიერა შროდინგერმა ექსპერიმენტული ფიზიკის ინსტიტუტში, ასისტენტად დაიწყო. იგი მიიჩნევდა, რომ ეს მისთვის, როგორც თეორე-

ტიკოს-ფიზიკოსისათვის სასარგებლო გამოცდილება იყო – სწორედ აქ გაიგო, „რას ნიშნავს [ფიზიკური სიდიდის] გაზომვა“.

პირველმა მსოფლიო ომმა მისი სამეცნიერო მუშაობა დროებით შეაჩერა. ომის შემდეგ იგი გერმანიის სხვადასხვა უნივერსიტეტებში მუშაობდა. 1921 წელს კი გახდა ციურხის უნივერსიტეტის პროფესორი. აქ მას ახლო ურთიერთობა ჰქონდა ცნობილ მათემატიკოს ჰერმან ვეილთან (*Hermann Weyl*) და ასევე ცნობილ ფიზიკოს პეტერ დებაისთან (*Peter Debye*). სამეცნიერო-შემოქმედებითი ატმოსფერო მისთვის მეტად ნაყოფიერი გამოდგა: ამ პერიოდში შექმნა შროდინგერმა „ტალღური მექანიკა“, რომლის ცენტრალურ ნაწილს წარმოადგენს ე. წ. ტალღური განტოლება, რომელიც ცნობილია, როგორც „შროდინგერის განტოლება“. ამ განტოლებას ისეთივე ფუნდამენტური როლი აქვს მიკროსამყაროს – ატომის და ელემენტარული ნაწილაკების – არარელატივისტურ კვანტურ მექანიკაში, როგორც ნიუტონის მექანიკის კანონებს, ვთქვათ, პლანეტარული სისტემებისათვის.

1926 წელს „*Annalen der Physik*“-ში გამოქვეყნებული სტატიების სერია, რომელიც ოთხი ნაშრომისაგან შედგება, მეოცე საუკუნის ერთ-ერთი უდიდესი მეცნიერული მიღწევაა. შრომათა ამ სერიისათვის, რომელმაც საბოლოოდ ჩამოაყალიბა მიკროსამყაროს ფიზიკა-კვანტური მექანიკა და გადამწყვეტი გავლენა მოახდინა კვანტური მექანიკის შემდგომ განვითარებაზე, 1933 წელს შროდინგერს, ბრიტანელ ფიზიკოს პოლ დირაკთან ერთად (*Paul Dirac*), ნობელის პრემიის მიენიჭა.

1939 წლიდან შროდინგერი 17 წლის განმავლობაში დუბლინში, დე ვალერას (*E. de Valera*; ცნობილი მათემატიკოსი და პოლიტიკური მოღვაწე, ირლანდიის პრემიერ-მინისტრი.) მიერ ახლად დაარსებულ „პერსპექტიულ კვლევათა ინსტიტუტის“ თეორიული ფიზიკის განყოფილებას ხელმძღვანელობდა. ამ პერიოდში, 1944 წელს, შექმნა თავისი ყველაზე ცნობილი სამეცნიერო-პოპულარული ნაშრომი „რა არის სიცოცხლე“, რომლის მნიშვნელობა შორს გასცდა ავტორის ჩანაფიქრს, პოპულარული ენით გადმოეცა თანამედროვე ფიზიკოსის თვალსაზრისის ცოცხალი ორგანიზმისა და მასში მიმდინარე პროცესების შესახებ და უდიდესი გავლენა მოახდინა XX საუკუნეში მიკრობიოლოგიის განვითარებაზე. სხვა საინტერესო იდეებთან ერთად, მასში პირველადაა მოცემული კომპლექსური მოლეკულის კონცეფცია, რომელიც ცოცხალი ორგანიზმის გენეტიკური კოდის მატარებელია და განაპირობებს მის გენეტიკურ მდგრადობას. ჯეიმს უოტსონი (*James D. Watson*) და ფრენსის კრიკი (*Francis Crick*), რომლებმაც დნმ-ის ორმაგი სპირალის აღმოჩენისთვის ნობელის პრემია მიიღეს, ხაზგასმით აღნიშნავენ ამ წიგნის მნიშვნელობას. უოტსონი თავის მემუარებში წერს, რომ 1946 წელს, ე. ი. მას მერე დაინტერესდა გენეტიკით, რაც წაიკითხა ნაშრომი „რა არის სიცოცხლე?“ და თავი დაანება ორნიტოლოგიას. თავის ავტობიოგრაფიულ წიგნში კრიკიც აღნიშნავს, რაოდენ მნიშვნელოვანი გავლენა იქონია

მასზე შროდინგერის სპეკულაციებმა გენეტიკური ინფორმაციის მოლეკულებში შენახვის შესაძლებლობის შესახებ.

1956 წელს ერვინ შროდინგერი დაბრუნდა ვენაში, როგორც ვენის უნივერსიტეტის საპატიო პროფესორი.

შროდინგერი მის ეპოქაში მოღვაწე უდიდესი ფიზიკოსებისგანაც გამორჩეულია ინტელექტუალური მრავალმხრივობით, ფართო განათლებითა და წერის დახვეწილი ლიტერატურული სტილით. მან მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა მეცნიერების სხვადასხვა დარგებისა და ფილოსოფიური აზრის განვითარებაში. 1954 წელს დაწერილი „ბუნება და ძველი ბერძნები“, ანტიკური ბერძნული მეცნიერებისა და ფილოსოფიის ორიგინალური ანალიზია, ხოლო 1961 წელს გამოქვეყნებული ბოლო წიგნი „ჩემი თვალსაზრისი სამყაროზე“ საინტერესოდ ხსნის მისი მსოფლმხედველობის მეტაფიზიკურ საფუძვლებს. იგი ავტორია აგრეთვე გერმანულ და ინგლისურ ენებზე დაწერილი ლექსებისა და ინგლისური ლირიკის თარგმანებისა.

რა არის სიცოცხლე?

შესავალი

მიჩნეულია, რომ მეცნიერს უნდა გააჩნდეს სრული და ამომწურავი ცოდნა უშუალოდ გარკვეული საგნებში და, შესაბამისად, როგორც წესი, მიჩნეულია, რომ მან არ უნდა წეროს იმ თემებზე, რომლის მცოდნეც არ არის. ეს განიხილება, როგორც *noblesse oblige* (მდგომარეობა გვავალდებულებს). ჩვენი მიზნებიდან გამომდინარე, თავს ნებას მივცემ, უარი ვთქვა ამ განსაკუთრებულ მდგომარეობაზე, თუკი ასეთი რამ არსებობს, გავთავისუფლდე მისგან გამომდინარე ვალდებულებებისაგან. თავს ასე ვიმართლებ:

ჩვენი წინაპრებისაგან მემკვიდრეობით გადმოგვეცა ერთიანი, ყოვლისმომცველი ცოდნის დაუფლების დაუოკებელი წყურვილი. უმაღლესი სასწავლო დაწესებულებების თვით სახელწოდებაც კი გვახსენებს, რომ ანტიკური დროიდან მოყოლებული, მრავალი საუკუნის მანძილზე მხოლოდ უნივერსა-ლური მიდგომაა ერთადერთი, რაც სრული აღიარებით სარგებლობს. მაგრამ ბოლო ას წელზე მეტი ხნის განმავლობაში ცოდნის მრავალფეროვანი დარგების წარმოშობამ და მათმა გაფართოებამ-გარღმავებამ უცნაური დილემის წინაშე დაგვაცენა. ჩვენ ნათლად ვგრძნობთ, რომ მხოლოდ ახლა ვიწყებთ სარწმუნო მასალის მოპოვებას, რომელიც ერთ მთლიანობად შეკრავს მთელ არსებულ ცოდნას, მაგრამ, მეორე მხრივ, ცალკეული ადამიანის გონებისათვის თითქმის შეუძლებელი ხდება მთელი ამ ცოდნიდან სრულყოფილად იმაზე მეტის დაუფლება, ვიდრე მისი მცირე სპეციალიზებული ნაწილია.

მე ვერ ვხედავ ამ დილემიდან რაიმე სხვა გამოსავალს (სამუდამოდ რომ არ ავცდეთ ჰუმბარტ მიზანს), იმის გარდა, რომ რომელიმე ჩვენგანმა, ბოლოს და ბოლოს, უნდა გაბედოს და ხელი მოჰკიდოს ფაქტებისა და თეორიების სინთეზს, ზოგი მათგანის არა პირდაპირი და არასრული ცოდნის მიუხედავად და საკუთარი თავის სულელურ მდგომარეობაში ჩაგდების რისკის ფასადაც კი.

საკმარისია თავის მართლება.

ენასთან დაკავშირებული სირთულეებიც უნდა ვახსენო. მშობლიური ენა კარგად მორგებული სამოსია და ადამიანი ვერასოდეს იგრძნობს თავს თავისუფლად, როცა არ შეუძლია მშობლიურით

ისარგებლოს და იძულებულია ის სხვა ენით ჩაანაცვლოს. ამიტომ მადლობას ვუხდით დ-რ ინქსტერს (თრინითი კოლეჯი, დუბლინი), დ-რ პადრეიგ ბრაუნს (წმ. პატრიკის კოლეჯი, მეინუთი) და, თუმცა ბოლოს, მაგრამ ასეთივე მადლიერებით მოვიხსენიებ ბ-ნ ს. ქ. რობერტსს. მათ დიდი ძალისხმევა დასჭირდათ ჩემთვის ახალი სამოსის მოსარგებად, და კიდევ უფრო მეტი – ჩემი ახირების გამო, რადგან ზოგჯერ არ მსურდა დამეთმო ზოგი რამ ჩემი მშობლიური „ორიგინალური“ სტილიდან. თუკი მისგან რაიმე მაინც გადაურჩა ჩემი მეგობრების მცდელობას, ეს ჩემი ბრალია და არა მათი.

მრავალრიცხოვანი პარაგრაფების ქვესათაურები თავდაპირველად ჩაფიქრებული იყო ფურცლის კიდევზე მისაწერ შენიშვნებად, ყოველი თავის ტექსტი კი ერთი მთლიანობაა და უნდა წავიკითხოთ თავიდან ბოლომდე *in continuo*.

ე. შ.
დუბლინი,
სექტემბერი, 1944 წ.

არაფერია ისეთი, რაზედაც თავისუფალი ადამიანი უფრო ნაკლებს ფიქრობს, ვიდრე სიკვდილი; მისი სიბრძნეც ამაშია – იფიქროს არა სიკვდილზე, არამედ სიცოცხლეზე! სპინოზა

თავი პირველი

კლასიკური ფიზიკოსის მიდგომა საკითხისადმი

ვაზროვნებ, ესე იგი ვარსებობ²
დეკარტე

1.1. გამოკვლევის ზოგადი ხასიათი და მიზანი – ეს პატარა წიგნი შეიქმნა ფიზიკოს-თეორეტიკოსის მიერ ოთხასკაციანი აუდიტორიის წინაშე წაკითხული საჯარო ლექციების კურსიდან, რომელიც, დასაწყისშივე გაფრთხილებს მიუხედავად, რომ საგანი რთული იყო და ლექციებსაც პოპულარულს ვერ უწოდებდი, თუმცა კი ფიზიკოსის ყველაზე შემამინებელი იარაღი – მათემატიკური დედუქცია ნაკლებად იქნებოდა გამოყენებული, მნიშვნელოვნად არ შეთხლებულა. ამის მიზეზი საგნის სიმარტივე როდი გახლდათ, რაც საშუ-

აღებას იძლევა მისი მათემატიკის გარეშე ახსნისა, არამედ უფრო ის, რომ მათემატიკური ერთი მისი ახსნა ბევრად უფრო რთული აღმოჩნდა. კიდევ ერთი თავისებურება, რომელმაც მაინც ხელი შეუწყო მოჩვენებითი პოპულარობის შთაბეჭდილების შექმნას, იყო ლექტორის განზრახვა, რომ, როგორც ფიზიკოსის, ისე ბიოლოგისთვის ნათელი გაეხადა ის ფუნდამენტური საკითხები, რომლებიც ბიოლოგიასა და ფიზიკას შორისაა გამოკიდებული.

ფაქტობრივად, მიუხედავად აქ შემავალ საკითხთა სიმრავლისა, მთელი ეს წამოწყება მიზნად ისახავს გადმოსცეს მხოლოდ ერთი აზრი – ერთი მცირე კომენტარი დიდ და მნიშვნელოვან საკითხზე. გზას რომ არ ავცდეთ, კარგი იქნება წინასწარ ძალიან მოკლედ მოგხაზოთ გეგმა.

საკითხი, რომელიც არის დიდი, მნიშვნელოვანი და ფართო განხილვას საჭიროებს, არის შემდეგი:

როგორ შეიძლება ფიზიკისა და ქიმიის მიერ ახსნას დროსა და სივრცეში მიმდინარე მოვლენები, რომელთაც ადგილი აქვთ ცოცხალი ორგანიზმის ფარგლებში?

წინასწარი პასუხი, რომლის დადგენასა და ახსნას შეეცდება ეს პატარა წიგნი, შეიძლება მოკლედ ასე ჩამოვაყალიბოთ: დღევანდელი ფიზიკისა და ქიმიის აშკარა უუნარობა, ახსნას ასეთი მოვლენები, სულაც არ იძლევა დაეჭვების საბაბს, რომ ამ მეცნიერებებს შეუძლია ახსნას ეს მოვლენები.

1.2. სტატისტიკური ფიზიკა. ფუნდამენტური განსხვავება სტრუქტურაში – ზემოთ გამოთქმული შენიშვნა მარტო იმის იმედს რომ აღვივებდეს, რომ, რაც წარსულში ვერ მოხერხდა, აუცილებლად მიიღწევა მომავალში, მაშინ მისი აზრი მეტად ტრივიალური იქნებოდა. მაგრამ მისი მნიშვნელობა გაცილებით უფრო პოზიტიურია. კერძოდ, ის მიგვანიშნებს, რომ დღემდე არსებული ჩამორჩენის მიზეზი სრულად არის გააზრებული.

ბოლო ოცდაათი ან ორმოცი წლის განმავლობაში ბიოლოგების, განსაკუთრებით კი გენეტიკოსების მიერ ჩატარებული კარგად გააზრებული მუშაობის წყალობით დღეს ისეთ დონეზე არის საკმაოდ ბევრი რამ, ცნობილი ორგანიზმების რეალური მატერიალური სტრუქტურისა და მათი ფუნქციონირების შესახებ, რომ ზუსტად შეგვიძლია ვთქვათ, რატომ ვერ მოახერხა დღევანდელმა ფიზიკამ და

ქიმიამ ცოცხალ ორგანიზმში დროსა და სივრცეში მიმდინარე მოვლენების ახსნა.

ატომთა წყობა ორგანიზმის სასიცოცხლო ნაწილებში და მათი ურთიერთქმედება ძირეულად განსხვავდება ატომთა ყველა იმ წყობისაგან, რომლებთანაც ფიზიკოსებსა და ქიმიკოსებს დღევანდლამდე ჰქონიათ საქმე ექსპერიმენტულ თუ თეორიულ კვლევებში. თუმცა ეს განსხვავება, რომელსაც მე ძირეული ვუწოდებ, ისეთი ტიპისაა, რომ ვინმეს იგი შეიძლება უმნიშვნელოდ მოეჩვენოს, მაგრამ არა ფიზიკოსს, რომელიც სრულიად გამსჭვალულია შეგნებით, რომ ფიზიკისა და ქიმიის კანონები ერთიანად სტატისტიკურია.³ ვინაიდან სწორედ სტატისტიკურ თვალსაზრისთან არის დაკავშირებული ის ფაქტი, რომ ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო ნაწილების სტრუქტურა სავსებით განსხვავდება მატერიის იმ ნებისმიერი ნაწილის სტრუქტურისგან, რომელთანაც ჩვენ, ფიზიკოსებს ოდესმე გვქონია საქმე ლაბორატორიებში ან რომლის შესახებაც გვიფიქრია საწერ მაგიდასთან.⁴ თითქმის წარმოუდგენელია, როგორ შეიძლება ასეთი გზით აღმოჩენილი კანონებისა და კანონზომიერებების მისადაგება ისეთი სისტემების ქცევაზე, რომლებსაც არ გააჩნიათ ამ კანონებისა და კანონზომიერებების საყრდენი შესაბამისი სტრუქტურა.

არ უნდა ველოდეთ, რომ ფიზიკოსის გარდა ვინმე შეიძლება მიხედეს, რომ აღარაფერი ვთქვათ სწორად შეფასებაზე, იმ განსხვავების მნიშვნელობას „სტატისტიკურ სტრუქტურაში“, ასეთი აბსტრაქტული ტერმინებით რომ გადმოვეცი. ამ მტკიცებას რომ კონკრეტული შიშვენიერება მომეცით, წინასწარ ვთქვა ის, რაც მოგვიანებით ბევრად უფრო დეტალურად იქნება ახსნილი. კერძოდ, შემდეგი: ცოცხალი უჯრედის ყველაზე მნიშვნელოვან ნაწილს – ქრომოსომას შეიძლება მართებულად ეწოდოს აპერიოდული კრისტალი. დღევანდლამდე ფიზიკას საქმე ჰქონდა მხოლოდ პერიოდულ კრისტალებთან. მოკრძალებული ფიზიკოსის გონებისთვის ასეთი კრისტალები მეტად საინტერესო და რთული ობიექტებია. ისინი ქმნიან მატერიის ყველაზე მიმზიდველ და რთულ სტრუქტურებს, რომლებითაც უსულო ბუნება აკვირვებს მის გონებას. თუმცა, აპერიოდულ კრისტალთან შედარებით, მათი სტრუქტურა ბევრად უფრო მარტივი და უინტერესოა. განსხვავება აქ ისეთივეა, როგორც ერთი და იმავე ნახატის რეგულარული მრავალჯერადი გამეორებით შექმნილ ჩვეულებრივ შპალერსა და მხატვრული ქარგვის ნიმუშს, მაგალითად, რაფაელის

გობელენს შორის, რომელშიც არ არის მოსაწყენი გამეორებები და რომელიც გამოირჩევა დიდი ხელოვანის გააზრებული, ლოგიკურად თანმიმდევრული, შინაარსიანი დიზაინით.

უწოდებ რა პერიოდულ კრისტალს ერთ-ერთი ყველაზე რთული საკვლევი ობიექტი, მე ვიგულისხმებ წმინდა ფიზიკოსი. ორგანული ქიმია უფრო რთული მოლეკულების კვლევის შედეგად უთუოდ გაცილებით მეტად მიუახლოვდა იმ „აპერიოდულ კრისტალს“, რომელიც, ჩემი გაგებით, წარმოადგენს სიცოცხლის მატარებელ მატერიას. ამიტომ არ არის გასაკვირი, რომ ორგანული ქიმიის სპეციალისტს უკვე დიდი და მნიშვნელოვანი წვლილი აქვს შეტანილი სიცოცხლის პრობლემის შესწავლაში მაშინ, როდესაც ფიზიკოსს ჯერ თითქმის არაფერი გაუკეთებია.

1.3. მიამიტი ფიზიკოსის მიდგომა საკითხისადმი – მას შემდეგ, რაც ამგვარად, ძალიან მოკლედ მოვნიშნეთ ჩვენი კვლევის ძირითადი იდეა ან ჩარჩოები, ნება მომეცით მოგახსენოთ რა კუთხით შევუდგებით პრობლემის დაძლევას.

ჯერ იმას ჩამოვყალიბებ, რასაც თქვენ შეიძლება უწოდოთ „მიამიტი ფიზიკოსის წარმოდგენები ორგანიზმების შესახებ“ ანუ წარმოდგენები, რომლებიც შეიძლება გაჩნდეს იმ ფიზიკოსის გონებაში, ვინც ფიზიკის, განსაკუთრებით კი ამ მეცნიერების სტატისტიკური საფუძვლების შესწავლის შემდეგ იწყებს ფიქრს ორგანიზმებზე, მათ ქცევასა და ფუნქციონირებაზე და კეთილსინდისიერად ეკითხება საკუთარ თავს, ხომ არ შეუძლია მიღებული ცოდნის საფუძველზე, მისი შედარებით მარტივი, გულუბრყვილო და მოკრძალებული ცოდნის თვალსაწიერიდან რაიმე არსებითი წვლილი შეიტანოს ამ საკითხის შესწავლაში.

როგორც ირკვევა, შეუძლია. შემდეგი ნაბიჯი უნდა იყოს მისი თეორიული ვარაუდების შედარება ბიოლოგიურ ფაქტებთან. აღმოჩნდება, რომ, თუმცა მთლიანობაში მისი იდეები საკმაოდ გონივრულია, საჭიროებს მნიშვნელოვან სრულყოფას. ამგვარად, ჩვენ ნელ-ნელა ვუახლოვდებით სწორ თვალსაზრისს ანუ, უფრო მოკრძალებით რომ ვთქვათ, იმას, რასაც მე მივიჩნევ სწორ თვალსაზრისად.

და იმის მიუხედავად, რომ მე შეიძლება მართალი ვიყო, მაინც არა ვარ დარწმუნებული, რომ ჩემი მიდგომა მართლაც საუკეთესო და უმარტივესია. მაგრამ, მოკლედ რომ ვთქვათ, ეს ჩემი მიდგომაა. მე

თვითონ გახლდით „მიამიტი ფიზიკოსი“ და ვერ შეეძელი მეპოვა დასახული მიზნისაკენ მიმავალი სხვა, უკეთესი და უფრო ნათელი გზა, გარდა ჩემი მიხვეულ-მოხვეული გზისა.

1.4. რატომ არის ატომები ესოდენ მცირე ზომის? – „მიამიტი ფიზიკოსის თვალსაზრისის“ გადმოსაცემად კარგი იქნება, თუ მას დავიწყებთ უცნაური, თითქმის აბსურდული შეკითხვით: რატომ არის ატომები ასე მცირე ზომის? დავიწყეთ იმით, რომ ისინი მართლაც ძალიან პატარები არიან. მატერიის ყოველი პატარა ნაწილი, რომელთანაც გვიხდება შეხება ყოველდღიურ ცხოვრებაში, შეიცავს ატომების უზარმაზარ რაოდენობას. მრავალი მაგალითი მოიყვანეს, ეს ფაქტი გასაგები რომ გამხდარიყო აუდიტორიისთვის, მაგრამ არც ერთი მათგანი არ ყოფილა უფრო შთამბეჭდავი, ვიდრე ლორდ კელვინის მაგალითი: წარმოიდგინეთ, რომ თქვენ მონიშნეთ მოლეკულები წყლიან ჭიქაში, შემდეგ ჩაასხით ჭიქის შიგთავსი ოკეანეში და კარგად მოურიეთ, რომ მონიშნული მოლეკულები თანაბრად განაწილდეს „შვიდ ზღვაში“ – მთელ ოკეანეში. თუ ამის შემდეგ აიღებთ ერთ ჭიქა წყალს ოკეანის ნებისმიერი ადგილიდან, მასში აღმოაჩნთ თქვენ მიერ მონიშნულ დაახლოებით ასამდე მოლეკულას.⁵

ატომების ფაქტიური ზომები⁶ მოთავსებულია ყვეთელი სინათლის ტალღის სიგრძის 1/5000-სა და 1/2000-ს შორის. ეს შედარება მნიშვნელოვანია, ვინაიდან ტალღის ეს სიგრძე საორიენტაციოდ მიუთითებს ნივთიერების იმ უმცირესი ნაწილაკის განზომილებებს, რომლის გარჩევაც ჯერ კიდევ შეიძლება მიკროსკოპში. აქედან გამომდინარეობს, რომ ყოველი ასეთი ნაწილაკი შეიცავს ათასობით მილიონ ატომს.

და მაინც, რატომ არის ატომი ასე მცირე ზომის?

ნათელია, რომ ეს კითხვა პრობლემის არსს გვერდს უვლის, რადგან საკითხი ატომების ზომას როდი ეხება. იგი ეხება ორგანიზმების ზომას, უფრო ზუსტად, ჩვენი საკუთარი სხეულის ზომას. მართლაც, ატომი მცირეა, როდესაც ხდება მისი შედარება სიგრძის საყოველთაოდ მიღებულ ერთეულთან, იარდთან ან მეტრთან. ატომურ ფიზიკაში ერთეულად მიღებულია ე. წ. ანგსტრემი (*Ångström*, შემოკლებით *Å*), რომელიც მეტრის 1/1010 ნაწილია, ანუ ათწილადური აღნიშვნით მეტრის 0,000000001 ნაწილი. ატომის დიამეტრი მეტრეობს 1 და 2 Å -ს შორის. სიგრძის საყოველთაოდ მიღებული ერთეულები

(რომლებთან მიმართებაში ატომი ასე მცირედ გამოიყურება) მჭიდროდაა დაკავშირებული ჩვენი სხეულის ზომებთან. არსებობს გადმოცემა ინგლისის მეფის ხუმრობაზე: როდესაც მრჩეველებმა ჰკითხეს, როგორი საზომი ერთეული უნდა შემოეღოთ, მეფემ ხელი გაშალა და უპასუხა: „გაზომეთ მანძილი ჩემი მკერდიდან თითის წვერებამდე და ეს საკმარისი იქნება“. შეეფერება თუ არა სინამდვილეს, ეს ისტორია მაინც მნიშვნელოვანია ჩვენთვის. მეფემ, ბუნებრივია, მიუთითა თავისი საკუთარი სხეულის თანაზომად სიგრძეზე, იცოდა რა, რომ ნებისმიერი სხვა ზომა მოუხერხებელი იქნებოდა. ანგსტრემის ერთეული-სადმი მთელი თავისი მიკერძოების მიუხედავად, ფიზიკოსს ურჩევნია თქვას, რომ მისი ახალი კოსტიუმის შესაკერად საჭირო იქნება ექვსნახევარი იარდი ტვიდი, და არა სამოცდახუთი ათასი მილიონი ანგსტრემი ტვიდი.

ამგვარად, დადგინდა, რომ ჩვენი შეკითხვა სინამდვილეში ეხება ორი სიგრძის – ჩვენი სხეულისა და ატომის – ფარდობას, ატომის დამოუკიდებელი არსებობის უდავო პრიორიტეტის გათვალისწინებით. სინამდვილეში კითხვა ასე დაისმის: რატომ უნდა იყოს ჩვენი სხეული ასე დიდი ატომთან შედარებით?

მე შემიძლია წარმოვიდგინო, რომ მრავალი გამჭრიახი გონების სტუდენტი – ფიზიკოსი ან ქიმიკოსი – სინანულს გამოთქვამს იმ ფაქტის გამო, რომ ნებისმიერი გრძნობის ორგანო, რომელიც შეადგენს ჩვენი სხეულის მეტ-ნაკლებად მნიშვნელოვან ნაწილს და, აქედან გამომდინარე, (აღნიშნული თანაფარდობის სიდიდის გათვალისწინებით) თვითონაც შედგება ურიცხვი ატომისაგან, იმდენად დიდი ზომისაა, რომ ერთეული ატომი მასზე გავლენას ვერ მოახდენს. ჩვენ არ გვესმის, ვერ ვხედავთ და ვერ ვგრძნობთ ერთეულ ატომებს. ჩვენი ჰიპოთეზები ატომთა შესახებ ძლიერ განსხვავდება იმ ინფორმაციისგან, ჩვენივე დიდი ზომის გრძნობის ორგანოები უშუალოდ რომ გვაწვდიან და ამიტომ მათი სისწორის შემოწმება პირდაპირი გზით შეუძლებელია.

ნუთუ ეს ასე უნდა იყოს? არსებობს თუ არა ამის შინაგანი მიზეზი? შეგვიძლია კი, გავარკვიოთ ასეთი ვითარების სათავე, მისი საყრდენი ამოსავალი პრინციპი, იმისათვის, რომ გავიგოთ და დავარწმუნდეთ, რატომ სხვა არაფერია თავსებადი ბუნების სწორედ ამ კანონებთან?

ამჟამად ეს არის პრობლემა, რომლის ბოლომდე ნათელყოფა ფიზიკოსს ძალუძს. პასუხი ყველა ამ კითხვაზე დადებითია.

1.5. ორგანიზმის ქმედება ემორჩილება ზუსტ ფიზიკურ კანონებს – ასე რომ არ ყოფილიყო, ჩვენ რომ ისეთი მგრძობიარე ორგანიზმები ვყოფილიყავით, რომ ერთეულ ატომს, ან თუნდაც ატომთა მცირე რაოდენობას, საგრძობი გავლენა მოეხდინა ჩვენს გრძობებზე – ღმერთო, რას დაემსგავსებოდა ჩვენი სიცოცხლე! ხაზგასმით აღვნიშნოთ ერთი მომენტი: ასეთი ორგანიზმი ვერ შეძლებდა დალაგებული აზრის განვითარებას, აზრისას, რომელიც გაივლიდა რა მთელ რიგ ადრეულ სტადიებს, სხვა მრავალ იდეასთან ერთად, საბოლოო ჯამში, დასრულდებოდა ატომის შესახებ წარმოდგენის შექმნით.

თუმცა ჩვენ ვირჩევთ ამ ერთ საკითხს, შემდგომი მსჯელობა, ტვინისა და გრძობათა ორგანოების გარდა, არსებითად შეეხება სხვა ორგანოთა ფუნქციონირებასაც. მიუხედავად ამისა, ჩვენი ძირითადი ინტერესის ერთადერთი საგანია ის, რომ ჩვენ ვგრძობთ, ვფიქრობთ და შევიცნობთ. ფიზიოლოგიური პროცესისთვის, რომელიც პასუხისმგებელია აზროვნებასა და შეგრძნებაზე, ყველა სხვა დანარჩენი ფუნქციონალური ორგანო ასრულებს დამხმარე როლს, ადამიანის თვალსაზრისით მაინც, რომ არაფერი ვთქვათ, წმინდა ობიექტური ბიოლოგიის თვალსაზრისზე. უფრო მეტიც, ჩვენს ამოცანას საგრძნობლად გაამარტივებს გამოსაკვლევად ისეთი პროცესის შერჩევა, რომელსაც თან ახლავს სუბიექტური მოვლენები, თუმცა ჩვენ კარგად არა გვაქვს გაცნობიერებული ამ მჭიდრო პარალელიზმის ჭეშმარიტი ბუნება. ჩემი თვალთახედვით, ის ნამდვილად იმყოფება საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ფარგლებს მიღმა და, შესაძლოა, მთლიანობაში ადამიანური გავების მიღმაც კი.

ასე რომ, ჩვენ წინაშეა შემდეგი საკითხი: რატომ არის, რომ ისეთი ორგანო, როგორცაა ჩვენი ტვინი მასთან დაკავშირებული სენსორული სისტემითურთ, უცილობლად უნდა შედგებოდეს ატომთა უთვალავი რაოდენობისგან, რათა მისი ფიზიკურად ცვალებადი მდგომარეობა მჭიდრო და არსებით შესაბამისობაში იყოს მაღალგანვითარებულ აზროვნებასთან? რის საფუძველზეა ზემოხსენებული ორგანოს ეს უკანასკნელი ამოცანა შეუთავსებელი შემდეგ დაშვებასთან: ეს ორგანო მთლიანად ან მის ზოგიერთ გარემოსთან უშუალოდ ურთულესობის პერიფერიული ნაწილი, საკმარისად დახვეწილი და

მგრძნობიარე მექანიზმია, რათა რეაგირება მოახდინოს და დააფიქსიროს გარედან ერთეული ატომის ზემოქმედება?

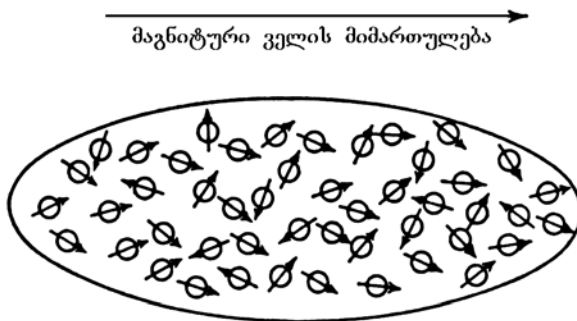
ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ: (1) – ის, რასაც ჩვენ ვუწოდებთ აზროვნებას, თვითონ არის ორგანიზებული რამ და (2) იგი შეიძლება მიყენებულ იქნეს მხოლოდ მასალაზე, ანუ იმ შეგრძნებებსა ან გამოცდილებაზე, რომლებიც გარკვეული ხარისხით ემორჩილებიან კანონებს. აქედან გამომდინარეობს ორი შედეგი: პირველი, იმისთვის, რომ ფიზიკური ორგანიზაცია მჭიდრო შესაბამისობაში იყოს აზროვნებასთან (ისევე, როგორც ამას ადგილი აქვს ჩემს ტვინსა და აზროვნებას შორის), იგი უნდა წარმოადგენდეს ძალიან კარგად მოწესრიგებულ სისტემას და ეს ნიშნავს, რომ მის შიგნით მიმდინარე პროცესები უნდა ემორჩილებოდეს ფიზიკის მკაცრ კანონებს, სიზუსტის ძალიან მაღალი ხარისხით მაინც. მეორე, გარეშე სხეულების ფიზიკური ზემოქმედება აღნიშნულ ფიზიკურად მაღალორგანიზებულ სისტემაზე ცხადად შეესაბამება შესაბამისი აზროვნების აღქმასა და შეგრძნებას, რომელსაც ფორმაში მოჰყავს თავისი მასალა, როგორც მე მას ვუწოდე. ამიტომ, ჩვენი და სხვა სისტემების ფიზიკური ურთიერთქმედება, როგორც წესი, თვითონ უნდა ხასიათდებოდეს ფიზიკური წესრიგის გარკვეული ხარისხით, ანუ ისინიც სიზუსტის გარკვეული ხარისხით უნდა ემორჩილებოდნენ ფიზიკის მკაცრ კანონებს.

1.6. ფიზიკის კანონები ეყრდნობა ატომურ სტატისტიკას და ამიტომ მხოლოდ მიახლოებითია – რატომ არ უნდა შესრულდეს ყველაფერი ზემოთქმული ატომების მხოლოდ ზომიერი რაოდენობით შედგენილი ორგანიზმის შემთხვევაში, რომელიც მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე ატომის ზემოქმედების მიმართაც უკვე მგრძნობიარეა?

როგორც ჩვენ ვიცით, ეს იმიტომ ხდება, რომ ყველა ატომი მულტივალ იმყოფება სრულიად უწესრიგო სითბური მოძრაობის მდგომარეობაში, რომელიც, ასე ვთქვათ, თავისთავად ხელს უშლის მათ მოწესრიგებულ ქცევას და არ იძლევა ატომთა მცირე რაოდენობას შორის მიმდინარე პროცესების აღრიცხვის საშუალებას რაიმე ცნობილი კანონის შესაბამისად. სტატისტიკური კანონები მხოლოდ ატომთა ძალიან დიდი რაოდენობის ურთიერთქმედების შემთხვევაში იწყებს მოქმედებას და აკონტროლებს მათი ერთობლიობის ქცევას სიზუსტით, რომელიც იზრდება პროცესში ჩართული ატომების რაოდენობის ზრდასთან ერთად. სწორედ ასეთი გზით იძენს მოვლე-

ნები ნამდვილად სისტემატურ მახასიათებლებს. ფიზიკისა და ქიმიის ყველა კანონი, რომელიც მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ორგანიზმების ცხოვრებაში სწორედ ასეთი, სტატისტიკური ხასიათისაა. ნებისმიერი სხვა ტიპის კანონზომიერება და სისტემურობა, რაც კი შეიძლება ვინმეს აზრად მოუვიდეს, მუდმივად ირღვევა და არაქმედითი ხდება ატომთა განუწყვეტელი სითბური მოძრაობის შედეგად.

1.7. მათი სიზუსტე დამყარებულია ურთიერთქმედ ატომთა დიდ რიცხვზე. პირველი მაგალითი (პარამაგნეტიზმი) – ნება მომეცით, მოვახდინო ამის ილუსტრირება ათასიდან მეტ-ნაკლებად შემთხვევით აღებული რამდენიმე მაგალითით. შესაძლოა, ეს მაგალითები არც ისე საუკეთესოა, ახალბედა მკითხველის ყურადღების მისაპყრობად, რომელიც პირველად ეცნობა თანამედროვე ფიზიკისა და ქიმიის ისეთსავე ფუნდამენტურ კანონებს, როგორცაა, მაგალითად, ბიოლოგიაში ის ფაქტი, რომ ორგანიზმები შედგებიან უჯრედებისგან, ან როგორც ნიუტონის კანონი – ასტრონომიაში, ან თუნდაც, როგორც მთელ რიცხვთა მიმდევრობა: 1, 2, 3, 4, 5. . . – მათემატიკაში. ახალბედს არ უნდა ეგონოს, რომ შემდეგი რამდენიმე გვერდის წაკითხვის შემდეგ იგი სრულიად გაიგებს და შეაფასებს საკითხს, რომელიც დაკავშირებულია სახელგანთქმული ლუდვიგ ბოლცმანისა და უილარდ გიბსის სახელებთან და დამუშავებულია „სტატისტიკური თერმოდინამიკის“ სახელმძღვანელოებში.



ნახ. 1. პარამაგნეტიზმი

თუ თქვენ შეავსებთ კვარცის წაგრძელებულ მილს ჟანგბადით და მოათავსებთ მას მაგნიტურ ველში, აღმოაჩნენ, რომ გაზი დამაგნიტდება. ეს გამოწვეულია იმ ფაქტით, რომ ჟანგბადის თითოეული მოლეკულა პატარა მაგნიტია და, კომპასის ისრის მსგავსად, ცდილობს დაიკავოს ველის პარალელური ორიენტაცია. მაგრამ არ უნდა იფიქროთ, რომ ყველა მათგანი დადგება პარალელურად. რადგან ველის ორჯერ გაძლიერების შემთხვევაში ჟანგბადის დამაგნიტებულობა ორჯერ გაიზრდება ჟანგბადი და ეს პროპორციულობა გრძელდება ველის დაძაბულობის ძალიან დიდ მნიშვნელობამდე – დამაგნიტება იზრდება მოდებული ველის პროპორციულად.

ეს წმინდა სტატისტიკური კანონის ნათელი მაგალითია. ველის მიერ გამოწვეული მოლეკულების ორიენტაციას მუდმივად ეწინააღმდეგება ატომთა სითბური მოძრაობა, რომელიც განაპირობებს შემთხვევით ორიენტაციას. ამ ორი ფაქტორის ერთობლივი მოქმედების ეფექტი ფაქტობრივად ვლინდება დიპოლის ღერძებსა და ველს შორის არსებული მახვილი კუთხეების მხოლოდ უმნიშვნელო უპირატესობაში ბლავგ კუთხეებთან შედარებით. მიუხედავად იმისა, რომ ცალკეული ატომები მუდმივად იცვლიან ორიენტაციას, ისინი საშუალოდ (მათი ძალიან დიდი რაოდენობის გამო) წარმოქმნიან ველის მიმართულებით ორიენტაციის მუდმივ მცირე უპირატესობას, რომელიც ველის დაძაბულობის პროპორციულია. ეს ორიგინალური ახსნა ეკუთვნის ფრანგ ფიზიკოსს პ. ლანჟვენს. იგი შეიძლება შემოწმდეს შემდეგნაირად: თუ შემჩნეული სუსტი დამაგნიტება მართლაც კონკურენტული ტენდენციების შედეგია, სახელდობრ, ერთი მხრივ, მაგნიტური ველისა, რომლის მიზანია ყველა მოლეკულა თავისი მიმართულების პარალელური გახადოს, და, მეორე მხრივ, სითბური მოძრაობისა, რომელიც ისწრაფვის შემთხვევითი ორიენტაციისკენ, მაშინ შესაძლებელი უნდა იყოს დამაგნიტების გაძლიერება სითბური მოძრაობის შესუსტების გზით, ანუ ტემპერატურის დაწევით და არა მაგნიტური ველის გაძლიერებით. ეს დადასტურდა ექსპერიმენტით, რომელიც მიუთითებს უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაზე დამაგნიტებასა და აბსოლუტურ ტემპერატურას შორის, რაც რაოდენობრივად ეთანხმება თეორიას (კიურის კანონი). თანამედროვე მოწყობილობა იძლევა ტემპერატურის დაწვევის გზით სითბური მოძრაობის ისეთ უმნიშვნელო სიდიდემდე შემცირების საშუალებას, რომ მაგნიტური ველის მარტივტირებელი ტენდენცია სრულიად

მყდავნილება და იწვევს „სრულ დამაგნიტებას“ თუ არა, თითქმის სრულს მაინც. ამ შემთხვევაში აღარ უნდა ვივარაუდოთ, რომ ველის ორჯერ გაძლიერება გააორმაგებს დამაგნიტებას – ეს უკანასკნელი სულ უფრო და უფრო ნაკლებად გაიზრდება ველის გაძლიერებასთან ერთად და მიუახლოვდება მდგომარეობას, რომელსაც ეწოდება „გაჭერება“. ეს ვარაუდიც რაოდენობრივად დადასტურდა ექსპერიმენტის გზით.

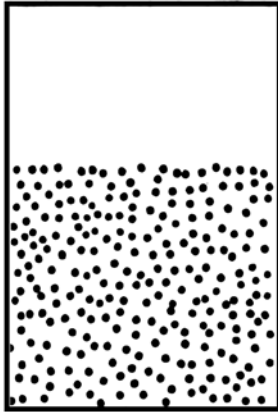
მიაქციეთ ყურადღება, რომ ასეთი ქცევა მთლიანად დამოკიდებულია იმ მოლეკულების დიდ რიცხვზე, რომელთა ურთიერთქმედების შედეგად ადგილი აქვს შესამჩნევ დამაგნიტებას. სხვაგვარად ეს უკანასკნელი სულაც არ იქნებოდა მუდმივი, არამედ ყოველწამიერი სწრაფი, არარეგულარული ფლუქტუაციებით დაგვიდასტურებდა სითბურ მოძრაობასა და მაგნიტურ ველს შორის არსებული კონკურენტის მონაცვლეობას.

1.8. მეორე მაგალითი (ბროუნის მოძრაობა, დიფუზია) – თუ თქვენ დახურული მინის ჭურჭლის ქვედა ნაწილს გაავსებთ ნისლით, რომელიც შედგება წყლის წვრილი წვეთებისაგან, შეამჩნევთ, რომ ნისლის ზედა საზღვარი ნელ-ნელა დაბლა დაეშვება გარკვეული სიჩქარით, რომელიც დამოკიდებულია ჰაერის სიბლანტეზე, წვეთების ზომასა და სიმკვრივეზე. მაგრამ, თუ თქვენ შეხედავთ ერთ-ერთ წვეთს მიკროსკოპში, შენიშნავთ, რომ ის განუწყვეტლივ კი არ ეშვება მუდმივი სიჩქარით, არამედ ასრულებს მეტად უწყესრიგო მოძრაობას, ეგრეთ წოდებულ ბროუნის მოძრაობას, რომელიც მხოლოდ საშუალოდ შეესაბამება რეგულარულ დაშვებას.

თანაც ეს წვეთები არაა ატომები, მაგრამ ისინი საკმარისად მცირე და მსუბუქი არიან იმისათვის, რომ გრძნობდნენ იმ ცალკეული მოლეკულების ზეგავლენას, რომლებიც მუდმივად ეჯახება მათ ზედაპირს. ასე რომ, წყლის წვეთებს განუწყვეტლივ ეჯახება მოლეკულები და ისინი მხოლოდ საშუალოდ ემორჩილებიან სიმძიმის ძალის ზემოქმედებას.

ეს მაგალითი გვიჩვენებს, რამდენად უცნაური და მოუწესრიგებელი შეგრძნებები შეიძლება გვქონოდა, ჩვენს გრძნობათა ორგანოებს მხოლოდ რამდენიმე მოლეკულის ზემოქმედების აღქმა რომ შეეძლებოდა. არსებობს ბაქტერიები და სხვა ძალიან მცირე ორგანიზმები, რომლებზეც ეს ფენომენი დიდ ზეგავლენას ახდენს. მათი მოძრაობა

განისაზღვრება გარემომცველი არის სითბური ცვალებადობით. მათ არჩევანი არა აქვთ: გადაადგილების საკუთარი საშუალება რომც ჰქონდეთ, ადვილად მაინც ვერ მოახერხებდნენ განაცვლებას ერთი ადგილიდან მეორეზე, ვინაიდან სითბური მოძრაობა მათ ისე ათამაშებს, როგორც ადელვებული ზღვის ტალღები პატარა ნავს.



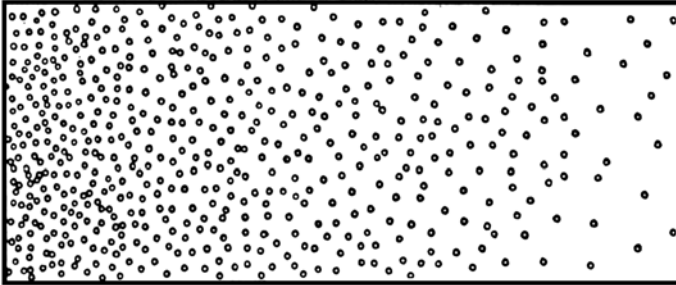
ნახ. 2. ნისლის ზედა საზღვარი დაბლა იწევს გარკვეული სიჩქარით.



ნახ. 3. ნისლის წვეთის ბროუნის მოძრაობა.

მოვლენა, რომელიც ძალიან ახლო კავშირშია ბროუნის მოძრაობასთან, არის დიფუზია. წარმოიდგინეთ რაიმე სითხით, მაგალითად წყლით გაცხებული ჰურჭელი, რომელშიც გახსნილია რაიმე შეფერილი სუბსტანცია, მაგალითად, კალიუმის პერმანგანატი არა ერთგვაროვანი კონცენტრაციით, არამედ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-4 სურათზე, აქ წერტილებით აღნიშნულია გახსნილი ნივთიერების (პერმანგანატის) მოლეკულები და კონცენტრაცია მცირდება მარცხნიდან მარჯვნივ. თუ სისტემას დააყოვნებთ, მასში დაიწყება „დიფუზიის“ მეტად ნელი პროცესი, პერმანგანატი გავრცელდება მარცხნი-

დან მარჯვნივ, ანუ უფრო მაღალი კონცენტრაციის ადგილიდან უფრო დაბალი კონცენტრაციის ადგილისაკენ, სანამ იგი წყალში თანაბრად არ განაწილდება.



ნახ. 4. დიფუზია მარცხნიდან მარჯვნივ ცვლადი კონცენტრაციის ხსნარში.

აღსანიშნავია, რომ ეს მეტად მარტივი და, შესაძლოა, არც ისე საინტერესო პროცესი არ არის განპირობებული, როგორც შეიძლება ვინმე ფიქრობდეს, რაიმე ნაკადის ან ძალის ზემოქმედებით, რომელიც გადაადგილებს პერმანგანატის მოლეკულებს მაღალი კონცენტრაციის ადგილიდან დაბალი კონცენტრაციის ადგილისაკენ, ისევე, როგორც ქვეყნის მოსახლეობა გადაინაცვლებს ისეთ ადგილებზე, სადაც მეტი სიხალვათეა. ჩვენი პერმანგანატის მოლეკულების შემთხვევაში მსგავსი არაფერი ხდება. ყოველი მათგანი დანარჩენებისაგან საკმაოდ დამოუკიდებლად მოქმედებს, როგორც მაღალი, ასევე დაბალი კონცენტრაციის ადგილზე, იშვიათად ხვდება დანარჩენებს და განუწყვეტლივ ეჯახება რა წყლის მოლეკულებს, მოძრაობს უწესრიგოდ, განუსაზღვრელი მიმართულებით – ხან მაღალი და ხან დაბალი კონცენტრაციის ადგილისკენ, ზოგჯერ კი – განზე. მისი გადაადგილების ხასიათი შეიძლება შევადაროთ დიდ ტერიტორიაზე იმ თვალახვეული ადამიანის მოძრაობას, რომელსაც აქვს „სიარულის“ სურვილი, მაგრამ არც ერთ გარკვეულ მიმართულებას არ აძლევს უპირატესობას და ამიტომ მუდმივად იცვლის გეზს.

ის ფაქტი, რომ პერმანგანატის მოლეკულების ასეთმა უწესრიგო მოძრაობამ, რომელიც დამახასიათებელია ყველა მათგანისათვის, მაინც შეიძლება წარმოქმნას მუდმივი ნაკადი დაბალი კონცენტრაციის მიმართულებით და საბოლოო ჯამში მოხდეს მათი თანაბარი განაწილება, ერთი შეხედვით შეიძლება მეტად რთულად მოგვეჩვენე-

ნოთ – მაგრამ მხოლოდ ერთი შეხედვით. თუ დააკვირდებით მე-4 სურათზე აღნიშნულ დაახლოებით მუდმივი კონცენტრაციის თხელ ფენებს, დაინახავთ, რომ მოცემულ მომენტში ამ ფენებში არსებული პერმანგანატის მოლეკულები თავისი შემთხვევითი მოძრაობით თანაბარი ალბათობით გადაინაცვლებენ ან მარჯვნივ, ან მარცხნივ. მაგრამ ამის შედეგად ორი მეზობელი ფენის გამყოფ ზედაპირს გადაკვეთს მარცხნიდან მომავალი უფრო მეტი მოლეკულა, ვიდრე საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრავი, უბრალოდ იმის გამო, რომ მარჯვენა მხარესთან შედარებით მარცხენა მხარეს უფრო მეტი მოლეკულაა ჩართული უწესრიგო მოძრაობაში. შედეგი კი გამოვლინდება, როგორც მოწესრიგებული ნაკადი მარცხნიდან მარჯვნივ მანამ, სანამ არ იქნება მიღწეული თანაბარი განაწილება.

ეს მოსაზრებები ითარგმნება მათემატიკის ენაზე, მიიღება დიფუზიის ზუსტი კანონი კერძო წარმოებულის დიფერენციალური განტოლების სახით:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \nabla^2 \rho,$$

განტოლების ახსნით მკითხველს თავს არ შევაწყენ, თუმცა მისი შინაარსი ჩვეულებრივ ენაზე ასევე საკმაოდ მარტივად გადმოიცემა. აქ მკაცრი, „მათემატიკურად ზუსტი“ კანონის ხსენებით გვინდა ხაზი გავუსვათ იმას, რომ, მათემატიკური სიზუსტის მიუხედავად, მისი ფიზიკური სიზუსტე უნდა შემოწმდეს გამოყენების ყოველ კერძო შემთხვევაში. წმინდა შემთხვევითობაზე დაფუძნებული ეს კანონი მხოლოდ მიახლოებით არის სამართლიანი. თუ მიახლოება, როგორც წესი, ძალიან კარგი მიახლოებაა, ეს მხოლოდ ამ მოვლენაში მონაწილე მოლეკულების ძალიან დიდი რიცხვის „წყალობაა“. რაც უფრო მცირეა ეს რიცხვი, მით უფრო დიდ შემთხვევით გადახრებს უნდა ველოდეთ, რომელთაც შესაძლებელია, დავაკვირდეთ კიდევ ხელსაყრელ პირობებში.

1.9. მესამე მაგალითი (გაზომვის სიზუსტის საზღვრები) – ჩვენი ბოლო მაგალითი მეორე მაგალითის მსგავსია, მაგრამ იგი გარკვეული ყურადღების ღირსია. ფიზიკოსები ხშირად იყენებენ გრძელ წვრილ ბოჭკოზე ჩამოკიდებულ მსუბუქ სხეულს იმ სუსტი ძალების გასაზომად, რომლებიც იწვევენ მის გადახრას წონასწორობის

მდგომარეობიდან. ელექტრული, მაგნიტური და გრავიტაციული ძალების მოქმედება იწვევს სხეულის ბრუნვას ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ (კონკრეტული შემთხვევისათვის მსუბუქი სხეული, რასაკვირველია, უნდა შეირჩეს სათანადოდ). ამ მეტად გავრცელებული მოწყობილობის, „გრეხითი სასწორის“, სიზუსტის გაზრდის მუდმივმა მცდელობამ საყურადღებო საზღვარს მიაღწია, რომელიც თავისთავად მეტად საინტერესოა. სულ უფრო სუსტი ძალების ზემოქმედებისადმი წონასწორობის მგრძობელობის მისაღწევად უფრო და უფრო მსუბუქი სხეულების, უფრო წვრილი და გრძელი ბოჭკოების შერჩევისას, მიღწეულ იქნა გარკვეული ზღვარი, როდესაც დაკიდებული სხეული შესამჩნევად მგრძობიარე ხდებოდა გარემომცველი მოლეკულების სითბური მოძრაობის ზეგავლენისადმი და იწყებდა უწყვეტ „ცეკვას“ წონასწორობის მდგომარეობის მახლობლად, მსგავსად წყლის წვეთის თრთოლისა მეორე მაგალითში. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი ქცევა არ ამყარებს „გრეხითი სასწორის“ მემვეობით მიღებული შედეგების სიზუსტის აბსოლუტურ საზღვარს, იგი ადგენს პრაქტიკულ საზღვარს. სითბური მოძრაობის არაკონტროლირებადი გავლენა კონკურენციას უწევს გასაზომი ძალის ეფექტს და ერთეულ დაკვირვებაში მიღებულ გადახრას უმნიშვნელოს ხდის. თქვენ აუცილებლად უნდა გაზარდოთ დაკვირვებათა რაოდენობა, რათა გამოირიცხოთ თქვენი ხელსაწყოს ბროუნის მოძრაობის ზეგავლენა გაზომვებზე. ეს მაგალითი გარკვეულწილად შუქს ჰფენს ჩვენს კვლევას. რადგან, საბოლოო ჯამში, ჩვენი გრძობათა ორგანოები, გარკვეული თვალსაზრისით, ხელსაწყოებს წარმოადგენს. ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, რაოდენ უსარგებლონი გახდებიან ისინი მგრძობელობის ზედმეტად გაზრდის შემთხვევაში.

1.10. √n -ის წესი – ამჟამად საკმარისია მაგალითები. მე მხოლოდ დავამატებ, რომ არ არსებობს ორგანიზმის შიგნით მიმდინარე ან მისი გარემოსთან ურთიერთქმედების პროცესებთან დაკავშირებული ფიზიკის ან ქიმიის არც ერთი კანონი, რომლის მაგალითად მოყვანა მე არ შემეძლოს. დეტალური ახსნა შეიძლება უფრო რთული აღმოჩნდეს, მაგრამ დამახასიათებელი მომენტი ყოველთვის იგივე დარჩება და ამიტომ აღწერა მოსაწყენი გახდება.

მაგრამ მე დავამატებდი ერთ ფრიად მნიშვნელოვან რაოდენობრივ დებულებას, რომელიც ეხება ფიზიკის ნებისმიერი კანონის მო-

სალოდნელი უზუსტობის ხარისხს, ე. წ. \sqrt{n} -ის წესს. მე ჯერ მოვახდენ მის ილუსტრირებას მარტივი მაგალითით და შემდეგ კი განვაზოგადებ.

თუ მე გეტყვით, რომ გარკვეულ აირს წნევისა და ტემპერატურის გარკვეულ პირობებში აქვს გარკვეული სიმკვრივე და თუ დავაზუსტებ, რომ გარკვეულ (ამა თუ იმ ექსპერიმენტისათვის შესაფერის) მოცულობაში ამ პირობებში იმყოფება აირის მხოლოდ n მოლეკულა, დარწმუნებული იყავით, რომ ამ ჩემი გამონათქვამის შემოწმების სურვილის შემთხვევაში დროის გარკვეულ მომენტში, აღმოაჩენთ მის უზუსტობას და გადახრა \sqrt{n} რიგისა იქნება. აქედან გამომდინარე, თუ $n = 100$, გადახრა შეადგენს 10-ს ანუ ფარდობითი ცდომილება = 10%. მაგრამ, თუ $n = 1$ მილიონს გადახრა იქნება დაახლოებით 1000, ხოლო ფარდობითი ცდომილება = 1/10%. უხეშად თუ ვიტყვით, ეს სტატისტიკური კანონი საკმაოდ ზოგადია. ფიზიკისა და ფიზიკური ქიმიის კანონები არ არის ზუსტი $1/\sqrt{n}$ რიგის ფარდობითი ცდომილების ფარგლებში, სადაც n არის ურთიერთქმედი მოლეკულების ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ კანონმა იმუშაოს, რომ ძალაში იყოს სივრცის ან დროის (ან ორივესი ერთად) იმ არეებსა და შუალედებში, რომლებიც გვანტერესებს რაღაც მოსაზრებებით ან კონკრეტული ექსპერიმენტის პირობებში.

აქედან გამომდინარე, თქვენ ხედავთ, რომ ორგანიზმს უნდა ჰქონდეს შედარებით დიდი სტრუქტურა, იმისათვის რომ შეძლოს საკმარისად ზუსტი კანონების უპირატესობით ისარგებლოს როგორც შინაგანი ცხოველქმედების, ასევე გარე სამყაროსთან ურთიერთქმედების დროს. წინააღმდეგ შემთხვევაში ურთიერთქმედი ნაწილაკების რაოდენობა მეტად მცირე იქნებოდა, ხოლო „კანონი“ – მეტად არაზუსტი. განსაკუთრებით უმეღავათო მოთხოვნას აყენებს კვადრატული ფესვი, რადგან, თუმცა კი მილიონი საკმაოდ დიდი რიცხვია, $1/1000$ -ის სიზუსტე არ არის სრულიად მისაღები, თუკი რაიმე პრეტენზიას აცხადებს, რომ ის „ბუნების კანონად“ იწოდებოდეს.

თავი მეორე

მეცხვიდრობითობის მექანიზმი

ყოფიერება მარადიულია, რადგან არსებობს კანონები, რომლებიც იცავენ სიცოცხლის საგანძურს, რითიც სამყარო თავს იმშვენებს.⁷

გოეთე

2.1. კლასიკური ფიზიკოსის არატრივიალური ვარაუდი მცდარია – ამგვარად, მივედით დასკვნამდე, რომ ორგანიზმს და მასთან დაკავშირებულ ყველა ბიოლოგიურ პროცესს უნდა გააჩნდეს ექსტრემალურად „მრავალატომიანი“ სტრუქტურა და იგი დაცული უნდა იყოს შემთხვევითი, „ერთეულ ატომური“ მოვლენებისაგან, რომლებმაც შეიძლება მეტად დიდი გავლენა იქონიონ. ეს, „მიამიტი ფიზიკოსის“ თქმით, არსებითია იმისათვის, რომ ორგანიზმს, ასე ვთქვათ, გააჩნდეს საკმარისად ზუსტი ფიზიკური კანონები, რომლებზედაც აეწყობოდა მისი საოცრად რეგულარული და კარგად მოწესრიგებული მუშაობა. როგორ შეესაბამება ჩვენ მიერ გაკეთებული დასკვნები, ბიოლოგიური თვალსაზრისით რომ ვთქვათ, აპრიორი (ესე იგი წმინდად ფიზიკური მოსახერხებელიდან გამომდინარე), რეალურ ბიოლოგიურ ფაქტებს?

ერთი შეხედვით, შეიძლებოდა გვეფიქრა, რომ ეს დასკვნები ტრივიალურისაგან არაფრით განსხვავდება. ვთქვათ, ოცდაათი წლის წინ, მიუხედავად იმისა, რომ პოპულარული ლექციების კურსის წამყვანი ლექტორისთვის საკმაოდ მოსახერხებელი იქნებოდა ხაზი გაესვა სტატისტიკური ფიზიკის მნიშვნელობისთვის ორგანიზმში თუ სხვაგან, ბიოლოგისთვის ეს, ფაქტობრივად მხოლოდ ბანალური ჭეშმარიტება იქნებოდა. ვინაიდან, ბუნებრივია, რომ არა მარტო რომელიმე ბიოლოგიური სახეობის ზრდასრული წარმომადგენლის სხეული, არამედ მისი შემადგენელი ყოველი ცალკე აღებული უჯრედიც კი შეიცავს ყველა ტიპის ცალკეული ატომის „კოსმიურ“ რაოდენობას. ხოლო ყოველი ცალკეული ფიზიოლოგიური პროცესი, რომელსაც ადგილი აქვს როგორც უჯრედის შიგნით, ასევე მისი ურთიერთქმედებისას გარემოსთან, როგორც ჩანს – ან ვთქვათ ასე: როგორც ჩანდა ოცდაათი წლის წინ – მოიცავს ცალკეული ატომებისა და ერთეული ატომური პროცესების იმდენად დიდ რიცხვს, რომ ფიზიკისა და ფიზიკური ქიმიის ყველა არსებითი კანონი სამართლიანი იქნებოდა

სტატისტიკური ფიზიკის „დიდ რიცხვებთან“ დაკავშირებული ძალიან მკაცრი მოთხოვნების შემთხვევაშიც კი. ეს მოთხოვნა ჩემ მიერ ახლახან იყო ილუსტრირებული \sqrt{n} წესის მეშვეობით.

დღეს ჩვენ ვიცით, რომ ეს შეცდომა იქნებოდა. როგორც ამჟამად დავინახავთ, ატომების წარმოუდგენლად მცირერიცხოვანი ჯგუფები, ბევრად უფრო მცირერიცხოვანი, ვიდრე ეს ზუსტი სტატისტიკური კანონზომიერებების გამოვლენისათვისაა საჭირო, წამყვან როლს თამაშობენ ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე მეტად მოწესრიგებულ და კანონზომიერ მოვლენებში. ისინი აკონტროლებენ მასშტაბურ თავისებურებებს, რომელსაც ორგანიზმი იძენს განვითარების პროცესში, ისინი განსაზღვრავენ მისი ფუნქციონირების მნიშვნელოვან მახასიათებლებს. ეს ყველაფერი კი ბიოლოგიის ძალიან მკაფიო და ძალიან მკაცრი კანონების გამოვლინებაა.

მე უნდა დავიწყო ბიოლოგიაში, განსაკუთრებით კი გენეტიკაში, შექმნილი მდგომარეობის მოკლე მიმოხილვით, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მე ვაპირებ თანამედროვე მდგომარეობის მოკლე მიმოხილვას ცოდნის იმ სფეროში, რომლის სპეციალისტიც მე არა ვარ. ამას ვერაფერს მოვუხერხებთ და ბოდიშს ვუხდი ყველას, განსაკუთრებით კი ბიოლოგებს, ჩემი დილექტანტური მიმოხილვისთვის. მეორე მხრივ, ნება მომეცით, წარმოგიდგინოთ გავრცელებული იდეები მეტ-ნაკლები დოგმატურობით. ერთი საწყალი თეორეტიკოსი ფიზიკოსისაგან არც იყო მოსალოდნელი იმ ექსპერიმენტების რამდენადმე კომპეტენტური მიმოხილვა, რომლებიც შედგება, ერთი მხრივ, მრავალრიცხოვანი, ხანგრძლივი და, მეორე მხრივ, მოხდენილად ურთიერთდაკავშირებული, ჰემმარიტად უპრეცედენტო მახვილგონიერებით ჩატარებული სელექციის ექსპერიმენტების სერიებისაგან, ერთი მხრივ, და ცოცხალ უჯრედზე პირდაპირი დაკვირვებებისაგან თანამედროვე მიკროსკოპის ყველა გაუმჯობესებათა გამოყენებით.

2.2. მემკვიდრეობითობის კოდი (ქრომოსომები) – ნება მიბოძეთ, ვინმარო სიტყვა „ორგანიზმის წყობა“ იმ გაგებით, რომლითაც ბიოლოგი უწოდებს მას „ოთხგანზომილებიან წყობას“, გულისხმობს რა არა მხოლოდ ამ ორგანიზმის სტრუქტურასა და ფუნქციონირებას ზრდასრულ, ან ნებისმიერ სხვა სტადიაში, არამედ მთელ მის ონტოგენეტიკურ განვითარებას განაყოფიერებული კვერცხუჯრედიდან სიმწიფის სტადიამდე – როდესაც ორგანიზმი თვითონ იწ-

ყებს რეპროდუქციას. ცნობილია, რომ მთელი ეს ოთხგანზომილებიანი წყობა განისაზღვრება იმ ერთი უჯრედის – განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის – სტრუქტურით. უფრო მეტიც, ჩვენ ვიცით, რომ არსებითად იგი განისაზღვრება ამ უჯრედის მხოლოდ მცირე ნაწილის სტრუქტურით, კერძოდ, მისი ბირთვით. იგი უჯრედის ჩვეულებრივ, „მოსვენებულ მდგომარეობაში“ თავს იჩენს, როგორც უჯრედში განაწილებული ქრომატინის მქსელი. მაგრამ უჯრედის დაყოფის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი პროცესების დროს (მიტოზი და მეიოზი, იხ. ქვემოთ) იგი უკვე ჩანს, როგორც მთელი რიგი ბოჭკოსებრი ან ჩხირისებრი ნაწილაკების წყება, რომლებსაც ქრომოსომები ეწოდება და რომელთა რაოდენობა შეადგენს 8-ს ან 12-ს, ადამიანისთვის კი – 46-ს.⁹ ეს ტერმინი რომ ბიოლოგისთვის ჩვეული მნიშვნელობით გამოიყენებინა, საილუსტრაციო რიცხვები სინამდვილეში უნდა ჩამეწერა, როგორც 2X4, 2X6, . . . , 2X23, . . . და მესაუბრა ორ წყებაზე. თუმცა ცალკეული ქრომოსომები ხანდახან მკაფიოდ გამორჩეული და ინდივიდუალიზებულია ფორმითა და ზომით და ეს ორი წყება თითქმის სრულიად ერთმანეთის იდენტურია. როგორც მალე დავინახავთ, ერთი წყება საწყისს იღებს დედისაგან (კვერცხუჯრედი), მეორე კი – მამისაგან (გამანაყოფიერებელი სპერმატოზოიდი). სწორედ ეს ქრომოსომები ან, შესაძლოა, მხოლოდ მათი ღერძული ჩონჩხის ბოჭკოა, სინამდვილეში, მიკროსკოპში ჩვენ მიერ დანახული ქრომოსომა, რომელიც გარკვეული კოდის სახით შეიცავს ინდივიდის მომავალი განვითარებისა და სიმწიფის სტადიაში მისი ფუნქციონირების მთელ პროგრამას. ქრომოსომების ყოველი სრული სერია შეიცავს მთლიან კოდს. როგორც წესი, არსებობს ამ უკანასკნელის ორი ეგზემპლარი განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედში, რომელიც წარმოადგენს მომავალი ინდივიდის განვითარების პირველ სტადიას.

ვუწოდებთ რა ქრომოსომის ბოჭკოების სტრუქტურას კოდს, ვგულისხმობთ, რომ ყოვლისმომცველი გონება, რომელიც ლაპლასიდან მოდის და რომლისთვისაც ყოველი მიზეზობრივი კავშირი გაცხადებულია, ქრომოსომების სტრუქტურიდან გამომდინარე, შეძლებდა ეთქვა, რა განვითარდება ამ კვერცხუჯრედიდან ხელსაყრელ პირობებში: შავი მამალი თუ ჭრელი ქათამი, ბუზი თუ სიმინდი, როდოდენდრონი, ხოჭო, თავგი, თუ ქალი. ამას შეიძლება დავამატოთ, რომ კვერცხუჯრედები ხშირად ძალიან ჰგვანან ერთმანეთს და იმ შემთხვევაშიც კი, როცა ეს ასე არ არის, მაგალითად, ჩიტების და ქვეწარმა-

ვალთა შედარებით გიგანტური კვერცხების შემთხვევაში, განსხვავება იმდენად არსებით სტრუქტურებში როდია, რამდენადაც საკვებ მასალაში, და ეს განსხვავება ამ შემთხვევებში გამოწვეულია სრულიად გასაგები მიზეზებით.

თუმცა ტერმინი კოდი, რასაკვირველია, მეტად ვიწროა. ქრომოსომული სტრუქტურები ამავე დროს მათში ჩადებული პროგრამის განხორციელების მნიშვნელოვანი საშუალებებია. ისინი ერთსა და იმავე დროს წარმოადგენენ კანონსაც და აღმასრულებელ ძალაუფლებასაც, ან სხვანაირ შედარებას თუ გამოვიყენებთ, ისინი წარმოადგენენ არქიტექტორის გეგმას და მშენებლის ხელობას ერთდროულად.

2.3. სხეულის ზრდა უჯრედის დაყოფის გზით (მიტოზი) – როგორ იქცევიან ქრომოსომები ონტოგენეზისას?

ორგანიზმის ზრდა ხდება უჯრედის თანმიმდევრული დაყოფით. უჯრედის ასეთ დაყოფას მიტოზი ეწოდება. თუ გავითვალისწინებდით უჯრედების უზარმაზარ რაოდენობას, რომლისგანაც ჩვენი სხეული შედგება, შეიძლება გვეფიქრა, რომ უჯრედის სიცოცხლეში მიტოზი საკმაოდ ხშირი მოვლენაა. მაგრამ ეს ასე არ არის. დასაწყისში ზრდა სწრაფია. კვერცხუჯრედი იყოფა ორ „ვილიულ უჯრედად“, რომლებიც შემდეგ საფეხურზე მოგვცემენ ოთხ, შემდეგ 8, 16, 32, 64 და ა. შ. უჯრედს. დაყოფის სიხშირე ზრდადი ორგანიზმის ყველა ნაწილში ზუსტად ერთნაირი არ იქნება და ეს დაარღვევს ამ რეგულარობას. მაგრამ მათი რაოდენობის სწრაფი ზრდიდან გამომდინარე, მარტივი გამოთვლებით ვასკვნი, რომ საშუალოდ მხოლოდ 50 ან 60 თანმიმდევრული დაყოფა საკმარისია ზრდასრული ადამიანის უჯრედების შესაქმნელად, ან დაახლოებით ათჯერ მეტი რაოდენობის მისაღებად, თუ მხედველობაში მივიღებთ უჯრედების ცვლას სიცოცხლის მანძილზე. ამგვარად, ჩემი სხეულის უჯრედი საშუალოდ მხოლოდ 50-ე ან მე-60 „მთამომავალია“ იმ კვერცხუჯრედისა, რაც მე ვიყავი თავიდან.

2.4. მიტოზის დროს ყოველი ქრომოსომა დუბლირებულია – როგორ იქცევიან ქრომოსომები მიტოზის დროს? ისინი დუბლირდებიან – ორივე წყება, კოდის ორივე ასლი ორმაგდება. პროცესი ინტენსიურად შეისწავლეს მიკროსკოპის დახმარებით. ის

პირველხარისხოვანი ინტერესის საგანია, თუმცა მეტად რთულია იმისათვის, რომ აქ დეტალურად აღვწეროთ. ამ პროცესში ყველაზე დამახასიათებელი არის ის, რომ თითოეული „შვილელი უჯრედი“ მზითვად იღებს ქრომოსომების ორ სრულ კომპლექტს, რომლებიც მშობელი უჯრედის ქრომოსომების ზუსტი ასლია. ასე რომ, ქრომოსომული „განძეულის“ თვალსაზრისით, სხეულის ყველა უჯრედი ზუსტად ერთნაირია.

რადგინდ ცოტა რამ უნდა გაგვეგებოდეს ამ მექანიზმისა, მაინც არ შეგვიძლია არ ვიფიქროთ, რომ ქრომოსომების ეს გადაცემა გარკვეულად არსებითია ორგანიზმის ფუნქციონირებისთვის და ყოველი ცალკეული უჯრედი, თუნდაც ნაკლებად მნიშვნელოვანი, უნდა ფლობდეს კოდის სრულ (დუბლირებულ) ასლს. რამდენიმე ხნის წინ გაზეთებიდან შევიტყვეთ, რომ აფრიკული კამპანიის დროს გენერალმა მონტგომერიმ წესად შემოიღო, რომ თითოეული ჯარისკაცი დაწვრილებით ყოფილიყო ინფორმირებული მისი ყველა ჩანაფიქრის შესახებ. თუ ეს მართალია (რაც სავსებით შესაძლებელია, თუ მხედველობაში მივიღებთ მისი დანაყოფების მაღალ საზრიანობას და საიმედოობას), მაშინ ეს ჩვენი შემთხვევის საუცხოო ანალოგია. ყველაზე უფრო საოცარი ფაქტია მიტოზური დაყოფის მთელ პროცესში შენარჩუნებული ქრომოსომთა კომპლექტის ორ ასლად არსებობა. ეს რომ გენეტიკური მექანიზმის უმნიშვნელოვანესი თვისებაა, შესანიშნავად ვლინდება ამ წესიდან იმ ერთადერთი გადაზრისას, რომელიც ეხლა უნდა განვიხილოთ.

2.5. რედუქციული გაყოფა (მეიოზი) და განაყოფიერება (სინგამია) – ორგანიზმის განვითარების დაწყებიდან ძალიან მალე ხდება უჯრედების გარკვეული ნაწილის რეზერვირება უფრო გვიანდელ სტადიაზე ეგრეთ წოდებული გამეტების – სპერმული უჯრედების ან კვერცხუჯრედების – წარმოსაქმნელად, რომლებიც საჭიროა ინდივიდის რეპროდუქციისათვის მოწიფულობაში. „რეზერვირებული“ ნიშნავს, რომ გარკვეულ პერიოდში ისინი სხვა მიზნებს არ ემსახურებიან და განიცდიან ბევრად ნაკლებ მიტოზურ დაყოფას. განსაკუთრებული ანუ რედუქციული (მეიოზად წოდებული) გაყოფა არის სწორედ ის პროცესი, რომლის შედეგად, საბოლოოდ, ამ რეზერვირებული უჯრედებიდან სიმწიფეში ხდება გამეტების წარმოქმნა, როგორც წესი, მხოლოდ მცირე ხნით ადრე სინგამიამდე. მეიოზის დროს

მშობელი უჯრედის ქრომოსომების ორმაგი კომპლექტი უბრალოდ იყოფა ორ ცალკეულ წყებად, რომლებიდანაც ერთ-ერთი გადადის თითოეულ შვილეულ უჯრედში – გამეტაში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მეიოზში არ ხდება ქრომოსომათა რაოდენობის მიტოზური გაორმაგება, ეს რაოდენობა მუდმივი რჩება და, აქედან გამომდინარე, ყოველი გამეტა იღებს მხოლოდ მათ ნახევარს, ანუ კოდის მხოლოდ ერთ სრულ ასლს, და არა ორს, მაგალითად, ადამიანის შემთხვევაში მხოლოდ 23-ს და არა $2 \times 23 = 46$ -ს.

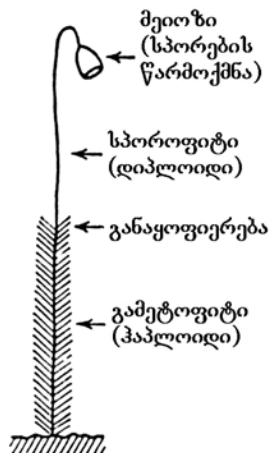
ქრომოსომების მხოლოდ ერთი კომპლექტის მქონე უჯრედებს ჰაპლოიდები ეწოდება (ბერძნული *ἀπλοῦς*-ერთეული). ამგვარად, გამეტა ჰაპლოიდია, ჩვეულებრივი სომატური უჯრედი – დიპლოიდი (ბერძნული *διπλοῦς*-ორმაგი). დროდადრო გვხვდება ინდივიდები ქრომოსომების სამი, ოთხი, მრავალი კომპლექტით და მათ შესაბამისად ეწოდება ტრიპლოიდები, ტეტრაპლოიდები, პოლიპლოიდები.

სინგამიის დროს მამრი გამეტა (სპერმატოზოიდი) და მდედრი გამეტა (კვერცხი), ორივე ჰაპლოიდური უჯრედი, შეერწყებიან განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის წარმოსაქმნელად, რომელიც ასეთი გზით დიპლოიდი ხდება. ქრომოსომების ერთი კომპლექტი გადადის დედიდან, მეორე კი – მამიდან.

2.6. ჰაპლოიდური ორგანიზმები – კორექტირებას ერთი მომენტი საჭიროებს. ის ჩვენი მიზნებისთვის არ არის აუცილებელი, მაგრამ ნამდვილად საინტერესოა, რადგან ცხად-ყოფს, რომ ქრომოსომების ყოველი ცალკეული კომპლექტი ფაქტობრივად შეიცავს ორგანიზმის „წყობის“ სრულ კოდს.

არსებობს შემთხვევები, როდესაც მეიოზს მაშინვე არ მოსდევს განაყოფიერება. ამ დროს ჰაპლოიდური უჯრედი (გამეტა) განიცდის მრავალრიცხოვან მიტოზურ დაყოფას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მთლიანად ჰაპლოიდური ინდივიდი. ასე ხდება მამალი ფუტკრის შემთხვევაში, რომელიც წარმოიქმნება პართენოგენეზურად, ანუ დედა ფუტკრის გაუნაყოფიერებელი, და ამიტომ, ჰაპლოიდური კვერცხიდან. მამალ ფუტკარს არ ჰყავს მამა. მისი ყველა სომატური უჯრედი ჰაპლოიდურია. თუ გნებავთ, შეიძლება მას უზომოდ გაზრდილი სპერმატოზოიდი ვუწოდოთ – რეალურადაც სწორედ ეს არის მისი ერთადერთი ფუნქცია სიცოცხლეში. თუმცა ეს აზრი შეიძლება კურიოზულიც იყოს. ეს შემთხვევა არ არის სრულიად უნიკა-

ლური. არსებობს მცენარეთა ოჯახები, რომლებშიც მეიოზის გზით წარმოქმნილი გამეტები, ე. წ. სპორები, ხვდებიან რა მიწაში მარცვლის მსგავსად, ვითარდებიან ჭეშმარიტად ჰაპლოიდურ მცენარედ, რომელიც ზომით ედრება დიპლოიდს. მე-5 სურ-ზე მოცემულია ჩვენი ტყეებისათვის დამახასიათებელი ხავსის უხეში სქემა. მისი ქვედა ფოთლოვანი ნაწილი წარმოადგენს ჰაპლოიდურ მცენარეს, გამეტოფიტს, რომლის ზედა ნაწილში ვითარდება სასქესო ორგანოები და გამეტები. მათი ურთიერთგანაყოფიერებით, ჩვეულებრივი გზით, წარმოიქმნება დიპლოიდური მცენარე – ფოთლებით დაუფარავი ღერო წვეროზე კაფსულით. ამას ეწოდება სპოროფიტი, რადგან იგი მეიოზის გზით იძლევა სპორებს. კაფსულის გაშლისას სპორები ეცემა მიწაზე და გარდაიქმნება ფოთლოვან ღეროდ და ა. შ. მოვლენას, შესაბამისად, ეწოდება თაობათა ცვლა. თქვენ შეგიძლიათ ამ თვალსაზრისით განიხილოთ ადამიანსა და ცხოველებთან დაკავშირებული ჩვეულებრივი შემთხვევები, მაგრამ მაშინ „გამეტოფიტი“, როგორც წესი, იქნება დღემოკლე, ერთუჯრედიანი თაობა – სპერმატოზოიდი ან კვერცხუჯრედი. ჩვენი სხეული შეესაბამება სპოროფიტს. ჩვენს „სპორებს“ წარმოადგენს რეზერვირებული უჯრედები, რომლებიდანაც მეიოზის გზით სათავეს იღებს ერთუჯრედიანი გენერაცია.



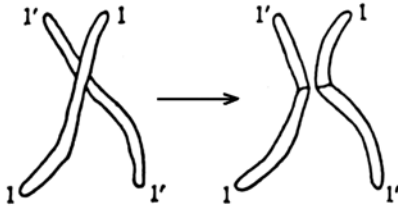
ნახ. 5. თაობათა მონაცვლეობა.

2.7. რედუქციული გაყოფის განსაკუთრებული მნიშვნელობა – ინდივიდის რეპროდუქციის პროცესში მნიშვნელოვან, მართლაც რომ გადამწყვეტ, მოვლენას წარმოადგენს არა განყოფიერება, არამედ მეიოზი. ქრომოსომების ერთი წყება მიიღება დედისგან, მეორე კი – მამისგან. ვერც შემთხვევითობა და ვერც ბედი ვერ შეუშლის ამას ხელს. ყოველი ადამიანი თავისი მემკვიდრეობითობის ნახევარს იღებს დედისგან, მეორე ნახევარს – მამისგან. ამა თუ იმ მემკვიდრეობითი თვისების სიჭარბე – დომინირება გამოწვეულია სხვა მიზეზებით, რომლებსაც მოგვიანებით განვიხილავთ (სქესი, თავისთავად, რასაკვირველია, ასეთი დომინირების უმარტივესი მაგალითია).

მაგრამ თუ თქვენ ჩაჰყვებით თქვენს მემკვიდრეობითობას ბებიებაბუამდე, სხვა ვითარება იჩენს თავს. ნება მომეცით, ყურადღება გავამახვილო ქრომოსომათა ჩემს მამისეულ წყებაზე, კერძოდ, ერთ-ერთ მათგანზე, ვთქვათ, 5-ზე. იგი წარმოადგენს იმ 5-ის ზუსტ ასლს, რომელიც მამაჩემმა მიიღო თავისი მამისაგან, ან იმ 5-ის ასლს, რომელიც მიიღო დედისაგან. მამაჩემის სხეულში 1886 წლის ნოემბერში მიმდინარე მეიოზის შედეგი განისაზღვრა 50 : 50 ალბათობით და წარმოიქმნა სპერმატოზოიდი, რომელიც რამდენიმე დღეში გახდა ჩემი ჩასახვის საწინდარი. ზუსტად იგივე შეიძლება გავიმეოროთ ჩემი მშობლიური 1, 2, 3 ... 23 ქრომოსომების, და, აუცილებელად, დედისგან მიღებული ყველა ქრომოსომის თაობაზეც. უფრო მეტიც, 46-ვე ქრომოსომა სრულიად დამოუკიდებელია. მაშინაც კი, თუ ცნობილი იქნებოდა, რომ მამისგან მიღებული 5 ქრომოსომა საწყისს იღებს ჩემი ბაბუის – ჯოზეფ შროდინგერისგან, 7 ქრომოსომა შეიძლება ასეთივე თანაბარი ალბათობით მიღებული ყოფილიყო ან მისგან, ან მისი ცოლის – მარი ბოგნერისგან.

2.8. ქროსინგოვერი. თვისებათა ლოკალიზაცია – მაგრამ წმინდა შემთხვევითობას გაცილებით მეტი შესაძლებლობა აქვს, შთამომავლობაში წინაპართა მემკვიდრეობის შერევის, ვიდრე ეს ჩანს ზემოთ მოყვანილი მაგალითიდან, რომელშიც უსიტყვოდ იყო ნაგულისხმევი, ან აშკარად გამოთქმულიც კი, რომ რომელიმე ცალკეული ქრომოსომა, როგორც ასეთი, გადმოცემულია ბაბუის ან ბებისგან. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ცალკეული ქრომოსომების გადაცემა ხდება განუყოფლად. თუმცა, ფაქტობრივად, ეს ასე არ არის, ან ყოველ-

თვის ასე არ არის. სანამ განცალკევდებოდნენ რედუქციული დაყოფისას, ვთქვათ, მამის სხეულში, ნების-მიერი ორი „ჰომოლოგიური“ ქრომოსომა ერთმანეთთან მჭიდრო კონტაქტში შედის. ამ დროს ისინი ზოგჯერ ერთმანეთში ცვლიან მთელ ნაწილებს, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-6 სურ-ზე. ამ პროცესით, რომელსაც „ქროსინგოვერი“ ეწოდება, ქრომოსომის შესაბამის ნაწილებში განლაგებული ორი დამახასიათებელი ნიშანი გაიყოფა შვილიშვილში, და ის ერთი მათგანით დაემსგავსება ბაბუას, მეორეთი კი – ბებიას. ქრომოსომების ქროსინგოვერის (გადაჭდობის) ეს აქტი, რომელიც არც ძალიან იშვიათია და არც ძალიან ხშირი, გვაძლევს ფასდაუდებელ ინფორმაციას დამახასიათებელი თვისებების ქრომოსომებში განლაგების შესახებ. ამ ყველაფრის სრულად წარმოსადგენად მოგვიწევს იმ ცნებების გამოყენება, რომლებიც შემდეგ თავში იქნება მოყვანილი (მაგალითად, ჰეტეროზიგოტურობა, დომინირება და ა. შ.), მაგრამ, ვინაიდან ამით გავცდებოდით ჩვენი პატარა წიგნის ფარგლებს, ნება მომეცით, ახლავე მივუთითო ზოგიერთ ამკარა მომენტზე.



ნახ. 6. ქროსინგოვერი. მარცხნივ: ორი ჰომოლოგიური ქრომოსომა ერთმანეთთან კონტაქტში. მარჯვნივ: გაცვლისა და გაყოფის შემდეგ.

ქრომოსომების ქროსინგოვერი რომ არ ყოფილიყო, ორი თვისება, რომელზეც პასუხისმგებელია ერთი და იგივე ქრომოსომა, ყოველთვის გადაეცემოდა ერთად, ანუ შთამომავალი ვერც ერთ მათგანს ვერ მიიღებდა მეორის გარეშე. მაგრამ ორი თვისება სხვადასხვა ქრომოსომებიდან ან 50 : 50 ალბათობით გაიყოფოდა, ან აუცილებლად გაიყოფოდა. უანასკნელს ადგილი ექნებოდა მაშინ, თუ ეს თვისებები ლოკალიზებული იქნებოდა ერთი და იმავე წინაპრის ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში, და ეს თვისებები ვერასოდეს გადაეცემოდა ერთად.

ამ კანონებსა და ალბათობებზე გავლენას ახდენს ქროსინგოვერი. ამიტომ ამ მოვლენის ალბათობა შეიძლება დადგინდეს შთამომავლის პროცენტული შემადგენლობით საგულდაგულო გამრავლების სპეციალურად ამ მიზნისათვის ჩატარებულ ხანგრძლივ ექსპერიმენტებში. სტატისტიკური მონაცემების ანალიზისას ღებულობენ სამუშაო ჰიპოთეზას, რომ ერთ ქრომოსომაში განლაგებულ ორ ნიშან-თვისებას შორის „ბმა“ გაცილებით იშვიათად ირღვევა ქროსინგოვერით, როდესაც ეს თვისებები ყველაზე ახლოს მდებარეობს ერთმანეთთან, რადგან ამ შემთხვევაში ნაკლებია იმის ალბათობა, რომ გაცვლის წერტილი მათ შორის იყოს, მაშინ, როდესაც ქრომოსომების საპირისპირო ბოლოებში განლაგებული ნიშან-თვისებები გაიყოფა ყოველი ქროსინგოვერისას (იგივე ეხება იმ ნიშან-თვისებათა რეკომბინაციას, რომლებიც განლაგებულია ერთი და იმავე წინაპრის ჰომოლოგიურ ქრომოსომებშიც). ამგვარად, შეიძლება იმედი გავგზიანოდა, რომ ამ ნიშან-თვისებათა „ბმის სტატისტიკიდან“ მივიღებდით ერთგვარ „ნიშან-თვისებათა რუკას“ ყოველი ქრომოსომისათვის.

ეს ვარაუდი სრულად დადასტურდა. ჩატარდა საგულდაგულო შემოწმება და აღმოჩნდა, რომ ყველა შემთხვევაში (ძირითადად დროზოფილას შემთხვევაში, მაგრამ არა მხოლოდ) შემოწმებული ნიშან-თვისებები ფაქტობრივად იყოფა იმდენ ცალკეულ ჯგუფად, მათ შორის ყოველგვარი კავშირის არსებობის გარეშე, რამდენი სხვადასხვა ქრომოსომაც არის (დროზოფილას შემთხვევაში – ოთხი). თითოეული ჯგუფისათვის შეიძლება შედგეს ნიშან-თვისებათა ხაზოვანი რუკა, რომელიც რაოდენობრივად ახსნის ნებისმიერი ორი ნიშნის ბმის ხარისხს, ისე, ქრომოსომის ჩხირისებრი ფორმის „კარნახით“ მათი განლაგება ერთი ხაზის გასწვრივ არავითარ ეჭვს არ იწვევს.

რასაკვირველია, მემკვიდრეობითობის მექანიზმის აქ მოყვანილი სქემა ჯერ კიდევ ცარიელია და უფერული, რამდენადმე გულუბრყვილოც კი, რადგან ჩვენ არ გვითქვამს, თუ რას ვგულისხმობთ კერძოდ ნიშან-თვისებაში. შეუძლებლად და არაადეკვატურად მიგვაჩნია ცალკეულ „ნიშან-თვისებებად“ დაყვით ორგანიზმი, რომელიც არსებითად ერთიანია – „მთელია“. რასაც ვამბობთ, ყოველ კერძოდ შემთხვევაში რეალურად არის ის, რომ მშობლების წყვილი ერთმანეთისაგან განსხვავდებოდა გარკვეული, მკაფიოდ გამოხატული ნიშნით (მაგალითად, ერთს აქვს ცისფერი თვალები, მეორეს – ყავისფერი), და რომ შთამომავალი ამ ნიშნით ემსგავსება ან ერთს, ან

მეორეს. ქრომოსომაში ჩვენ ვადგენთ ამ განსხვავების ადგილსამყოფელს (ტექნიკურ ენაზე ამას „ლოკუსს“ ვუწოდებთ ან თუ ვიგულისხმებთ ჰიპოთეტურ მატერიალურ სტრუქტურას, რაც მას საფუძვლად უდევს, – „გენს“). ჩემი აზრით, განსხვავება თვისებებში უფრო ფუნდამენტური ცნებაა, ვიდრე თვით თვისება, მიუხედავად ამ მტკიცებულების აშკარად ლინგვისტური და ლოგიკური წინააღმდეგობრიობისა. ნიშან-თვისებათა განსხვავებები სინამდვილეში დისკრეტულია, რაც გამოჩნდება შემდეგ თავში, მუტაციის განხილვისას და, იმედი მაქვს, რომ აქ მოყვანილი მშრალი სქემა მეტ სიცოცხლესა და ფერს შეიძენს.

2.9. გენის მაქსიმალური ზომა – ეს-ესაა შემოვიღეთ ტერმინი „გენი“ გარკვეული მემკვიდრეობითი თვისებების ჰიპოთეტური მატერიალური მატარებლისთვის. ეხლა ხაზი უნდა გავუსვათ ორ მომენტს, რომლებიც მეტად მნიშვნელოვანი იქნება ჩვენი გამოკვლევისათვის. პირველია ასეთი მატარებლის ზომა, ან, უფრო სწორად, მაქსიმალური ზომა. სხვა სიტყვებით, რა უმცირეს მოცულობაში შეგვიძლია მისი დაფიქსირება? მეორე მომენტი იქნება გენის უცვლელობა, რომელიც მომდინარეობს მემკვიდრეობითი წყობის სიმტკიცეიდან.

ზომასთან დაკავშირებით არსებობს ორი სრულიად დამოუკიდებელი შეფასება. ერთი ეყრდნობა გენეტიკურ მონაცემებს (შეჯვარების ექსპერიმენტები), მეორე კი – სხვა ციტოლოგიურ მონაცემებს (პირდაპირ მიკროსკოპული კვლევა). პირველი შეფასება არსებითად საკმაოდ მარტივია. მას შემდეგ, რაც ერთ ცალკე აღებულ ქრომოსომაში, ზემოაღწერილის მსგავსად, დავაფიქსირებთ მრავალ სხვადასხვა დამახასიათებელ ნიშანს (მაგალითად, დროზოფილას ნიშნებს) აუცილებელი შეფასებისთვის დაგვჭირდება მხოლოდ ამ ქრომოსომის გაზომილი სიგრძის გაყოფა ნიშნების რაოდენობაზე და გამრავლება განივკვეთზე. ვინაიდან განსხვავებულად, ცხადია, მივიჩნევთ მხოლოდ ისეთ ნიშნებს, რომლებიც დროდადრო განცალკევდება ქროსინგოვერის გზით, ისინი არ შეიძლება ეკუთვნოდნენ ერთსა და იმავე (მიკროსკოპულ თუ მოლეკულურ) სტრუქტურას. მეორე მხრივ, ნათელია, რომ ამგვარი შეფასება მოგვცემს მხოლოდ მაქსიმალურ ზომას, ვინაიდან გენეტიკური ანალიზით გამოყოფილ ნიშანთა რაოდენობა მუდმივად იზრდება.

მეორე შეფასება, მიუხედავად იმისა, რომ იგი ეყრდნობა მიკროს-კოპულ ანალიზს, სინამდვილეში ნაკლებად პირდაპირია. დროზოფი-ლას გარკვეული უჯრედები (მაგალითად, სანერწყვე ჯირკვლების უჯ-რედები) რაღაც მიზეზით ძალიან გადიდებულია და იგივე შეიძლება ითქვას მათ ქრომოსომებ-ზე. მათში შეიძლება ბოჭკოს გარდიგარდ-მო მჭიდროდ განლაგებული მუქი ზოლების გარჩევა. კ. დ. დარლინ-გტონმა აღნიშნა, რომ, თუმცა ამ ზონების რაოდენობა (2 000 მის მიერ შესწავლილ შემთხვევაში) დიდია, მათი რიცხვი დაახლოებით იმავე რივისაა, რაც ამ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენების რა-ოდენობა, მიღებული შეჯვარების ექსპერიმენტით. მეორე შეფასება მათ უპირატესად განიხილავს, როგორც რეალურ გენებს (გენების განაყოფებს). ნორმალური ზომის უჯრედში გაზომილი ქრომოსომის სიგრძის გაყოფით მათ რაოდენობაზე (2 000) მან დაადგინა, რომ გე-ნის მოცულობა უტოლდება იმ კუბის მოცულობას, რომლის წიბო უდრის 300 Å. უხეში მიახლოების გათვალისწინებით შეგვიძლია მი-ვიჩინოთ, რომ ეს ზომა პირველი მეთოდით მიღებული ზომის ტო-ლია.

2.10. მცირე რიცხვები – მოგვიანებით განვიხილავთ სტატისტი-კური ფიზიკის მნიშვნელობას ყოველივე ზემოთქმულისთვის, ან იქ-ნებ უნდა მეთქვა, ამ ფაქტების კავშირს ცოცხალ უჯრედში სტატის-ტიკური ფიზიკის გამოყენებასთან. მაგრამ ნება მომეცით, პირველ რიგში, თქვენი ყურადღება მივაპყრო იმ ფაქტს, რომ 300 Å შეად-გენს დაახლოებით 100 ან 150 ატომურ მანძილს სითხეში ან მყარ სხეულში, ასე რომ, გენი შეიცავს არა უმეტეს ერთ ან რამდენიმე მი-ლიონ ატომს. ეს მეტისმეტად მცირე რიცხვია იმისათვის (\sqrt{n} -იდან გა-მომდინარე), რომ განსაზღვროს სისტემის მოწესრიგებული, კანონ-ზომიერი ყოფაქცევა სტატისტიკური ფიზიკის ან საერთოდ ფიზიკის კანონების შესაბამისად. ეს რიცხვი ძალზე მცირეა იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ყველა ატომი გენში შეასრულებს ისეთივე როლს, როგორ-საც ისინი ასრულებენ აირში ან სითხის წვეთში. გენი კი სრულიადაც არ უნდა წარმოადგენდეს მხოლოდ სითხის ერთგვაროვან წვეთს. შე-საძლოა, იგი წარმოადგენდეს ცილის დიდ მოლეკულას, რომელშიც ყოველი ატომი, რადიკალი და ჰეტეროციკლური რგოლი ასრულებს თავის როლს, მეტ-ნაკლებად განსხვავებულს იმ როლისაგან, რასაც ნებისმიერი სხვა მსგავსი ატომი, რადიკალი თუ რგოლი ასრულებს.

ასეთია, ყოველ შემთხვევაში, წამყვანი გენეტიკოსების – ჰოლდენინ-სა და დარლინგტონის აზრი. ჩვენ კი მალე განვიხილავთ გენეტიკურ ექსპერიმენტებს, რომლებიც ძალიან ახლოს არიან ამ ფაქტის დადასტურებასთან.

2.11. სტაბილურობა – ახლა მივუბრუნდეთ მეორე მეტად არსებით საკითხს: სტაბილურობის რა ხარისხი გვხვდება მემკვიდრეობით თვისებებში და ამიტომ რა თვისებები უნდა მივაწეროთ მათ მატარებელ მატერიალურ სტრუქტურებს?

ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა მართლაც შეიძლება რაიმე სპეციალური გამოკვლევის გარეშე. ის უბრალო ფაქტი, რომ ჩვენ ვსაუბრობთ მემკვიდრეობით თვისებებზე, მიუთითებს, რომ ვაცნობიერებთ მათ თითქმის აბსოლუტურ მდგრადობას. არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ ის თვისება, რომელიც მშობლიდან გადაეცემა შვილს, არ არის მხოლოდ ესა თუ ის განსაკუთრებულობა: მოკაუჭებულ ცხვირს, კოტიტა თითებს, რევმატიზმისადმი მიდრეკილებას, ჰემოფილიას, დიქრომიას და ა. შ. ასეთი თვისებების შერჩევა მოხერხებულია მემკვიდრეობითობის კანონების შესასწავლად. მმაგრამ, ფაქტობრივად, სწორედ მთლიანი (ოთხგანზომილებიანი) წყობა „ფენოტიპისა“, ინდივიდის ხილული და თვალსაჩინო ბუნება, რეპროდუცირდება მდგრადად, საგრძნობი ცვლილებების გარეშე თაობათა მანძილზე საუკუნეების განმავლობაში – თუმცა არა ათეული ათასწლეულების განმავლობაში – და ყოველი გადასვლისას ის იბადება იმ ორი უჯრედის ბირთვის მატერიალური სტრუქტურიდან, რომელთა გაერთიანება წარმოშობს განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედს. ყოველ გადატანას ასრულებს იმ ორი უჯრედის ბირთვში არსებული ნივთიერი სტრუქტურა, რომლებიც ერთიანდებიან განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის წარმოსაქმნელად. ეს საოცრებაა! არის კიდევ მხოლოდ ერთი უფრო დიდი საოცრება, პირველთან დაკავშირებული, თუმცა სხვა სიბრტყეს რომ ეხება. მხედველობაში მაქვს ის, რომ ჩვენ, ვისი არსებობაც მთლიანად დაფუძნებულია სწორედ ამ მემკვიდრეობითობის მექანიზმის გასაოცარ თამაშზე, გავაჩნია უნარი, ასე ბევრი რამ გავიგოთ მის შესახებ. მე მგონია, რომ რაც შეეხება პირველ საოცრებას, ჩვენ შეგვიძლია თითქმის ბოლომდე გავიგოთ ის. მეორე საოცრების გაგება, შესაძლოა, საერთოდ ადამიანური შემეცნების საზღვრებს მიღმა დარჩეს.

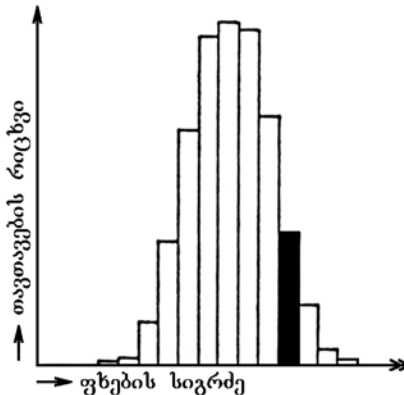
თავი მასაჲ

მუთაცინები

და ბუნდოვანი გაურკვევლობა თავის სიმყარეს იძენს აზრებში.
გოეთე

3.1. „ნახტომისებრი“ მუტაციები – ბუნებრივი შერჩევის საფუძველი – ჩვენ მიერ ახლახან განხილული გენური სტრუქტურისათვის დამახასიათებელი მდგრადობის დამადასტურებელი ზოგადი ფაქტები ჩვენთვის, შესაძლოა, იმდენად კარგადაა ცნობილი, რომ გვიჭირს მათი მიჩნევა საოცრად ან დამაჯერებლად. ამ შემთხვევაში გამოთქმა, რომ გამონაკლისი წესს ადასტურებს, მართლაც, სწორია. მშობლებისა და შვილების მსგავსებაში გამონაკლისები რომ არ ყოფილიყო, აღარ გვექნებოდა არა მარტო ყველა ის ლამაზი ექსპერიმენტი, რომლებშიც გამჟღავნდა მემკვიდრეობითობის დეტალური მექანიზმი, არამედ ბუნების ის გრანდიოზული, მილიონჯერ გამეორებული ექსპერიმენტიც, რომელსაც გამოჰყავს სახეობები ბუნებრივი შერჩევისა და ყველაზე შეგუებულთა გადარჩენის გზით.

ნება მიბოძეთ, არსებითი ფაქტების წარმოსადგენად ამოსავალ წერტილად მივიჩნიო ეს უკანასკნელი მნიშვნელოვანი საკითხი – კვლავ ბოდიშის მოხდითა და შესხენებით, რომ მე არა ვარ ბიოლოგი.



ნახ. 7. წმინდა ჯიშის ქერის თავთავის ფხის სიგრძის სტატისტიკა. შავად შეფერადებული ჯგუფი შეირჩევა დასათესად. (მონაცემები მოტანილია მხოლოდ საილუსტრაციოდ)

დღეს კარგად ვიცით, რომ დარვინი ცდებოდა, როცა პატარა, უწყვეტ, შემთხვევით მუტაციებს, რომლებიც ყველაზე ჰომოგენურ პოპულაციაშიც კი გვხვდება, განიხილავდა, როგორც ბუნებრივი შერჩევის მასალას, ვინაიდან დამტკიცებულია, რომ მათი გადაცემა მემკვიდრეობით არ ხდება. ეს საკმაოდ მნიშვნელოვანია საიმისოდ, რომ მოვახდინოთ მისი მოკლე ილუსტრირება. თუ თქვენ აიღებთ წმინდა ჯიშის ქერის თავთავებს, გაზომავთ მათ ფხებს და სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე ააგებთ გრაფიკს, მიიღებთ მე-7 სურ-ზე მოცემულ ზარის ფორმის მრულს.

ამ სურათზე გამოსახულია ფხის გარკვეული სიგრძის მქონე თავთავების რიცხვის დამოკიდებულება ფხის სიგრძეზე. სხვა სიტყვებით, ჭარბობს გარკვეული საშუალო სიგრძე, ხოლო გადახრა ამა თუ იმ მიმართულებით ხდება გარკვეული სიხშირით. ახლა გამოარჩიეთ იმ თავთავების ჯგუფი (გამუქებულია სურათზე), რომელთა სიგრძე საშუალოსგან შესამჩნევად განსხვავებულია, მაგრამ რაოდენობა საკმარისია იმისთვის, რომ მოგვცეს ახალი მოსავალი. დარვინის მიხედვით, ამ ახალი მოსავლის სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე აგებული მრული უნდა წანაცვლებულიყო მარჯვნივ. სხვა სიტყვებით, სელექციის გზით უნდა მომხდარიყო თავთავების ფხის საშუალო სიგრძის ზრდა. მაგრამ წმინდა ჯიშის ქერის შემთხვევაში ეს ასე არ ხდება. სელექციის გზით გამოყვანილი მარცვლოვანი კულტურის სტატისტიკური მონაცემებით აგებული ახალი მრული პირველის იდენტურია და ასეთივე შედეგი გვექნება, თუ თესლად შევარჩევთ განსაკუთრებით მოკლეფხიან თავთავს. სელექციას შედეგი არ მოჰყვა, ვინაიდან მცირე, უწყვეტი გადახრების მემკვიდრეობით გადაცემა არ ხდება. მაგრამ ამ ორმოციოდე წლის წინ ჰოლანდიელმა დე ფრიზმა აღმოაჩინა, რომ საგულდაგულოდ შერჩეული წმინდა ჯიშის შთამომავლობაშიც კი გამოჩნდება ისეთი ინდივიდების მეტად მცირე რაოდენობა, ვთქვათ, ორი ან სამი ათობით ათასებს შორის, რომლებშიც ადგილი აქვს მცირე, მაგრამ „ნახტომისებრ“ ცვლილებებს. ტერმინი „ნახტომისებრი“ არ ნიშნავს, რომ ცვლილება ძალიან მნიშვნელოვანია; ის მიუთითებს მის წყვეტილ ხასიათზე იმდენად, რამდენადაც არ არსებობს გარდამავალი ფორმა უცვლელსა და მცირედ შეცვლილს შორის. დე ფრიზმა ამას მუტაცია უწოდა. აქ მნიშვნელოვანია წყვეტის ფაქტი. ფიზიკოსს ის აგონებს კვანტურ თეორიას – ორ მეზობელ ენერგეტიკულ დონეს შორის არ არსებობს

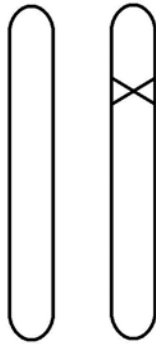
შუალედური ენერგიები. ფიზიკოსი დე ფრიზის მუტაციის თეორიას ხატონად დაარქმევდა ბიოლოგიის კვანტურ თეორიას. მოგვიანებით ჩვენ დავინახავთ, რომ ეს ბევრად უფრო მეტია, ვიდრე უბრალოდ ხატოვანი გამოთქმა. მუტაციები ფაქტობრივად გამოწვეულია კვანტური ნახტომებით გენის მოლეკულაში. თუმცა 1902 წელს, როდესაც დე ფრიზმა გამოაქვეყნა თავისი აღმოჩენა, კვანტური თეორია ორი წლისა იყო, მაინც ცოტა არ იყოს გასაკვირია, რომ ამ მჭიდრო კავშირის აღმოჩენას კიდევ ერთი თაობა დასჭირდა!

3.2. მათი ჯიშის სიწმინდე შენარჩუნებულია ანუ მათ მიიღეს საუკეთესო მემკვიდრეობა – მუტაციები ისევე გადაეცემა მემკვიდრეობით, როგორც თავდაპირველი, უცვლელი თვისებები. მაგალითად, ზემოთ განხილულ ქერის პირველ მოსავალში მხოლოდ მცირე რაოდენობის თავთავს ექნება ისეთი ფხა, რომლის სიგრძე ექნება მე-7 სურ-ზე მოყვანილი გადახრების ფარგლებს მიღმა – ვთქვათ, საერთოდ არ ექნება ფხა. ეს თავთავები შესაძლებელია ,დე ფრიზის მუტაციას წარმოადგენდნენ და მაშინ ისინი სრულიად შეინარჩუნებენ ჯიშის სიწმინდეს, ანუ შემდგომში მოგვცემენ ასეთსავე უფხო შთამომავლობას.

აქედან გამომდინარე, მუტაცია აშკარად წარმოადგენს მემკვიდრეობითი თვისებების ცვლილებას და იგი დაკავშირებული უნდა იყოს მემკვიდრეობითობის მატარებელი სუბსტანციის გარკვეულ ცვლილებებთან. ფაქტობრივად შეჯვარების იმ მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტების დიდი უმრავლესობა, რომლებითაც აიხსნა მემკვიდრეობითობის მექანიზმი, მდგომარეობდა წინასწარ შედგენილი გემის შესაბამისად სახეცვლილი (ან მრავალ შემთხვევაში მრავალჯერ სახეცვლილი) და უცვლელი, ან სხვანაირად შეცვლილი ინდივიდების შეჯვარების გზით გამოყვანილი შთამომავლობის საგულდაგულო ანალიზში. მეორე მხრივ, ჯიშის სიწმინდის შენარჩუნების წყალობით მუტაციები წარმოადგენს ხელსაყრელ მასალას, რომელზედაც შეიძლება განხორციელდეს ბუნებრივი შერჩევა და რომლებიდანაც, დარვინის თეორიის მიხედვით, ხდება სახეობების გამოყვანა ცუდად შეგუებულთა მოსპობისა და უკეთ შეგუებულთა გადარჩენის გზით. დარვინის თეორიაში მხოლოდ უნდა შეცვალოთ სიტყვები „უმნიშვნელო შემთხვევითი ცვლილებები“ სიტყვით „მუტაცია“ (ისევე როგორც კვანტური თეორია „კვანტური ნახტომით“ ცვლის „ენერგიის

უწყვეტ ცვლილებას“). ყველა სხვა თვალსაზრისით დარგინის თეორია თითქმის არ საჭიროებს ცვლილებას. ასეთია, თუ არ ვცდები, ბიოლოგთა უმრავლესობის აზრი.

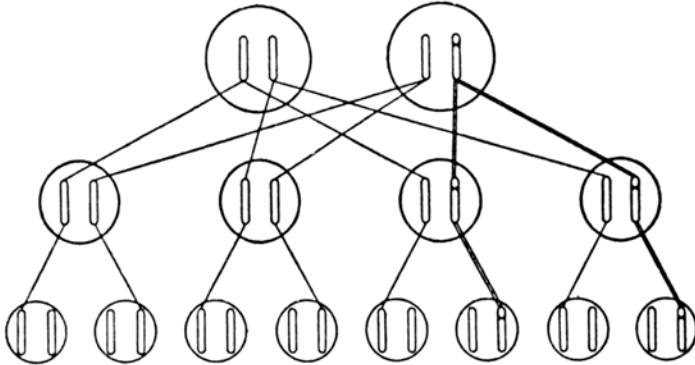
3.3. ლოკალიზაცია, რეცესიულობა და დომინირება – ჩვენ ახლა ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე უნდა განვიხილოთ მუტაციის შესახებ ზოგიერთი სხვა ფუნდამენტური ფაქტი და წარმოდგენა კვლავ ოდნავ დოგმატურად, გვერდი ავუაროთ იმის ჩვენებას, საიდან იღებენ ისინი, ერთმანეთის მიყოლებით სათავეს.



ნახ. 8. ჰეტეროზიგოტური მუტანტი. ჯვარი აღნიშნავს მუტირებულ გენს.

მოსალოდნელი იყო, რომ გარკვეული მუტაცია გამოწვეული იქნებოდა ერთ-ერთი ქრომოსომის გარკვეულ უბანში მომხდარი ცვლილებით. ეს მართლაც ასეა. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ეს არის ცვლილება მხოლოდ ერთ ქრომოსომაში და არა ჰომოლოგიური ქრომოსომის შესაბამის „ლოკუსში“. ეს სქემატურად ნაჩვენებია მე-8 სურ-ზე, სადაც მუტაციის შედეგად შეცვლილი ლოკუსი აღნიშნულია ჯვრით. ის ფაქტი, რომ ცვლილება ხდება მხოლოდ ერთ ქრომოსომაში, თავს იჩენს მხოლოდ მაშინ, როდესაც მუტაცია განცდილი ინდივიდი (როგორც ხშირად უწოდებენ – „მუტანტი“), შევჯარდება არამუტანტთან, რადგან ამ დროს მიღებულ შთამომავალთა ზუსტად ნახევარს ექნება მუტანტის თვისებები, მეორე ნახევარს კი – ნორმალური. აი სწორედ ეს იყო მოსალოდნელი შედეგი მეიოზის დროს მუტანტში ორი ქრომოსომის განცალკევებისა, რაც სქემატურად ნაჩვენებია მე-9 სურ-ზე. ეს არის „გენეალოგია“, რომელიც სამი მომდევნო

თაობის ყოველ ინდივიდს ჩვენთვის საინტერესო ქრომოსომა წყვილის საშუალებით წარმოადგენს. გთხოვთ გაითვალისწინოთ, ეს ცვლილება მუტანტის ორივე ქრომოსომას რომ შეხებოდა, მაშინ მისი ყველა შვილი შეიძენდა ერთნაირ (შერეულ), ორივე მშობლისგან განსხვავებულ მემკვიდრეობითობას.



ნახ. 9. მუტაციის გადაცემა მემკვიდრეობით. ერთმაგი ხაზები შეესაბამებია ქრომოსომის გადაცემას. ორმაგი ხაზები - მუტირებული ქრომოსომის გადაცემას. მესამე თაობის ქრომოსომები, რომელთა წარმომავლობა აქ არ არის ნაჩვენები, მოდიან მეორე თაობის წყვილებისაგან, რომლებიც არ არიან ნაჩვენები ამ დიაგრამაში. ითვლება, რომ ეს წყვილები არ არიან ნათესავები და თავისუფალი არიან მუტაციებისაგან.

მაგრამ ამ სფეროში ექსპერიმენტირება არც ისე ადვილია, როგორც შეიძლება მოგვეჩვენოს ზემონათქვამიდან გამომდინარე. იგი რთულდება მეორე მნიშვნელოვანი ფაქტით, სახელდობრ, იმიტომ, რომ მუტაცია ხშირად ფარულია. რას ნიშნავს ეს?

მუტანტში კოდის ორი ასლი იდენტური აღარ არის. ეს არის ორი სხვადასხვა „წაკითხვა“ ან „ვარიანტი“, ყოველ შემთხვევაში, სწორედ ამ ერთ ადგილზე. კარგი იქნებოდა ახლავე აღგვენიშნა, რომ, შეიძლება მიმზიდველად კი გამოიყურებოდეს, მაგრამ სრულიად გაუმართლებელი იქნებოდა, თავდაპირველი ვარიანტის მიჩნევა „ორთოდოქსულად“, ხოლო მუტანტური ვარიანტისა – „ერეტიკულად“. ისინი უნდა მივიჩნიოთ არსებითად თანაბარუფლებიანებად, რადგან ნორმალური ნიშან-თვისებებიც მუტაციის გზით არის გაჩენილი.

სინამდვილეში ინდივიდის „სტრუქტურა“, საზოგადოდ, მისდევს ან ერთ, ან მეორე ვარიანტს, რომელიც შეიძლება აღმოჩნდეს ნორმა-

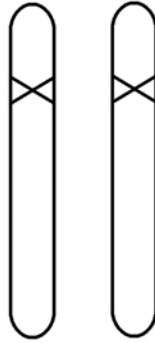
ლური ან მუტანტური. იმ ვარიანტს, რომელსაც ინდივიდი მიჰყვება, ეწოდება დომინანტური, მეორეს კი – რეცესიული. სხვა სიტყვებით, მუტაციას ეწოდება ან დომინანტური, ან რეცესიული იმის მიხედვით, არის თუ არა ის უშუალოდ შედეგიანი სტრუქტურის შეცვლაში.

რეცესიულ მუტაციებს უფრო ხშირადაც კი აქვს ადვილი, ვიდრე დომინანტურს, და მეტად მნიშვნელოვანია, თუმცა თავიდან საერთოდ არ იჩენს თავს. ინდივიდის სტრუქტურაზე გავლენის მოსახდენად ისინი ორივე ქრომოსომაში უნდა იყვნენ წარმოდგენილნი (იხ. სურ. 10). ასეთი ინდივიდი შეიძლება წარმოიშვას ორი თანაბარი რეცესიული მუტანტის შეჯვარებით ან მუტანტის თვითშეჯვარებით. ეს შესაძლებელია ჰერმაფროდიტულ მცენარეებში და ასევე სპონტანურად. ადვილი მისახვედრია, რომ ასეთ შემთხვევებში შთამომავლობის ერთი მეოთხედი იგივე ტიპის იქნება და, ამგვარად, ცხადად გამოავლენს მუტაციურ ხასიათს.

3.4. ზოგიერთი ტექნიკური ტერმინის განმარტება – ვფიქრობ, სასარგებლო იქნებოდა რამდენიმე ტექნიკური ტერმინის განმარტება. იმისთვის, რასაც მე ვუწოდებდი „კოდის ვარიანტს“, თავდაპირველი ფორმა იქნება ეს თუ მუტანტი, მიღებულია ტერმინი „ალელი“. ერთმანეთისაგან განსხვავებული ვარიანტების შემთხვევაში, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-8 სურ-ზე, ინდივიდს ჰეტეროზიგოტური ეწოდება ამ ლოკუსის მიმართ. თუ ვერსიები ერთნაირია, როგორც ამას ადგილი აქვს მე-10 სურ-ზე ასახულ არამუტირებულ ინდივიდში, მას ჰომოზიგოტური ეწოდება. ასე რომ, რეცესიული ალელი გავლენას ახდენს მხოლოდ ჰომოზიგოტურ ინდივიდებზე, მაშინ როცა დომინანტური ალელი ერთნაირ შედეგს იძლევა, მიუხედავად იმისა, ჰომოზიგოტურია თუ ჰეტეროზიგოტური.

ფერი ხშირად დომინირებს უფერობაზე (ან თეთრ ფერზე). ამრიგად, მაგალითისთვის, მუხუდო თეთრად ყვავის მხოლოდ მაშინ, თუ მას ორივე სათანადო ქრომოსომაში აქვს „თეთრი რეცესიული ალელი, რომელიც პასუხისმგებელია თეთრ ფერზე“, ანუ როდესაც ის არის „ჰომოზიგოტური თეთრის მიმართ“. იგი შეინარჩუნებს ამ თვისებას და ყველა მისი შთამომავალი იქნება თეთრი. მაგრამ ერთი „წითელი ალელი“ (როდესაც მეორე თეთრია, „ჰეტეროზიგოტური“) გამოიწვევს მისი ყვავილის წითელ ფერს, და ასევე იქნება ორი წითელი ალელის („ჰომოზიგოტური“) შემთხვევაშიც. ამ ორ უკანასკნელს შო-

რის განსხვავება გამოჩნდება მხოლოდ მათ შთამომავლობაში, როდესაც ჰეტეროზიგოტური წითელი მოგვცემს რამდენიმე თეთრყვავილიან შთამომავალს, ხოლო ჰომოზიგოტური წითელი შეინარჩუნებს თავის ფერს.



ნახ. 10. ჰომოზიგოტური მუტანტი, რომელიც მიიღება შთამომავლობის ერთ მეთხედში ჰეტეროზიგოტური მუტანტის თვითგანაყოფიერებისას (იხ. ნახ. 8), ან ერთმანეთთან შეჯვარებისას.

ის ფაქტი, რომ ორი ცალკეული ინდივიდი შეიძლება ზუსტად ერთნაირი იყოს გარეგნულად და ამავე დროს განსხვავდებოდეს მემკვიდრეობით, იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ სასურველია ზუსტი დიფერენციაცია. ამ შემთხვევაში გენეტიკოსი იტყვის, რომ მათ აქვთ ერთი და იგივე ფენოტიპი, მაგრამ განსხვავებული გენოტიპი. წინა აზრების წინააღმდეგ შეიძლება შევაჯამოთ მოკლედ ტექნიკური ტერმინოლოგიით გამართული დებულებით:

რეცესიული ალელი გავლენას ახდენს ფენოტიპზე მხოლოდ მაშინ, როცა გენოტიპი ჰომოზიგოტურია.

ჩვენ დროდადრო გამოვიყენებთ ამ ტექნიკურ გამოთქმებს და სადაც ეს საჭირო იქნება, მკითხველს შევახსენებთ მათ მნიშვნელობებს.

3.5. ახლო (ნათესაური) შეჯვარების მავნე ეფექტი – რეცესიული მუტაციები, ვიდრე ისინი მხოლოდ ჰეტეროზიგოტურნი არიან, რასაკვირველია, არ წარმოადგენენ ნიადაგს ბუნებრივი შერჩევისათვის. ხშირად ისინი მავნეა ხოლმე, თუმცა მაინც არ ქრებიან, რადგან ლატენტურნი (ფარული) არიან. აქედან გამომდინარე, არაკეთილსასურველი მუტაციების მთელი წყება შეიძლება დაგროვდეს და უშუალო ზიანი კი არ მოიტანოს. მაგრამ ისინი, რასაკვირველია, გადაეცემა

შთამომავლობის ნახევარს, ამას კი მნიშვნელობა აქვს ადამიანისათვის, მსხვილფეხა რქოსანი საქონლისათვის, შინაური ფრინველის ან სხვა ისეთი სახეობებისათვის, რომელთა კარგი ფიზიკური თვისებები ჩვენი უშუალო ინტერესის საგანია. მე-9 სურათზე ნაჩვენებია, რომ მამრი ინდივიდი (კონკრეტულობისთვის, ვთქვათ, მე) ჰეტეროზიგოტურად ატარებს ასეთ რეცესიულ მავნე მუტაციას ისე, რომ ის არ მჟღავნდება. დავუშვათ, რომ ჩემი მეუღლე თავისუფალია ასეთი მუტაციისაგან. მაშინ ჩვენი შვილების ნახევარი (მეორე ხაზი სურათზე) ასევე ჰეტეროზიგოტურად იქნება ამ თვისების მატარებელი. თუ ყველა მათგანი კვლავ შევვარდებთ არამუტირებულ პარტნიორთან (დიაგრამაზე სიმარტივისათვის გამოტოვებულია), ეს თვისება ექნება ჩვენი შვილიშვილების საშუალოდ მეოთხედს.

მანკიერი თვისების ცხადი გამოვლენის არავითარი საფრთხე არ არსებობს მანამ, სანამ არ შევვარდებიან ერთნაირად დაზიანებული ინდივიდები. ადვილი მისახვედრია, რომ მათი შვილების მეოთხედი ჰომოზიგოტური იქნება და ცხადად გამოავლენს ნაკლს. ჩემი ვაჟიშვილისა და ქალიშვილის ქორწინება, რაც ფაქტობრივად, თითქმის თვითგანაყოფიერებაა (მხოლოდ ჰერმაფროდიტი მცენარეებისათვის დამახასიათებელი), უდიდესი საფრთხე იქნებოდა. თითოეულ მათგანში არის დაზიანების ფარული არსებობის ან არარსებობის თანაბარი ალბათობა და ამ ინცესტური კავშირების მეოთხედი საშიშია იმდენად, რამდენადაც მათი შვილების მეოთხედში დაზიანება ცხადად გამოვლინდება. ამგვარად, ინცესტის შედეგად დაბადებული ბავშვის რისკის ფაქტორი არის 1:16.

ასევე, ჩემი ორი შვილიშვილის, ერთმანეთისთვის პირველი თაობის ბიძაშვილების, კავშირით მიღებული შთამომავლობისთვის რისკის ფაქტორი იქნება 1:64. ბიძაშვილების ქორწინება არ ითვლება საყოველთაოდ მიუღებლად და სინამდვილეში ეს მეორე შემთხვევა დაშვებულია. მაგრამ, არ დაგავიწყდეთ, რომ ჩვენ ვაანალიზებდით საგვარეულო წყვილის ერთ პარტნიორში არსებულ მხოლოდ ერთ შესაძლებელ ფარულ დაზიანებას („მე და ჩემი მეუღლე“). ფაქტობრივად, სავსებით შესაძლებელია, რომ ორივე მათგანს ჰქონდეს ამ ტიპის ერთზე მეტი ფარული ნაკლოვანება. თუ თქვენ გაგაჩნიათ ამ ტიპის გარკვეული ნაკლოვანება, მხედველობაში უნდა იქონიოთ, რომ თქვენი პირველი თაობის რვა ბიძაშვილიდან ერთს ექნება ასეთივე თვისება! ექსპერიმენტები მცენარეებსა და ცხოველებზე, როგორც

ჩანს, ადასტურებს, რომ ამ და სხვა შედარებით იშვიათი, მაგრამ სეროიზული ნაკლოვანების გარდა შეიძლება არსებობდეს მრავალი წვრილმანი ნაკლოვანებაც, რომელთა ერთობლიობა ნათესაური გამრავლების შემთხვევაში საბოლოო ჯამში აუარესებს შთამომავლობას. ვინაიდან დღეს აღარ ვაპირებთ ნაკლოვანებების აღმოფხვრას ისეთი მკაცრი მეთოდებით, როგორც ეს სპარტელებთან იყო მიღებული ტეგეტას მთაზე, განსაკუთრებული სერიოზულობით უნდა შევხედოთ ამ საკითხებს ადამიანთან მიმართებაში, სადაც უკეთ შეგუებულთა ბუნებრივი გადარჩევა მკვეთრად შეზღუდულია, უფრო მეტიც, უკულმა არის შებრუნებული. საეჭვოა, რომ ყველა ეროვნების ჯანმრთელი ახალგაზრდობის თანამედროვე მასობრივი მოსპობის ანტი-სელექციურ შედეგს გადასწონიდეს აზრი, რომ უფრო პრიმიტიულ პირობებში ომს ექნებოდა დადებითი ღირებულება შეგუებულთა გადარჩენის თვალსაზრისით.

3.6. ზოგადი და ისტორიული ხასიათის შენიშვნები – გასაოცარია ის ფაქტი, რომ რეცესიული ალელი, როცა ის ჰეტეროზიგოტურია, მთლიანად დაძლეულია დომინანტურით და არავითარ თვალსაჩინო შედეგს არ იძლევა. მაინც უნდა აღინიშნოს, რომ არსებობს გამონაკლისებიც. ჰომოზიგოტური თეთრი დევისპირას შეჭვარებისას ასევე ჰომოზიგოტურ მუქ-წითელ დევისპირასთან მიიღება გარდამავალი ფერის, ანუ ვარდისფერი (და არა მუქი წითელი, როგორც ეს მოსალოდნელი იყო) პირველი რიგის ამონაყარი. ორი ალელის ერთობლივი გავლენის ბევრად უფრო ყურადსაღები შემთხვევა გვხვდება სისხლის ჯგუფებში, მაგრამ ამას აქ ვერ განვიხილავთ. მე არ გამიკვირდება, თუ დიდი დროის განმავლობაში შენარჩუნებული რეცესიულობა გამოვლენის ხარისხს შეიცვლის და დამოკიდებული გახდება იმ ტესტების მგრძობელობაზე, რომელთაც „ფენოტიპის“ შესასწავლად ვიყენებთ.

აქ კარგი იქნებოდა რამდენიმე სიტყვა გვეთქვა გენეტიკის ადრეული ისტორიის შესახებ. ამ თეორიის ხერხემალი, მემკვიდრეობითობის კანონი, რომლის მიხედვითაც მომდევნო თაობებს გადაეცემათ მშობლების განსხვავებული თვისებები, და განსაკუთრებით კი რეცესიულობა-დომინირებას შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება, უკავშირდება ახლა ცნობილ ავგუსტინური ეკლესიის წინამძღვარს, გრეგორ მენდელს (1822-84). მენდელმა არაფერი იცოდა მუტაციებისა

და ქრომოსომების შესახებ. თავის სამონასტრო ბაღებში ბრნოში იგი ატარებდა ცდებს ბარდაზე, ახდენდა მისი სხვადასხვა ჯიშების შეჯვარებას და აკვირდებოდა პირველ, მეორე, მესამე და ა. შ. თაობებში მიღებულ ამონაყარებს. შეიძლება ითქვას, რომ იგი ექსპერიმენტს ატარებდა ბუნებაში უკვე არსებულ მუტანტებზე. დაკვირვებათა შედეგები მან გამოაქვეყნა ბრნოში 1866 წელს გამოცემულ შრომათა კრებულში *Naturforsch Verein in Brünn*. აბატის ჰობიმი დიდად არავინ დააინტერესა. ვერავინ წარმოიდგენდა, რომ მეოცე საუკუნეში მისი აღმოჩენა გახდებოდა მეცნიერების სრულიად ახალი და დღეისათვის ყველაზე საინტერესო დარგის გზამკვლევი ვარსკვლავი. ნაშრომი მიივიწყეს და ხელახლა მხოლოდ 1900 წელს ერთდროულად და ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად აღმოაჩინა სამმა მეცნიერმა – კორ რენსმა (*Correns*, ბერლინი), დე ფრიზმა (*de Vries*, ამსტერდამი) და ჩერმაკმა (*Tschermak*, ვენა).

3.7. მუტაციის იშვიათობის აუცილებლობა – აქამდე ჩვენ ყურადღებას ვამახვილებდით მავნე მუტაციებზე, რომლებიც შეიძლება უფრო მრავალრიცხოვანიც კი იყოს. მაგრამ გარკვევით უნდა აღინიშნოს, რომ ნვხვდებით სასარგებლო მუტაციებსაც. თუ სპონტანური მუტაცია წარმოადგენს პატარა ნაბიჯს სახეობის განვითარებაში, გვექმნება შთაბეჭდილება, რომ ზოგიერთი ცვლილება სრულიად შემთხვევით „მოისინჯება“ გარკვეული რისკის ფასად, რომ ის აღმოჩნდება მავნე, რა შემთხვევაშიც ავტომატურად უნდა გამოირიცხოს. აქედან მომდინარეობს ერთი მეტად მნიშვნელოვანი მომენტი. მუტაციებს, იმისათვის, რომ ისინი ბუნებრივი შერჩევისთვის, ხელსაყრელ მასალას წარმოადგენდნენ, იშვიათად უნდა ჰქონდეთ ადგილი, რაც სინამდვილეში ასეც არის. ისინი უფრო ხშირი რომ ყოფილიყო, მაგალითად, ერთსა და იმავე ინდივიდში ადგილი ჰქონოდა ათობით სხვადასხვა მუტაციას, ზიანის მომტანი მუტაციები, როგორც წესი, გადააჭარბებდნენ სასარგებლო მუტაციებს და სახეობები გაუმჯობესების ნაცვლად უცვლელნი დარჩებოდნენ ან დაიღუპებოდნენ. შედარებითი კონსერვატიზმი, რომელიც გამომდინარეობს გენების მაღალი მდგრადობიდან, არსებითია. ანალოგია შეიძლება ვეძიოთ დიდი საწარმოს მუშაობაში. განვითარებისთვის აქ საჭიროა მოისინჯოს უკეთესი მეთოდები, სიახლეები, მაშინაც კი, თუ ისინი ჯერ შემოწმებულია. მაგრამ იმის დასადგენად, რას გამოიწვევს ეს სიახლე-

ები, პროდუქციის გამოშვების გაზრდას თუ შემცირებას, არსებითია პროცესში მათი შეყვანა რიგრიგობით, სათითაოდ, მაშინ როცა მექანიზმის სხვა ნაწილები უცვლელია.

3.8. რენტგენის სხივებით გამოწვეული მუტაციები – ახლა განვიხილოთ გენეტიკური კვლევის ყველაზე ორიგინალური ექსპერიმენტების სერიები, რაც ჩვენი ანალიზის ყველაზე არსებითი მომენტი აღმოჩნდება.

მუტაციების პროცენტული რაოდენობა შთამომავლობაში, ე. წ. მუტაციის სიხშირე, შეიძლება მრავალჯერ გაიზარდოს მშობელთა რენტგენის ან γ -სხივებით დასხივების გზით. ამგვარად გამოწვეული მუტაციები არაფრით განსხვავდება (გარდა იმისა, რომ უფრო მრავალრიცხოვანია) სპონტანურად გაჩენილი მუტაციებისგან და იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ნებისმიერი „ბუნებრივი“ მუტაცია ასევე შეიძლება გამოიწვიოს რენტგენის სხივებმა. დროზოფილაში ადგილი აქვს მრავალი სპეციალური მუტაციის სპონტანურ რეციდივს. ისინი ლოკალიზებულნი არიან ქრომოსომაში, როგორც ეს აღწერილია წინა გვერდებზე, და სპეციალური სახელები აქვთ. ისიც კი აღმოაჩინეს, რაც ე. წ. „მრავლობითი ალელის“ სახელითაა ცნობილი, ანუ ქრომოსომის ერთი და იმავე კოდის კიდევ ორი ან მეტი განსხვავებული „ვარიანტი“ და „წაკითხვა“, ნორმალურ, არამუტაციურ ვარიანტთან ერთად. ეს ნიშნავს ამ ერთ გარკვეულ „ლოკუსში“, არა მარტო ორ, არამედ სამ და მეტ ალტერნატივას, რომელთაგან ნებისმიერი ორი „დომინანტურ-რეცესიულ“ დამოკიდებულებათაა ერთმანეთთან, ანუ, როდესაც ისინი ერთდროულად არსებობენ ორი ჰომოლოგიური ქრომოსომის შესაბამის ლოკუსებში.

რენტგენის სხივებით გამოწვეულ მუტაციებზე ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ ყოველ კონკრეტულ „გადასვლას“, ვთქვათ, ნორმალური ინდივიდიდან კონკრეტულ მუტანტზე, ან პირიქით, აქვს თავისი ინდივიდუალური „რენტგენული კოეფიციენტი“. იგი მიუთითებს იმ შთამომავლობის პროცენტულ რაოდენობაზე, რომელიც განიცდის მუტაციას ამ კონკრეტული გზით: ესე იგი, როდესაც მშობლებმა მიიღეს რენტგენის სხივების ერთეული დოზა შთამომავლობის ჩასახვამდე.

3.9. პირველი კანონი. მუტაცია ერთჯერადი მოვლენაა – ამასთა-

ნავე, ის კანონები, რომლებიც მართავენ ინდუცირებული მუტაციის სიხშირეს, უკიდურესად მარტივი და ნათელია. მე აქ მივყვები 1934 წელს ჟურნალ *Biological Review*-ში (ტ. IX), გამოქვეყნებულ ნ. ვ. ტიმოფეევის მოხსენებას. იგი მნიშვნელოვანწილად ეყრდნობა ავტორისავე შესანიშნავ გამოკვლევას. პირველი კანონი მდგომარეობს შემდეგში:

(1) მუტაციების ზრდა პირდაპირპროპორციულია დასხივების დოზისა, ასე რომ ფაქტობრივად შეიძლება ლაპარაკი ზრდის კოეფიციენტზე.¹¹

ჩვენ იმდენად მივეჩვიეთ პროპორციულ დამოკიდებულებას, რომ შეიძლება სათანადოდ ვერც კი შევაფასოთ ამ მარტივი კანონის შორსმიმავალი შედეგები. სწორად რომ ჩავწვდეთ მათ, შეიძლება გავიხსენოთ, რომ საქონლის ფასი ყოველთვის არ არის მისი რაოდენობის პროპორციული. ჩვეულებრივ, თუ თქვენ ექვს ფორთოხალს შეიძენთ და მერე საბოლოოდ თორმეტის ყიდვას გადაწყვეტთ, მალაზიის მეპატრონემ შეიძლება დაგითმოდ უფრო იაფად, ვიდრე უბრალოდ ექვსი ფორთოხლის გაორმაგებული ღირებულებაა. დეფიციტური საქონლის შემთხვევაში შეიძლება პირიქითაც მოხდეს. ჩვენს შემთხვევაში ვასკვნი, რომ მაშინ, როდესაც რადიაციის პირველი ნახევარ-დოზა იწვევს, ვთქვათ, ათასიდან ერთი შთამომავლის მუტაციას, დანარჩენზე იგი გავლენას არ ახდენს არც მუტაციისადმი მიდრეკილების გაჩენის და არც მის საწინააღმდეგოდ იმუნიტეტის ჩამოყალიბების თვალსაზრისით. წინააღმდეგ შემთხვევაში მეორე ნახევარ-დოზა არ გამოიწვევდა კვლავ ათასიდან ერთის მუტაციას. ამგვარად, მუტაცია არ წარმოადგენს რადიაციის თანმიმდევრული, ერთმანეთის გამაძლიერებელი პატარა დოზებით გამოწვეულ აკუმულირებულ ეფექტს. იგი უნდა იყოს რალაც ერთჯერადი მოვლენა, რომელიც ხდება ერთ ქრომოსომაში დასხივების პერიოდში. რა სახის მოვლენაა ეს?

3.10. მეორე კანონი. მოვლენის ლოკალიზაცია – ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა მეორე კანონი.

(2) თუ სხივების თვისებას (ტალღის სიგრძეს) შეცვლით ფართო საზღვრებში, რბილი რენტგენის სხივებიდან საკმაოდ ხისტ γ -სხივებამდე, კოეფიციენტი მუდმივი რჩება იმ პირობით, თუ ე. წ. r ერთეულებში გაზომილი დოზა იგივე რჩება, ე. ი. იმ პირობით, რომ თქვენ ზომავთ დოზას შესაბამისად შერჩეული სტანდარტული ნივ-

თიერების მოცულობის ერთეულში წარმოქმნილი იონების რაოდენობით იმ დროსა და ადგილზე, როდესაც და სადაც მოხდა მშობლების დასხივება.

სტანდარტულ ნივთიერებად ირჩევენ ჰაერს არა მხოლოდ მხერხებულობის გამო, არამედ იმ მიზეზით, რომ ორგანული ქსოვილები შედგება იმავე ატომური წონის ელემენტებისაგან, რისგანაც შედგება ჰაერი. იონიზაციის ან მასთან დაკავშირებული პროცესების (აგზნებების) რაოდენობის ქვედა ზღვარი¹² ქსოვილში მიიღება ჰაერში იონიზაციების რაოდენობის მარტივი გამრავლებით სიმკვრივეთა შეფარდებაზე. ამგვარად, საკმაოდ ნათელი და უფრო კრიტიკული გამოკვლევით დადასტურებულია, რომ მუტაციის გამომწვევ ერთჯერად მოვლენას წარმოადგენს სწორედ იონიზაცია (ან მსგავსი პროცესი), რომელსაც ადგილი აქვს ჩანასახის უჯრედის გარკვეულ „კრიტიკულ“ მოცულობაში. რა ზომისაა ეს კრიტიკული მოცულობა? მუტაციის სიხშირიდან გამომდინარე მისი შეფასება შეიძლება ასეთი მოსაზრებით: თუ დოზა 50000 იონი/სმ³ ქმნის კონკრეტული გამეტის (რომელიც იმყოფება დასხივების ზონაში) კონკრეტული მუტაციის შესაძლებლობას მხოლოდ 1 : 1000 ალბათობით, ჩვენ ვასკვნით: რომ კრიტიკული მოცულობა, „სამიზნე“, რომელიც უნდა იქნას იონიზებული, რომ მუტაცია მოხდეს, შეადგენს მხოლოდ 1/1000 ნაწილს 1/50000 სმ³-დან, ე. ი. სმ³-ის ერთ ორმოცდაათმემილიონედს. ეს ციფრები პირობითია და მოტანილია მხოლოდ საილუსტრაციოდ. რეალური შეფასებისას ჩვენ ვიღებთ მ. დელბრუკის მონაცემებს მ. დელბრუკის, ნ. ვ. ტიმოფეევის და კ. გ. ციმერის ნაშრომიდან,¹³ რომელიც ასევე მთავარი წყაროა მომდევნო ორ თავში დეტალურად წარმოდგენილი თეორიისა. ამ ნაშრომში მოცულობის ზომა დელბრუკის შეფასებით მხოლოდ ათი საშუალო ატომური მანძილის კუბის ტოლია და ამდენად შეიცავს მხოლოდ დაახლოებით 103 = ათას ატომს. ამ შედეგის უმარტივესი ინტერპრეტაცია იმაში მდგომარეობს, რომ არსებობს ამ მუტაციის საკმაოდ დიდი ალბათობა, როდესაც იონიზაცია (ან აგზნება) ხდება ქრომოსომის რომელიმე გარკვეული წერტილიდან არა უმეტეს „10 ატომის დაშორებით“. შემდგომში ამას უფრო დეტალურად განვიხილავთ.

ტიმოფეევის სტატია შეიცავს პრაქტიკულ მითითებას, რომელიც არ შემოიქცა აქ არ ვახსენო, თუმცა მას, რასაკვირველია არა აქვს რა-

იმე კავშირი ჩვენს გამოკვლევასთან. თანამედროვე ცხოვრებაში მრავალია შემთხვევა, როდესაც ხდება ადამიანის დასხივება რენტგენის სხივებით. ამასთან დაკავშირებული პირდაპირი საშიშროებანი: დამწვრობა, რენტგენის სხივებით გამოწვეული კიბო, სტერილიზაცია – კარგადაა ცნობილი და ამისგან დასაცავად ტყვიის ეკრანები, ტყვიით გაჯერებული წინსაფრები და ა. შ. გამოიყენება, განსაკუთრებით მედლებისა და ექიმებისათვის, რომელთაც რეგულარული შეხება აქვთ რენტგენის სხივებთან. საქმე ის არის, რომ იმ შემთხვევებშიც კი, როცა ადამიანი წარმატებითაა დაცული პირდაპირი საფრთხისაგან, მაინც არსებობს ჩანასახის უჯრედში უმნიშვნელო მაგნე მუტაციების არაპირდაპირი საშიშროება. მუტაციებისა, რომლებიც შეიძლება იყოს ნათესაური კავშირის არასასურველი შედეგი. შეიძლება ცოტა გულუბრყვილოდაც გამოიყურებოდეს, მაგრამ თუ უფრო რადიკალურად ვიტყვით, პირველი რიგის ბიძაშვილების ქორწინებით გამოწვეული ზიანი შეიძლება ძალიანაც გაძლიერდეს იმ ფაქტით, რომ მათი ბებია დიდი ხნის განმავლობაში მუშაობდა მედლად რენტგენის კაბინეტში. ეს არ არის საკითხი, რომელიც ყოველ ადამიანს პირადად უნდა აწუხებდეს. მაგრამ არასასურველი ფარული მუტაციებით ადამიანთა მოდემის თანდათანობითი ინფიცირების ნებისმიერი ალბათობა საზოგადოების ზრუნვის საგანი უნდა იყოს.

თავი მეოთხე

კვანძურ-მექანიკური დასაბუთება

და შენი მგზნებარე წარმოსახვა სჯერდება მხოლოდ ირიბ მსგავსებას და წარმოდგენას.

გოეთე

4.1. კლასიკური ფიზიკით აუხსნელი მდგრადობა – ამგვარად, რენტგენის სხივების – ამ საოცრად ნატიფი ინსტრუმენტის¹⁵ – დახმარებით ბიოლოგებმა და ფიზიკოსებმა გაერთიანებული ძალისხმევით ახლახან მოახერხეს შემოეფარგლათ მაქსიმალური ზომა იმ მაკროსკოპული სტრუქტურისა, რომელიც პასუხს აგებს ინდივიდის განსაზღვრულ ნიშან-თვისებაზე. მათ მოახერხეს განესაზღვრათ „გენის ზომა“ და დაეყვანათ ის ბევრად უფრო მცირე სიდიდეზე, ვიდრე მეორე თავის ბოლოს მიღებული შეფასებებით გამოვიდა.

ეხლა ჩვენ წინაშე მთელი სერიოზულობით ისმის კითხვა: როგორ შეგვიძლია ჩვენ სტატისტიკური ფიზიკის თვალსაზრისით შევუთანხმოთ ერთმანეთს ის ორი ფაქტი, რომ გენის სტრუქტურა, როგორც ჩანს, ატომების მხოლოდ შედარებით მცირე რიცხვს მოიცავს (1000-ის რიგისას, ან შესაძლოა უფრო ნაკლებსაც), და რომ, მიუხედავად ამისა, ის (გენი) ავლენს უაღრესად რეგულარულ და კანონზომიერ ხასიათს, თავისი გამძლეობითა და უცვლელობით სასწაულს რომ ემსგავსება?

ნება მომეცით, თქვენი ყურადღება ერთხელ კიდევ მივაპყრო ამ მართლაც გასაოცარ სიტუაციას. ჰაბსბურგთა დინასტიის რამდენიმე წარმომადგენელს აქვს ქვედა ტუჩის სპეციფიკური ფიზიკური დეფექტი (*"Habsburger Lippe"*). მისი მემკვიდრეობით გადაცემა გულდასმით შეისწავლეს და ისტორიულ პორტრეტებთან ერთად გამოაქვეყნა ვენის სამეფო აკადემიამ სამეფო ოჯახის ხელშეწყობით. ეს ნიშანი წარმოადგენს ტუჩის ნორმალური ფორმის ჭეშმარიტ მენდელისეულ „ალელს“. თუ დავაკვირდებით ოჯახის წევრისა და მეცხრამეტე საუკუნეში მცხოვრები მისი შთამომავლის პორტრეტებს, შეგვიძლია შეუძცდარად დავასკვნათ, რომ ამ გადახრაზე პასუხისმგებელი მატერიალური გენის სტრუქტურა საუკუნეების განმავლობაში გადადიოდა თაობიდან თაობაზე, ზუსტად რეპროდუცირდებოდა რა უჯრედის ყოველი, არც ისე მრავალრიცხოვანი დაყოფისას, მთელი ამ ხნის მანძილზე რომ ხდებოდა. უფრო მეტიც, ამ პასუხისმგებელ გენურ სტრუქტურაში შემავალი ატომების რიცხვი იგივე რიგისა უნდა იყოს, როგორც რენტგენის სხივებით ტესტირებისას დადგინდა. მთელი ამ დროის განმავლობაში გენი ინახებოდა 98°F ტემპერატურაზე. როგორ უნდა ავხსნათ ის ფაქტი, რომ გენი უცვლელი დარჩა და მისი რეგულარული სტრუქტურა საუკუნეების მანძილზე ვერ დაარღვია სითბურმა მოძრაობამ?

გასული საუკუნის ბოლოს ფიზიკოსს გაუჭირდებოდა ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა, თუ დაეყრდნობოდა ბუნების მხოლოდ იმ კანონებს, რომელთა ახსნა შეეძლო და რომლებიც ნამდვილად ესმოდა. შესაძლებელია, რომ სტატისტიკაზე ხანმოკლე ჩაფიქრების შემდეგ მას მართლაც ეპასუხა (სწორად, როგორც ამას შემდგომში დავინახავთ), რომ ეს მატერიალური სტრუქტურები შეიძლება ყოფილიყო მხოლოდ მოლეკულები. ატომთა ამ ასოციაციების არსებობისა და ზოგჯერ მათი ძალიან მაღალი სტაბილურობის შესახებ ქიმიას

იმ დროისათვის უკვე მოეპოვებოდა დიდი ცოდნა. მაგრამ ეს ცოდნა წმინდა ემპირიული იყო. არ იყო გარკვეული მოლეკულის ბუნება – ატომებს შორის ის ძლიერი ბმა, რომლის წყალობითაც მოლეკულა არ იშლება ატომებად, ყველასთვის სრული გამოცანა იყო. სინამდვილეში ეს პასუხი სწორია. მაგრამ მას რაიმე გარკვეული ღირებულება არ გააჩნია, ვინაიდან ენიგმატური (შეუცნობი) ბიოლოგიური სტაბილურობა ასევე შეუცნობი ქიმიური სტაბილურობით იხსნება. მტკიცება, რომ ორ, გამოვლენის ფორმით მსგავს თვისებას ერთი და იგივე საფუძველი აქვს, დაუსაბუთებელია, ვიდრე თვითონ ეს საფუძველია უცნობი.

4.2. კვანტური თეორიით ახსნილი მდგრადობა – ამ შემთხვევაში ახსნას იძლევა კვანტური თეორია. თანამედროვე ცოდნის თვალსაზრისით მემკვიდრეობითობის მექანიზმი მჭიდროდ არის დაკავშირებული, უფრო მეტიც, ეყრდნობა კვანტური თეორიის საფუძველზე. ამ თეორიას სათავე დაუდო მაქს პლანკმა (*Max Planck*) 1900 წელს. თანამედროვე გენეტიკის დაბადება შეიძლება დავათარილოთ დე ფრიზის, კორტენსის და ჩერმაკის მიერ მენდელის ნაშრომის ხელახალი აღმოჩენით (1900 წ.) და მუტაციების შესახებ დე ფრიზის ნაშრომების გამოქვეყნებით (1901-03 წწ.). ასე რომ, ამ ორი დიდი თეორიის დაბადება თითქმის ერთხვევა ერთმანეთს. დიდად გასაკვირი არაა, რომ ორივე მათგანს დასჭირდა დრო, რათა გარკვეულ სიმწიფემდე მიეღწია და მათ შორის კავშირი გაჩენილიყო. საუკუნის მეოთხედი გავიდა და 1926-27 წლებში ვ. ჰაიტლერმა და ფ. ლონდონმა ქიმიური ბმის კვანტური თეორიის ძირითადი პრინციპები ჩამოაყალიბეს. ჰაიტლერ-ლონდონის თეორია მოიცავს უახლესი კვანტური თეორიის ფაქტებს და რთულ კონცეფციებს („კვანტურ მექანიკას“ ან „ტალღურ მექანიკას“ რომ უწოდებენ). მათემატიკის გარეშე მისი გადმოცემა თითქმის შეუძლებელია ან, უკიდურეს შემთხვევაში, მოითხოვდა კიდევ ერთ ასეთ პატარა წიგნს. მაგრამ, საბედნიეროდ, ახლა, როცა მთელი ეს სამუშაო უკვე შესრულებულია და ჩვენს მოსაზრებებს სინათლეც მოეფინა, შესაძლებელია უფრო პირდაპირ მივუთითოთ „კვანტურ ნახტომებსა“ და მუტაციებს შორის კავშირზე ყველაზე გამორჩეული საკითხების გამოყოფით. ესაა სწორედ ამას შევეცდებით.

4.3. კვანტური თეორია – დისკრეტული მდგომარეობები – კვანტური ნახტომები – კვანტური თეორიის უდიდესი აღმოჩენა იყო „ბუნების წიგნი“ დისკრეტულობის თვისების აღმოჩენა იმ ვითარებაში, როდესაც მანამდე არსებული შეხედულებებით, უწყვეტობის გარდა, ყველაფერი აბსურდული ჩანდა.

პირველად ეს შეეხო ენერგიას. სხეულის ენერგია მთლიანობაში უწყვეტად იცვლება. მაგალითად, ქანქარის რხევა თანდათანობით შენელებს ჰაერის წინააღმდეგობის გამო. რაოდენ უცნაურადაც უნდა ჩანდეს, აუცილებლობა მოითხოვს ვალიაროთ, რომ ატომური მასშტაბის სისტემა სხვანაირად იქცევა. გარკვეული მიზეზების გამო, რომელთაც აქ ვერ შევხებით, უნდა დავუშვათ, რომ მცირე ზომის სისტემის ენერგია, თავისი ბუნების გამო, შეიძლება გააჩნდეს მხოლოდ გარკვეული მნიშვნელობები, რასაც მისი ენერგიის საკუთარ დონეებს უწოდებენ. გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან მეორეზე საკმაოდ მისტიკური მოვლენაა, რომელსაც ჩვეულებრივ „კვანტურ ნახტომს“ უწოდებენ.

მაგრამ ენერგია არ არის სისტემის ერთადერთი მახასიათებელი. ისევ ჩვენი ქანქარა ავიღოთ, ოღონდ ისეთი, რომელსაც შეუძლია სხვადასხვა სახის მოძრაობა შეასრულოს, მაგალითად, ჭერიდან დაფით ჩამოკიდებული მძიმე ბურთულა. ის შეიძლება ვარხიოთ ჩრდილოეთ-სამხრეთის, აღმოსავლეთ-დასავლეთის ან ნებისმიერი სხვა მიმართულებით, ანდა ვამოძრაოთ წრეწირზე ან ელიფსზე. თუ ბურთულას სუსტად შევუბერავთ, ის შეიძლება შეუჩერებლად გადავიყვანოთ მოძრაობის ერთი მდგომარეობიდან მეორეზე.

მცირე ზომის სისტემებისათვის ამ მახასიათებლების უმრავლესობა – რასაც აქ დეტალურად არ განვიხილავთ – იცვლება წყვეტილად. ისინი „დაკვანტულია“ ისევე, როგორც ენერგია.

შედეგად, როდესაც ატომის ბირთვები გარსემომხვეულ ელექტრონებთან ერთად ერთმანეთის მახლობლად აღმოჩნდებიან და ქმნიან ერთ „სისტემას“, თავიანთი ბუნებიდან გამომდინარე, ვერ მიიღებდნენ ნებისმიერ კონფიგურაციას, როგორც შეიძლებოდა გვეფიქრა. სწორედ მათი ბუნება „აძლევს“ მათ არჩევანის საშუალებას მრავალრიცხოვანი, მაგრამ დისკრეტული „მდგომარეობებიდან“.16 ჩვეულებრივ, ამას ვუწოდებთ დონეებს, ან ენერგიის დონეებს, რადგან ენერგია ძალიან მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. მაგრამ უნდა გვესმოდეს, რომ სრული აღწერა მოიცავს ბევრად მეტს, ვიდრე მხო-

ლოდ ენერგიაა. ფაქტობრივად სწორი იქნება, თუ მდგომარეობას წარმოვიდგენთ, როგორც ყველა კორპუსკულის განსაზღვრულ კონფიგურაციას.

გადასვლა ერთ-ერთი ამ კონფიგურაციიდან მეორეზე არის კვანტური ნახტომი. თუ მეორეს მეტი ენერგია გააჩნია („მაღალი დონისაა“), სისტემას გარედან უნდა მიეწოდოს, სულ ცოტა, ამ ორი ენერგიის სხვაობის ტოლი ენერგია, რომ ეს გადასვლა შესაძლებელი გახდეს. დაბალი ენერგიის დონეზე გადასვლა სისტემას შეუძლია სპონტანურად ჭარბი ენერგიის გამოსხივებით.

4.4. მოლეკულები – ატომთა მოცემული ერთობლიობის დისკრეტულ მდგომარეობათა შორის, არა აუცილებლად, მაგრამ შესაძლებელია, იყოს უდაბლესი დონე, რომელიც გულისხმობს ატომის ბირთვების ერთმანეთთან მჭიდროდ მიახლოებას. ასეთ მდგომარეობაში ატომები ქმნიან მოლეკულას. აქ ხაზი უნდა გაესვას იმას, რომ ამ მოლეკულას აუცილებლად ექნება გარკვეული მდგრადობა. კონფიგურაცია არ შეიძლება შეიცვალოს მანამ, სანამ თუნდაც სულ უმნიშვნელო ენერგიის სხვაობა, მომდევნო, უფრო მაღალ დონეზე „ასაყვანად“ აუცილებელი არ იქნება გარედან მიწოდებული. აქედან, ამ დონეთა შორის სხვაობა, რომელიც სრულიად გარკვეული სიდიდეა, განსაზღვრავს რაოდენობრივად მოლეკულის მდგრადობის ხარისხს. შემდგომში გამოჩნდება, თუ რა მჭიდროდ არის ეს ფაქტი დაკავშირებული თვით კვანტური თეორიის ძირითად პრინციპთან, კერძოდ, დონეთა დისკრეტულობასთან.

მკითხველს ვთხოვ, მიიღოს როგორც ფაქტი, რომ ეს წარმოდგენები საფუძვლიანად შემოწმდა ქიმიის მონაცემებით. მათ წარმატებით ახსნეს ქიმიური ვალენტობის საფუძვლები და ბევრი სხვა დეტალი მოლეკულების სტრუქტურის შესახებ, როგორცაა მაგალითად, მათი ბმის ენერგიები, მათი სტაბილურობა სხვადასხვა ტემპერატურაზე და ა. შ. მე ვლაპარაკობ ჰაიტლერ-ლონდონის თეორიაზე, რომელიც, როგორც ვთქვი, არ შეიძლება აქ დეტალურად განვიხილოთ.

4.5. მათი სტაბილურობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე – აქ უნდა შემოვიფარგლოთ ერთი საკითხის განხილვით, რაც უადრესად საინტერესოა ჩვენი ბიოლოგიური პრობლემისათვის, კერძოდ, ეს არის მოლეკულის სტაბილურობა სხვადასხვა ტემპე-

რატურაზე. განვიხილოთ ჩვენი ატომების სისტემა ჯერ იმ მდგომარეობაში, რომელსაც უდაბლესი ენერგია გააჩნია. ფიზიკოსი ამას უწოდებდა მოლეკულას ტემპერატურის აბსოლუტურ ნულზე. მის ასაყვანად შემდეგ, უფრო მაღალ მდგომარეობამდე ანუ დონემდე, საჭიროა განსაზღვრული ენერგიის მიწოდება. უმარტივესი გზა იმისათვის, რომ მოლეკულას ეს ენერგია მივაწოდოთ, არის მისი „შეთბობა“. თქვენ შეგაქვთ მოლეკულა უფრო მაღალი ტემპერატურის გარემოში („სითბური აბაზანა“) და საშუალებას აძლევთ სხვა ნაწილაკებს (ატომებს, მოლეკულებს), დაეჯახონ მას. სითბური მოძრაობის სრული არარეგულარობის ფაქტორის გათვალისწინებით, არ არსებობს მკვეთრი ტემპერატურული ზღვარი, რომელზედაც ახალ დონეზე „ასვლა“ განხორციელდება უეჭველად და დაუყოვნებლივ. სინამდვილეში, ნებისმიერ ტემპერატურაზე (აბსოლუტური ნულისაგან განსხვავებულზე) არსებობს მაღალ დონეზე გადასვლის გარკვეული ალბათობა, დიდი ან მცირე, და ეს ალბათობა იზრდება, რასაკვირველია, „სითბური აბაზანის“ ტემპერატურის აწევასთან ერთად. საუკეთესო მეთოდი ამ ალბათობის გამოსახატად არის იმ საშუალო დროის მითითება, რომლის განმავლობაშიც მოგიწევდათ ლოდინი, სანამ ეს გადასვლა მოხდებოდა – „ლოდინის დრო“.

მ. პოლანის (*M. Polanyi*) და ე. ვიგნერის (*E. Wigner*)¹⁷ გამოკვლევებიდან ცნობილია, რომ „ლოდინის დრო“ ძლიერ არის დამოკიდებული ორი ენერგიის ფარდობაზე. ესენია, ერთი მხრივ, ენერგიის სხვაობა, რომელიც საჭიროა გადასვლის განსახორციელებლად (აღვნიშნოთ ის როგორც W) და, მეორე, ენერგია, რომელიც ახასიათებს სითბური მოძრაობის ინტენსივობას განსახილველ ტემპერატურაზე (T -თი აღვნიშნოთ აბსოლუტური ტემპერატურა, ხოლო kT აღნიშნავს სითბურ ენერგიას).¹⁸ თავისთავად ცხადია, რომ მაღალ დონეზე გადასვლის ალბათობა მცირეა, ხოლო შესაბამისი ლოდინის დრო კი მით უფრო მეტია, რაც უფრო მაღალია თავისთავად ეს დონე საშუალო სითბურ ენერგიასთან შედარებით, ე. ი. რაც უფრო დიდია შეფარდება $W:kT$. საოცარი ის არის, რა დიდად იცვლება ლოდინის დრო $W:kT$ ფარდობის შედარებით მცირე ცვლილებისას, მაგალითად (დელბრუკის მიხედვით), თუ $W:kT=30$, ლოდინის დრო შესაძლოა იყოს $1/10$ წამი, მაგრამ ის შეიძლება 16 თვემდე გაიზარდოს, როდესაც $W:kT=50$, ხოლო 30000 წლამდე, როდესაც $W:kT=60!$

4.6. მათემატიკური ინტერლუდია – კარგი იქნებოდა, იმ მკითხველისათვის, ვისაც ეს აინტერესებს, მათემატიკური ენით აგვეხსნა დონეთა შორის სხვაობისა და ტემპერატურის ცვლილებისადმი ამ ძლიერი დამოკიდებულების მიზეზი და რამდენიმე ფიზიკური ხასიათის შენიშვნაც დაგვეერთო. მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ლოდინის დრო – t , დამოკიდებულია $W:kT$. ფარდობაზე ექსპონენციალური კანონით, ამგვარად,

$$t = \tau e^{W/kT}$$

τ არის გარკვეული მცირე მუდმივა, 10-13 ან 10-14 წამის რიგისა. შემდეგ, ეს ექსპონენციალური დამოკიდებულება არ არის შემთხვევითი ხასიათის. ის კვლავ და კვლავ მეორდება სითბოს სტატისტიკურ თეორიაში, წარმოადგენს რა მის საფუძველს, ის არის სისტემის რომელიმე ნაწილში W ენერჯის შემთხვევით დაგროვების არაალბათურობის ზომა და სწორედ ეს არაალბათურობაა, რომელიც ასე უსაშველოდ იზრდება, როდესაც W მრავალჯერ აღემატება kT -ს „საშუალო ენერჯისა“.

სინამდვილეში თანაფარდობა $W = 30kT$ (იხ. ზემოთ მოტანილი მაგალითები) უკვე უკიდურესად იშვიათია. ის, რომ ასეთი თანაფარდობა ჯერ კიდევ არ გვაძლევს ძალიან დიდ ლოდინის დროს (მხოლოდ 1/10 წამი ჩვენს შემთხვევაში), გამოწვეულია, რა თქმა უნდა, τ მამრავლის სიმცირით. ამ მამრავლს გააჩნია ფიზიკური აზრი. ის არის იმ რხევების პერიოდის რიგისა, რომელსაც მუდმივად ადგილი აქვს სისტემაში. ამ მამრავლის მნიშვნელობა ძალიან ზოგადად შეიძლება აგვეხსნა ასე: თუმცაღა ენერჯის საჭირო რაოდენობის, W -ს, დაგროვების ალბათობა ძალიან მცირეა, მაგრამ არსებობს „ყოველი რხევისას“, ე. ი. დაახლოებით 1013 ან 1014-ჯერ ყოველი წამის განმავლობაში.

4.7. პირველი შესწორება – მოლეკულის მდგრადობის თეორიის სახით ამ მოსაზრებების შემოთავაზებისას იგულისხმებოდა, რომ კვანტურ ნახტომებს, რომელსაც ჩვენ მაღალ დონეზე „ასვლა“ ვუწოდებთ, მივყავართ, თუ მოლეკულის სრულ დეზინტეგრაციამდე არა, სულ ცოტა, იმავე ატომების არსებითად განსხვავებულ კონფიგურაციამდე – იზომერულ მოლეკულამდე – როგორც ქიმიკოსი იტყოდა, ე. ი. მოლეკულამდე, რომელიც შედგენილია იმავე ატომებისაგან

სხვა განლაგებით (ბიოლოგიას თუ მივუსადაგებთ, ეს უნდა წარმოადგენდეს სხვა „ალელს“ ერთი და იმავე „ლოკუსში“, ხოლო კვანტური ნახტომი შეესაბამება მუტაციას).

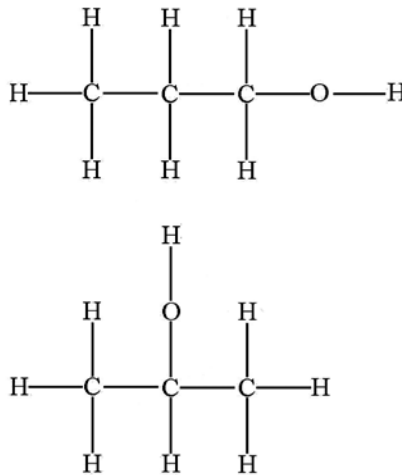
ამ ინტერპრეტაციას რომ დავეთანხმოთ, ჩვენს მონათხრობში უნდა შესწორდეს ორი მომენტი, რომელიც შეგნებულად გავამარტივეთ, რათა უფრო გასაგები გაგვეხადა. ჩემი მონაყოლიდან შეიძლება შეიქმნას წარმოდგენა, რომ ჩვენი ატომების ჯგუფი მხოლოდ ენერგეტიკული მდგომარეობის უდაბლეს დონეზე წარმოქმნის იმას, რასაც მოლეკულას ვუწოდებთ, ხოლო უკვე მომდევნო, უფრო მაღალი მდგომარეობა წარმოადგენს „რალაც სხვას“. მაგრამ ეს ასე არ არის. სინამდვილეში უდაბლეს დონეს მოსდევს მჭიდროდ განლაგებული დონეების მთელი რიგი, რომელიც არ არის დაკავშირებული კონფიგურაციის, როგორც მთლიანის, რაიმე მნიშვნელოვან ცვლილებებთან, მაგრამ ეს დონეები შეესაბამება ატომების იმ მცირე რხევებს, რომლებიც ზემოთ ვახსენეთ. ისინიც აგრეთვე „დაკვანტულია“, მაგრამ ამ დონეებს შორის სხვაობა შედარებით მცირეა. აქედან გამომდინარე, „სითბური აბაზანის“ ნაწილაკთა დაჯახებები შეიძლება საკმარისი იყოს მოლეკულის ამ დონეებზე გადასასვლელად უკვე საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზეც. თუ მოლეკულა წარმოადგენს წაგრძელებულ სტრუქტურას, ეს რხევები შეგიძლიათ წარმოიდგინოთ, როგორც მაღალი სიხშირის ბგერითი ტალღები, რომლებიც მოლეკულის გასწვრივ ვრცელდება მისთვის ზიანის მიუყენებლად.

ამრიგად, პირველი შესწორება არ არის ძალიან სერიოზული: ჩვენ უნდა უგულებელვყოთ დონეების „ნაზი რხევითი სტრუქტურა“. ტერმინი „მომდევნო მაღალი დონე“ უნდა გავიგოთ, როგორც კონფიგურაციის არსებითი ცვლილების – შესაბამისი მომდევნო დონე.

4.8. მეორე შესწორება – მეორე შესწორება ბევრად უფრო ძნელი ასახსნელია, რადგან ის ეხება არსებითად განსხვავებული დონეების სქემის გარკვეულ მნიშვნელოვან, მაგრამ რთულ თავისებურებებს. თავისუფალ გადასვლას ორ დონეს შორის საჭირო ენერგიის მიწოდებისაგან დამოუკიდებლად შეიძლება ხელი შეეშალოს. ფაქტობრივად, უფრო მაღალიდან დაბალ დონეზე გადასვლასაც კი შეიძლება შეეშალოს ხელი.

დავიწყოთ ემპირიული ფაქტებით. ქიმიკოსისთვის ცნობილია, რომ ატომთა ერთი და იგივე ჯგუფი, მოლეკულა რომ შექმნას, შეიძ-

ლება გაერთიანდეს რამდენიმე სხვადასხვა გზით. ასეთ მოლეკულებს იზომერებს უწოდებენ („ერთი და იმავე ნაწილებისაგან შედგენილი“; *ισος* = იგივე; *μερος* = ნაწილი). იზომერიზმი გამოწვეულია არ არის. იგი წესია: რაც უფრო დიდია მოლეკულა, მით მეტი იზომერული ვარიანტი არსებობს. ნახ. 11 გვიჩვენებს ორი ტიპის პროპილის სპირტის მოლეკულის ერთ-ერთ უმარტივეს შემთხვევას. ორივე შედგება ნახშირბადის 3 (C), წყალბადის 8 (H), და ჟანგბადის 1 (O) ატომისაგან. ეს უკანასკნელი შეიძლება ჩასმული იყოს ნებისმიერ წყალბადსა და შესაბამის ნახშირბადს შორის, მაგრამ ჩვენს ნახაზზე ნაჩვენებია ეს ორი კონფიგურაცია წარმოადგენს სხვადასხვა ნივთიერებას. ეს მართლაც ასეა. ყველა მათი შესაბამისი ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებელი მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. მათი ენერგიებიც ასევე განსხვავებულია – ისინი წარმოადგენენ „სხვადასხვა ღონეებს“.

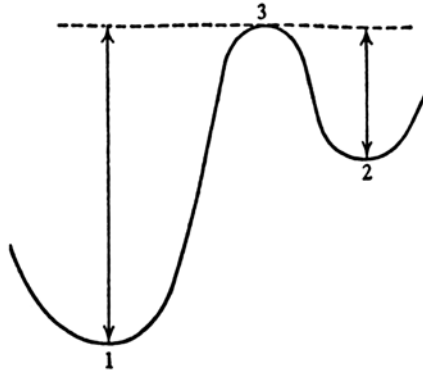


ნახ. 11. პროპილის სპირტის ორი იზომერი.

აღსანიშნავი ფაქტია, რომ ორივე მოლეკულა სრულიად მდგრადია. ორივე ისე იქცევა, თითქოს „უდაბლეს ღონეზე“ იყოს. არც ერთი ამ მდგომარეობიდან მეორეზე სპონტანური გადასვლა არ ხდება.

ამის მიზეზი ისაა, რომ ეს ორი კონფიგურაცია არ არის მეზობელი კონფიგურაციები. ერთიდან მეორეზე გადასვლას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს შუალედური კონფიგურაციების გავლით, რომელთაც უფრო მაღალი ენერგიები გააჩნიათ, ვიდრე ნებისმიერს ამ ორიდან. უხეშად რომ ვთქვათ, ჟანგბადი უნდა იქნას ამოღებული ერთი ადგი-

ლიდან და უნდა ჩაისვას მეორეში. სხვა გზა ამისათვის არ ჩანს, მნიშვნელოვნად მაღალი ენერჯის დონეების გაუვლელად. ამ ვითარებას გამოსახვენ ისე, როგორც მე-12 ნახ-ზეა ნაჩვენები. აქ 1 და 2 წარმოადგენს ორ იზომერს, 3 არის მათ შორის „ზღურბლი“, ხოლო ორი ისარი გვიჩვენებს დონეთა შორის სხვაობას, ანუ ენერჯის საჭირო რაოდენობას, რომელიც უნდა მიეწოდოს სისტემას, რომ მოხდეს გადასვლა 1 მდგომარეობიდან 2-ში, ან, შესაბამისად 2-დან 1-ში.



ნახ. 12. ენერჯის ზღურბლი (3) ორ იზომერულ დონეს შორის, (1) და (2). ისრები გვიჩვენებს გადასვლისათვის საჭირო მინიმალურ ენერჯას.

ახლა ჩვენ შეგვიძლია ჩამოვაცალიბოთ ჩვენი „მეორე შესწორება“, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ ამგვარი „იზომერული“ ტიპის გადასვლები არის ერთადერთი, რომლებიც ჩვენ გვაინტერესებს ბიოლოგიასთან მიმართებაში. სწორედ ეს გვქონდა მხედველობაში, როცა წინა გვერდებზე „მდგრადობას“ ვხსნიდით. ჩვენი „კვანტური ნახტომი“ არის გადასვლა ერთი, შედარებით მდგრადი მოლეკულური კონფიგურაციიდან მეორეზე. ამ გადასვლისათვის საჭირო ენერჯია (აღნიშნული W -თი) სინამდვილეში არ არის დონეებს შორის სხვაობის ტოლი. ეს არის ენერჯის ბიჯი საწყისი დონიდან ზღურბლამდე (იხ. ისრები მე-12 ნახ-ზე).

გადასვლები, რომლებიც საწყის და საბოლოო მდგომარეობებს შორის ზღურბლის გაუვლელად ხდება, სრულიად უინტერესოა არა მხოლოდ ჩვენი ბიოლოგიური პრობლემისათვის. მათ სინამდვილეში არავითარი წვლილი არ შეაქვთ მოლეკულის ქიმიურ მდგრადობაში. მაინც რატომ? მათ არ გააჩნიათ რაიმე ხანგრძლივი ეფექტი და შეუმჩნეველი რჩებიან, რადგან, როცა ამ გადასვლებს ადგილი აქვს, მათ

თითქმის მაშინვე მოსდევს კვლავ საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება, რადგან ამას არაფერი უშლის ხელს.

თავი მხუთე

დელბრუკის მოძალის განხილვა და შემოწმება

ჭეშმარიტად, როგორც სინათლე გამოავლენს თავის თავსაც და წყვილადსაც, ასევე ჭეშმარიტება არის საზომი თავისი თავისაც და არაჭეშმარიტისაც.
სპინოზა

5.1. მემკვიდრეობითობის მატარებელი სუბსტანციის ზოგადი სურათი – ამ ფაქტებიდან იკვეთება ძალიან მარტივი პასუხი ჩვენს კითხვაზე, კერძოდ, აქვთ თუ არა ატომთა შედარებით მცირე რიცხვით შედგენილ ამ სტრუქტურებს უნარი, ხანგრძლივად გაუძლონ სტრუქტურის დამრღვევი სითბური მოძრაობის ზემოქმედებას, რასაც მემკვიდრეობითობის სუბსტანცია მუდმივად განიცდის? ჩვენ ვუშვებთ, რომ გენს აქვს უზარმაზარი მოლეკულის სტრუქტურა. ამ მოლეკულას მხოლოდ წყვეტილი ცვლილებების უნარი აქვს, რაც მდგომარეობს ატომების გადაჯგუფებაში და რასაც მივყავართ იზომერულ მოლეკულამდე. ეს გადაჯგუფება შეიძლება შეეხოს გენის მხოლოდ მცირე უბანს, მაგრამ შესაძლებელია ასევე უამრავი სხვადასხვა გადაჯგუფება. ენერჯის ზღურბლები, რომლითაც არსებული კონფიგურაცია გამოყოფილია რომელიმე შესაძლო იზომერული კონფიგურაციისაგან, საკმარისად მაღალი უნდა იყოს (ატომის საშუალო სითბურ ენერჯიასთან შედარებით), იმისათვის, რომ ცვლილებები იშვიათად წარმოიქმნას. ამ იშვიათ მოვლენებს ჩვენ გავიგივებთ მუტაციებთან.

ამ თავის მომდევნო ნაწილები უმთავრესად მიეძღვნება გენისა და მუტაციების შესახებ გერმანელი ფიზიკოსის მ. დელბრუკის (M. Delbrück) მიერ განვითარებული ზოგადი წარმოდგენების შემოწმებას მათი დეტალური შედარებით გენეტიკის მონაცემებთან. მანამდე კი შეიძლება უპრიანი იყოს, გამოვთქვათ რამდენიმე შენიშვნა ამ თეორიის საფუძვლებსა და მათ ზოგად ბუნებაზე.

5.2. სურათის უნიკალურობა – იყო თუ არა აბსოლიტურად აუცილებელი ამ ბიოლოგიური საკითხის ღრმა ფესვების მოძიება და კვანტური მექანიკის მოხმობა? ის ვარაუდი, რომ გენი მოლეკულაა, გავბედავ თქმას, დღეს საყოველთაოდ მიღებული აზრია. ძალიან ცოტა ბიოლოგი, მიუხედავად იმისა, გაცნობილი იქნებოდა თუ არა კვანტურ თეორიას, არ დაეთანხმებოდა ამას. წინა გვერდებზე ეს ვათქმევინეთ კლასიკურ (კვანტურ თეორიამდე) ფიზიკოსს, როგორც ერთადერთი გონივრული ახსნა იმ უცვლელობისა, რასაც ჩვენ ვაკვირდებით. შემდგომი მოსაზრებები იზომერების, ზღურბლური ენერჯის $W:kT$ ფარდობის განსაკუთრებული როლის შესახებ იზომერული გადასვლების ალბათობის განსაზღვრისათვის, შეიძლებოდა ასევე წარმატებით შემოგვეტანა წმინდა ემპირიულ საფუძველზე, კვანტური თეორიის მოუხმობლად. მაშინ რატომ ვცდილობდი, ასე დაჟინებით კვანტურმექანიკური თვალსაზრისის განვითარებას, თუმცა კი არ შემეძლო ამ პატარა წიგნში მისი ნათლად ჩამოყალიბება და შეიძლება ამის გამო ბევრ მკითხველს თავიც შევაწყინე?

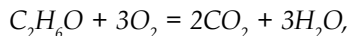
კვანტური მექანიკა არის პირველი თეორია, რომელიც ფუნდამენტურ პრინციპებზე დაყრდნობით ხსნის ყველა ტიპის ატომების გაერთიანებას, რაც კი ბუნებაში გვხვდება. ჰაიტლერ-ლონდონის ბმა არის თეორიის უნიკალური, განსაკუთრებული დეტალი, რომელიც ქიმიური ბმის ასახსნელად როდი იყო შექმნილი. ის გამოდის თავისთავად, უაღრესად საინტერესო და გასაკვირი გზით, და მისი აუცილებლობა სრულიად სხვა მოსაზრებებიდან მომდინარეობს. აღმოჩნდა, რომ ის ზუსტად შეესაბამება ქიმიურ მოვლენებს, რომელთაც ვაკვირდებით და როგორც ვთქვი, სავსებით უნიკალური და საკმარისად სრულად გაგებულია იმისათვის, რომ დაბეჭდვით ვთქვათ: თეორიის ეს ნაწილი არ შეიცვლება კვანტური თეორიის შემდგომი განვითარებისას.

შესაბამისად, ჩვენ შეიძლება დანამდვილებით ვამტკიცოთ, რომ მემკვიდრეობითობის მატარებელი სუბსტანციის მოლეკულურ ახსნას ალტერნატივა არა აქვს. ფიზიკური მოსაზრებები არ ტოვებს სხვა შესაძლებლობას, რომ აიხსნას მემკვიდრეობითობის მდგრადობა. თუ დელბრუკის წარმოდგენები მცდარი აღმოჩნდებოდა, ჩვენ მოგვიწევდა შემდგომი მცდელობებისათვის თავის დანებება. ეს არის პირველი, რაც მინდა აღვნიშნო.

5.3. ზოგიერთი ტრადიციული გაუგებრობის შესახებ – შეიძლება დაისვას კითხვა: ნუთუ, მოლეკულების გარდა, სინამდვილეში არ არსებობს ატომებისაგან შედგენილი სხვა მდგრადი სტრუქტურები? განა, მაგალითად, ორი ათასი წლის წინ დამარხული ოქროს მონეტა არ ინახავს მასზე ამოტვიფრული პორტრეტის ნაკვეთს? მართალია, მონეტა შედგება ატომების უთვალავი რიცხვისაგან, მაგრამ ჩვენ ამ შემთხვევაში ნამდვილად არ ვაპირებთ მისი ფორმის შენარჩუნება მივაწეროთ დიდ რიცხვთა სტატისტიკურ კანონს. ეს შენიშვნა შეეხება მთის ბროლის კრისტალსაც, რომელიც მთის ქანში შეიძლება იყოს უცვლელად გეოლოგიური პერიოდების მანძილზე.

ამას მივყავართ მეორე საკითხთან, რასაც მინდა ნათელი მოვფინო. მოლეკულა, მყარი სხეული, კრისტალი სინამდვილეში არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. თანამედროვე ცოდნის მიხედვით ისინი ფაქტობრივად ერთი და იგივენი არიან. სამწუხაროდ, სასკოლო სწავლება მისდევს ტრადიციულ შეხედულებას, რომელიც მრავალი წლის წინ მოძველდა და რომელიც ხელს უშლის ნამდვილი ვითარების გაგებას.

მართლაც, ის, რაც ჩვენ გვისწავლია სკოლაში მოლეკულების შესახებ, არ გვაძლევს საშუალებას, წარმოვიდგინოთ, რომ მოლეკულები მყარ მდგომარეობასთან უფრო ახლოს არიან, ვიდრე თხევად ან აირად მდგომარეობასთან. პირიქით, ჩვენ გვასწავლეს კარგად განგვესხვავებინა ფიზიკური ცვლილება, როგორცაა დნობა ან აორთქლება, როდესაც მოლეკულები არ იცვლება (ასე რომ სპირტი, მაგალითად, მყარია, თხევადი თუ აირი, ყოველთვის ერთი და იმავე C_2H_6O მოლეკულებისაგან შედგება), და ქიმიური ცვლილება, როგორც არის, მაგალითად, სპირტის წვა



სადაც სპირტის ერთი და ჟანგბადის 3 მოლეკულა გადაჯგუფდება და ქმნის ნახშირორჟანგის 2 და წყლის სამ მოლეკულას.

კრისტალების შესახებ გვასწავლეს, რომ ისინი ქმნიან სამგანზომილებიან პერიოდულ მესრებს, რომლებშიც ცალკეული მოლეკულის სტრუქტურა ზოგჯერ ამოიცნობა, როგორც, მაგალითად, სპირტის და უმრავლესი ორგანული ნაერთის შემთხვევაში, მაშინ, როცა სხვა კრისტალებში, მაგალითად ქვა-მარილის ($NaCl$) მოლეკულები $NaCl$ არ შეიძლება ცალსახად გამოყოფილი იყოს, რადგან ყოველი

ატომი ასიმეტრიულად არის გარშემორტყმული ექვსი Cl ატომით და პირიქით. ასე რომ, ძალიან გაურკვეველია, რომელი წყვილი შეიძლება განიხილებოდეს, როგორც მოლეკულური პარტნიორები. ბოლოს, ჩვენ ასევე გვასწავლეს, რომ მყარი სხეული შეიძლება იყოს კრისტალური ან არადა ამ ბოლო შემთხვევაში ჩვენ მას ამორფულს ვუწოდებთ.

5.4. ნივთიერების სხვადასხვა „მდგომარეობები“ – მე არ ვიტყვოდი, რომ ყველა ეს მოსაზრება და დაყოფა, რაც ზემოთ ვახსენეთ, მცდარია, პრაქტიკული მიზნებისათვის ისინი ზოგჯერ სასარგებლოც კია, მაგრამ ნივთიერების ჭეშმარიტი სტრუქტურის თვალსაზრისით საზღვარი სხვადასხვა მდგომარეობებს შორის სრულიად სხვაგვარად უნდა გაივლოს. ფუნდამენტური გაყოფა ნაჩვენებია „განტოლებათა“ შემდეგი ორი სტრიქონით:

მოლეკულა = მყარი
 სხეული = კრისტალი.
 აირი = სითხე = ამორფული სხეული.

ჩვენ მოკლედ უნდა განვმარტოთ ეს დებულებები. ეგრეთ წოდებული ამორფული მყარი სხეულები არ არის არც მთლიანად ამორფული და არც მთლიანად მყარი. „ამორფულ“ ხის ნახშირის ბოჭკოში რენტგენის სხივებით აღმოჩენილი იქნა გრაფიტის კრისტალის რუდიმენტური სტრუქტურა. ასე რომ, ხის ნახშირი მყარია, მაგრამ ამავე დროს კრისტალურიცაა. იქ, სადაც ვერ აღმოვაჩინეთ კრისტალურ სტრუქტურას, სუბსტანცია უნდა განვიხილოთ, როგორც სითხე ძალიან მაღალი „სიბლანტი“ (შიდა ხახუნით). ასეთ სუბსტანციას არ გააჩნია დადგენილი დნობის ტემპერატურა და დნობის კუთრი სითბო, რაც ამჟღავნებს, რომ ის არ არის ნამდვილად მყარი სხეული. გათბობისას ის თანდათანობით რბილდება და საბოლოოდ სითხედ იქცევა უწყვეტი გადასვლით (მე მახსენდება, რომ პირველი მსოფლიო ომის ბოლოს ვენაში გვაძლევდნენ ასფალტისმაგვარ ნივთიერებას, როგორც ყავის შემცვლელს. ის ისე მაგარი იყო, რომ სატეხის ან ნაჯახის გამოყენებით უნდა დაგეტეხათ ნაჭრებად. ჩამონატეხს კი გლუვი, ნიჟარასავით ზედაპირი ჰქონდა. თუმცა, თუ დააცდიდით,

სითხესავით იქცეოდა – მჭიდროდ ეკვროდა ჭურჭლის ფსკერს, თუ კი ორიოდ დლით იქ ჩატოვებდით).

აირადი და თხევადი მდგომარეობების უწყვეტობა კარგადაა ცნობილი. შეგიძლიათ გაათხევადოთ ნებისმიერი აირი უწყვეტად, ე. წ. კრიტიკულ წერტილს თუ „შემოუვლით“. მაგრამ ამის გარჩევას ეხლა არ შევუდგებით.

5.5. არსებითი განსხვავება – ჩვენ ეს-ესაა ყველაფერს მოფუძებნეთ ახსნა ზემოთ მოყვანილ სქემაში, გარდა ერთი მომენტისა: კერძოდ, ჩვენ გვინდა, რომ მოლეკულა განვიხილოთ, როგორც მყარი სხეული – კრისტალი.

ამის საფუძველი ისაა, რომ ატომები, რომლებიც მოლეკულას ქმნიან, ბევრი თუ ცოტა, გაერთიანებულია ბუნების ზუსტად იმავე ძალებით, რა ძალებითაც ის მრავალრიცხოვანი ატომები, რომლებიც ნამდვილ მყარ სხეულებს – კრისტალებს ქმნიან. მოლეკულას გააჩნია სტრუქტურის ისეთივე სიმყარე, როგორც კრისტალს. გვახსოვდეს, რომ ეს სწორედ ის სიმყარეა, რომელსაც ჩვენ ვეყრდნობით გენის მდგრადობის ასახსნელად!

ნივთიერების სტრუქტურის თვალსაზრისით ნამდვილად მნიშვნელოვანი განსხვავება არის ის, ატომები ერთმანეთთან ბმული ან „გამყარებულია“ ჰაიტლერ-ლონდონის ძალებით, თუ არა. მყარ სხეულსა და მოლეკულაში ეს ასეა. აირში, რომელიც ცალკეული ატომებისაგან შედგება (მაგ. ვერცხლისწყლის ორთქლი) ეს ასე არ არის. მოლეკულებისაგან შედგენილ აირში მხოლოდ ყოველი მოლეკულის ატომები ბმული ამ ძალებით.

5.6. პერიოდული მყარი სხეული – პატარა მოლეკულას შეიძლება „მყარი სხეულის ჩანასახი“ ვუწოდოთ. თუ ასეთი მცირე მყარი ჩანასახიდან დავიწყებდით, როგორც ჩანს, არსებობს ორი სხვადასხვა გზა უფრო და უფრო დიდი ასოციაციების ასაშენებლად. ერთი, შედარებით რუტინული გზა, გულისხმობს ერთი და იმავე სტრუქტურის გამეორებას კვლავ და კვლავ სამი მიმართულებით. ეს არის გზა კრისტალის ზრდისა. რაკი ეს პერიოდულობა ჩამოყალიბდა, აღარ არსებობს არავითარი გარკვეული ზღვარი, ამ გაერთიანების ზომას რომ შემოფარგლავდეს. მეორე გზა არის უფრო და უფრო დიდი გაერთიანების შენება რუტინული გამეორებების გარეშე. ეს არის

სულ უფრო რთული ორგანული მოლეკულის შემთხვევა, რომელშიც ყოველი ატომი და ყოველი ჯგუფი ატომებისა ინდივიდუალურ როლს თამაშობს, არა სრულიად ეკვივალენტურს მრავალი სხვა ატომის ან ატომთა ჯგუფის როლისა. ჩვენ შეგვიძლია, საკმაოდ მართებულად ვუწოდოთ ამას აპერიოდული კრისტალი ან მყარი სხეული და ჩვენი ჰიპოთეზა ასე გამოვხატოთ: ჩვენ მიგვაჩნია, რომ გენი ან, შესაძლოა, მთელი ქრომოსომის ბოჭკო, წარმოადგენდეს აპერიოდულ მყარ სხეულს.

5.7. მინიატურულ კოდში შეკუმშული შინაარსის მრავალფეროვნება – ხშირად ისმის კითხვა, როგორ შეუძლია ნივთიერების ამ პატარა ნამცეცს, განაყოფიერებული კვერცხის ბირთვის, დაიტიოს რთული, დეტალურად დამუშავებული კოდი, რომელიც მოიცავს ორგანიზმის მთელ შემდგომ განვითარებას? სრულიად მოწესრიგებული ატომების ასოციაციას, რომელსაც გააჩნია საკმარისი რეზისტენტობა სტრუქტურის უცვლელად შესანარჩუნებლად, როგორც ჩანს, უნდა იყოს ერთადერთი მატერიალური სტრუქტურა, რომელიც გვთავაზობს მრავალგვარ, საკმარისად დიდ შესაძლო („იზომერულ“) კონფიგურაციებს, იმისათვის, რომ დაიტიოს „მოცემულობების“ რთული სისტემა პატარა სივრცით მოცულობაში. მართლაც, ატომების რიცხვი ასეთ სტრუქტურაში არ უნდა იყოს ძალიან დიდი იმისათვის, რომ სხვადასხვა კონფიგურაციების თითქმის უსაზღვრო რიცხვი მოგვცეს. მაგალითისთვის ავიღოთ მორზეს კოდი: ორი განსხვავებული ნიშანი – წერტილი და ტირე – გაერთიანებული არა უმეტეს ოთხი სიმბოლოსაგან შემდგარ ჯგუფებად, ოცდაათ სხვადასხვა ვარიანტს გვაძლევს. თუ კი წერტილსა და ტირეს მესამე ნიშანსაც დაამატებდით და არა უმეტეს ათი სიმბოლოსაგან შემდგარ ჯგუფებს აიღებდით, თქვენ შეგეძლებოდათ 88572 სხვადასხვა „კომბინაციის“ მიღება, ხუთი ნიშნითა და არა უმეტეს 25 წევრიანი ჯგუფებით, კომბინაციების რიცხვი იქნებოდა 372529029846191405. შეიძლება შემოგვედაონ, რომ ეს შედარება არაზუსტია, რადგან ჩვენს მორზეს ნიშნებს შეიძლება სხვადასხვა კომპოზიცია ჰქონდეთ (მაგ. . – – და . . –) და ამგვარად, ეს იზომერულობის ცუდი ანალოგიაა. ამ დეფექტის გამოსასწორებლად, მოდით, მესამე მაგალითი ავიღოთ: ზუსტად 25 სიმბოლოსაგან შემდგარი კომბინაციები და მხოლოდ ისინი, რომლებიც შეიცავს ზუსტად 5-ს თითოეული შემოთავაზებული 5 ტიპი-

დან (5 წერტილს, 5 ტირეს და ა. შ.). უხეში შეფასება გვაძლევს კომბინაციათა რიცხვს 62 330 000 000 000, სადაც ნულები ცვლის იმ ციფრებს, რომლებიც მე ზუსტად აღარ გამოვთვალე.

რასაკვირველია, სინამდვილეში ატომთა ჯგუფის „ყოველი“ დალაგება არავითარ შემთხვევაში არ წარმოადგენს შესაძლო მოლეკულას. უფრო მეტიც, თქმაც არ უნდა, კოდი არ მიიღება ნებისმიერად, რადგან თავისთავად კოდი უნდა წარმოადგენდეს მოქმედ ფაქტორს, რომელიც განაპირობებს განვითარებას. მაგრამ, მეორე მხრივ, მაგალითში არჩეული რიცხვი (25) ჯერ კიდევ ძალიან მცირეა და ჩვენ ვიხილავდით ელემენტების მხოლოდ მარტივ განლაგებებს ერთ ხაზზე. ჩვენი სურვილი იყო მხოლოდ გვეჩვენებინა, რომ გენის მოლეკულური სურათის გათვალისწინებით ძნელი აღარ არის იმის წარმოდგენა, რომ ეს მინიატურული კოდი ზუსტად უნდა შეესაბამებოდეს ორგანიზმის განვითარების უაღრესად რთულ და სპეციფიკურ გეგმას და როგორღაც უნდა შეიცავდეს ამ გეგმის მოქმედებაში მოყვანის საშუალებებს.

5.8. შედარება ფაქტებთან: სტაბილურობის ხარისხი; მუტაციების წყვეტილობა – მოდით, გადავიდეთ ამ თეორიული სურათის ბიოლოგიურ ფაქტებთან შედარებაზე. პირველი საკითხი, ცხადია, არის შემდეგი: მართლაც ხსნის თუ არა ჩვენი თეორია მდგრადობის იმ მაღალ ხარისხს, რასაც ბუნებაში ვაკვირდებით? არის თუ არა ზღურბლის ენერჯის სიდიდეები – საშუალო სითბური ენერჯის kT -ს მრავალჯერადები – მოქცეული გონივრულობის საზღვრებში, ხვდება თუ არა ისინი ჩვეულებრივი ქიმიისთვის ცნობილი ენერჯის ინტერვალებში? ეს კითხვა ტრივიალურია. მას შეიძლება დადებითად ვუპასუხოთ, ისე, რომ ცხრილებს არ მივმართოთ. ნებისმიერი ნივთიერების მოლეკულებს, რომელიც ქიმიკოსმა შეიძლება გამოყოს მოცემულ ტემპერატურაზე, უნდა გააჩნდეს, სულ ცოტა, წუთების სიცოცხლის ხანგრძლივობა (თუ რბილად ვიტყვით, როგორც წესი, სიცოცხლის ხანგრძლივობა ბევრად მეტია). ამგვარად, ზღურბლური სიდიდეები, რომელსაც ქიმიკოსი ხვდება პრაქტიკაში, აუცილებლად ზუსტად იმ სიდიდის რიგისაა, რომელიც პრაქტიკულად საჭიროა მდგრადობის ნებისმიერი ხარისხის ასახსნელად, რომელთანაც ბიოლოგს საქმე აქვს. წინა გვერდებიდან ჩვენ შეგვიძლია გავიხსენოთ, რომ ზღურბლები, რომლებიც იცვლება დაახლოებით

1:2 ფარგლებში, შეესაბამება სიკოცხლის ხანგრძლივობას წამის ნაწილიდან ათეულ ათასობით წლამდე.

თუმცა ისევ მოვიყვანოთ ციფრები. ჩვენს მაგალითში W/kT შეფარდებისათვის გვქონდა

$$\frac{W}{kT} = 30, 50, 60$$

რაც გვაძლევდა სიკოცხლის ხანგრძლივობებს:

0.1 წამი; 16 თვე; 30,000 წელი,

რაც ოთახის ტემპერატურაზე შეესაბამება შემდეგ ზღურბლურ სიდიდეებს:

0.9, 1.5, 1.8 ელექტრონვოლტი

ჩვენ უნდა განვმარტოთ ენერჯის საზომი ერთეული „ელექტრონვოლტი“, რომელიც საკმარისად მოხერხებულია ფიზიკოსისთვის, რადგან შეიძლება მისი თვალსაჩინოდ წარმოდგენა. მაგალითად, მესამე რიცხვი (1.8) ნიშნავს, რომ ელექტრონი, რომელიც აჩქარდა დაახლოებით 2 ვოლტი ძაბვით (პოტენციალთა სხვაობით), შეიძენდა დაჯახებით გადასვლისათვის ზუსტად საკმარის ენერჯიას (შედარებისათვის, ჩვეულებრივი ჯიბის ფარნის ბატარეას 3 ვოლტი ძაბვა აქვს).

ეს მოსაზრებები გასაგებს ხდის იმას, რომ ჩვენი მოლეკულის რაღაც ნაწილში კონფიგურაციის იზომერული ცვლილება, რომელიც რხევითი ენერჯის შემთხვევითი ფლუქტუაციის გამო მოხდა, შეიძლება, მართლაც, საკმარისად იშვიათი მოვლენა იყოს იმისათვის, რომ შეიძლებოდეს მისი ინტერპრეტაცია სპონტანურ მუტაციად. ამრიგად, სწორედ კვანტური მექანიკის პრინციპებით ჩვენ ვხსნით ყველაზე უფრო საოცარ ფაქტს, რაც მუტაციებს ეხება და რომლითაც მათ პირველად მიიპყრეს დე ფრიზის ყურადღება: კერძოდ, ისინი არიან „ნახტომისებური“ ვარიაციები, შუალედური ფორმების არსებობის გარეშე.

5.9. ბუნებრივი გადარჩევით მიღებული გენების სტაბილურობა – ნებისმიერი მაიონიზებული გამოსხივების მიერ ბუნებრივი მუტაციის სიხშირის გაზრდის მოვლენის აღმოჩენის შემდეგ ვინმემ შეიძლება მუტაციის ბუნებრივი სიხშირე მიაწეროს ნიადაგის და ჰაერის რადიოაქტივობას ან კოსმოსურ გამოსხივებას. მაგრამ რაოდენობრივი შედარება რენტგენული დასხივების შედეგებთან გვიჩვენებს

ნებს, რომ „ბუნებრივი გამოსხივება“ ბევრად სუსტია და ბუნებრივი მუტაციის სიხშირის მხოლოდ მცირე ნაწილის განსაზღვრა შეუძლია.

თუ იშვიათი ბუნებრივი მუტაციები ჩვენ უნდა ავხსნათ სითბური მოძრაობის შემთხვევითი ფლუქტუაციებით, ძალიან არ უნდა გაგვიკვირდეს, რომ ბუნებამ, იმისათვის, რომ მუტაციები იშვიათი გახადოს, წარმატებით გააკეთა ზღურბლური სიდიდეების ზუსტი არჩევანი. ჩვენ ადრე მივედით დასკვნამდე, რომ ხშირი მუტაციები საზიანოა ევოლუციისათვის. ინდივიდებს, რომლებიც მუტაციების გამო შეიძენენ არასაკმარისად სტაბილური გენის კონფიგურაციას, მცირე შანსი ექნებათ, იხილონ თავიანთი „ულტრა-რადიკალური“, სწრაფად მუტირებადი შთამომავლობა, რომელიც დიდხანს იარსებებს. სახეობები განთავისუფლდებიან მათგან და ამრიგად, დააგროვებენ სტაბილურ გენებს ბუნებრივი გადარჩევის გზით.

5.10. მუტანტების ზოგჯერ დაბალი მდგრადობა – რაც შეეხება მუტანტებს, რომლებიც ჩნდებიან შეჯვარების ექსპერიმენტებში და რომლებსაც ვირჩევთ მათი შთამომავლობის შესასწავლად, რასაკვირველია, მოველოდეთ, რომ ყველა მათგანი მაღალ მდგრადობას გამოავლენს, რადგან ისინი ჯერ კიდევ არ იყვნენ „გამოცდილი“, ან, თუ იყვნენ კიდევ, ველურ პოპულაციებში „უარყოფილი“ აღმოჩნდნენ, შესაძლოა, მათი მუტაციისადმი მეტად ძლიერი მიდრეკილების გამო.

ყოველ შემთხვევაში, ჩვენ სრულიადაც არ გვაკვირვებს ის, რომ სინამდვილეში ზოგიერთი ამ მუტანტთაგანი, მართლაც, ავლენს ბევრად უფრო მაღალ მუტაბელურობას, ვიდრე ნორმალური ველური გენები.

5.11. ტემპერატურა ნაკლებ გავლენას ახდენს არამდგრად გენებზე, ვიდრე მდგრადებზე – ეს საშუალებას გვაძლევს, შევამოწმოთ ჩვენი მუტაბელურობის ფორმულა:

$$t = \tau e^{W/kT}$$

(გვახსოვდეს, რომ t არის W ზღურბლური ენერჯის მქონე მუტაციის ლოდინის დრო). ისმის კითხვა: როგორ იცვლება T ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. ზედა ფორმულიდან ადვილად ვიპოვიოთ $T + 10$ ტემპერატურაზე t -ს მნიშვნელობისა ფარდობას t -ს მნიშვნელობასთან T ტემპერატურაზე:

$$\frac{t_{T+10}}{t_T} = e^{-10W/kT^2}$$

რადგან ექსპონენტის მაჩვენებელი უარყოფითია, შეფარდება, ბუნებრივია, ერთზე ნაკლებია. ლოდინის დრო მცირდება ტემპერატურის აწევით, მუტაბელურობა კი იზრდება. ეს შეიძლება შემოწმდეს და, მართლაც, შემოწმდა ბუზ *rosophila*-ზე იმ ტემპერატურულ საზღვრებში, რომელსაც ეს მწერი უძლებს. ველური გენების დაბალი მუტაბელურობა მკვეთრად გაიზარდა, ხოლო შედარებით მაღალი მუტაბელურობა, ზოგიერთ მუტირებულ გენს რომ აღმოაჩნდა, ან საერთოდ, არ გაზრდილა ან გაიზარდა გაცილებით უმნიშვნელოდ ეს სწორედ ისაა, რასაც ჩვენ ველით ჩვენი ორი ფორმულის შედარებისას. პირველი ფორმულის მიხედვით W/kT ფარდობა უნდა იყოს დიდი, რომ t დიდი გახდეს (სტაბილური გენი), რაც განაპირობებს მეორე ფორმულით გამოთვლილი შეფარდების სიმცირეს, ესე იგი, იძლევა მუტაბელურობის მნიშვნელოვან ზრდას ტემპერატურის ზრდასთან ერთად (ამ შეფარდების რეალური მნიშვნელობა მოთავსებულია 1/2 და 1/5 შორის). შებრუნებული სიდიდეებს (2 და 5) ჩვეულებრივ ქიმიურ რეაქციებში ვანტ ჰოფის კოეფიციენტებს (*van't Hoff factors*) ვუწოდებთ.

5.12. როგორ იწვევენ რენტგენის სხივები მუტაციებს – ეხლა მივუბრუნდეთ რენტგენის სხივებით გამოწვეული მუტაციების სიხშირეს. შევარების ექსპერიმენტებიდან დავასკვნით, რომ: პირველი (გამომდინარე მუტაციის სიხშირისა და დოზის პროპორციულობიდან) – მუტაციის გამომწვევია რომელიღაც ერთჯერადი მოვლენა; მეორე (გამომდინარე რაოდენობრივი მონაცემებიდან და იმ ფაქტიდან, რომ მუტაციის სიხშირე განისაზღვრება იონიზაციის სიმკვრივის ინტეგრალური მნიშვნელობით და არაა დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე) – ეს ერთჯერადი მოვლენა უნდა იყოს იონიზაცია ან მისი მსგავსი მოვლენა, რომელსაც ადგილი უნდა ჰქონდეს გარკვეულ, დაახლოებით 10 ატომის სიგრძის კუბის ტოლ მოცულობაში. ჩვენი სურათის მიხედვით, ზღურბლის გადალახვისათვის საჭირო ენერგიას უნდა იძლეოდეს ეს აფეთქებისმაგვარი იონიზაციის ან ალფა-გზნების პროცესი. მე მას ვუწოდებ აფეთქებისმაგვარს იმიტომ, რომ იონიზაციის ერთი აქტისას დახარჯული ენერგია (დახარჯული, სხვათა

შორის, არა თვით რენტგენის სხივის, არამედ მის მიერ წარმოქმნილი მეორადი ელექტრონის მიერ) კარგად არის ცნობილი და შედარებით დიდი – 30 ელექტრონვოლტი. ეს ენერგია გადაიქცევა ძალიან მზარდ სითბურ მოძრაობად იმ წერტილში, სადაც ის გამოთავისუფლდა და აქედან გავრცელდება „სითბური ტალღის“ – ატომების ინტენსიური რხევების ტალღის სახით. ის, რომ ამ სითბურ ტალღას უნდა ჰქონდეს საშუალო „მოქმედების რადიუსზე 1 ან 2 ელექტრონვოლტი ენერგიის გადაცემის უნარი“, რაც 10 ატომური მანძილის ტოლია, არ არის წარმოუდგენელი, თუმცა მიუკერძოებელ ფიზიკოსს შეიძლება რამდენადმე მცირე მოქმედების რადიუსი ევარაუდა.

მრავალ შემთხვევაში აფეთქების შედეგი მოწესრიგებული იზომურული გადასვლა, არამედ ქრომოსომის დაზიანება, რომელიც შეიძლება აღმოჩნდეს ლეტალური, როდესაც ორიგინალური გადაჯვარდინებით ხდება დაუზიანებელი პარტნიორის (მეორე კომპლექტის შესაბამისი ქრომოსომის) ამოღება და მისი შეცვლა პარტნიორით, რომლის შესაბამისი გენი, ასევე ცნობილია, რომ არის პათოლოგიური. ყველაფერი ეს სრულიად მოსალოდნელია და სწორედ ასეც ხდება სინამდვილეში.

5.13. მათი ეფექტურობა არ არის დამოკიდებული სპონტანურ მუტაბელურობაზე – ზემოთ მოყვანილი სურათიდან რამდენიმე სხვა თავისებურებაც ადვილი გასაგები ხდება, მაშინაც კი, თუ ეს სურათი ამ თავისებურებებს არ მოასწავებს. მაგალითად, არამდგრადი მუტანტი საშუალოდ არ ავლენს ბევრად უფრო მაღალ რენტგენული მუტაციის სიხშირეს, ვიდრე მდგრადი. ამიტომ თუ აფეთქებისას გამოიყოფა 30 ელექტრონვოლტის ტოლი ენერგია, დიდი მნიშვნელობა არა აქვს ზღურბლური ენერგია ცოტა მეტი იქნება თუ ცოტა ნაკლები, ვთქვათ, 1 თუ 1.3 ვოლტი.

5.14. შექცევადი მუტაციები – ზოგიერთ შემთხვევაში გადასვლა შესწავლილი იყო ორივე მიმართულებით, ვთქვათ, რომელიმე „ველური“ გენიდან განსაზღვრულ მუტანტზე და, პირიქით, მუტანტიდან ველურ გენზე. ასეთ შემთხვევებში მუტაციის ბუნებრივი სიხშირე ზოგჯერ დაახლოებით ერთი და იგივეა, ზოგჯერ – ძალიან განსხვავებული. ერთი შეხედვით, ეს უცნაურად ჩანს, რადგან ზღურბლი, რომელიც უნდა გადაილახოს, ორივე შემთხვევაში ერთია. მაგ-

რამ, რა თქმა უნდა, აუცილებელი არაა ეს ასე იყოს, რადგან, გადასვლის ზღურბლური ენერგია უნდა აითვალოს საწყისი კონფიგურაციის ენერგიის დონიდან. ეს დონე კი შეიძლება სხვადასხვა იყოს ველური და მუტირებული გენებისათვის (იხ. ნახ. 12, სადაც ციფრი 1 შეიძლება შეესაბამებოდეს ველურ ალელს, 2 კი – მუტანტს, რომლის დაბალი მდგრადობა გამოიხატება უფრო მოკლე ისრით).

მთლიანობაში, მე ვფიქრობ, დელბრუკის მოდელი საკმაოდ წარმატებით გადის შემოწმებას და შემდგომი განხილვისათვის მისი გამოყენება გამართლებულია.

თავი მეექვსე

წესრიგი, უწესრიგობა, ენტროპია

ვერც სხეული აიძულებს გონებას იფიქროს, ვერც გონება აამოძრავებს ან დატოვებს სხეულს უძრავად, ან რაიმე სხვად (თუ კი ასეთი რამ არის).²⁰

სპინოზა

6.1. ერთი მნიშვნელოვანი ზოგადი დასკვნა დელბრუკის მოდელიდან – მოდით, დავუბრუნდეთ 5.7 პარაგრაფის ბოლოს გამოთქმულ მოსაზრებას, სადაც შევეცადე ამეხსნა შემდეგი: გენის მოლეკულურმა სურათმა შესაძლო გახადა გაგვეაზრებინა, რომ ეს მინიატურული კოდი ცალსახა შესაბამისობაში უნდა იყოს ორგანიზმის განვითარების უაღრესად რთულ და სპეციფიკურ გეგმასთან და როგორღაც უნდა შეიცავდეს საშუალებებსაც ამ გეგმის ასამოქმედებლად. ძალიან კარგი, მაგრამ როგორ აკეთებს ის ამას? როგორ გვინდა ჩვენ მივიღეთ ამ ზოგადი მოსაზრებიდან საკითხის ჭეშმარიტ გაგებად?

დელბრუკის მოლეკულური მოდელი ზოგადი ფორმით, როგორც ჩანს, არ შეიცავს რაიმე მითითებას იმის შესახებ, როგორ მოქმედებს მემკვიდრეობითობის მატარებელი სუბსტანცია. რა თქმა უნდა, მე არ მოველი, რომ ფიზიკამ ამ საკითხზე რაიმე დეტალური ინფორმაცია მოგვაწოდოს უახლოეს მომავალში. ამ მიმართულებით წინსვლა არის და, დარწმუნებული ვარ, გაგრძელდება ბიოქიმიკაში ფიზიოლოგიისა და გენეტიკის კუთხით.

გენეტიკური კოდის ფუნქციონირების შესახებ ვერავითარი დეტალური ინფორმაცია ვერ გამოიკვეთება მისი სტრუქტურის ისეთი

ზოგადი აღწერიდან, როგორც ეს ზემოთ იყო მოცემული. ეს ცხადია, მაგრამ, რა უცნაურიც უნდა იყოს, ამ სურათიდან მხოლოდ ერთი დასკვნა შეიძლება გაკეთდეს, რომელიც, უნდა ვალიარი, იყო ამ წიგნის დაწერის ერთადერთი მოტივი.

დელბრუკის მემკვიდრეობითობის სუბსტანციის ზოგადი სურათიდან შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ, თუმცა ცოცხალ მატერიას არ ახასიათებს გადახრა დღეისათვის დადგენილი „ფიზიკის კანონებიდან“, მის ფუნქციონირებაში ჩართული უნდა იყოს ამ დრომდე უცნობი „ფიზიკის სხვა კანონები“, რომლებსაც, აღმოაჩენენ რა მომავალში და რომლებიც განდება ფიზიკის ისეთივე ინტეგრალური ნაწილი, როგორც ძველი კანონები.

6.2. წესრიგი, დაფუძნებული წესრიგზე. ეს არის საკმაოდ ფაქიზი განსჯის ჯაჭვი, რომელიც ხშირად იწვევს არაერთ გაუგებრობას. შემდგომი გვერდები მთლიანად დაეთმობა ამ საკითხის გაშუქებას. წინასწარი, უხეში, მაგრამ არცთუ მთლად არასწორი, წარმოდგენა ამ საკითხზე შემდეგნაირად შეიძლება შევიქმნათ:

პირველ თავში ახსნილი იყო, რომ ფიზიკის კანონები, რამდენადაც ჩვენ მათ ვიცნობთ, არის სტატისტიკური კანონები.²¹ ისინი ბევრწილად დაკავშირებულნი არიან საგანთა მოუწესრიგებელ მდგომარეობაში გადასვლის ბუნებრივ ტენდენციასთან.

მაგრამ იმისათვის, რომ მემკვიდრეობითობის სუბსტანციის მაღალი მდგრადობა შეგვეთანხმებინა მის მინიატურულ ზომასთან, ჩვენ მოგვიხდა მოლექულის „გამოგონება“, რათა დაგვექმნა მოუწესრიგებელ მდგომარეობაში გადასვლის ტენდენცია. ფაქტობრივად, არაჩვეულებრივად დიდი მოლექულისა, რომელიც უნდა იყოს კვანტური თეორიის ჯადოსნური ჯოხით დაცული უაღრესად მოწესრიგებული სტრუქტურის ნიმუში. ეს „გამოგონება“ ისევ ძალაში ტოვებს ალბათობის თეორიის კანონებს, მხოლოდ აქ მათი გამოვლინება იცვლება. ფიზიკოსისათვის ცნობილია, რომ კლასიკური ფიზიკის კანონები იცვლება კვანტური თეორიის კანონებით, განსაკუთრებით დაბალ ტემპერატურაზე. ამის ბევრი მაგალითი არსებობს. სიცოცხლე, როგორც ჩანს, ერთ-ერთი განსაკუთრებით გასაოცარი მაგალითთაგანია.

ფიზიკოსისათვის და არა მხოლოდ მისთვის, ვიმედოვნებ, უფრო ნათელს გავხდი ჩემს მოსაზრებას, თუ ვიტყვი, რომ ცოცხალი ორგანიზმი, როგორც ჩანს, უნდა იყოს მაკროსკოპული სისტემა, რომელიც

გამოვლინებით ნაწილობრივ უახლოვდება წმინდა მექანიკურ (თერმოდინამიკურის საპირისპირო) ყოფაქცევას, რომლისკენაც მიისწრაფის ყველა სისტემა, როდესაც ტემპერატურა უახლოვდება აბსოლუტურ ნულს და მოლეკულური მოუწესრიგებლობა ქრება.

არაფიზიკოსისათვის ძნელი დასაჯერებელია, რომ სინამდვილეში ფიზიკის ჩვეულებრივი კანონები, რომელთაც ის ურღვევი სიზუსტის ნიმუშებად განიხილავს, დაფუძნებულია მატერიის სტატისტიკურ ტენდენციასზე, გადავიდეს მოუწესრიგებელ მდგომარეობაში. ამის მაგალითები პირველ თავში მოვიტანე. ზოგად პრინციპს აქ წარმოადგენს ცნობილი თერმოდინამიკის მეორე კანონი (ენტროპიის პრინციპი) და მისი ასევე ცნობილი სტატისტიკური დაფუძნება. ამ თავის დანარჩენ პარაგრაფებში, დროებით დავივიწყებთ რა ქრომოსომებს, მემკვიდრეობითობას და ა. შ. შევეცდები ზოგადად მოვხაზო სიცოცხლის გამოვლინებისათვის ენტროპიის პრინციპის მნიშვნელობა.

6.3. ცოცხალი მატერია თავს არიდებს წონასწორობაში გადასვლას – რა არის სიცოცხლის დამახასიათებელი თვისება? როდის ამბობენ მატერიაზე, რომ ის ცოცხალია? მაშინ, როდესაც ის აგრძელებს „რაიმეს კეთებას“, მოძრაობს, გარემოსთან მიმოცვლის ნივთიერებებს და ასე შემდეგ, და ეს ყველაფერი ხდება გაცილებით უფრო დიდი დროის განმავლობაში, ვიდრე ჩვენ მოველით არაცოცხალი მატერიისაგან მსგავს პირობებში. როდესაც არაცოცხალი სისტემა იზოლირებულია ან მოთავსებულია ერთგვაროვან გარემოში, ყველანაირი მოძრაობა, ჩვეულებრივ, წყდება სხვადასხვა სახის ხახუნის შედეგად. ელექტრული და ქიმიური პოტენცილთა სხვაობები გათანაბრდება, ნივთიერებები, რომელთაც გააჩნიათ ქიმიური ნაერთების წარმოქმნის ტენდენცია, ქმნიან მათ, ტემპერატურა ხდება ერთგვაროვანი სითბოგამტარობის გამო. ამის შემდეგ მთელი სისტემა „ჩაქრება“, გადაიქცევა ნივთიერების მკვდარ ინერტულ მასად. მიიღწევა უცვლელი მდგომარეობა, რომელშიც არავითარი შესამჩნევი მოვლენა არ ხდება. ამ მდგომარეობას ფიზიკოსი უწოდებს თერმოდინამიკურ წონასწორობას, ან მდგომარეობას „ენტროპიის მაქსიმუმით“.

პრაქტიკულად ასეთი მდგომარეობა, ჩვეულებრივ, მიიღწევა ძალიან სწრაფად. თეორიულად ძალიან ხშირად ეს ჯერ კიდევ არ არის აბსოლუტური წონასწორობის მდგომარეობა, ჯერ კიდევ არ არის ნამდვილად მაქსიმალური ენტროპიის მდგომარეობა. ამ მდგომარე-

ობის გავლის შემდეგ საბოლოო წონასწორობასთან მიახლოება ძალიან ნელა ხდება. ამას შეიძლება დასჭირდეს საათები, წლები, საუკუნეები . . . მოვიყვანოთ მაგალითი, როცა წონასწორობასთან მიახლოება მაინც შედარებით სწრაფად ხდება. თუ სუფთა წყლით სავსე ჭიქა მოთავსებულია პერმეტულად დახურულ ყუთში დაშაქრული წყლით სავსე ჭიქასთან ერთად, თავიდან თითქოს არაფერი ხდება და იქმნება სრული წონასწორობის შთაბეჭდილება. მაგრამ ერთი დღის შემდეგ შესამჩნევი ხდება, რომ სუფთა წყალი, მისი აორთქლების უფრო მაღალი წნევის გამო, თანდათანობით ორთქლდება და კონდენსირდება შაქარწყლიან ჭიქაში. ამ უკანასკნელიდან სითხე გადმოიღვრება. მას შემდეგ, რაც სუფთა წყალი სრულიად აორთქლდება, შაქარი თანაბრად განაწილდება მთელ დარჩენილ წყალში.

წონასწორობასთან საბოლოო ნელი მიახლოების ეს ეტაპები შეცდომით არასოდეს უნდა ავუთრიოთ სიცოცხლეში. ჩვენ შეგვიძლია უგულვებელყოთ ისინი. მე მაინც ვახსენე ისინი უზუსტობის თავიდან ასაცილებლად.

6.4. ცოცხალი ორგანიზმი „უარყოფითი ენტროპიით“ იკვებება – ცოცხალი ორგანიზმი იმიტომაც გამოიყურება ასე ენიგმატურად, რომ გვერდს უვლის სწრაფ გადასვლას ინერტული „წონასწორობის“ მდგომარეობაში. იმდენად ენიგმატურად, რომ უძველესი დროიდან ადამიანი მას მიაწერდა რაღაც განსაკუთრებული არაფიზიკური, ან ზებუნებრივი ძალების (*vis viva*, ენტელექიის) მოქმედებას ორგანიზმში. ასეთ აზრებს ჯერ კიდევ შეხვდებით აქა-იქ.

როგორ უვლის გვერდს ცოცხალი ორგანიზმი წონასწორობის მდგომარეობაში გადასვლას? პასუხი ცხადია: საკვების და სასმელის მიღებით, სუნთქვით და (მცენარეთა შემთხვევაში) ასიმილირებით. ეს ყოველივე გამოიხატება შესაბამისი სპეციალური ტერმინით – მეტაბოლიზმი. ეს ბერძნული სიტყვა *μεταβάλλειν* ნიშნავს ცვლას ან გაცვლას. რისი ცვლა იგულისხმება? თავდაპირველად, უეჭველია, იგულისხმებოდა ნივთიერებათა ცვლა (მაგალითად, გერმანულად მეტაბოლიზმი არის *Stoffwechsel*). ის, რომ ნივთიერებათა ცვლას უნდა ჰქონდეს არსებითი მნიშვნელობა, აბსურდია. აზოტის ჟანგბადის, გოგირდის და ა. შ. ნებისმიერი ატომი ზუსტად ისეთივეა, როგორც ამ ელემენტების სხვა ნებისმიერი ატომი. რა შეიძლება მოხდეს მათი გაცვლით? ერთ ხანს ჩვენს ცნობისმოყვარეობას სავსებით აკმაყოფი-

ლებდა იმის აღნიშვნა, რომ ჩვენ ვიკვებებით ენერგიით. რომელიღაც განვითარებულ ქვეყანაში (არ მახსოვს, გერმანიაში თუ შეერთებულ შტატებში, ან ორივეგან) რესტორანში თქვენ ნახავდით მენიუს ბართებს, სადაც თითოეული კერძის ფასთან ერთად მითითებული იყო მისი ენერგეტიკული ღირებულებაც. რა თქმა უნდა, პირდაპირი მნიშვნელობით, ეს მხოლოდ უაზრობაა. მოზრდილ ორგანიზმში ენერგიის შემცველობა ისევე უცვლელია, როგორც ნივთიერების შემცველობა. რადგან, რა თქმა უნდა, ყოველ კალორიას იგივე ღირებულება აქვს, რაც ნებისმიერ სხვა კალორიას, ამიტომ გაუგებარია, რა მნიშვნელობა აქვს ამ კალორიების უბრალო გაცვლას.

მაშინ რა არის ის ღირებული რამ, რასაც ჩვენი საკვები შეიცავს და რაც გვიცავს სიკვდილისაგან? ამაზე პასუხი მარტივია. ყოველი პროცესი, მოვლენა, ხდომილება რაც გინდათ უწოდეთ – ერთი სიტყვით, ყველაფერი, რაც ხდება ბუნებაში იწვევს ენტროპიის ზრდას სამყაროს იმ ნაწილში, სადაც ეს ხდება. ამგვარად, ცოცხალი ორგანიზმი უწყვეტად ზრდის თავის ენტროპიას, ან შევიძლიათ თქვათ, აწარმოებს დადებით ენტროპიას და ასე უახლოვდება საშიშ მდგომარეობას მაქსიმალური ენტროპიით, რაც სიკვდილს მოასწავებს. ორგანიზმს შეუძლია შორს დაიჭიროს თავი ამ მდგომარეობიდან, ე. ი. დარჩეს ცოცხალი, თუ გარემოდან უწყვეტად მიიღებს უარყოფით ენტროპიას, რაც მეტად დადებითი რამ არის, როგორც ამას მალე დავინახავთ. სწორედ უარყოფითი ენტროპიაა, რითაც ორგანიზმი იკვებება. ან, ნაკლებ პარადოქსულად თუ ვიტყვით, მეტაბოლიზმში არსებითი არის ის, რომ ორგანიზმი ახერხებს განთავისუფლდეს მთელი მის მიერ ნაწარმოები ენტროპიისაგან, სანამ ცოცხალია.

6.5. რა არის ენტროპია? – რა არის ენტროპია? მოდით, თავიდანვე ხაზი გავუსვათ, რომ ეს არის არა რაღაც ბუნდოვანი ცნება ან იდეა, არამედ გაზომვადი ფიზიკური სიდიდე, ზუსტად ისეთივე, როგორც ღეროს სიგრძე, სხეულის ნებისმიერი წერტილის ტემპერატურა, მოცემული კრისტალის დნობის სითბო, ან ნებისმიერი მოცემული ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა. ტემპერატურის აბსოლუტურ ნულზე (დაახლოებით -273°C) ნებისმიერი სხეულის ენტროპია ნულია. როდესაც ნივთიერება გადაგყავთ სხვა ნებისმიერ მდგომარეობაში ნელა, პატარა შექცევადი ნაბიჯებით (მაშინაც კი თუ ამ დროს ნივთიერება იცვლის ფიზიკურ და ქიმიურ ბუნებას ან იყო-

ფა სხვადასხვა ფიზიკური ან ქიმიური ბუნების ორ ან მეტ ნაწილად) ენტროპია იზრდება სიდიდით, რომელიც გამოითვლება თქვენ მიერ ამ პროცედურისას მიწოდებული სითბოს ყოველი მცირე პორციის გაყოფით აბსოლუტურ ტემპერატურაზე, რომელზედაც ეს სითბო მიეწოდებოდა და მერე ყველა ამ მცირე წვლილის აჯამვით. მაგალითად მოვიყვანოთ მყარი სხეულის გაღობა. ამ დროს მისი ენტროპია იზრდება ლღობის სითბოს რაოდენობის გაყოფით ლღობის წერტილის ტემპერატურაზე. აქედან ჩანს, რომ ერთეული, რომლითაც ენტროპია იზომება, არის კალორია/°C (ზუსტად ისევე, როგორც სანტიმეტრი არის სიგრძის ერთეული, კალორია არის სითბოს საზომი ერთეული).

6.6. ენტროპიის სტატისტიკური შინაარსი – მე მხოლოდ იმიტომ მოვიტანე ენტროპიის ტექნიკური განმარტება, რომ ჩამოვაშორო ამ სიდიდეს ბუნდოვანების ის ატმოსფერო, რაც ხშირად გარს ახვევია. აქ ჩვენთვის ბევრად უფრო მნიშვნელოვანია ენტროპიის კავშირი მოუწესრიგებულობისა და მოუწესრიგებლობის სტატისტიკურ ცნებებთან, კავშირი, რომელიც გამოავლინა ბოლცმანის და გიბსის გამოკვლევებმა სტატისტიკურ ფიზიკაში. ესეც ასევე ზუსტი რაოდენობრივი კავშირია და გამოიხატება ასე:

$$entropia = k \log D$$

სადაც k არის ე. წ. ბოლცმანის მუდმივი ($=3.298 \times 10^{-24}$ კალორია/°C) და D არის განსახილველი სხეულის ატომების მოუწესრიგებლობის რაოდენობრივი ზომა. ზუსტი განმარტება ამ D სიდიდისა მოკლედ, არასპეციალური ცნებებით თითქმის შეუძლებელია. მოუწესრიგებლობა, რომლის ხარისხსაც ის ასახავს, ნაწილობრივ სითბური მოძრაობითაა გამოწვეული, ნაწილობრივ იმით, რომ სხვადასხვა სახის ატომები და მოლეკულები არეულია ნებისმიერად, ნაცვლად იმისა, რომ სრულიად განცალკევებულნი იყვნენ, მაგალითად, შაქრის და წყლის მოლეკულები ზემოთ მოტანილ შემთხვევაში. ეს მაგალითი ბოლცმანის განტოლების კარგი ილუსტრაციაა. შაქრის თანდათანობითი „განაწილება“ მთელ დარჩენილ წყალში ზრდის მოუწესრიგებლობას – D -ს და, აქედან გამომდინარე (რადგან D -ს ლოგარითმი იზრდება D -სთან ერთად), იზრდება ენტროპიაც. ასევე საკმაოდ ნათელია, რომ სითბოს ნებისმიერი მიწოდება ზრდის

მოუწესრიგებელი სითბური მოძრაობის ინტენსივობას, ე. ი. იზრდება D და, ამგვარად, იზრდება ენტროპია. ეს განსაკუთრებით ცხადია, როდესაც კრისტალს ალღობთ, რადგან ამით არღვევთ ატომების ან მოლეკულების მოწესრიგებულ, უცვლელ განლაგებას და კრისტალურ მესერს აქცევთ ატომების მუდმივად ცვალებად, შემთხვევით განაწილებად.

იზოლირებული ან ერთგვაროვან გარემოში მოთავსებული სისტემა (რომელიც, ჩვენი განხილვისათვის უკეთესია, ჩვენი სისტემის ნაწილად მივიჩნიოთ), ზრდის თავის ენტროპიას და მეტ-ნაკლებად სწრაფად უახლოვდება მაქსიმალური ენტროპიის ინერტულ მდგომარეობას. ფიზიკის ამ ფუნდამენტურ კანონში ჩვენ შევიცნობთ საგანთა ბუნებრივი ტენდენციის პირდაპირ გამოხატულებას – მიუახლოვდნენ ქაოტურ მდგომარეობას, თუ ჩვენ არ შევუშალოთ ამას ხელი (იგივე ტენდენცია ახასიათებს წიგნებს ბიბლიოთეკაში, ან ქალღმერთების და ხელნაწერების გროვას საწერ მაგიდაზე. ამ შემთხვევაში არარეგულარული სითბური მოძრაობის ანალოგიურ როლს თამაშობს ჩვენ მიერ ამ ნივთების დროდადრო გადაადგილება ისე, რომ თავი აღარ შევიწუხოთ მათი კუთვნილ ადგილზე დაბრუნებით).

6.7. ორგანიზაცია, რომელიც არსებობს გარემოდან „წესრიგის“ მიღების ხარჯზე – როგორ გამოვხატავდით სტატისტიკური თეორიის ტერმინებით ცოცხალი ორგანიზმის გასაოცარ უნარს, რომლითაც ის აყვავებს თერმოდინამიკური წონასწორობის მდგომარეობაში გადასვლას (ე. ი. სიკვდილს)? ადრე ვთქვით: „ის იკვებება უარყოფითი ენტროპიით“, თითქოს თავისკენ იზიდავდეს უარყოფითი ენტროპიის ნაკადს, საკომპენსაციოდ, იმ ენტროპიის ნაზრდისა დროდადრო, რომელსაც აწარმოებს ორგანიზმი თავისი სიცოცხლისას და, ამგვარად, ინარჩუნებს თავს სტაციონარულ და საკმაოდ დაბალი ენტროპიის მდგომარეობაში.

თუ D მოუწესრიგებლობის ზომაა, მისი შებრუნებული სიდიდე, $1/D$, შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მოწესრიგებულობის პირდაპირი ზომა. რადგან $1/D$ -ს ლოგარითმი ტოლია უარყოფითი ნიშნით აღებული D -ს ლოგარითმისა, ბოლცმანის განტოლებას ასე ჩავწერთ:

$$-(\text{entropia}) = k \log(1/D)$$

აქედან გამომდინარე, უხერხული გამოთქმა „უარყოფითი ენ-

ტროპია“ შეიძლება შეიცვალოს უკეთესით: უარყოფითი ნიშნით აღებული ენტროპია, რაც თავისთავად მოწესრიგებულობის ზომია. ამრიგად, მექანიზმის არსი, რითაც ორგანიზმი ინარჩუნებს თავს სტაციონარულად, მოწესრიგებულობის საკმარისად მაღალ დონეზე (= ანუ ენტროპიის საკმარისად დაბალ დონეზე) რეალურად მდგომარეობს გარემოდან მოწესრიგებულობის უწყვეტად „ამოქაჩვაში“. ეს დასკვნა ნაკლებ პარადოქსულია, ვიდრე ერთი შეხედვით ჩანს. პირიქით, შეიძლება ტრივიალურადაც ჩაითვალოს. მართლაც, უმაღლესი ცხოველების შემთხვევაში ჩვენ საკმაოდ კარგად ვიცნობთ იმ მოწესრიგებულობას, რითაც ისინი იკვებებიან, კერძოდ, ეს არის უაღრესად კარგად ორგანიზებული მატერია მეტ-ნაკლებად რთული ორგანული ნაერთების სახით, რაც მათ საკვებს შეადგენს. ამ საკვების მოხმარების შემდეგ ხდება მათი უკან დაბრუნება ბევრად უფრო დეგრადირებული, მაგრამ არც სრულიად დეგრადირებული სახით, რადგან მათი მოხმარება კვლავ შეუძლიათ მცენარეებს (მათ, რა თქმა უნდა, გააჩნიათ ყველაზე ძლიერი წყარო „უარყოფითი ენტროპიისა“ – მზის სინათლე).

6.8. შენიშვნები მეექვსე თავისათვის – უარყოფითი ენტროპიის შესახებ მოსაზრებებს ფიზიკოსი კოლეგები ეჭვით და წინააღმდეგობით შეხვდნენ. თავიდანვე ვიტყვი: მხოლოდ მათთვის რომ მქონოდა გამიზნული ეს წიგნი, ენტროპიის ნაცვლად *თავისუფალ ენერჯიაზე* ავაგებდი მსჯელობას. ამ კონტექსტში ეს უფრო კარგად ნაცნობი ცნება იქნებოდა. მაგრამ ეს მეტად სპეციფიკური ტერმინი ლინგვისტურად მეტად ახლოს გვეჩვენა ტერმინ *ენერჯიასთან* საიმისოდ, რომ საშუალო მკითხველისათვის გვეგრძობინებინა ამ ორ სიდიდეს შორის განსხვავება. მკითხველი, სავარაუდოდ, სიტყვა *თავისუფალს მისთვის დიდი მნიშვნელობის მიუნიჭებლად აღიქვამდა, როგორც უბრალო ეპითეტს – ეპიტჰეტონ ორნანს*, მაშინ, როდესაც სინამდვილეში ის იტევს საკმაოდ რთულ შინაარსს, რომლის კავშირი ბოლცმანის პრინციპთან უფრო რთული გასარკვევია, ვიდრე ენტროპიისა, ან „ენტროპიისა უარყოფითი ნიშნით“, რაც, სხვათა შორის, ჩემი შემოტანილი როდია. ეს ზუსტად ის ცნებაა, რაზეც ბოლცმანის ორიგინალური არგუმენტებია აგებული.

მაგრამ ფ. საიმონმა სრულიად მართებულად მიმითითა, რომ ჩემი გამარტივებული თერმოდინამიკური მოსაზრებები ვერ ხსნის, თუ რა-

ტომ უნდა იკვებებოდეს ცოცხალი ორგანიზმი „უაღრესად კარგად მოწესრიგებული, მეტ-ნაკლებად რთული ორგანული ნაერთების“ სახით წარმოდგენილი ნივთიერებებით, ვიდრე ხის ნახშირი ან ალმასია. ამასი ის მართალია. მაგარამ არაპროფესიონალი მკითხველისათვის მე უნდა ამეხსნა, რომ ჟანგბადი, რომელიც მათი წვისათვის არის საჭირო, ფიზიკოსის თვალსაზრისით ასევე უაღრესად კარგად მოწესრიგებულ მდგომარეობაშია. ამას ის ადასტურებს, რომ, თუ ნახშირის წვის რეაქციისას დიდი რაოდენობის სითბო გამოიყოფა, გარემოსათვის ამ სითბოს გადაცემით სისტემა თავისუფლდება რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ძალიან მნიშვნელოვანი ენტროპიის ნაზრდისაგან და საბოლოოდ აღწევს მდგომარეობას, რომელშიც მას აქვს, ფაქტობრივად, თითქმის იგივე ენტროპია, რაც ადრე გააჩნდა.

ჩვენ მაინც არ შეგვიძლია მოვიხმაროთ ნახშირორჟანგი, რომელიც ამ რეაქციისას გამოიყოფა. საიმონი კი სრულიად სწორია, როდესაც მიმითითებს, რომ, სინამდვილეში, ჩვენი საკვების ენერგეტიკული შემცველობა დიანაც მნიშვნელოვანია. ასე რომ, ჩემი ხუმრობა მენიუს ბარათებზე, სადაც ეს ენერგიაა მითითებული, უადგილო იყო. ენერგია საჭიროა არა მარტო ჩვენი სხეულის მოძრაობის შედეგად დახარჯული კინეტიკური ენერჯის შესავსებად, არამედ ასევე სითბოსათვის, რომელსაც უწყვეტად გადავცემთ გარემოს. ხოლო ის, რომ ჩვენ სითბოს გავცემთ, არაა შემთხვევითი, ეს არსებითი მომენტია, რადგანაც ეს სწორედ ის გზაა, რა გზითაც ვთავისუფლდებით ჭარბი ენტროპიისაგან, რომელსაც მუდმივად ვაწარმოებთ სიცოცხლის პროცესში.

ზემოთქმული, როგორც ჩანს, მიუთითებს, რომ თბილისისხლიანი ცხოველის მაღალი ტემპერატურა უპირატესობაა, რომელიც მას ანიჭებს უნარს, უფრო სწრაფად გათავისუფლდეს ენტროპიისაგან. ეს კი საშუალებას აძლევს მას, ჰქონდეს უფრო ინტენსიური სასიცოცხლო პროცესი. დარწმუნებული არა ვარ, რამდენად მართალია ეს არგუმენტები (რაზედაც პასუხისმგებელი მე ვარ და არა საიმონი). შეიძლება ვინმემ ამის საწინააღმდეგოდ თქვას, რომ, მეორე მხრივ, მრავალი თბილისისხლიანი დაცულია სითბოს სწრაფი დაკარგვისაგან ბეწვის საფარით ან ბუმბულით. ასე რომ, პარალელი სხეულის ტემპერატურასა და „სიცოცხლის ინტენსივობას“ შორის, რომელიც, მჯერა, რომ არსებობს, უფრო პირდაპირ შეიძლება აიხსნას ვანტ ჰოფის კანონით, რომელიც მე ვახსენე 5.11 პარაგრაფში: მაღალი ტემპერა-

ტურა აჩქარებს სიცოცხლესთან დაკავშირებულ ქიმიურ რეაქციებს (ეს რომ მართლაც ასეა, ექსპერიმენტულად იქნა დადასტურდა სახეობებში, რომლებიც ღებულობენ გარემოს ტემპერატურას).

თავი მეშვიდე

დაფუძნებულია თუ არა სიცოცხლე ფიზიკის კანონებზე?

თუ კაცს არასოდეს უარუყვია თავისი ნათქვამი, ესე იგი საერთოდ არასოდეს უთქვამს რაიმე.
მიგელ დე უნამუნო

7.1. ახალი კანონები სიცოცხლის ასახსნელად – რასაც ამ ბოლო თავში მინდა ნათელი მოვფინო მოკლედ არის ის, რომ ყველაფერი, რაც კი ვისწავლეთ ცოცხალი მატერიის სტრუქტურის შესახებ, გვაფიქრებინებს, რომ მისი მუშაობა ვერ დაიყვანება ფიზიკის ჩვეულებრივ კანონებზე. და ეს არა იმიტომ, რომ არსებობს რაღაც „ახალი ძალა“ ან სხვა რამ, რაც წარმართავს ცალკეული ატომის ქცევას ცოცხალ ორგანიზმში, არამედ იმიტომ, რომ მისი (ცოცხალი მატერიის) სტრუქტურა განსხვავდება ყველა დანარჩენისაგან, რაც კი აქამდე შეგვისწავლია ფიზიკის ლაბორატორიებში. უხეშად რომ ვთქვათ, ინჟინერი, რომელიც იცნობს მხოლოდ სითბურ ძრავებს, ელექტროძრავის დათვალეობების შემდეგ აღიარებს, რომ მისთვის ჯერ უცნობია, რა პრინციპით მუშაობს ეს ძრავი. ის აქ აღმოაჩენს სპილენძს, რომელიც მისთვის ნაცნობია სითბური ქვაბებიდან და აქ გამოყენებულია კოჭებად დახვეული გრძელი, გრძელი მავთულების სახით. რკინას, რომელიც ნაცნობია მისთვის ბერკეტებისა და ორთქლის ცილინდრების სახით, აქ კი სპილენძის მავთულით დახვეული კოჭის გულად არის გამოყენებული. იგი დარწმუნდება, და სამართლიანადაც, რომ ეს იგივე სპილენძი და იგივე რკინაა, რომლებიც ბუნების ერთი და იმავე კანონებს ემორჩილება. მაგრამ კონსტრუქციებს შორის განსხვავება საკმარისია საიმისოდ, რომ მოველოდეთ ფუნქციონირების სრულიად განსხვავებულ პრინციპს. ამიტომ ჩვენი ინჟინერი არ იფიქრებს, რომ ელექტროძრავა მოძრაობაში მოჰყავს სულს და რომ მისი ამუშავება შეიძლება ჩამრთველის ერთი გადატრიალებით ბოილერისა (ქვაბის) და ორთქლის გარეშე.

7.2. ვითარება ბიოლოგიაში – ორგანიზმის სიცოცხლის ციკლის განმავლობაში მოვლენების განვითარება ავლენს გასაოცარ რეგულარობასა და მოწესრიგებულობას, რასაც არაცოცხალ ბუნებაში ტოლი არ მოეძებნება. ჩვენ აღმოვაჩინეთ, რომ ორგანიზმი იმართება უმაღლეს დონეზე მოწესრიგებული ატომების ჯგუფის მიერ, რომელიც ყოველი უჯრედის მხოლოდ ძალიან მცირე ნაწილს შეადგენს. უფრო მეტიც, მუტაციის მექანიზმის შესახებ ჩვენი თვალსაზრისიდან გამომდინარე ვასკვნით, რომ ჩანასახის უჯრედის „მმართველი ატომების“ ჯგუფში მხოლოდ რამდენიმე ატომის გადაადგილებაც კი საკმარისია, რომ ამან გამოიწვიოს მემკვიდრული თვისებების სრულიად განსაზღვრული ფართომასშტაბიანი ცვლილებები.

ეს, ალბათ, ყველაზე საინტერესო ფაქტებია იმათ შორის, რომლებიც მეცნიერებამ ჩვენს დროში აღმოაჩინა. ახლა, ყოველ შემთხვევაში, ჩვენც აღარ გვეჩვენება ისინი ასე მთლად დაუჯერებლად. ორგანიზმის გასაოცარი უნარი, რომ მიიზიდოს „მოწესრიგებულობის ნაკადი“ და ამით აიცილოს თავიდან ატომური ქაოსის მდგომარეობაში გადასვლა, უნარი – „შესვას მოწესრიგებულობა“ შესაფერისი გარემოდან, როგორც ჩანს, დაკავშირებული უნდა იყოს „აპერიოდული მყარი სხეულებს“ – ქრომოსომის მოლეკულების – არსებობასთან. ეს უკანასკნელი, ჩვენთვის ცნობილი სისტემებიდან, უეჭველია, წარმოადგენს, უმაღლესი ხარისხით მოწესრიგებული ატომების ასოციაციებს, რომელთაც თითოეული ატომის და თითოეული რადიკალის ინდივიდუალური როლის გამო, რასაც ისინი ამ ასოციაციებში ასრულებენ, გააჩნიათ უფრო მაღალი მოწესრიგებულობა, ვიდრე ჩვეულებრივ პერიოდულ კრისტალებს. მოკლედ თუ ვიტყვით, ჩვენ მოწმე ვართ, რომ არსებული მოწესრიგებულობა ავლენს თავისი თავის შენარჩუნებისა და მოწესრიგებული მოვლენების წარმოშობის უნარს. ეს საკმაოდ დამაჯერებლად კი ჟღერს, თუმცა, უეჭველია, ჩვენ გამოვდივართ სოციალურ ორგანიზაციისა და სხვა მოვლენებისთვის დამახასიათებელი გამოცდილებიდან, რაც ორგანიზმების აქტივობას გულისხმობს და ამიტომ შეიძლება მოგვეჩვენოს, თითქოს შეკრული წრის მავგარი რამ გამოდის.

7.3. მოკლედ ფიზიკაში ვითარების შესახებ – რაც უნდა იყოს, მაინც კვლავ და კვლავ ხაზი უნდა გავუსვათ, რომ ასეთი ვითარება ფიზიკოსისათვის არა მხოლოდ არ არის წარმოუდგენელი, არამედ

უაღრესად ამაღლევებელიც კია, რადგან უპრეცედენტოა. ჩვეული წარმოდგენების საპირისპიროდ, ფიზიკის კანონებს დამორჩილებული მოვლენათა რეგულარული მსვლელეობა არასოდეს არ არის ერთი, კარგად მოწესრიგებული ატომების ჯგუფის შედეგი, თუ ეს ჯგუფი არ მეორდება ძალიან ბევრჯერ, ისე, როგორც პერიოდულ კრისტალში, ან როგორც ერთნაირი მოლეკულების დიდი რიცხვისაგან შედგენილ სითხესა ან აირში.

მაშინაც კი, როდესაც ქიმიკოსს საქმე აქვს ძალიან რთულ მოლეკულასთან *in vitro*, ის ყოველთვის აწყდება ერთნაირი მოლეკულების ურიცხვ რაოდენობას. სწორედ მათ ერთობლიობას უსადაგებს ის ქიმიის კანონებს. მას შეუძლია ვითხრათ, რომ, მაგალითად, გარკვეული რეაქციის დაწყებიდან ერთი წუთის შემდეგ მოლეკულების ნახევარი შევა რეაქციაში, ხოლო ორი წუთის შემდეგ რეაქციაში შევა მოლეკულების სამი მეოთხედი. თუმცა იქნება თუ არა რომელიმე კონკრეტული მოლეკულა, რომელსაც, დავუშვათ, შევიძლიათ თვალი მოადევნოთ, რეაქციაში შესულ ან ჯერ არშესულ მოლეკულებს შორის, ამის წინასწარმეტყველება არ შეუძლია. ეს წმინდა შემთხვევითობის საქმეა.

ეს მხოლოდ თეორიული მოსაზრება არაა. საქმე არც ისეა, რომ ჩვენ არასოდეს შეგვეძლოს დავაკვირდეთ ცალკეული ატომების მცირე ჯგუფს, ან თუნდაც ერთ ატომს – ზოგჯერ ეს შესაძლებელია. მაგრამ ყოველთვის, როცა ამას ვაკეთებთ, ჩვენ აღმოვაჩინებთ სრულ არარეგულარულობას, რომელიც, სხვა ასეთ მდგომარეობებთან ერთად, მხოლოდ საშუალოდ იძლევა რეგულარულ სურათს. ერთი ასეთი მაგალითი განვიხილეთ პირველ თავში. სითხეში ჩაძირული მცირე ნაწილაკის მოძრაობა სრულიად არარეგულარულია, მაგრამ ბევრი ასეთი ნაწილაკი, თავისი არარეგულარული მოძრაობით სათავეს უდებს რეგულარულ მოვლენას – დიფუზიას.

ცალკეული რადიოაქტიური ატომის დაშლა დაკვირვებადი მოვლენაა (ის ასხივებს ნაწილაკს, რომელიც იწვევს ხილულ სცინტილაციას ფლუორესცენციულ ეკრანზე). მაგრამ თუ მხოლოდ ერთი რადიოაქტიური ატომი გაქვთ, მისი ალბათური სიცოცხლის ხანგრძლივობა უფრო ნაკლებადაა განსაზღვრული, ვიდრე ჯანმრთელი ბელურის სიცოცხლის ხანგრძლივობა. მართლაც, ამის შესახებ ვერაფერს ვიტყვით გარდა იმისა, რომ სანამ ის არსებობს (ეს კი შეიძლება ათასი წელი გაგრძელდეს), ყოველ მომდევნო წამს მისი დაშლის ალ-

ბათობა, დიდია თუ მცირე, ყოველთვის ერთი და იგივეა. ინდივიდუალური განსაზღვრულობის ეს აშკარა არარსებობა მაინც გვაძლევს ერთი და იმავე ტიპის რადიოაქტიური ატომების დიდი რიცხვის დამზადების შესაძლებლობას ექსპონენციალურ კანონს.

7.4. გასაოცარი კონტრასტი – ბიოლოგიაში სრულიად სხვა ვითარება გვხვდება. ატომების ერთი ჯგუფი, რომელიც მხოლოდ ერთ ცალკე არსებობს, იწვევს ერთმანეთთან და გარემოსთან უფაქიზესი კანონების მიხედვით გასაოცრად შეწყობილ კანონზომიერ მოვლენებს. მე ვთქვი: მხოლოდ ერთ ცალკე არსებული- მეთქი, რადგან, ბოლოს და ბოლოს, ჩვენ გვაქვს კვერცხისა და ერთუჯრედიანი ორგანიზმის მაგალითი. მართალია, უმაღლესი ორგანიზმის განვითარების შემდგომ სტადიებზე ამ ცალკე ასლები მრავლდება, მაგრამ მაინც რამდენად? მე მგონი, დაახლოებით 1014-ით მოზრდილ ძუძუმწოვრებში. თუნდაც ასე იყოს! ეს რიცხვი მხოლოდ ერთი მემილიონედია მოლეკულების რიცხვისა, რომლებსაც ჰაერის ერთი კუბური დუიმი შეიცავს. თუმცა თითოეული ატომთა ჯგუფი შედარებით დიდია, ყველა ერთად სითხის ერთ პაწაწინა წვეთს თუ შეადგენდა. მაგრამ ერთი ნახეთ, როგორ არიან ისინი სინამდვილეში განაწილებული. ყოველი უჯრედი მხოლოდ ერთ მათგანს ითავსებს (ან ორს, თუ დიპლოიდურობას მივიღებთ მხედველობაში). რაკილა ჩვენთვის ცნობილია ის პრინციპული მნიშვნელობა, რაც ამ პაწაწინა აპარატს გააჩნია იზოლირებულ უჯრედში, ხომ არ მოგვაგონებენ ისინი ლოკალური მართვის სადგურებს, მთელ ორგანიზმში რომ არიან მიმოზნეულნი და ძალიან იოლად უკავშირდებიან ერთმანეთს ყველა მათგანისატვის საერთო კოდის წყალობით?

ეს მეტისმეტად ფანტასტიკური აღწერაა, რომელიც, იქნებ, პოეტს უფრო შეეფერება, ვიდრე მეცნიერს. თუმცაღა მოითხოვს არა პოეტურ წარმოსახვას, არამედ ნათელ და ფხიზელ მეცნიერულ გააზრებას იმისათვის, რომ მიხვდეთ: აქ აშკარად საქმე გვაქვს მოვლენებთან, რომელთა რეგულარულ და კანონზომიერ განვითარებას განაგებს ფიზიკის „ალბათური მექანიზმისაგან“ სრულიად განსხვავებული „მექანიზმი“. რამეთუ უბრალოდ ცნობილი ფაქტია, რომ თითოეულ უჯრედში წარმმართველი საწყისი მოთავსებულია ატომების ერთ გარკვეულ ასოციაციაში, რომელიც მხოლოდ ერთ (ან ზოგჯერ ორ) ცალკე არსებობს, და, ასევე ცნობილია, რომ ეს ასოციაცია იწ-

ვევს მოვლენებს, რომლებიც მოწესრიგებულობის სრულყოფილ ნიმუშს წარმოადგენენ. დაუჯერებლად მოგვეჩვენება თუ სრულიად ჩვეულებრივად ატომების მცირე, მაგრამ მაღალორგანიზებული ჯგუფისათვის დამახასიათებელი ასეთი უნარი, სულ ერთია, მაინც უპრეცედენტოა და ასეთს სხვაგან ვერსად შეხვდებით, გარდა ცოცხალი მატერიისა. არა ცოცხალი მატერიის შესწავლისას, ფიზიკოსი და ქიმიკოსი არასოდეს გამხდარან ისეთი მოვლენის მოწმე, რომელიც მათგან ასეთ ინტერპრეტაციას მოითხოვდეს. ასეთი შემთხვევა ჯერ არ ყოფილა და ამიტომ ჩვენი თეორია მას ვერ აღწერს – ჩვენი მშვენიერი სტატისტიკური თეორია, რომლითაც ასე სამართლიანად ვამაყობდით. მან ხომ საშუალება მოგვცა, ფარდის მიღმა დაგვენახა, თუ როგორ აღმოცენდება ზუსტი ფიზიკური კანონების მძლავრი წესრიგი ატომური და მოლეკულური მოუწესრიგებლობიდან. მან გამოავლინა, რომ ენტროპიის ზრდის უმნიშვნელოვანესი, უზოგადესი და ყოვლისმომცველი კანონი შეიძლება გავიგოთ სპეციალური დამგვების გარეშე *ad hoc*, რადგან ენტროპია სხვა არაფერია, თუ არა თვით მოლეკულური მოუწესრიგებლობა.

7.5. მოწესრიგებულ მდგომარეობაში გადასვლის ორი გზა – მოწესრიგებულობა, რომელსაც სასიცოცხლო პროცესებში ვხვდებით, სათავეს იღებს სხვადასხვა წყაროდან. აღმოჩნდა, რომ არსებობს მოწესრიგებული მოვლენების წარმოშობაში ორი სხვადასხვა „მექანიზმი“: „სტატისტიკური“, რომელიც „წესრიგს ქმნის მოუწესრიგებლობიდან“, და ახალი მექანიზმი, რომელიც „წესრიგს ქმნის წესრიგიდან“. მიუკერძოებელი აზრისათვის მეორე პრინციპი ბევრად უფრო მარტივი და სარწმუნოა. უეჭველია, ეს ასეც არის. ამიტომაც ამაყობდნენ ასე ფიზიკოსები პირველი პრინციპის – „წესრიგი მოუწესრიგებლობიდან“ მიგნებით, რასაც, ფაქტობრივად, ადგილი აქვს ბუნებაში და რაც დამოუკიდებლად ხსნის ბუნების მოვლენების ფართო წრეს, პირველ რიგში, მათ შეუქცევადობას. მაგრამ არ უნდა მოველოდეთ, რომ ამ პრინციპიდან გამოყვანილი „ფიზიკის კანონები“ საკმარისი იქნებოდა ცოცხალი მატერიის ყოფაქცევის ასახსნელად, რომლის ყველაზე უფრო საოცარი თვისებები ამკარად დაფუძნებულია პრინციპზე „წესრიგი წესრიგიდან“. არც იმის მოლოდინი უნდა გვქონდეს, რომ ორი სრულიად განსხვავებული მექანიზმი ერთსა და იმავე კანონამდე

მიგვიყვანს, ისევე, როგორც არ ელით, რომ თქვენი კარის გასაღები მეზობლის კარსაც გააღებს.

ამიტომ არ უნდა შეგვაცბუნოს ფიზიკის ჩვეულებრივი კანონებით სიცოცხლის მოვლენების ახსნის სირთულემ. რადგან ცოცხალი მატერიის სტრუქტურის შესახებ ჩვენი ცოდნიდან გამომდინარე, სწორედ ამას უნდა მოველოდეთ. ჩვენ მზად უნდა ვიყოთ, აღმოვაჩინოთ ცოცხალ მატერიაში გადაწყვეტი მნიშვნელობის მქონე ახალი ტიპის ფიზიკის კანონი. ან ხომ არ ვუწოდოთ ამ კანონს არაფიზიკური, ან სულაც, ზეფიზიკური კანონი?

7.6. ფიზიკისათვის უცხო არ არის ახალი კანონი – არა. ამას არ ვფიქრობ. ჩემი აზრით, აქ მოქმედი ახალი კანონი – ნამდვილი ფიზიკის კანონია. ეს რომ ავხსნათ, ცოტა შორს მოგვიწევს წასვლა და, შესწორება თუ არა, დაზუსტება მაინც, ჩვენი იმ აღრინდელი მტკიცებისა, რომ ფიზიკის ყველა კანონი დაფუძნებულია სტატისტიკაზე.

ამ დებულებას, კვლავ და კვლავ რომ მეორდებოდა, არ შეიძლება წინააღმდეგობა არ გამოეწვია, რადგან, მართლაც, არსებობს მოვლენები, რომელთა გამორჩეული თვისებები აშკარად პირდაპირ არის დაფუძნებული პრინციპზე „წესრიგი წესრიგიდან“ და, ჩანს, არაფერი აქვს საერთო სტატისტიკასთან ან მოლეკულურ მოუწესრიგებლობასთან.

მზის სისტემის წესრიგი, პლანეტათა მოძრაობა არსებობს თითქმის უსასრულო დროის განმავლობაში. თანავარსკვლავედი, ახლა რომ ვხედავთ, არსებობდა ეგვიპტის პირამიდების დროსაც. ჩვენ შეგვიძლია მისი მოძრაობის აღდგენა ამ მომენტიდან წარსულის იმ მომენტამდე და პირიქით. ისტორიულად შემონახული მზის დაბნელების თარიღები გამოითვალეს და აღმოჩნდა, რომ ისინი ახლოსაა ისტორიულ ჩანაწერებთან, ან, ზოგ შემთხვევაში, ამ გამოთვლების დახმარებით მოხდა ქრონოლოგიური ჩანაწერების შესწორება. ეს გამოთვლები არ საჭიროებს რაიმე სტატისტიკას, ისინი მთლიანად დაფუძნებულია ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონზე.

არც საათის ან მსგავსი მექანიზმის რეგულარულ მუშაობას აქვს რაიმე საერთო სტატისტიკასთან. მოკლედ, ყველა წმინდა მექანიკური მოვლენა, როგორც ჩანს, გარკვევით და პირდაპირ ემორჩილება პრინციპს „წესრიგი წესრიგიდან“. ხოლო სიტყვა „მექანიკური“ აქ ფართო აზრით უნდა გავიგოთ.

აქ მე მახსენდება მაქს პლანკის (*Max Planck*) საინტერესო პატარა ნაშრომი „დინამიკური და სტატისტიკური ტიპის კანონი“ (*„Dynamische und Statistische Gesetzmässigkeit“*). განსხვავება ამ ორი ტიპის კანონს შორის ზუსტად იმაშია, რასაც ჩვენ აქ ვუწოდებთ „წესრიგი წესრიგიდან“ და „წესრიგი მოუწესრიგებლობიდან“. ამ ნაშრომის მიზანი იყო ეჩვენებინა, როგორ შედგება დიდმასშტაბიანი მოვლენების წარმართველი საინტერესო სტატისტიკური კანონი, „დინამიკური“ კანონებისაგან, რომლებიც განაგებენ მცირემასშტაბიან მოვლენებს – ცალკეული ატომებისა და მოლეკულების ურთიერთქმედებას. ეს უკანასკნელი ილუსტრირებულია დიდი მასშტაბის მექანიკური მოვლენებით, როგორიცაა პლანეტების მოძრაობა, ან საათის მუშაობა და ა. შ. ამრიგად, აღმოჩნდა, რომ „ახალი“ პრინციპი, „წესრიგი წესრიგიდან“, რაც ჩვენ დიდი ამბით წამოვაცენეთ, როგორც სიცოცხლის გაგების გასაღები, სრულიადაც არ არის ახალი ფიზიკისათვის. პლანკის მიდგომა მის პრიორიტეტსაც კი იცავს. როგორც ჩანს, ჩვენ მივდივართ სასაცილო დასკვნამდე: სიცოცხლის გაგების გასაღები არის ის, რომ ის წმინდა მექანიკურია „საათის მექანიზმით“ იმ აზრით, რასაც პლანკის ნაშრომი დებს მასში. დასკვნა სახუმარო არაა და, ჩემი აზრით, არც მთლად მცდარი, თუმცა ძალიან დიდი სიფრთხილით კი უნდა მოვეკიდოთ.

7.7. საათის მუშაობა – მოდით, დაწვრილებით გავაანალიზოთ რეალური საათის მუშაობა. ეს სრულებითაც არ არის წმინდა მექანიკური მოვლენა. წმინდა მექანიკურ საათს არც ზამბარა დასჭირდებოდა და არც მომართვა. ერთხელ ამუშავებული, არასოდეს გაჩერდებოდა. რეალური საათი ზამბარის გარეშე ქანქარის რამდენიმე მოძრაობის შემდეგ ჩერდება, მისი მექანიკური ენერგია სითბოდ იქცევა. ეს უსასრულოდ რთული ატომისტური პროცესია. ამის შესახებ შექმნილი ზოგადი წარმოდგენა ფიზიკოსს აიძულებს დაუშვას, რომ უკუპროცესი არ არის სრულიად შეუძლებელი: უზამბარო საათი შეიძლება უეცრად ამუშავდეს მისი კბილანა ბორბლებისა და გარემოს სითბური ენერგიის ხარჯზე. ამ შემთხვევაში ფიზიკოსს უნდა ეთქვას: საათი განიცდის იშვიათი ინტენსიურობის ბროუნის მოძრაობის „მოზღვავებას“. მეორე თავში ჩვენ ვნახეთ, რომ ძალიან მგრძობიარე გრენხითი სასწორის (ელექტრომეტრი ან გალვანომეტრი) შემ-

თხვევაში ასეთი რამ გამუდმებით ხდება. საათის შემთხვევაში ამის ალბათობა, რასაკვირველია, უსასრულოდ მცირეა.

მივაკუთვნებთ თუ არა საათის მუშაობას დინამიკური სტატისტიკური ტიპის კანონზომიერ მოვლენას (პლანკის გამოთქმას თუ გამოვიყენებთ), ეს ჩვენს მიდგომაზეა დამოკიდებული. თუ მას დინამიკურ მოვლენას ვუწოდებთ, ყურადღებას გავამახვილებთ რეგულარულ სვლაზე, რაც შეიძლება უზრუნველყოს შედარებით სუსტმა ზამბარამ, რომელიც გადალახავს სითბური მოძრაობის მცირე შემფოთებებს, რის გამოც შეიძლება ისინი არ მივიღოთ მხედველობაში. მაგრამ, თუ გავიხსენებთ, რომ ზამბარის გარეშე საათის მუშაობა თანდათან შენელება ხახუნის გამო, მივხვდებით, რომ ეს პროცესი შეიძლება გავიანზოთ, როგორც მხოლოდ სტატისტიკური მოვლენა.

რა უმნიშვნელოც არ უნდა იყოს ხახუნისა და გათბობის ეფექტები პრაქტიკული თვალსაზრისით საათის მუშაობაში, ეჭვი არ არის, რომ მეორე მიდგომა, რომელიც არ უგულებელყოფს ამ ეფექტებს, არის უფრო საფუძვლიანი მაშინაც კი, თუ საქმე გვაქვს ასეთი საათის რეგულარულ მუშაობასთან, რომელიც ზამბარის დახმარებით მოდის მოძრაობაში. რამეთუ არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ამძრავი მექანიზმი სინამდვილეში გამოირიცხავს პროცესის სტატისტიკურ ბუნებას. რეალური ფიზიკური სურათი უშვებს იმის შესაძლებლობასაც, რომ მომუშავე საათს შეუძლია, უკან დაბრუნდეს და თვითონ მომართოს საკუთარი ზამბარა გარემოს სითბოს ხარჯზე. ეს მოვლენა კიდევ უფრო ნაკლებ მოსალოდნელია, ვიდრე „ბროუნის მოზღვავება“ საათში, რომელსაც ამძრავი მექანიზმი არ გააჩნია.

7.8. საათის მექანიზმის მუშაობა საბოლოო ანგარიშით სტატისტიკური ბუნებისაა – მოდით, ისევ გადავხედოთ ზემოთ ნათქვამს. „მარტივი“ შემთხვევა, ჩვენ რომ გავაანალიზებთ, ტიპური ნიმუშია ბევრი სხვა შემთხვევისა, რომლებიც თითქოს არ ემორჩილებიან მოლეკულური სტატისტიკის ყოვლისმომცველ პრინციპებს. რეალური ფიზიკური მასალით (იდეალურის საპირისპიროდ) დამზადებული საათის მექანიზმები არ არის „ნამდვილი საათის მექანიზმები“. შემთხვევითობის ელემენტები შეიძლება მეტ-ნაკლებად შევამციროთ. იმის ალბათობა, რომ საათი უეცრად მთლიანად არასწორად ამუშავდეს, შეიძლება უსასრულოდ მცირე იყოს, მაგრამ ეს ალბათობა მაინც არსებობს. ციური სხეულების მოძრაობაშიც კი შეუქცევადია ხახუნ-

სა და სითბური მოძრაობის გავლენა. მაგალითად, დედამიწის ბრუნვა თანდათანობით ნელდება მოქცევის ხახუნის გამო, ხოლო ამასთან ერთად მთვარე თანდათანობით შორდება დედამიწას, რაც არ მოხდებოდა, დედამიწა სრულიად მყარი მბრუნავი სფერო რომ ყოფილიყო.

მიუხედავად ამისა, ფაქტია, რომ „რეალური საათის მექანიზმები“ ცხადად ავლენს ძალიან გამოკვეთილ თვისებებს, რომლებიც შესატყვისებიან პრინციპს „წესრიგი წესრიგიდან“. ეს სწორედ ის თვისებებია, ასე რომ ააღელვა ფიზიკოსი, როდესაც მათ გამოვლინებას წააწყდა ორგანიზმში. როგორც ჩანს, მოსალოდნელია, რომ ამ ორ შემთხვევას საბოლოოდ რაღაც საერთო აღმოაჩნდეს. ახლა ვნახოთ, რა არის ეს საერთო და რა არის ის საოცარი განსხვავება, რომლის გამოც ცოცხალი ორგანიზმი წარმოგვიდგება, როგორც სრულიად ახალი და უპრეცედენტო შემთხვევა.

7.9. ნერნსტის თეორემა – როდის ემორჩილება ფიზიკური სიტუმა – ატომების ნებისმიერი სახის ასოციაცია– „დინამიკურ კანონს“ (პლანკის გავებით), ანუ როდის ამჟღავნებს „საათის მექანიზმის“ მსგავს თვისებებს? ამ კითხვაზე კვანტური მექანიკა გვაძლევს ძალიან მოკლე პასუხს: აბსოლუტური ნულის ტემპერატურაზე – როგორც კი ტემპერატურის ნულთან მიახლოებისას მოლეკულური მოუწესრიგებლობა ვეღარ ახდენს გავლენას ფიზიკურ მოვლენებზე. ეს ფაქტი, სხვათა შორის, არ იყო აღმოჩენილი თეორიულად. ის აღმოჩენილი იქნა ტემპერატურათა ფართო ინტერვალში ქიმიური რეაქციების გულდასმით შესწავლითა და მიღებული შედეგების ექსტრაპოლაციით ფაქტობრივად მიუწვდომელ ნულოვან ტემპერატურაზე. სწორედ ეს არის ვალტერ ნერნსტის (Walther Nernst) ცნობილი „სითბური თეორემა“, რომელსაც ხანდახან, არცთუ უსაფუძვლოდ, უწოდებენ „თერმოდინამიკის მესამე კანონს“ (პირველი არის ენერჯის კანონი, მეორე – ენტროპიის პრინციპი).

კვანტური თეორია ნერნსტის ემპირიული კანონის რაციონალური დაფუძნება საშუალებას იძლევა, განისაზღვროს, რამდენად ახლოს უნდა მივიდეს სისტემა აბსოლუტურ ნულთან, რომ „დინამიკურ“ ყოფაქცევას მიუახლოვდეს. რა ტემპერატურაა ყოველ კერძო შემთხვევაში პრაქტიკულად ნულის ეკვივალენტური?

არ იფიქროთ, რომ ეს ყოველთვის უნდა იყოს ძალიან დაბალი

ტემპერატურა. მართლაც, ნერნსტის აღმოჩენას ხელი შეუწყო იმ ფაქტმა, რომ ბევრ ქიმიურ რეაქციაში ოთახის ტემპერატურაზეც კი ენტროპია თამაშობს საოცრად უმნიშვნელო როლს (გავიხსენოთ, რომ ენტროპია არის მოლეკულური მოუწესრიგებლობის პირდაპირი, უფრო ზუსტად – მისი ლოგარითმის ზომა).

7.10. ქანქარიანი საათი პრაქტიკულად ტემპერატურის ნულზე იმყოფება – რა შეიძლება ითქვას ქანქარიან საათზე? ქანქარიანი საათისათვის ოთახის ტემპერატურა პრაქტიკულად ნულის ეკვივალენტურია. ეს არის მიზეზი, რომ ის „დინამიკურად“ მუშაობს. ასევე გააგრძელებს მუშაობას ქანქარიანი საათი, თუ მას გააციებთ (იმ პირობით, რომ მექანიზმს ზეთს მოაშორებთ), მაგრამ შეწყვეტს მუშაობას, თუ ოთახის ტემპერატურაზე მეტად გაათბობთ, რადგან ბოლოს და ბოლოს გადნება.

7.11. მსგავსება საათის მექანიზმსა და ცოცხალ ორგანიზმს შორის – რასაც ეხლა ვიტყვით, ძალიან ტრივიალურად გამოიყურება, მაგრამ, ვფიქრობ, სწორედ მიზანში ხვდება. საათის მექანიზმები მუშაობს „დინამიკურად“, რადგან დამზადებულია მყარი სხეულებისაგან, რომლებიც საკმარისად მტკიცედ ინარჩუნებენ ფორმას ლონდონ-ჰაიტლერის ძალებით საიმისოდ, რომ გაუძლონ სითბური მოძრაობით გამოწვეულ ქაოტიზაციის ტენდენციას ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე.

ახლა, ვფიქრობ, კიდევ ორიოდე სიტყვაა საჭირო საათის მექანიზმსა და ცოცხალ ორგანიზმს შორის მსგავსების საჩვენებლად. ეს ადვილია და მხოლოდ იმას გულისხმობს, რომ ეს უკანასკნელიც ასევე მყარ სხეულზეა დამოკიდებული – აპერიოდულ კრისტალზე, რაც ქმნის მოუწესრიგებელი სითბური მოძრაობის გავლენისაგან თავისუფალ მემკვიდრეობითობის მატარებელ სუბსტანციას. მაგრამ, გთხოვთ, ნუ ჩამითვლით დანაშაულად, რომ ქრომოსომულ ბოჭკოებს „ორგანული მანქანის კბილანები“ ვუწოდებ, და იმ ღრმა თეორიებს მიმართეთ, საიდანაც ეს შედარება წარმოდგება. ვინაიდან, მართლაც, დიდი მჭერმეტყველება არაა საჭირო ამ ორ სისტემას შორის ფუნდამენტური განსხვავების აღსანიშნავად და ეპითეტების „ახალი“ და „უპრეცედენტოს გასამართლებლად ბიოლოგიური სისტემის შემთხვევაში. განსაკუთრებით საოცარი განმასხვავებელი თვისებებია:

პირველი, „კბილანების“ საინტერესო განაწილება მრავალუჯრედიან ორგანიზმში, რაც, ცოტა არ იყოს, პოეტურად იყო აღწერილი 7.4 პარაგრაფში, და, მეორე, რომ არც ერთი ეს „კბილანა“ არ არის ადამიანის უხეში ნახელავი – თითოეული მათგანი უდახვეწილესი შედეგია, რაც კი ოდესმე შექმნილა ღვთიური კვანტური მექანიკის კანონების მიხედვით.

1. *Homo liber nulla de re minus quam de morte cogitat; et ejus sapientia non mortis sed vitae meditatio est.*
S p i n o z a ' s Ethics, Pt IV, Prop. 67.
2. *Cogito ergo sum. Descartes*
3. ეს მტკიცება შეიძლება ცოტა ზედმეტად ზოგადი ჩანდეს. ამაზე მსჯელობა წიგნის ბოლოსათვის უნდა გადავდოთ.
4. ეს თვალსაზრისი ხაზგასმულია ფ. გ. დონანის (F. G. Donnan) ყველაზე შთამაგონებელ ორ ნაშრომში, *Scientia, XXIV, no. 78 (1918), 10Scientia, XXIV, no. 78 (1918), 10* (*‘La science physico-chimique décrit-elle d’une façon adéquate les phénomènes biologiques?’*); *Smithsonian Report for 1929, p. 309* (*‘The mystery of life’*).
5. რა თქმა უნდა, თქვენ ზუსტად 100-ს ვერ აღმოაჩენდით (ასეთიც რომ ყოფილიყო გამოთვლის ზუსტი შედეგი). თქვენ შეიძლება აღმოაჩინოთ 88, ან 95, ან 107 ან 112 მოლეკულა, მაგრამ ძალიან არააღბათურია, რომ აღმოაჩინოთ 50 ან 150. გადახრა ანუ ფლუქტუაცია მოსალოდნელია 100-დან კვადრატული ფესვის რიგისა, ე. ი. 10. სტატისტიკოსი ამას შემდეგნაირად გამოხატავს: თქვენ შეგიძლიათ აღმოაჩინოთ 100 ± 10 მოლეკულა. ეს შენიშვნა შეიძლება ახლა არ მივიღოთ მხედველობაში, მაგრამ მას მოგვიანებით ისევ მოვუხმობთ, როგორც სტატისტიკური \sqrt{n} -ის კანონის მაგალითს.
6. დღევანდელი წარმოდგენით ატომს არ გააჩნია მკვეთრი საზღვრები, ასე რომ ატომის „ზომა“ ძალიან მკაფიოდ დადგენილი ცნება არ არის. მაგრამ ჩვენ შეიძლება ის გავაიგივოთ (ან, თუ გნებავთ, შევცვალოთ) ატომების ცენტრებს შორის მანძილთან მყარ სხეულში ან სითხეში და, რა თქმა უნდა, არა გაზში, სადაც ეს მანძილი, ნორმალური წნევისა და ტემპერატურის პირობებში, დაახლოებით ათჯერ დიდია.
7. *as Sein ist ewig; denn Gesetze*

*ewahren die lebend'gen Schätze,
us welchen sich das All geschmückt.*

Goethe

8. სიტყვა „ქრომატინი“ ნიშნავს „სუბსტანციას, რომელიც ფერს იღებს“, კერძოდ, სუბსტანციას გარკვეული შეფერადების პროცესში, რაც გამოიყენება მიკროსკოპიის ტექნიკაში.
9. შროდინგერს ტექსტში უწერია, რომ ადამიანს 48 ქრომოსომა აქვს, რაც თანამედროვე მონაცემებით სწორი არ არის, და თარგმანში შეცვლილია სწორი რაოდენობით – 46-ით (რედ.).
10. *Und was in schwankender Erscheinung schwebt,
Befestiget mit dauernden Gedanken.*

Goethe

11. როგორც ეს ჩვენ შემოვიტანეთ (იხ. წინა პარაგრაფის ბოლო აბზაცი).
12. ქვედა ზღვარი, რადგან ეს სხვა პროცესები იონიზაციის გაზომვის მიღმა რჩება, მაგრამ შეიძლება ეფექტური იყოს, მუტაციის გამომწვევის თვალსაზრისით.
13. *Nachr. a. d. Biologie d. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1(1935), 189.*
14. *Und deines Geistes höchster Feuerflug
Hat schon am Gleichnis, hat am Bild genug.
GOETHE (And thy spirit's fiery flight of imagination acquiesces in an
image, in a parable).*
15. რომელმაც, როგორც ფიზიკოსებს ახსოვთ, ამ ოცდაათი წლის წინ დეტალურად დაგვანახა კრისტალის ატომური მესრის სტრუქტურა.
16. მე აქ მიყვები იმ სურათს, რაც, ჩვეულებრივ, საკითხის პოპულარული გადმოცემისას არის მიღებული და რაც საკმარისია ჩვენი მიზნებისათვის. მაგრამ ჩემი სინდისი სუფთა ვერ იქნება ამ მოხერხებული გამარტივების დამკვიდრებით. ნამდვილი სურათი ბევრად უფრო რთულია, რამდენადაც ის მოიცავს შემთხვევით განუსაზღვრელობას იმ მდგომარეობისთვის, რომელშიც სისტემა იმყოფება.
17. *Zeitschrift für Physik, Chemie (A), Haber-Band (1928), p. 439.*
18. k არის რიცხვი, რომელიც ბოლცმანის მუდმივის სახელითაა ცნობილი; $3/2kT$ კი არის აირის ატომის საშუალო კინეტიკური ენერჯია T ტემპერატურაზე.
19. *Sane sicut lux seipsam et tenebras manifestat, sic veritas norma sui et falsi est.* 19. *Spinoza, Ethics, Pt. II, Prop. 43* (ჭეშმარიტად, როგორც სინათლე ავლენს თავის თავსაც და წყვილადსაც, ასევე ჭეშმარიტება არის საზომი თავისი თავისაც და არაჭეშმარიტისაც).

20. *Nec corpus mentem ad cogitandum, nec mens corpus ad motum, neque ad quietem, nec ad aliquid (si quid est) aliud determinare potest Spinoza, Ethics, Pt. III, Prop. 2.* (ვერც სხეული ჩააგონებს გონებას ფიქრისათვის, ვერც გონება აამოძრავებს სხეულს, ან დატოვებს უძრავად, ან რაიმე სხვად (თუ კი ასეთი რამ არის).
21. ეს სრულიად ზოგადი მტკიცებულება ფიზიკის კანონების შესახებ შეიძლება ძალიან საკამათოდ ჩანდეს. ეს საკითხი მეშვიდე თავში იქნება განხილული.
22. *Si un hombre nunca se contradice, será porque nunca dice nada.* (თუ კაცი არასოდეს შეწინააღმდეგებია თავის ნათქვამს, ამის მიზეზი ის უნდა იყოს, რომ მას არც არასოდეს უთქვამს რაიმე). *Miguel De Unamuno (quoted from conversation).*

