

კონს. ქვათაძე

**ქიბერნეტიკა და ფიზიკის ზოგიერთი
ცნების შინაარსის ოპტიმალური
გაგება-სწავლება**

(დაპროგრამებული სწავლების საკითხები)

53(07)

371.3:62—50 + 53(077)

ქ44

ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ ფიზიკის ზოგიერთი ცნების შინაარსის გაგებასა და სწავლებაში არის აზრთა მნიშვნელოვანი სხვადასხვაობა, რაც აფერხებს როგორც ამ ცნებათა მეცნიერული შინაარსის დადგენას, ისე მათ სწავლებას; კიბერნეტიკის ძირითადი მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ნაშრომში მოცემულია რეკომენდაციები, რომელთა მიზანია ხელი შეუწყოს როგორც განხილული ცნებების შინაარსის დადგენის, ისე მათი სწავლების ოპტიმიზაციას.

შესავალი

თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის განსაცვიფრებელი მიღწევები და კიდევ უფრო გრანდიოზული პერსპექტივები ცხადყოფს, რომ ადამიანის გონებას კაცობრიობის საკეთილდღეოდ შეუძლია დაიმორჩილოს არა მარტო ჩვენი პლანეტა, არამედ კოსმოსიც. ვიდრე გაქრებოდა ატომური ენერჯის აღმოჩენითა და გამოყენებით გამოწვეული გაოცება, ფიზიკოსთა, ასტროფიზიკოსთა და მეცნიერების სხვა დარგის წარმომადგენელთა ყურადღება მიიპყრო ცალკეულ მძლავრი რადიოგალაქტიკებიდან გამოსხივებული მაგნიტური ველებისა და კოსმიური სხივების უზარმაზარმა ენერჯიამ, რომლის წყარო, როგორც ი. ზელდოვიჩი და ი. ნოვიკოვი [71], რ. ოპენჰეიმერი, ვ. ამბარცუმიანი, დ. ივანენკო, დ. კურდლეაიძე და სხვა მეცნიერები ფიქრობენ, უნდა იყოს არა დღემდე უკვე კარგად ცნობილი თერმობირთვული რეაქციები, არამედ ბევრად უფრო მძლავრი, მეცნიერებისათვის ჯერ კიდევ უცნობი რომელიღაც პროცესები.

მეცნიერებისა და ტექნიკის სწრაფი განვითარება განაპირობებს მეცნიერების მთელი რიგი ახალი დარგების შექმნას. კოლოსალურად იზრდება და ფართოვდება სამყაროს შემეცნებისადმი მიძღვნილი მეცნიერული ლიტერატურა.

ყოველივე ეს ახალ პრობლემებს აყენებს პედაგოგიკის წინაშე. როგორც ცნობილია, აღზრდა-განათლებისათვის განკუთვნილ დროს მნიშვნელოვნად ვერ გავადიდებთ, მეცნიერული ლიტერატურის მარაგი კი განუწყვეტლივ მატულობს. ისმება კითხვა: როგორ ამოვკრიფოთ არსებული მეცნიერული ლიტერატურიდან ინფორმაციის მნიშვნელობის მქონე მეცნიერული მასალა და შემსწავლელთ აღზრდა-განათლებისათვის განკუთვნილ დროში როგორ მივაწოდოთ დაგროვილი ცოდნის ის აუცილებელი მარაგი, რომელიც ოპტიმალურად უზრუნველყოფს მეცნიერების, ტექნიკისა და კულტურის შემდგომ ინტენსიურ პროგრესს? სხვა ამოცანების გადაჭრასთან ერთად ამ პრობლემის წარმატებით გადაწყვეტა მოითხოვს სწავლების

მეცნიერული დონის შემდგომ ამაღლებას. ასაკის თავისებურებათა გათვალისწინებით საჭიროა მოინახოს სასწავლო საგნების ისეთი სტრუქტურა და სწავლების მეთოდი, რაც საშუალებას მოგვცემს მინიმალური დროისა და ენერჯიის დახარჯვით მივაწოდოთ მოსწავლეს ის დადებითი ცოდნა, რომელიც მოცემულ საგანში მიღწეულია შემეცნების განვითარების ალბულ ეტაპზე. ფიზიკის სწავლების მეცნიერული დონის შემდგომი ამაღლება დიდად არის დამოკიდებული ფიზიკის ცნებათა შინაარსის სწორად დადგენასა და მისი სწავლების შემდგომ გაუმჯობესებაზე.

ცნებები ადამიანს ესმარება ობიექტური სამყაროს შეცნობაში. სასკოლო კურსში ცნებების სწავლების ერთ-ერთი ძირითადი მიზანია მიიყვანოს მოსწავლეები სასწავლო პროგრამით გათვალისწინებული მოვლენებისა და საგნების ზოგადი და არსებითი მხარეების შეცნობამდე. ფიზიკის ცნებათა შინაარსის ოპტიმალურად სწავლებას კიდევ უფრო დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ახლა, როცა პედაგოგიაში ფეხს იკიდებს კიბერნეტიკული მეთოდები. კიბერნეტიკის თვალსაზრისით სწავლების პროცესის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სწავლება მართვადი პროცესია, სწავლების ოპტიმალური მართვისათვის კი პედაგოგიური, ფსიქოლოგიური და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებასთან ერთად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ინფორმაციის თვალსაზრისით ცნებათა შინაარსის ისეთ გაშუქებას, რომელიც ყველაზე სწორად წარმოგვიდგენს ამა თუ იმ ცნებით გამოხატულ ობიექტური რეალობის მხარეს.

ძნელად შეიძლება მოინახოს მეცნიერების, ტექნიკის და, საერთოდ, ცხოვრების რომელიმე სფერო, სადაც არ იყენებდნენ ძალის, მუშაობისა და ენერჯიის ცნებებს. ამ ცნებათა შინაარსის დადგენისა და სწავლების ფუნქცია ძირითადად ფიზიკას აქვს დაკისრებული, მათი სწავლება საშუალო სკოლის ფიზიკის კურსში იწყება.

ძალის, მუშაობის, ენერჯიის და მათთან დაკავშირებული ცნებების შინაარსის დადგენა ფიზიკის ფილოსოფიურ საკითხთა რიცხვს განეკუთვნება. ფილოსოფიაში, როგორც მარქსიზმ-ლენინიზმი გვასწავლის, ძირითადად ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმდინარეობაა: ერთი — მეცნიერულ-მატერიალისტური, ხოლო მეორე — მისტიკურ-იდეალისტური. მეცნიერული მიმდინარეობა გამოდის იმ მოსაზრებიდან, რომ ბუნებაში არაფერია „ზებუნებრივი“, რომ სამყაროს მრავალფეროვანი მოვლენები წარმოადგენენ მატერიის მოძრაობის ფორმათა სხვადასხვა გამოვლინებას, რომ ადამიანი თანდათან უკეთ შეიცნობს და იმორჩილებს ბუნებას, რითაც უზრუნველყოფს სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობას. მისტიკური მიმდინარეობის წარმომადგენლები პესიმიისტურად არიან განწყობილი ადა-

მიანის გონების შესაძლებლობისადმი, რის გამოც უშვებენ რაღაც „ზებუნებრივის“ არსებობას, რომელიც თითქოს განაპირობებს და მართავს სამყაროში მიმდინარე მრავალფეროვან მოვლენებს. ისინი ამ „ზებუნებრივის“ ზოგჯერ აშკარად, ზოგჯერ კი შეფარვით მეცნიერების განვითარების აღებულებით დონისათვის აუხსნელი მოვლენის მიზეზად გულისხმობენ.

როგორც ცნობილია, მისტიციზმი თავის ერთ-ერთ ყველაზე საიმედო დასაყრდენად თვლიდა იმას, რომ არ შეიძლებოდა მეცნიერული თვალსაზრისით აგვეხსნა ადამიანის გონებაში მიმდინარე პროცესები. ამჟამად, თანამედროვე ტექნიკასა და მეცნიერულ პროგრესზე დაყრდნობით, კიბერნეტიკამ ნათელყო, რომ ადამიანის გონებაში მიმდინარე პროცესები არათუ შეუძნობადია, არამედ შეიძლება მათი მანქანური მოდელირებაც კი, და ამით მისტიციზმს ყველაზე საიმედო საფუძველი გამოაცალა.

ცნობილია ისიც, რომ მექანიკური მატერიალიზმი თავისი მექანიკურობის გამო ჩიხში მოექცა. მატერიალიზმის მოწინააღმდეგეები შეეცადნენ ეს გარემოება თვით მატერიალიზმის უარსაყოფად გამოეყენებინათ და დაიწყეს იდეალიზმის სხვადასხვა ფორმით აღორძინება. XIX საუკუნის ბოლოს სწორედ ამ ნიადაგზე წარმოიშვა იდეალიზმის ერთ-ერთი ნაირსახეობა — ენერგეტიზმი, რომელმაც მატერიალური სუბსტანციის მაგიერ პირველადად გამოაცხადა რაღაც „არამატერიალისტური არსება“, „ენერგია-სუბსტანცია“, რაც, ანერგიული მეცნიერის ბრაიტმენის აღიარებით, სხვა არაფერია, თუ არა „ღმერთის ნება მოქმედებაში“.

უკანასკნელ ხანს საბჭოთა ფილოსოფიურ და ფიზიკურ ლიტერატურაში მითითებული იყო, რომ ენერგეტიზმი თანამედროვე „ფიზიკური იდეალიზმის“ ყველაზე უფრო აქტიური და მებრძოლი სახესხვაობა გახდა. ენერგეტიზმისა და სხვა იდეალისტურ მიმდინარეობათა (პოზიტივიზმი, ნეოპოზიტივიზმი, ოპერაციონალიზმი, პრაგმატიზმი და სხვ.) გავლენა აფერხებს ძალის, მუშაობის, ენერჯისა და მათთან დაკავშირებული ცნებების ნამდვილი მეცნიერული შინაარსის გარკვევას, რის გამოც ამ ცნებათა სწავლება ფორმალური ხასიათისაა და მოსწავლეს ვერ ეხმარება მოვლენების იმ არსებით მხარეთა შეცნობაში, რომელთა გამოსახატავადაც ეს ცნებებია განკუთვნილი, ხელს უშლის სწავლებაში მართვის პროცესის წარმატებით განხორციელებას და სხვ. წინამდებარე ნაშრომის მიზანია ხელი შეუწყოს ამ ნაკლოვანებათა გამოსწორებას.

პედაგოგიურმა ექსპერიმენტებმა დაგვარწმუნა, რომ ფიზიკურ ცნებათა შინაარსის აქ მოცემული ნიმუშების მიხედვით სწავლება მნიშვნელოვნად ზრდის მოსწავლეთა აქტივობას, ადვილად მისაწვ-

დომს ხდის ფიზიკურ მოვლენათა იმ მხარეების შეცნობას, რომელთათვისაც განკუთვნილია ძალის, მუშაობის, ენერჯის და მათთან დაკავშირებული სხვა ცნებები, ხელს უწყობს მეცნიერული შეხედულებების ფორმირებას, კერძოდ, მოსწავლეები რწმუნდებიან იმაში, რომ სამყარო მატერიალურია, იგი მუდმივ მოძრაობაშია, მოძრაობა შეუქმნადი და მოუსპობადია. საგნები და მოვლენები განუწყვეტელ ურთიერთკავშირშია, ბუნების მრავალფეროვანი მოვლენები მოძრავი მატერიის სხვადასხვა გამოვლინებებს წარმოადგენენ, ძალა, მუშაობა და ენერჯია რაიმე „არსებანი“ კი არ არიან, არამედ მოძრავი მატერიის სხვადასხვა მხარეების გამომხატველი ცნებებია და ა. შ.

ცნებათა სწავლებაში დასახული დევიზის თანმიმდევრული გატარება შესაძლებლობას იძლევა აგრეთვე მოინახოს ფიზიკის სასწავლო საგნის ისეთი ალგორითმული სტრუქტურა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს: 1. მინიმალური დროისა და ენერჯის დახარჯვით მივაწოდოთ შემსწავლელს ფიზიკის ცნებათა შესახებ არსებული მეცნიერული ცოდნა, 2. მიწოდებულმა ცოდნამ ოპტიმალურად შეუწყოს ხელი არა მარტო შემეცნებითი პროცესის უკეთ წარმართვას, არამედ პრაქტიკის მოთხოვნილებათა საფუძველზე წამოჭრილი საკითხების წარმატებით გადაწყვეტასაც, 3. ალგორითმული სტრუქტურის თავისებურების გამო მიღებული ცოდნა ხანგრძლივად რჩება მეხსიერებაში, ხოლო დავიწყებისას ადვილად შეიძლება აღდგენილ იქნეს.

მოწინავე პედაგოგებსა და მეთოდისტებთან აზრთა წინასწარმა გაზიარებამ დაგვანახვა, რომ თუ ნაშრომის მნიშვნელოვანი ნაწილი დავას არ იწვევს, ზოგიერთი საკითხი, კერძოდ, ძალის, მუშაობისა და ენერჯის არსებული განმარტებების შეცვლა აქ მოცემული, მეცნიერულად უდავოდ გამართლებული, განმარტებებით ზოგერთ სპეციალისტს ნაადრევად მიაჩნია. იან. სმოროდინსკის სიტყვით რომ ვთქვათ, ეს ასეც უნდა იყოს, „ახალი იდეები დასაწყისში ყოველთვის მცირერიცხოვან მომხრეებს პოულობენ და მხოლოდ თანდათანობით ხდებიან ჩვეულებრივი“ [140, გვ. 9]. ამჟამად მოქმედ სახელმძღვანელოებში მოცემულ განმარტებებთან აღნიშნულ ცნებათა ჩვენი განმარტებების უბრალო დაპირისპირებაც კი ცხადყოფს მათ შედარებით სიმარტივესა და მისაწვდომობას, მაგრამ იმის გამო, რომ ისინი მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ძველისაგან, ზოგიერთი სპეციალისტი გადაჭარბებული სიფრთხილისაკენ მოგვიწოდებს.

ჩვენი ნაშრომი განკუთვნილია არა ამჟამად მოქმედი სახელმძღვანელოების ხელაღებით შესაცვლელად, არამედ მიზნად ისახავს ძალის, მუშაობის, ენერჯის და მათთან უშუალოდ დაკავშირებული

ზოგიერთი საკითხის გაშუქების დროს სახელმძღვანელოების ავტორთა, მეთოდისტთა და მასწავლებელთა ყურადღება გაამახვილოს არსებულ ნაკლოვანებებზე, რათა მათი აქტიური მონაწილეობის შემდგომ დაზუსტებათა საფუძველზე ამ ცნებების სწავლება თანდათანობით გარდაიქმნას ისე, რომ იგი გამართლებული იყოს მეცნიერულადაც და დიდაქტიურადაც, ბუნებრივად უწყობდეს ხელს ყველა იმ ამოცანის წარმატებით გადაჭრას, რომელთაც მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე მოთხოვნათა შესაბამისად ცხოვრება მიზნად უსახავს ფიზიკის სწავლებას საშუალო სკოლაში.

სწავლება, რომელიც მასწავლებლისა და მოსწავლის გონებაში მიმდინარე პროცესებს ეხება, ურთულეს მართვად სისტემათა რიცხვს განეკუთვნება. მისი ყველა ასპექტის გაშუქება დიდ სიძნელეს წარმოადგენს. ჩვენი ნაშრომი ასეთ მიზანს არ ისახავს. აქ განხილულია მხოლოდ ისეთი საკითხები, რომლებიც აუცილებლად მივიჩნით ფიზიკის ზოგიერთი ცნების შინაარსის სწავლების ოპტიმიზაციისათვის IX კლასის ფიზიკის კურსში.

ნაშრომის პირველ ნაწილში გადმოცემულია ცნების სწავლებასთან დაკავშირებული ზოგიერთი თეორიული საკითხი კიბერნეტიკიდან, შემეცნების თეორიიდან, ფსიქოლოგიიდან და პედაგოგიკიდან. მეორე ნაწილში მოცემულია ფიზიკის ზოგიერთი ცნების სწავლების შესახებ არსებული ლიტერატურის ანალიზი და მათი სწავლების მეთოდოლოგია. მესამე ნაწილი, რომელიც ქართულ ენაზე დაპროგრამებული სახელმძღვანელოს პირველ ვარიანტს წარმოადგენს და განეკუთვნილია პედაგოგიური ექსპერიმენტებისათვის, „დაპროგრამებული მასალების“ სახელწოდებით ცალკე ისტამბება საშუალო სკოლის IX კლასის სასწავლო პროგრამის ცალკეული თემების მიხედვით.

„დაპროგრამებული მასალის“ პირველი თავი „სწორხაზოვანი მოძრაობის კინემატიკის“ სახელწოდებით გამოცემლობა „მეცნიერების“ მიერ დასტამბულ იქნა 1965 წ. მისი ექსპერიმენტული შემოწმება 1965/66 სასწავლო წელს ჩატარდა თბილისის, ბათუმისა და წულუკიძის შვიდ სკოლაში. „დაპროგრამებული მასალის“ ხარისხის გამოსარკვევად ინფორმაცია შეკრებილ იქნა შემდეგი მჩვენებლების მიხედვით: 1. მასწავლებელთა თვალსაზრისი, 2. მოსწავლეთა მოსაზრებანი, 3. ექსპერიმენტული და საკონტროლო კლასების მიმდინარე აკადემიურ შეფასებათა შედარება, 4. სამეცნიერო-მეთოდოლოგიურ გაერთიანებებზე განხილვა, 5. ცალკეული სპეციალისტების პირადი მოსაზრებანი. შეკრებილი ინფორმაციის ანალიზი გვარწმუნებს, რომ ცნებათა შინაარსის გაგება-სწავლებაში კიბერნეტიკული მიდგომა ხელს უწყობს მათ ოპტიმიზაციას.

ექსპერიმენტირების დროს კვლავ დადასტურდა, რომ მიმდინარე შეფასებისა და საერთოდ სწავლების პროცესის მართვის გაუმჯობესებისათვის მეტად სასარგებლოა ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენება. სასკოლო-საგაკვეთილო სისტემაში კოლექტიური სწავლების დროს, მართვის გაუმჯობესებისათვის, დღემდე არსებულ ტექნიკურ საშუალებათაგან ყველაზე მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას AK—MГУ —65, რომელიც ლვოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტში შეიქმნა პროფ. ნ. მაქსიმოვიჩის ხელმძღვანელობით.

საბჭოთა და უცხოელ ფსიქოლოგთა დიდმა უმრავლესობამ გამოიკვლია და დაადგინა, რომ პიროვნების ინტელექტუალური განვითარების კვალობაზე ცნების შინაარსის სრულფასოვანი დაუფლების პოტენციალი გამოვლინებას იწყებს უკვე 14 წლის ასაკიდან; მეორე მხრივ, ჩვენმა ექსპერიმენტებმა დაგვარწმუნა, რომ უმაღლესდამთავრებულნი, რომლებმაც უმაღლეს სასწავლებელში ფიზიკის კურსები მოისმინეს, ძალის, მუშაობის, ენერჯიის და მათთან დაკავშირებული სხვა ცნებების შინაარსის განმარტებისათვის ცდილობენ გაიხსენონ არა უმაღლეს სასწავლებელში მიღებული ცოდნა, არამედ ის, რაც მათ საშუალო სკოლაში, კერძოდ, მეცხრე კლასში შეიძინეს. ამ გარემოებიდან გამომდინარე ჩვენ მიგვაჩნია, რომ ზემოაღნიშნული ცნებების შინაარსის სწავლება განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს IX კლასის ფიზიკის კურსში. ამიტომაც ავირჩიეთ იგი ჩვენი კვლევის ძირითად საგნად.

ნ ა წ ი ლ ი ა ი გ ვ ე ლ ი

ცნების სწავლების ზოგიერთი მეთოდოლოგიური
და ზოგადმეთოდური საკითხი

თ ა ვ ი I

სწავლების ზოგიერთი კიბერნეტიკული საკითხი

§ 1. სწავლების კიბერნეტიკული ბუნება

იმის გამო, რომ შეუძლებელია კვლევის ობიექტებს შორის მკვეთრი სტატიკური საზღვრების გავლება, კიბერნეტიკის, ისე როგორც მეცნიერების ბევრი სხვა დარგის, ყოველმხრივ ამომწურავი და ყველასაგან ერთხმად აღიარებული განსაზღვრება არ არის დადგენილი. კიბერნეტიკის არსი შედარებით კარგად შეიძლება გადმოიცეს შემდეგი განსაზღვრებით: კიბერნეტიკა არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ოპტიმალურად როგორ წარიმართოს ცოცხალ ორგანიზმებში. მანქანებსა და მათ გაერთიანებებში ინფორმაციის მიღება, გადაცემა, გადამუშავება, შენახვა და გამოყენება. ინფორმაციის მიღებას, გადაცემას, გადამუშავებას, შენახვასა და გამოყენებას მოკლედ მართვას უწოდებენ. აქედან გამომდინარე, კიბერნეტიკას მოკლედ ასე განმარტავენ: კიბერნეტიკა არის მეცნიერება რთული პროცესების ოპტიმალური მართვის ზოგადი კანონზომიერების შესახებ [46].

თავისი არსის მიხედვით კიბერნეტიკა ამტკიცებს, რომ ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე პროცესები, თვით აზროვნების ჩათვლით, გარკვეულ კანონზომიერებებს ემორჩილება და შეიძლება მათი არა მარტო შეცნობა, არამედ მანქანური მოდელირებაც, ე. ი. შეიძლება შეიქმნას ისეთი მანქანები, რომლებიც თავისებურად გაიმეორებენ ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე პროცესებს. როგორც უკვე პოპულარულად არის ცნობილი, ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე პროცესების კანონზომიერებათა ანალოგიის მიხედვით კონსტრუირებულია ხელოვნური გული, ფილტვები. თირკმელები, რომლებიც ფასდაუდებელ სამსახურს უწევენ სამედიცინო ქირურგიას ადამიანის სიცოცხლის შესანარჩუნებლად სხვადასხვა რთული ოპერაციების დროს. შექმნილია სწრაფმოქმედი ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები, რომელთაც შეუძლიათ აქამდე წარ-

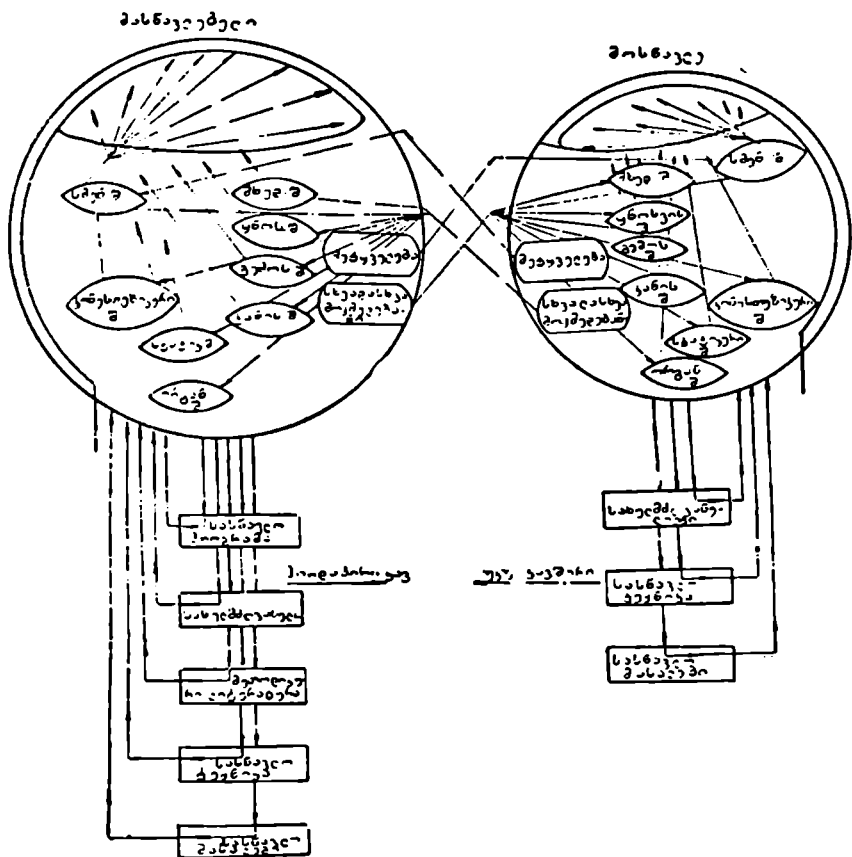
მოუდგენელი სისწრაფით შეასრულონ დიდი რაოდენობის არითმეტიკული გაანგარიშებანი, ამოხსნან რთული მათემატიკური განტოლებანი, თარგმნონ ერთი ენიდან მეორეზე, ითამაშონ ჭადრაკი, ძხვლად დასადგენი დაავადების შემთხვევაშიც კი სწრაფად და დიდი სიზუსტით დაადგინონ დიაგნოზი. სწრაფმოქმედი ელექტრონული საანგარიშო მანქანების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა რაკეტული სამხედრო და კოსმოსური ტექნიკის შექმნა და მართვა. მათა გამოყენების გარეშე უკვე შეუძლებელია ვილაპარაკოთ, როგორც მთელი ქვეყნის ეკონომიკის, ისე წარმოების ცალკეული დარგების, აგრეთვე ვაჭრობის, ტრანსპორტის, კავშირგაბმულობის, სწავლებისა და სხვა რთული პროცესების ოპტიმალურ მართვაზე.

პედაგოგიური პროცესი ურთულეს მართვად პროცესთა რიგს განეკუთვნება. პედაგოგია შეიძლება განიმარტოს როგორც მეცნიერება ადამიანის აღზრდის, განათლებისა და სწავლების შესახებ. სწავლება, რომელიც გულისხმობს პედაგოგის ხელმძღვანელობით მოსწავლის აღზრდა-განათლებას, მართვადი პროცესია. რამდენადაც სწავლება ეხება მოსწავლისა და მასწავლებლის გონებაში მიმდინარე პროცესებს, იგი თავისი ბუნებით ძალიან რთულია. სწავლების პროცესში მასწავლებლისა და მოსწავლის მოქმედებათა ზოგიერთი მხარე შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სქემა-მოდელის შიხედვით (ნახ. 1).

მასწავლებელი, რომელიც მიზნად ისახავს მიიყვანოს მოსწავლე საგნის თუ მოვლენის გარკვეული მხარის შემეცნებად და ამ გზით მიაწოდოს მას გარკვეული ცოდნა, დაახელოვნოს იგი და გამოუმუშაოს გარკვეული ჩვევები, „პირდაპირი კავშირით“ აწვდის მას გარკვეულ ინფორმაციას (სქემა-მოდელზე პირდაპირი კავშირი გამოსახულია უწყვეტი ხაზებით). იგი თავის მუშაობაში საჭიროების მიხედვით იყენებს სასწავლო პროგრამებს, მეთოდურ ლიტერატურას, სახელმძღვანელოებს, სასწავლო ტექნიკასა და სასწავლო მასალებს. ინფორმაციის მიწოდებისათვის მასწავლებელი თავისი მეტყველებითა და სხვადასხვა ოპერაციებით (დაფის, რუკის, სურათების, პლაკატების, ხმის ჩანაწერებისა და სხვა სასწავლო ტექნიკის გამოყენებით) ზემოქმედებას ახდენს მოსწავლის სმენის, მხედველობის, კანის, ზოგჯერ კი გემოს, ყნოსვის, კინესტეზიურ (სხეულის ორგანოების მოძრაობისა და მდებარეობის), სტატიკურ (წონასწორობის). ორგანულ (შიმშილის, წყურვილის, სუნთქვის, სისხლის მიმოქცევის, სქესობრივ) შეგრძნებათა რეცეპტირებაზე.

მოსწავლის ორგანიზმში რეცეპტორებზე მიღებული შესატყვისი გაღიზიანებები გამტარი ნერვების მეშვეობით გადაეცემა თავის ტვინის ქერქის შესაბამის არეებს, ანალიზატორებს, რის შედეგადაც

წარმოიშობიან სათანადო შეგროვებიანი და აღქმანი. დიდ ტვინში ხდება გარეგანი და შინაგანი გრძობათა ორგანოებიდან მიღებული ინფორმაციის გადამუშავება იქ უკვე არსებულ ინფორმაციასთან



ნახ. 1

შეჯერებით, რის საფუძველზეც წარმოებს შემეცნება და წარმოიქმნება ცოდნა, რომლის განმტკიცება შემდეგ ხდება სათანადო ვარჯიშის გზით.

სწავლის პროცესში მოსწავლე იყენებს სახელმძღვანელოებს, სასწავლო ტექნიკასა და სასწავლო მასალებს. საჭიროების შემთხვევაში იგი მოქმედებს მიღებული ცოდნის შესაბამისად.

როგორც ა. ფრანგიშვილი ნაშრომში „სწავლის ფსიქოლოგიური ბუნებისათვის“ [34] მიუთითებს, სიტყვა „სწავლა“ სხვადასხვა

ენობრივი მნიშვნელობით გამოიყენება პრაქტიკაში. ჩვენ სწავლაში ვგულისხმობთ მოსწავლის ქცევის ერთ-ერთ ფორმას, რომელიც სათანადო განწყობის საფუძველზე წარმოიშობა და რომელიც მიზნად ისახავს შედეგების გზით ცოდნის, დახლოვნებისა და ჩვევის მიღებას.

მოსწავლის გონებაში ფორმირებული ცოდნის სისწორე მოწმდება უკუუკავშირის დამყარების გზით (უკუუკავშირი სქემა-მოდელზე გამოსახულია ლერძული ხაზებით). მასწავლებელი მოსწავლეს აძლევს საკონტროლო კითხვას ან დავალებას. უკუუკავშირით მიღებული პასუხი თუ არადადამაკმაყოფილებელი აღმოჩნდა, მაშინ მასწავლებელი მოსწავლეს აწვდის დამატებით ინფორმაციას და ხელახლა ამოწმებს ახლად მიღებული ცოდნის სისწორეს. სწავლების პროცესის ამ გზით მართვა გრძელდება მანამ, ვიდრე არ მივაღწევთ აღებულ მომენტში აღზრდა-განათლებისათვის დასახულ მიზანს.

როგორც უკვე აღინიშნა, სწავლება გულისხმობს მასწავლებლისა და მოსწავლის ურთიერთდამოკიდებულებას სწავლის პროცესში. „მოსწავლე სწავლობს“, ხოლო „მასწავლებელი ასწავლის“, ე. ი. აწვდის მოსწავლეს აღზრდა-განათლების მიზნებიდან გამომდინარე სათანადო ინფორმაციას და მართავს მოსწავლეში ცოდნის დახლოვნებისა და ჩვევების ფორმირების პროცესს. სწავლების ოპტიმალური მართვისათვის კიბერნეტიკის თვალსაზრისით საჭიროა შემოღებულ იქნეს სწავლების დაპროგრამება, რამაც დაპროგრამებული სწავლების სახელწოდება მიიღო. დაპროგრამებული სწავლების არსის გარკვევაზე მოკლედ შეეჩერდებით მომდევნო პარაგრაფში.

§ 2. დაპროგრამება, როგორც სწავლების ოპტიმალური მართვის საწარმო მეთოდი

სწავლების პროცესში წარუმატებლობის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია ის, რომ ხშირად ეტაპობრივად უკუუკავშირის გზით არ ხდება გადაცემული მასალის შეთვისების ხარისხის შემოწმება. ამის გამო მოსწავლეს გზადაგზა უგროვდება სათანადოდ გაუცნობიერებელი, გაუგებარი, ზოგჯერ კი არასწორად გაგებულ საკითხთა რიცხვი, რაც თანდათანობით აძნელებს და ბოლოს შეუძლებელს ხდის შემდგომ წინსვლას სწავლების პროცესში.

მსგავსი მდგომარეობაა ჩვეულებრივი — დაუპროგრამებელი სახელმძღვანელოებით ამა თუ იმ საგნის დამოუკიდებელი შესწავლის დროსაც. დღემდე არსებულ ჩვეულებრივ სახელმძღვანელოთა ავტორებს სათანადოდ არ გაუცნობიერებიათ და არ შეუფასებიათ

უკუკავშირის გზით სწავლის პროცესის ეტაპობრივი მართვის მნიშვნელობა.

აღნიშნულ ნაკლოვანებათა გამოსასწორებლად სწავლების დროს საჭიროა უკუკავშირის გზით ეტაპობრივად შემოწმდეს მასალის შეთვისების ხარისხი. არაღამაკმაყოფილებელი შედეგის შემთხვევაში უნდა მივაწოდოთ დამატებითი მასალა და უკუკავშირის გზით კვლავ შევამოწმოთ მიღებული ცოდნის საფუძვლიანობა. ეს პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ არ მივიღებთ დაქვეყნებული შედეგს.

გაკვეთილზე კოლექტიური სწავლების ასეთნაირი მართვა, ხოლო დამოუკიდებელი სწავლის დროს სწავლის პროცესის თვითმართვა, შესაძლებელია ე. წ. დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურისა, დაპროგრამებული სახელმძღვანელოებისა და დაპროგრამებული მასალების საფუძველზე, როგორც მსწავლებელი მანქანების გამოყენებით, ისე მათ გარეშე. დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურა, როგორც ბრუნერი ამბობს, უნდა აკმაყოფილებდეს იმ პირობას, რომ „ჩვეულებრივ მასწავლებელს“ საშუალება მისცეს წარმატებით გადაჭრას აღზრდა-განათლების წინაშე მდგომი ამოცანები. დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურა ამ მიზანს მიაღწევს, თუ მასში უკუკავშირით სწავლების ეტაპობრივი მართვისათვის მასალას დავყოფთ ინფორმაციის ქვანტებად — „ნაბიჯებად“ და დეტალურად გავითვალისწინებთ ყველა იმ ძირითად ოპერაციას, რომლებიც ყოველ აღებულ კონკრეტულ შემთხვევაში საჭიროა აღზრდა-განათლების დარგში არსებული ამოცანების გადაჭრისათვის.

იგივე შეიძლება ითქვას დაპროგრამებული სახელმძღვანელოებისა და დაპროგრამებული მასალის მიმართაც; ისინი ისე უნდა შედგეს, რომ სწავლის პროცესის ეტაპობრივი მართვის გზით უზრუნველყოფდნენ იმ ამოცანის გადაჭრას, რომელიც ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დგას აღზრდა-განათლების წინაშე, სახელდობრ. მოვლენის არსის შეცნობა, აზროვნების უნარის განვითარება, სათანადო დახელოვნებისა და ჩვევების შემუშავება. მიღებული ცოდნის განმტკიცება, მისი დაკავშირება პრაქტიკასთან და სხვ.

პედაგოგიურ პრესაში ახლა ხშირადაა ლაპარაკი იმ მოწინავე მასწავლებლების გამოცდილების გავრცელების შესახებ, რომლებიც საუკეთესო შედეგებს აღწევენ მოსწავლე ახალგაზრდობის აღზრდა-განათლების დიდმნიშვნელოვან საქმეში. ოღონდ ცნობილია ისიც, რომ ასეთი გამოცდილების მასობრივად დანერგვა უმრავლეს შემთხვევაში კაჭვ შედეგს არ იძლევა ე. ი. არ არის გამართლებული სანდოობის თვალსაზრისით ერთი შეხედვით ამ პარა-

დოქსული გარემოების მიზეზი ის არის, რომ ზემოთ ნაგულისხმევი მოწინავეთა გამოცდილების გამეორება მოითხოვს ნორმალურთან შედარებით ძალიან დიდი დროის ხარჯვას ან ისეთ სპეციფიკურ თავისებურებას, რომელიც შეიძლება ჰქონდეს ზოგიერთ მასწავლებელს, მაგრამ არ შეიძლება ჰქონდეს გამოუკლებლივ ყველას. ყოველივე ეს იმაზე მიუთითებს, რომ პედაგოგიკის წინაშე დგას აქტუალური პრობლემა: მოინახოს და განზოგადდეს სწავლების ისეთი მეთოდი, რომელიც, ერთი მხრივ, არ მოითხოვს განსაკუთრებულ სუბიექტურ თავისებურებას, ე. ი. ემორჩილება საერთო, ზოგად კანონზომიერებას, ხოლო მეორე მხრივ, არ საჭიროებს ნორმალურთან შედარებით მეტ ენერჯისა და დროის ხარჯვას, რაც იმის საწინდარი იქნება, რომ მას ნორმალური დატვირთვის პირობებში წარმატებით გამოიყენებს ყველა მასწავლებელი. სანდოობის თვალსაზრისით გამართლებული მეთოდი დაპროგრამებული სწავლება, რომელიც დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურის, დაპროგრამებული სახელმძღვანელოების ან დაპროგრამებულ მასალაზე მომუშავე მსწავლებელი მანქანების გამოყენებით წარმოებს როგორც გაკვეთილზე (როცა მასწავლებელი მოსწავლეთა ჯგუფს კოლექტიურად ასწავლის), ისე ინდივიდუალურადაც (საშინაო დავალების მომზადების ან დაუსწრებელი განათლების სისტემაში დამოუკიდებელი სწავლის დროს).

დაპროგრამებული სწავლების არსიდან გამომდინარე ეს ცნება შეიძლება განიმარტოს შემდეგნაირად: დაპროგრამებული ეწოდება ისეთი მეთოდის მიხედვით სწავლებას. რომელშიც დეტალურად არის გათვალისწინებული უკუქავშირის გზით სწავლების პროცესის მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა.

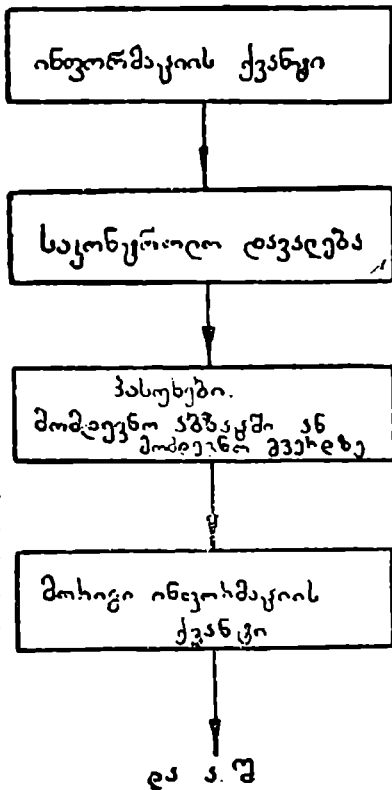
ტერმინი დაპროგრამება აღებულია თანამედროვე ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების თეორიიდან. ისე როგორც საანგარიშო ელექტრონულ ტექნიკაში, პედაგოგიკაში არჩევენ დაპროგრამების ორ ძირითად ტიპს — წრდივ ან ხაზოვან და განშტოებად დაპროგრამებას.

როგორც წრდივად, ისე განშტოებადად დაპროგრამებულ სახელმძღვანელოში ან სათანადო მასალაში საერთო ის არის, რომ შესასწავლი მასალა იყოფა ულუფებად. ინფორმაციის ქვანტებად ან, როგორც ზოგიერთი მეცნიერი (ბ. სკინერი; დ. პორტერი, ს. პრესი. ნ. კრაუდერი, ა. ლამსდენი და სხვ.) უწოდებს, ნაბიჯებად. აღზრდა-განათლების წინაშე მდგომი ამოცანის გადაჭრის ხარისხის შესამოწმებლად ყოველი ინფორმაციის ქვანტის შემდეგ მოცემულია საკონტროლო დავალება (კითხვა ან რაიმე სახის ამოცანა).

განშტოებადისაგან განსხვავებით წრფივ დაპროგრამებაში საკონტროლო დავალებისათვის მოცემულია მხოლოდ სწორი პასუხი რეკომენდებულია, რომ შემსწავლელმა ჯერ დამოუკიდებლად გასცეს პასუხი დავალებაზე, ხოლო შემდეგ თავისი პასუხის სისწორე შეაჯეროს წიგნში მოცემულ პასუხთან. პასუხი მოთავსებულია იქვე, საკონტროლო დავალების შემდეგ, მომდევნო აბზაცში ან საგანგებოდ დატოვებულ მინდორზე, რომელიც სათანადო საფართაა დაფარული. ზოგ შემთხვევაში პასუხი გადატანილია მომდევნო გვერდზე. პასუხის დაფარვა ან მომდევნო გვერდზე გადატანა იმისათვის ხდება, რომ მან პასუხის მოფიქრების დროს გავლენა არ მოახდინოს შემსწავლელის დამოუკიდებელ აზროვნებაზე.

წრფივი დაპროგრამების ეს გარეგნული სტრუქტურული სახე შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სქემა-მოდელის მიხედვით (ნახ. 2).

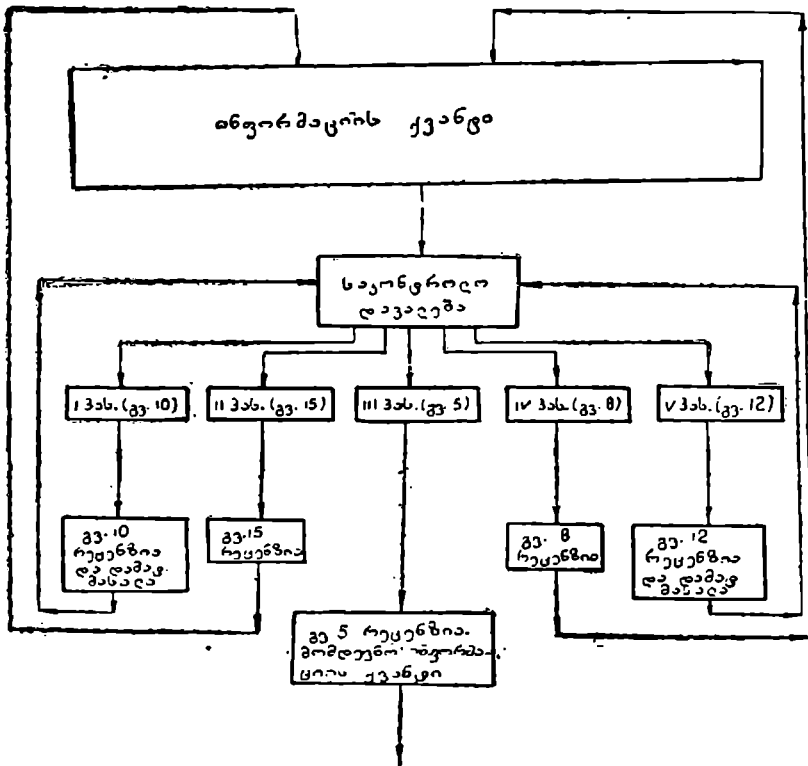
განშტოებულად დაპროგრამებულ სახელმძღვანელოში საკონტროლო დავალების შემდეგ მოცემულია არა ერთი, არამედ რამდენიმე (3-5 ან მეტი) პასუხი, რომელთაგან მხოლოდ ერთია სწორი. შემსწავლელმა უნდა გამოიკნოს, რომელი მათგანია სწორი; თავისი არჩევანის შესამოწმებლად იგი მიმართავს იმ გვერდს, რომელიც არჩეული პასუხის ბოლოშია მინიშნებული. თუ არჩევანი არასწორი გამოდგა, მითითებულ გვერდზე სათანადო რეცენზიაში ნათქვამია ამის შესახებ და ზოგჯერ იქვე მოცემულია დამატებითი მასალა, რომლის გაცნობის შემდეგ შემსწავლელი უნდა დაბრუნდეს უკან და ხელახლა მოახდინოს არჩევანი. თუ არჩევანი კვლავ არასწორი გამოდგა, გამეორდება იგივე პროცესი, ხოლო თუ პასუხი სწორია, ეს ცნობილი ხდება მითითებულ გვერდზე მოცემული შეფასებით



ნახ. 2

და მოსწავლე იქვე იღებს მომდევნო ინფორმაციის ქვანტს, რომლის დამუშავებისათვის კვლავ მეორდება უკვე აღწერილი პროცესი.

როგორც მკითხველი შენიშნავს, ასეთი ტიპის სახელმძღვანელოში მასალა თანმიმდევრობით არ არის განლაგებული. მოსწავლე პირველ გვერდზე მოცემული მასალის გაგრძელებას პოულობს მე-10 გვერდზე (შეიძლება იპოვოს მე-15 ან სხვა რომელიმე გვერდზეც), ხოლო მე-10 გვერდზე მიწოდებული მასალის გაგრძელებას ნახავს ან მე-5, ან სხვა რომელიმე გვერდზე და ა. შ. განშტოებადი დაპროგრამების გარეგნული სტრუქტურა შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სქემა-მოდელის მიხედვით (ნახ. 3).



ნახ. 3

ძირითადად ასეთია წრფივი და განშტოებადი დაპროგრამების გარეგნული სტრუქტურა. რაც შეეხება მათ შინაგან სტრუქტურას, ან, უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, იმ ძირითად პედაგოგიურ, ფსიქოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ მოსაზრებებს, რომელთა მიხედვი-

თაც უნდა მოხდეს დაპროგრამება, ამის თაობაზე აზრთა სერიოზული სხვადასხვაობაა საბჭოთა და ამერიკელ სპეციალისტებს შორის.

საბჭოთა ფსიქოლოგები ა. ლეონტიევი, ა. სმირნოვი, პ. ვალპერინი, ა. ზაპოროჟეცი, დ. ელკონინი, ნ. მეჩინსკაია, ნ. ტალიზინა, გ. კოსტიუჟი და სხვ. [63, 64, 85, 94] გადაჭრით ილაშქრებენ იმ ბიჰევიორისტული ტენდენციის წინააღმდეგ, რომელიც მკვეთრად გამოსწვივის ბ. სკინერისა და მის მიმდევარ სხვა ამერიკელ მეცნიერთა ნაშრომებში.

საბჭოთა ფსიქოლოგების პოზიცია დაპროგრამებული სწავლების საკითხში ნათელია. ჩვენი მეცნიერები დამაჯერებლად ასაბუთებენ ბიჰევიორისტული ტენდენციების მცდარობას და მოითხოვენ საბჭოთა სკოლებში სწავლების დაპროგრამება მოხდეს საბჭოთა ფსიქოლოგიის, პედაგოგიისა და ფიზიოლოგიის მიერ მიკვლეულ კანონზომიერებათა საფუძველზე, რაც ეყრდნობა ყველაზე მოწინავე მეცნიერულ მსოფლმხედველობას.

დაპროგრამებული სწავლების, წრფივი და განშტოებადი დაპროგრამების ზოგიერთ საკითხზე აზრთა სხვადასხვაობაა თვით ამერიკელ მკვლევართა შორისაც. ბ. სკინერი და მისი მიმდევრები გამოდიან „სტიმულ-რეაქცია-განმტკიცების“ ბიჰევიორისტული გაგებიდან და იმ აზრს იცავენ, რომ უმჯობესია შესასწაველი მასალა დაიყოს რაც შეიძლება მცირე „ნაბიჯებად“, ინფორმაციის ქვანტებად [154]. ისინი ფიქრობენ, რომ მასალის უმცირეს „ნაბიჯებად“ დაყოფა გამორიცხავს შეცდომის დაშვების შესაძლებლობას სწავლების პროცესში, მაშინვე მოხდება მიღებული პოზიტიური ცოდნის განმტკიცება, იმავე დროში შესაძლებელი იქნება ბევრად უფრო მეტი ცოდნის შეთვისება, ვიდრე განშტოებადი ან ჩვეულებრივი მეთოდით სწავლების დროს.

საწინააღმდეგო პოზიციაზე დგანან ს. პრესი, ნ. კრაუდერი [153] და მათი მიმდევრები. ისინი გამოდიან ჯ. უოტსონისა და ე. თორნდაიკის „ცდისა და შეცდომის“ ბიჰევიორისტული თეორიიდან და იმ თვალსაზრისს იცავენ, რომ „ინფორმაციის ქვანტები“, „ნაბიჯები“ მოცულობით დიდი იყოს და, რაც მთავარია, პოზიტიურ ცოდნამდე მოსწავლე უნდა მივიდეს მრავალჯერადი მოსინჯვისა და შეცდომის გამოსწორების შემდეგ.

„ცდისა და შეცდომის თეორია“ ფართოდ არის ცნობილი ფსიქოლოგიაში. იგი სათავეს იღებს იმ ცნობილი ცნებიდან, რომელიც თორნდაიკმა ცხოველებზე მოახდინა. ამა თუ იმ ამოცანის გადაწყვეტის დროს მოსინჯვით მოქმედებს როგორც ადამიანი, ასევე ცხოველიც, მაგრამ ამ მსგავსებაში არ შეიძლება არ დავინახოთ ფრიად დიდი არსებითი განსხვავება: ადამიანი ამა თუ იმ ამოცანის

გადაკრის დროს მოსინჯვითი მოქმედების შესახებ გადაწყვეტილების მიღებამდე მობილიზაციას უკეთებს თავის მთელ ცოდნას, გამოცდილებას და სათანადო მსჯელობისა და დასაბუთების, ე. ი. აზროვნებითი აქტის შემდეგ დგამს შესაბამის ნაბიჯს. იგი ცხოველის მსგავსად მოსინჯვით ნორმალურ პირობებში მხოლოდ მაშინ მოქმედებს, როცა მიხვდება, რომ აღებული ამოცანის გადასაწყვეტად მას არავითარი ცოდნა და გამოცდილება არ გააჩნია. რაც უფრო მაღალია ადამიანის განვითარების დონე, რამდენადაც მეტი ცოდნა და გამოცდილება აქვს მას აღებული ამოცანის გადასაწყვეტად, ადამიანი მით უფრო მეტად აზროვნებს და, მაშასადამე, მისი ქცევა მოსინჯვითი მოქმედების დროს თვისებრივად განსხვავდება ცხოველის ქცევისაგან. ამიტომ არ შეიძლება მათი გაიგივება.

ბიჰევიორისტული თეორიის ნაკლოვანებანი და საბჭოთა პედაგოგიკაში მისი დანერგვის უსაფუძვლობა კარგად დაასაბუთა დ. ლორთქიფანიძემ ნაშრომში „სწავლების პრინციპები, ორგანიზაცია და მეთოდები“ [18].

როცა იმ ბიჰევიორისტულ ტენდენციებს ვემიჯნებით, რომლებსაც სკინერისა და პრეს-კრაუდერის მიმდევართა შეხედულებანი შეიცავენ, ჩვენ იმ აზრისა ვართ, რომ ინფორმაციის ქვანტის სიდიდის განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ მოსწავლის ასაკი, ინტელექტუალური განვითარებისა და საერთო მომზადების დონე, აგრეთვე მასალის თავისებურება და სირთულე. რაც შეეხება დაპროგრამების ტიპს, იგი ძირითადად წრფივი უნდა იყოს. ამ შემთხვევაში გალპერინის თეორიის [7] მიხედვით, შეიძლება ვთქვათ, რომ დაცული უნდა იქნეს პირობა $M > m$ (მოქმედების საფუძველი = მოქმედების პირობებს). განშტოებადი დაპროგრამება უფრო მეტად შეიძლება გამოვიყენოთ მაშინ, როცა საკითხი ეხება მოსალოდნელ ტიპიურ შეცდომათა დაშვების შესაძლებლობას ან საგნისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური მოსაზრებულობის გამომუშავებას. ამ შემთხვევაში $M < m$.

დაპროგრამებული სწავლების არსის სწორად გაგებისათვის საჭიროა გამოვიდეთ არა სკინერისა და მისი მოწაფეების მიერ მტრედებზე, კურდღლებსა და სხვა ცხოველებზე მოწყობილი ცდების შედეგების ბიჰევიორისტული განზოგადებიდან, არამედ კიბერნეტიკის ძირითადი მოსაზრებებიდან. სწავლება უნდა განვიხილოთ როგორც მართვადი პროცესი, ხოლო დაპროგრამება, როგორც ყველაზე სანდო მეთოდი, რომელიც ყველა მასწავლებელს საშუალებას მისცემს უკუკავშირის გზით ოპტიმალურად მართოს სწავლების პროცესი როგორც კოლექტიური, ისე ინდივიდუალური სწავლების დროს.

დაპროგრამებული სწავლების პროცესი, რომლის დროსაც მოსწავლე შემეცნების გზით იღებს ცოდნას, დახელოვნებასა და ჩვევას, შეიძლება გამოისახოს შემდეგი უორმულის სახით:

$$I = \{[q_1(\alpha \beta \gamma) X_1 + \dots + q_i(\alpha \beta \gamma) X_i] X' + [q_{i+1}(\alpha \beta \gamma) X_{i+1} + \dots + q_j(\alpha \beta \gamma) X_j] X'' + [q_{j+1}(\alpha \beta \gamma) X_{j+1} + \dots + q_n(\alpha \beta \gamma) X_n] X'''\}$$

სადაც სიმბოლოები შესაბამისად აღნიშნავენ: I — სწავლების პროცესს; q — ინფორმაციის ქვანტს; X — უკუკავშირის გზით სწავლების პროცესის მართვას, რომელიც პირველ რიგში ტარდება ყოველი ინფორმაციის ქვანტის ბოლოს, ხოლო შემდეგ თავისებურად მეორდება ყოველი პარაგრაფის, თავის თუ ნაწილის სწავლების შემდეგ; α — მოსწავლის ინტელექტუალური განვითარების დონეს; β — მოსწავლის საერთო მომზადების დონეს; γ — სასწავლო საგნის თავისებურებას (როგორც აღნიშნული იყო, ჩვენი თვალსაზრისის მიხედვით, ინფორმაციის ქვანტის სიდიდე — q დამოკიდებულია α , β და γ -ათ აღნიშნულ ფაქტორებზე).

არსის მიხედვით გაგებული დაპროგრამებული სწავლება, როგორც უკუკავშირის გზით კოლექტიური და ინდივიდუალური სწავლების ოპტიმალური მართვის განხორციელების საშუალება, არავითარ წინააღმდეგობაში არ არის მრავალსაუკუნოვანი გამოცდილებით შემუშავებულ დიდაქტიკურ პრინციპებთან და წესებთან, პედაგოგიკისა და პედაგოგიური ფსიქოლოგიის ან ფიზიოლოგიის თანამედროვე მონაცემებთან, პირიქით, იგი მოითხოვს, რამდენადაც ეს შესაძლებელია, დაპროგრამება მოხდეს მხედველობაში ყველა იმ ფაქტორის მიღებით, რომლებიც ხელს შეუწყობს სწავლების ოპტიმალურ მართვას, როგორც გაკვეთილზე კოლექტიური სწავლების პროცესში, ისე საშინაო დავალების შინ მომზადებისა და დაუსწრებელი განათლების პირობებში ინდივიდუალური სწავლის დროს.

იმ ფაქტორების რიცხვი, რომელთა გათვალისწინება სასარგებლოა სწავლების ოპტიმალური მართვისათვის, ძალიან დიდია. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ თვალს გადავაკვლებთ პირველ სქემა-მოდელს და გავითვალისწინებთ შემდეგ გარემოებებს:

სწავლა, როგორც ა. ფრანგიშვილი (34), პ. ფრანკი (155), ჯ. ბრუნერი [51] და სხვები აღნიშნავენ, ეს არის შემეცნების გზით ცოდნის მიღება. შემეცნება კი, როგორც ცნობილია, გარეგანი და შინაგანი, გაცნობიერებული და გაუცნობიერებელი [144] შეგარძნებებით იწყება. აქედან გამომდინარე, სწავლების ოპტიმალურად მართვისათვის საჭიროა ვიცოდეთ: რა იწყებს შეგარძნებებს, რას წარმოადგენენ ისინი ობიექტურად, როგორ იღებენ მათ რაცეპ-

ტორები, მიღებული გაღიზიანებანი როგორ ვრცელდება გამტარ ნერვებში, როგორ აღიქმებიან ისინი დიდი ტვინის ქერქის სათანადო არსებაში — ანალიზატორებში, როგორ მიმდინარეობს აზროვნება და ცოდნის ფორმირება პიროვნებაში, რა ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური ცვლილებები ხდება ორგანიზმში სწავლის დროს, როგორ შეიძლება მათზე ზემოქმედება და თვით ამ პროცესის მართვა, რა არის თვით შეგარძნება, აღქმა, წარმოდგენა, აზროვნება, შემეცნება, ცნება, ცოდნა და სხვ. [5, 47, 62, 146].

ყველა ეს საკითხი თავისი სპეციფიკის მიხედვით ფიზიკის, ფიზიოლოგიის, ფსიქოლოგიის, პედაგოგიკის, ფილოსოფიის, ეპისტემოლოგიის, კიბერნეტიკისა და მეცნიერების სხვა დარგების კვლევის საგანია. ამ მხრივ უკვე მოპოვებული ზოგიერთი შედეგის გათვალისწინება მეტად სასარგებლოა სწავლების ოპტიმალური მართვისათვის. მომდევნო თავებში ჩვენ მათ მხოლოდ იმდენად შევეხებით, რამდენადაც ეს უშუალოდ დაკავშირებული იქნება ცნების სწავლების საკითხებთან.

ცნების გაგებასა და სწავლებასთან დაკავშირებული
ზოგიერთი ფილოსოფიური საკითხი

§ 3. შვეიცარიის პროცესის რაობისა და მიჯნავის შესახებ

ამ საკითხს ჩვენს ნაშრომში ვიხილავთ ძირითადად შემდეგი ჯარემოებების გამო: რადგან სწავლა შემეცნების გზით ცოდნის მიღებაა, ხოლო ცნება — საგნებისა და მოვლენების არსებითი მხარეების მეცნიერული შემეცნების შედეგად მიღებული აზრი. საჭიროა მოკლედ მაინც აღვნიშნოთ, აზრთა როგორი სხვადასხვაობაა შემეცნების პროცესისა და ცნების რაობის გარშემო და რომელი თვალსაზრისი მიგვაჩნია სწორად. ეს დაგვეხმარება მართებულად განვსაზღვროთ ის მოთხოვნილებანი, რომელთაც უნდა აკმაყოფილებდეს ფიზიკის ცნებათა შინაარსის განსაზღვრებანი და მათი სწავლების მეთოდოლოგია.

ჭერ კიდევ უძველესი დროის მატერიალისტმა მოაზროვნეებმა (მო-ცხი და მისი მიმდევრები ჩინეთიდან, ჰერაკლიტე ძველი საბერძნეთიდან და სხვ.) შენიშნეს, რომ შემეცნების პირველწყაროს შეგრძნებები წარმოადგენენ. მათვე შეამჩნიეს და მიუთითეს, რომ შეგრძნებული ხშირად არ შეესაბამება სინამდვილეს და იმის გასარკვევად, სწორია თუ არა იგი, საჭიროა მისი გაანალიზება და შედარება „დედანთან“. ამრიგად, მათ სწორად მიაჩნდათ მხოლოდ ისეთი ცოდნა, რომელიც სინამდვილეს შეესაბამებოდა. ჰერაკლიტე (530—470 წწ.) ამბობდა, „იმ ადამიანთა თვალები და ყურები, რომელთაც უხეში სული აქვთ, ცუდი მოწმეები არიანო“ [40, გვ. 20].

დემოკრიტე (460/70—380/370 წწ.) შეგრძნებებიდან მიღებულ შემეცნებებს „ბნელს“ უწოდებდა და ამტკიცებდა, რომ ის, რასაც სიმცირის გამო გრძნობები ვერ შეიმეცნებენ, შეიძლება შევიცნოთ აზროვნების, „ქეშმარიტი“ შემეცნების გზით.

შემეცნების თეორიის მეცნიერულ-მატერიალისტური ტენდენციების წინააღმდეგ მკვეთრად ილაშქრებენ იდეალისტურ-მისტიკური მიმდინარეობის წარმომადგენლები. სოკრატეს (470/69 — 399 წწ.) ბუნების მეცნიერული შემეცნება მიაჩნდა ღვთაების საიდუმლოებაში შეჭრად და კატეგორიულად უარყოფდა მას. სოკრატეს აზრით, ადამიანს აქვს მხოლოდ „თვითშემეცნების“ უფლება.

ობიექტური იდეალიზმის მამამთავარი პლატონი (427—347 წწ.) უარყოფითად მიიჩნევდა შეგარძნებების როლს შემეცნების პროცესში, ამიტომ მოითხოვდა „თვლების დახუქვასა“ და „ყურების დაცობას“. იგი მატერიალურ სამყაროს ჩრდილთა სამყაროდ თვლიდა. მისი აზრით, ჰეშმარიტი სამყარო — ეს იდეათა სამყაროა, რომლის შემეცნებისათვის უკვდავი სული მოგონებებს უნდა მიცეს, რომ გაიხსენოს ის, რაც მას ოდესმე შეუქმნია იდეათა სამყაროში.

არისტოტელე (384—322 წწ.), რომელიც „მერყეობდა მატერიალიზმსა და იდეალიზმს შორის“, აღიარებდა, რომ შემეცნების მიზანია ობიექტური რეალობის შეცნობა. შეგარძნებებსა და აღქმებს იგი მიიჩნევდა შემეცნების დასაწყისად, რომელიც გადადის აბსტრაქტულ აზროვნებაში. მისი სწავლების მიხედვით აზრი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ობიექტურ სინამდვილესთან. მაგრამ ამავე დროს არისტოტელე თვლიდა, რომ ცნობიერების მიზანია „უცვლელი პირველ მიზეზების“ შეცნობა (პირველ ამმოძრავებელი და სხვ.).

ძველ ბერძულ ფილოსოფიაში გვხვდება აგრეთვე აგნოსტიციზმის ჩანასახები. პროთაგორი, პირონი და სხვები გამოთქვამდნენ აზრს იმის შესახებ, რომ ჩვენი ცოდნა—ეს ჩვენი აზრებია და ისე არ შეიძლება ვილაპარაკოთ მათ მცდარობაზე, როგორც ჰეშმარიტებაზეა.

შუა საუკუნეებში შემეცნების თეორიაში ჩამოყალიბდა ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმდინარეობა — ნომინალიზმი და რეალიზმი. ნომინალიზმი უშვებდა მხოლოდ ცალკეული კონკრეტული საგნების რეალურად არსებობას, ზოგადის რეალურად არსებობას კი უარყოფდა. შუასაუკუნეების ნომინალიზმი მატერიალიზმისაკენ იხრებოდა, რის გამოც მას რელიგია სდევნიდა. „რეალიზმის“ მიმდევრები პლატონის ობიექტური იდეალიზმიდან იღებდნენ სათავეს. ისინი აღიარებდნენ ცალკეული საგნების არსებობას, მაგრამ ამავე დროს ამტკიცებდნენ, თითქოს „რეალურად არსებობენ ე. წ. უნივერსალური, ანუ ზოგადი ცნებანი, რომლებიც ფლობენ

სულიერ არსებას და წარმოქმნიან ჩვენთვის ხილულ საგნებს“ [40, გვ. 30].

შემეცნების თეორია აღორძინებასა და სწრაფ განვითარებას იწყებს XVI საუკუნიდან.

მეტაფიზიკური მატერიალიზმის ფუძემდებელი ფ. ბეკონი (1561 — 1626 წწ.) მკვეთრად ილაშქრებდა სქოლასტიკის ეპოქაში გაბატონებული ცხოვრებიდან მოწყვეტილი აბსტრაქტული აზროვნების წინააღმდეგ და ობიექტურად არსებული სამყაროს შემეცნებისათვის ძირითად საშუალებად აცხადებდა გონებასთან შეჯერებულ დაკვირვებას, ცდასა და ექსპერიმენტს. ამ დადებით მხარესთან ერთად ბეკონის შემეცნების თეორიას ახასიათებდა ნაკლოვანებანი (ღუალიზმი და სხვ.). სხვა ხარვეზებთან ერთად ბეკონის შემეცნების თეორიის ნაკლი იყო ინდუქციური მეთოდის გაფეტიშება და დედუქციის უგულვებელყოფა.

შემეცნების თეორიაში რაციონალიზმის ფუძემდებელი რენე დეკარტე (1596—1650 წწ.), ისე როგორც ბეკონი, ღუალისტი იყო, მატერიალურთან ერთად დეკარტე უშვებდა სულიერი სუბსტანციის არსებობასაც. იგი თვლიდა აგრეთვე, რომ ადამიანში არსებობს „თანდაყოლილი იდეები“. მისი აზრით, მთელი ცოდნა მატერიალური სამყაროს შესახებ უნდა გამომდინარეობდეს ერთი მთლიანი საწყისი პრინციპებიდან. ბეკონის საწინააღმდეგოდ იგი აფეტიშებდა დედუქციისა და სინთეზის მეთოდს. შემეცნების პროცესში დეკარტე თუმცა არ უარყოფდა ინდუქციისა და ანალიზის როლს, მაგრამ უარყოფითად ეკიდებოდა „შეგრძნებებს“, იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ შეგრძნებანი ზოგჯერ ბუნდოვან, ზოგჯერ კი მცდარ წარმოდგენებს ქმნიან [40, გვ. 36].

ჯონ ლოკი (1632—1704 წწ.), რომელიც დეკარტეს „თანდაყოლილი იდეების“ წინააღმდეგ იბრძოდა, მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ადამიანები იბადებიან სუფთა სულით, რომელშიც ჯერ კიდევ არაფერია ჩაწერილი და მთელ ცოდნას იძენენ მატერიალური სამყაროს ზემოქმედების შედეგად. ლოკი ამბობდა, „არაფერი არ არის ინტელექტში ისეთი, რაც წინათ არ იქნებოდა შეგრძნებაში“ [40, გვ. 38]. ამ მატერიალური, მაგრამ არასრულყოფილი, მოსაზრების თანმიმდევრობით გატარება არ შეიძლებოდა და ლოკმა ეს ვერც შეძლო. მან ცოდნის წყაროდ „ცნო არა მარტო ჩვენი გარემომცველი სამყარო, არამედ ჩვენი საკუთარი იდეების სუბიექტური სამყაროც“ [40, გვ. 38].

სუბიექტური იდეალიზმის წარმომადგენელი დ. იუმი (1711—1776 წწ.) შემეცნების ერთ-ერთ საშუალებად და თვით შემეცნე-

ბის ერთადერთ მიზნადაც შეგარძნებებს მიიჩნევდა. მისი აზრით, ადამიანმა არაფერი არ შეიძლება იცოდეს, გარდა იმისა, რაც მას შეგარძნებებში აქვს მოცემული. იუმი იმის შესახებ, თუ რა არის შეგარძნებების მიზეზი და არსებობს თუ არა შეგარძნებების გამომწვეველი ობიექტური რეალობა, — კითხვის დაყენებასაც კი უაზრობად თვლიდა. მეცნიერების მიზნად იგი აღიარებდა შეგარძნებებსა და აღქმებს შორის კავშირის დამყარებას. რამდენადაც იუმი არ ცნობდა მატერიალური სამყაროს არსებობას, უარყოფდა მის კანონზომიერებათა შეცნობის შესაძლებლობასაც და მეცნიერების მთელ მონაპოვარს განიხილავდა, როგორც ჰიპოთეზის ექვივალენტს.

ემანუელ კანტი (1724—1804 წწ). რომელმაც მკაფიოდ დაინახა, რომ თავისი არსებით მეცნიერება ეწინააღმდეგება რელიგიურ რწმენას, მისი მოღვაწეობის ძირითად მიზნად დაისახა მეცნიერებისა და რელიგიის, მატერიალიზმისა და იდეალიზმის შერიგება. მეცნიერებაში რელიგიისათვის გარკვეული ადგილის დატოვების მიზნით მან შეგნებულად შეზღუდა შემეცნების შესაძლებლობის საზღვრები, რამაც იგი აგნოსტიციზმის ქადაგებამდე მიიყვანა. კანტი თვლიდა, რომ ცდიდან მიღებული ცოდნა არ შეიძლება იყოს სანდო. მისი აზრით, „ჭეშმარიტად მეცნიერული ცოდნა ადამიანს გონებიდან გამოყავს აპრიორულად — ცდის გარეშე“. კანტი აღიარებდა საგნების არსებობას თავისთავად, მაგრამ შეუძლებლად თვლიდა მათ შემეცნებას ისე, როგორებიც ისინი არიან თავისთავად.

კანტის აზრით, გონებას ერთნაირი უფლებით შეუძლია ამტკიცოს როგორც თეზისები, ისე ანტითეზისები: სამყარო სასრულოა—სამყარო უსასრულოა, სამყარო გაყოფადია — სამყარო გაუყოფადია, სამყაროში ადგილი აქვს აუცილებლობას — სამყაროში ადგილი არ აქვს აუცილებლობას. აქედან გამომდინარე, კანტი მსჯელობდა: გონებას ახასიათებს წინააღმდეგობრიობა, ბუნებას კი თავის არსებაში არ შეიძლება ახასიათებდეს წინააღმდეგობრიობა — არ შეიძლება სასრულიც იყოს და უსასრულოც, გაყოფადიც და გაუყოფადიც და ა. შ. ამიტომ, ასკვნიდა იგი, არ შეიძლება საგნების არსების „თავისთავადი საგნების“ შემეცნებაო. „მთელი ჩვენი ცოდნა გარემო სამყაროსადმი, მისი აზრით, არის სხვა არაფერი, თუ არა ჰკუის სუბიექტური კონსტრუქციები“ [40, გვ. 45].

რამდენადაც კანტი ცდას შეცდომების წყაროდ არ მიიჩნევდა, „ჰკუის სუბიექტური კონსტრუქციების“ სისწორის შესამოწმებელ

საშუალებად აცხადებდა მხოლოდ ერთ კრიტერიუმს, კერძოდ, ლოგიკურ ანალიზს.

თავისი წინამორბედებისაგან განსხვავებით ჰეგელმა (1770—1831 წწ.) პირველმა შენიშნა, რომ შემეცნების პროცესი მოძრავი და განვითარებადი. ჰეგელმა გაილაშქრა კანტის აგნოსტიციზმის წინააღმდეგ და შესაძლებლად მიიჩნია მატერიალური სამყაროს კანონზომიერებათა შეცნობა, რომელსაც იგი აბსოლუტური იდეის გამოვლინებად თვლიდა. მან თავის წინამორბედებთან შედარებით სწორად შეაფასა შემეცნების პროცესში როგორც პრაქტიკის, ისე ინტუქციის, დედუქციის, ანალიზისა და სინთეზის როლი.

მარქსამდელ შემეცნების თეორიას ახასიათებდა დიდი და არსებითი ნაკლოვანებანი, რასაც სხვა მიზეზებთან ერთად განაპირობებდა ის, რომ არ იყო სათანადოდ გაცნობიერებული: 1. ვინ შეიმეცნებს, 2. რას შეიმეცნებს, 3. რატომ შეიმეცნებს, 4. როგორ მიმდინარეობს შემეცნების პროცესი, 5. შემეცნების პროცესი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ადამიანთა პრაქტიკულ მოღვაწეობასთან და სხვ.

ამ საკითხების გარკვევას ხელს უშლიდა, ერთი მხრივ, მეთოდოლოგიური ტენდენციები. მეორე მხრივ, მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების დონის შემოსაზღვრულობა და, მესამე მხრივ, სუბიექტური ფაქტორები. მომდევნო თაობის წარმომადგენლები ყოველთვის ობიექტურად არ აფასებდნენ წინამორბედთა მიერ შეცნობილ რაციონალურ მარცვალს, პირიქით, ცდილობდნენ მის „განადგურებას“, ილტვოდნენ სრულიად ახალი, ორიგინალური სისტემების შექმნისაკენ.

მარქსიზმის წარმოშობისა და განვითარების შემდეგ შემეცნების თეორიის ყველა ამ საკითხმა მეცნიერულ-მატერიალისტურ მოძღვრებაში პოვა თავისი ახლებური, მეცნიერულად სწორი გადაწყვეტა.

დიალექტიკურ-მატერიალისტური მოძღვრება ამტკიცებს, რომ მატერიალური სამყარო ობიექტურად არსებობს. იგი მუდმივ მოძრაობასა და განვითარებაშია. სამყაროს მრავალფეროვანი მოვლენები არის მატერიის მოძრაობის ფორმების სხვადასხვა გამოვლინება. მატერიალური სამყარო ერთიანია, ადამიანი და მის ტვინში მიმდინარე შემეცნების პროცესებიც მატერიალურია. შემეცნების პროცესი — ეს არის გარემოს ზემოქმედების შედეგად მისივე ასახვა ადამიანის ცნობიერებაში. შემეცნებული სუბიექტი თავისი ეპოქის განვითარების დონის შესაბამისი ტექნიკითა და მეცნიერული ცოდნით აღჭურვილი ადამიანია, ხოლო შესაცნობი ობიექტი — მუდამ ცვალებადობაში მყოფი საგნები და მოვლენები, რომლებიც

გარკვეულ კავშირშია „თავის ყველა ნაწილში დაუსაბამო და დაუსრულებელ“ მატერიალურ სამყაროსთან. სიცოცხლისა და პროგრესის მარადყოფნობის ამოცანებიდან გამომდინარე, ადამიანის მიერ სამყაროს შემეცნების ძირითადი მიზანია მისი დამორჩილება და გარდაქმნა. შემეცნების საგანი პრაქტიკის მიერ წარმოშობილ მოთხოვნათა საფუძველზე აღმოცენდება და მისი შედეგი მიზნად ისახავს ამ მოთხოვნათა დაკმაყოფილებას. იმის მიხედვით, თუ რა მიზანს ისახავს აღებულ კონკრეტულ შემთხვევაში შემეცნება, გარკვეულ როლს ასრულებენ შეგრძნებანი, აღქმანი, მეხსიერება, ყურადღება, წარმოსახვა, განწყობა, მეტყველება და სხვა ფსიქოლოგიური ფაქტორები. თავის მხრივ, შემეცნების პროცესში აზროვნება მიმდინარეობს ცნებების, მსჯელობის, დასაბუთებისა და დასკვნების საფუძველზე, რომელშიც მონაწილეობს ინდუქცია, დედუქცია, ანალიზი, სინთეზი, აბსტრაქცია, განზოგადოება და სხვა ლოგიკური ოპერაციები.

ასახვის ლენინური თეორიის შესაბამისად შემეცნების პროცესი შეიძლება გავყოთ სამ ძირითად ეტაპად: I—ცოცხალი განჭვრეტა, II—ცოცხალი განჭვრეტით მიღებული ინფორმაციის შეჯერება გონებაში არსებულ ინფორმაციასთან, აბსტრაქტული აზროვნება და სათანადო დასკვნების გაკეთება და III—მიღებული დასკვნების სისწორის შემოწმება პრაქტიკის საფუძველზე.

შემეცნების პროცესში თანამედროვე ტექნიკისა და კვლევის მათემატიკური მეთოდების გამოყენება [119] შედარებით ამცირებს, მაგრამ არ გამოირიცხავს შეცდომების დაშვების შესაძლებლობებს. შეცდომების დაშვება მოსალოდნელია როგორც უშუალო, ისე გაშუალებული შემეცნების პროცესში, სხვადასხვა ოპერაციის ყველა საფეხურზე. კიბერნეტიკის ძირითადი მოსაზრებიდან გამომდინარე, შემეცნების პროცესის ოპტიმალური მართვისათვის საჭიროა არა მარტო შემეცნების საბოლოო დასკვნების ექსპერიმენტული და ლოგიკური შემოწმება, არამედ შემეცნების ყველა საფეხურზე მიღებული შედეგების სისწორის ეტაპობრივი შემოწმებაც.

მეცნიერულ-მატერიალისტურმა მოძღვრებამ საუკეთესო წინამძღვრები შეუქმნა შემეცნების პროცესის სწორად გაგებას და შემეცნების თეორიის აღმავალი გზით მის შემდგომ განვითარებას, მაგრამ ეს როდი ნიშნავს, თითქოს შემეცნების რაობა ყოველთვის სწორად იყოს გაგებული. ამ გარემოებას აშკარად ადასტურებს

სხვადასხვა ფორმით აღდგენილი მისტიკური მიმდინარეობანი, რომელთა გავლენით ყალიბდება მრავალი მოზარდისა და მეცნიერის მსოფლმხედველობა. საილუსტრაციოდ მოვიტანთ ორიოდ მაგალითს. ცნობილი ფიზიკოსი ა. აინშტაინი შემეცნების მიზნების შესახებ წერს: „ყოველგვარი მეცნიერების მიზანს, იქნება იგი ბუნებისმეტყველება ან ფსიქოლოგია, წარმოადგენს ერთმანეთში შეათანხმონ ჩვენი შეგრძნებანი და მიიყვანონ ისინი ლოგიკურ სისტემამდე“ (148, გვ. 7).

იბადება კითხვა, რატომ არ მიიღო აინშტაინმა მხედველობაში ჰერაკლიტესა და სხვა მოაზროვნეთა გაფრთხილება, რომ შეგრძნებანი ხშირად ცუდი მოწმენი არიან? მას ხომ მრავალი ფაქტი მოეპოვებოდა თვით მექანიკიდან ჰერაკლიტეს ამ მოსაზრების დამადასტურებლად?!

კარგად არის ცნობილი, რომ მატარებელში მჯდომ მგზავრს, რომელიც ვაგონის ფანჯრიდან უცქერის მეზობლად მდგომი შემადგენლობის ადგილიდან დაძვრას, ექმნება შთაბეჭდილება, თითქოს ის მატარებელი ამოძრავებულ იყოს, რომელშიც თვითონ იმყოფებოდა და, პირიქით, როცა მისი მატარებელი დაიძვრის, მას ეჩვენება, თითქოს მეზობლად მდგომი მატარებელი ამოძრავდა. ანალოგიური მაგალითები, როდესაც შეგრძნებანი მცდარ შთაბეჭდილებას გვიქმნიან და შეცდომას რომ თავი დაეაღწიოთ, აუცილებელია არა მარტო აზროვნება, არამედ ზოგჯერ მექანიკის ფარგლებიდან გამოსვლაც, — შეიძლება დაუსრულებლად მოვიტანოთ.

დასმული კითხვის პასუხი მაშინვე ნათელი გახდება, თუ გავიხსენებთ აინშტაინის არაერთგზის განცხადებას, ჩემს მსოფლმხედველობაზე ყველაზე დიდი გავლენა მოახდინა იუმისა და მახის პოზიტივისტურმა შეხედულებებმაო. სწორედ ამის გამო საფუძველს არ არის მოკლებული „ფრანკის მტკიცება“, რომ „აინშტაინის თეორია იკვლევს არა მატერიალურ სხეულთა ობიექტურ მოძრაობას, არამედ ტვინის მდგომარეობას. შთაბეჭდილებებს, რომელთაც იწვევენ ფიზიკური ობიექტები ინდივიდუალურ დამკვირვებლებზე“ [36, გვ. 174].

გამოჩენილი ფიზიკოსები პ. დირაკი, ნ. ბორი, ვ. ჰაიზენბერგი და სხვები, რომლებიც პოზიტივიზმისა და ნეოპოზიტივიზმის გავლენაში მოექცნენ, აცხადებენ, „ფიზიკას საქმე აქვს მხოლოდ დაკვირვებად მოვლენებთანო“, მაგრამ თუ მათ მეცნიერულ საქმიანობას გადაეხედავთ, ისინი საქმით უარყოფენ ამ პოზიტივისტურ დებულებას და მთელი შესაძლებლობით ილტვიან იქითკენ, რომ შეიძენონ და შეისწავლონ სწორედ ის, რაც დღეისათვის არ არის დაკვირვებადი და შესწავლილი.

ვიდრე გალილეი ტელესკოპს გამოიგონებდა, მეცნიერებას თითქმის არავითარი იარაღი არ გააჩნდა დაკვირვებისა და უშუალო შემეცნებისათვის. დღეს ფიზიკა, გეოფიზიკა, ასტრონომია, ქიმია, ბიოლოგია, მედიცინა და მეცნიერების სხვა დარგები უშუალო შემეცნებისათვის აღჭურვილია ურთულესი ტექნიკით. მაგრამ ეს სრულებითაც არ შეიძლება იმის მომასწავებლად მივიჩნიოთ, რომ შემეცნების თეორიაში სასწორი ემპირიზმის ან პოზიტივიზმის სასარგებლოდ გადაიხარა.

უშუალო შემეცნებით, შეგრძნებებითა და აღქმებით, ისევე როგორც წინათ, არც ახლა შეიძლება შევიცნოთ, რატომ ეცემა ქვა დედამიწაზე, როგორი ბუნებისაა გრავიტაციული და სხვა სახის ველები; არ შეიძლება ვუპასუხოთ კითხვაზე: ქვის ვარდნის დროს მოძრაობის რომელი ფორმის გარდაქმნის ხარჯზე წარმოიქმნება ქვის მექანიკური მოძრაობა? როგორ მიმდინარეობს მოძრაობათა ფორმების ურთიერთგარდაქმნა ბირთვულ პროცესებში? როგორი აგებულებისაა ატომი, მისი ბირთვი და რა კავშირია მათ შემადგენელ ნაწილებს შორის?... ყველა ასეთ კითხვაზე პასუხის გაცემისათვის უნდა ზემართოთ გაშუალებული შემეცნების მეთოდს. ეს იმას ნიშნავს, რომ აუცილებელია ვაღიაროთ მიზეზობრიობის არსებობა, მოძრაობის რაოდენობის, ენერჯის, ასევე შენახვის სხვა კანონების სამართლიანობა და მათზე დაყრდნობით, პიპოთეზების, მოდელირების, მათემატიკური გაანგარიშებების, ექსპერიმენტული შემოწმებისა და მეცნიერული კვლევის სხვა მეთოდების გამოყენებით ვეძიოთ პასუხი ყველა იმ კითხვაზე, რომლებსაც კაცობრიობის წინაშე პრაქტიკა აყენებს და რომლებზეც უშუალო შემეცნების გზით არ შეიძლება პასუხი გაიცეს.

თავისთავად ცხადია, რომ სხვადასხვა მსოფლმხედველობის წარმომადგენლებს შემეცნების პროცესის რაობასა და მის მიზნებზე სხვადასხვა შეხედულება აქვთ, რაც აუცილებლად უნდა მივიღოთ მხედველობაში როგორც ერთი და იმავე ტერმინებით მოლაპარაკე სხვადასხვა მსოფლმხედველობის ავტორთა აზრის სწორად გაგებისათვის, ასევე იმ ღონისძიებათა შინაარსის სწორად გადმოცემისათვის, რომელთა გატარებას ჩვენ სასარგებლოდ ვთვლით ფიზიკის ზოგიერთი ცნების ოპტიმალური სწავლებისათვის.

§ 4. ცნების შინაარსის, მოცულობის, რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარის შესახებ

ცნების რაობის შესახებ არსებული შეხედულებანი ყოველ ეტაპზე განისაზღვრებოდა და განისაზღვრება მეცნიერების განვითარების

რების დონითა და იმ მეთოდოლოგიური ტენდენციების გავლენით, რომლებიც ბატონობენ შემეცნების თეორიაში.

ცნების კონცეპტუალისტური თეორიის მიხედვით, ცნებაში გა-
მოხატული „ზოგადი“ აზროვნების შედეგია, მას სინამდვილეში არა-
ფერი შეესაბამება. ამიტომ ცნება სინამდვილის შესამეცნებლად არ
შეიძლება გამოვიყენოთ.

არსებითად ამასვე ამტკიცებდა ანტიკური ნომინალიზმი. თანა-
მედროვე ნომინალიზმი მთლიანად ემიჯნება მატერიალიზმს, აშკა-
რად იდეალისტურია, რადგანაც საგნის ცნებაში გულისხმობს შეგრ-
ძნებათა კომბინაციას და არა რეალურად არსებულ საგანს. ა. აინ-
შტაინი პირდაპირ წერს: „ჩვენი ცნებანი და ცნებათა სისტემანი
მხოლოდ იმდენად არიან გამართლებული, რამდენადაც ისინი სამსა-
ხურს გვიწევენ ჩვენი შეგრძნებების კომპლექსთა გამოხატვაში;
უამისოდ მათ ძალა დაკარგული აქვთ“ [148, გვ. 8].

იდალ-რეალისტური თეორია, წინააღმდეგ კონცეპტუალიზმისა
და ნომინალიზმისა, აღიარებს ცნებაში გამოხატული ზოგადის არსე-
ბობას. მაგრამ ამ ზოგადს არა მატერიალურად, არამედ იდეალუ-
რად მიიჩნევს.

ოპერაციონალიზმი, რომლის მამამთავარია ცნობილი ანერიკე-
ლი ფიზიკოსი პ. ბრიკმენი, უგულვებლყოფს ცნების თვისებრივ
მხარეებს და ფიზიკის ცნებების საზრისიანობის კრიტერიუმად მხო-
ლოდ იმ ოპერაციებს მიიჩნევს, რომლებიც ცნებაში ნაგულისხმევი
სიდიდის გასაზომადაა გამოყენებული. როგორც ს. ავალიანი მართ-
ებულად მიუთითებს, ოპერაციონალიზმი თავისი არსით ნეოპო-
ზიტივისტურია და, ამრიგად, თავისი შედეგებით მიდის რეალობის-
უარყოფამდე [1].

ა. ბაქრაძე ცნების შესახებ მეცნიერული შეხედულების შემუ-
შავებაში ერთ-ერთ ხელშემშლელ ფაქტორად იმ გარემოებას
თვლის, რომ მეცნიერების თვით იმ დარგში, რომლის კვლევის
ერთ-ერთ ძირითად საგანს ცნების ჩაობა წარმოადგენს — ლოგიკა-
ში, გავრცელებული იყო მცდარი შეხედულება, თითქოს ცნების
„მიმართ ჰეშმარიტება — მცდარობის ნიშანი გამოუყენებე-
ლია“ [4, გვ. 81].

მეცნიერული მატერიალიზმის წარმომადგენლები ცნებას მიიჩ-
ნევენ ობიექტურად არსებული სამყაროს საგნებისა და მოვლენების
ზოგადი არსებითი მხარეების შემეცნების შედეგად მიღებულ აზ-
რად; ს. წერეთლის მიხედვით, ცნება არის „მსჯელობათა კავშირე-
ბის შედეგად“ ჩამოყალიბებული საგნის არსების ამსახველი აზრი
[37, გვ. 15]. კ. ბაქრაძე ცნებაში გულისხმობს მეცნიერული შემეც-
ნების შედეგად მიღებულ აზრს, „რომელშიც ასახულია საგანთა

კლასის ყველა ზოგადი და არსებითი ნიშანი“ [4. გვ. 82]. ნ. კონდაკოვი ცნებას განმარტავს, როგორც „აზრის უმაღლეს ფორმას, რომელშიც ასახულია საგნის ან საგანთა კლასის არსება“ [83, გვ. 274].

როგორც ვხედავთ, ეს განმარტებანი გარეგნულად ოდნავ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, არსით კი ერთნაირი არიან. ვფიქრობთ, არც ჩვენ დავუშვებთ არსებით შეცდომას, თუ დავეყრდნობით მოტანილი განმარტებებიდან გამომდინარე ცნების ერთ ისეთ განსაზღვრებას, რომელიც წინამდებარე ნაშრომის ინტერესებს უფრო შეესაბამება. ეს განსაზღვრება ასე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ: ცნება არის შემეცნების შედეგად მიღებული აზრი, რომელიც მეცნიერების განვითარების დონის შესაბამისად ასახავს საგნებისა და მოვლენების ზოგადარსებით ნიშნებს.

თუ ცნება შემეცნების შედეგია, ცხადია, ჰემმარიტება-მცდარობის ნიშანი არა თუ გამოუყენებელია, არამედ აუცილებელია იმის გასარკვევად, თუ მეცნიერების განვითარების აღებული დონისათვის რამდენად სწორად არის ასახული ცნებაში საგნებისა და მოვლენების უკვე შეცნობილი ზოგადი არსებითი ნიშნები.

მეცნიერებისა და ტექნიკის პროგრესთან ერთად ღრმავდება ჩვენი ცოდნა საგნებისა და მოვლენების მიმართ. საგნის თუ მოვლენის სხვა საგნებთან და მოვლენებთან ყოველი ახალი არსებით კავშირის აღმოჩენის შემდეგ იცვლება მათი ამსახველი ცნების შინაარსი და მოცულობა, მაგრამ ეს ცვალებადობა მეცნიერებას კი არ ათავისუფლებს სიზუსტისა და გარკვეულობის მოთხოვნილებისაგან, არამედ, პირიქით, მისგან მოითხოვს განვითარების აღებული დონისათვის ყველა არსებული ინფორმაციის გადამუშავების შედეგად ცნებაზე იქონიოს რაც შეიძლება ზუსტი და ნათელი შეხედულება.

მეცნიერების განვითარების დონის შესაბამისად საგნებისა და მოვლენების ზოგად არსებით ნიშანთა შესახებ არსებული ცოდნა გაიზარება ცნების შინაარსში, ცნების შინაარსი კი გადმოცემულია მის განსაზღვრაში.

გარდა შინაარსისა, არჩევენ აგრეთვე ცნების მოცულობას. ეს არის „ჩვენს ცნობიერებაში იმ საგნის ან საგნების ერთობლიობის ასახვა, რომელთა არსებითი ნიშნები ფიქსირებულია აღებულ ცნებაში“ [83]. ფიზიკის ცალკეულ ცნებებს, შინაარსის — თვისებრივი მხარისა და მოცულობის გარდა, გააჩნიათ აგრეთვე რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეები.

ზემოაღნიშნული გარემოებებიდან გამომდინარე, ფიზიკის ცნებების სრულფასოვანი სწავლება მოითხოვს მივცეთ მოსწავლეს სა-

თანადო ცოდნა ფიზიკის ცნების შინაარსის (თვისებრივი მხარის), შოცულობის — მისი გამოყენების სფეროს შესახებ, ხოლო იმ ცნებებზე, რომელთაც რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეები გააჩნიათ, ასაკის შესაბამისად მივაწოდოთ შესაბამი ცოდნა და სათანადო ცნობები მათი ერთეულების, გაზომვის ხერხებისა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულების შესახებ.

§ 5. ფიზიკის ზოგიერთი ცნების შინაარსის გაუმჯობესის ნაკლოვანებათა შესახებ

ფიზიკის სახელმძღვანელოში ცნების შესახებ მოცემული მასალა უნდა აკმაყოფილებდეს სამ ძირითად პირობას:

1. გააშუქოს საგნების ან მოვლენების ის ზოგადი და არსებითი მხარეები, რომლებიც ადებულ ცნებაში გაიაზრება, ან, სხვანაირად რომ ვთქვათ, პირველ რიგში უნდა გაშუქდეს ცნების თვისებრივი მხარე.

ცნების შინაარსი საჭიროა მოსწავლისათვის მისაწვდომი ფორმით მოკლედ გადმოიცეს სათანადო განსაზღვრებაში.

2. სახელმძღვანელოში ასაკის შესაბამისად მოცემული უნდა იქოს სათანადო მასალა ცნების მოცულობის, მისი გამოყენების სფეროს შესახებ.

3. თუ ცნებას რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეები აქვს, წარმოდგენილი უნდა იქნას მათი დადგენისა და გაზომვის ხერხები, გამოსაანგარიშებელი ფორმულები, ერთეულები და პრაქტიკასთან დაკავშირებული შესაბამისი სავარჯიშო მასალა.

სათანადო ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფიზიკის ბევრი სახელმძღვანელო ვერ აკმაყოფილებს ზემოთ მოტანილ პირველ მოთხოვნას. IX კლასის ამჟამად მოქმედი სახელმძღვანელოს ავტორის ა. პერიშკინის სასახელოდ უნდა ითქვას, რომ იგი ბევრი სხვა ავტორისაგან განსხვავებით, პირველ რიგში აშუქებს ფიზიკის ცნებათა თვისებრივ მხარეს, ხოლო შემდეგ იძლევა სათანადო მასალას მათი გამოყენების სფეროთა და რაოდენობრივი მხარეების შესახებ.

მაგრამ, მიუხედავად ამისა, სახელმძღვანელოში ცნებათა თვისებრივი მხარეების გაშუქება არ არის დაზღვეული ნაკლოვანებებისგან, რომლებიც, როგორც შემდეგ დავინახავთ, ძირითადად გაპირობებულია ობიექტური მიზეზებით.

ძალის თვისებრივი მხარე, მაგალითად, შემდეგნაირადაა განმარტებული: „ს ი დ ი დ ე ს, რ ო მ ლ ი თ ა ც ხ ა ს ი ა თ დ ე ბ ა ე რ თ ი ს ხ ე უ ლ ი ს მ ე ო რ ე ზ ე მ ო ქ მ ე დ ე ბ ა, რ ი ს შ ე დ ე გ ა-

დაც იცვლება სხეულის სიჩქარე, ე. ი. წარმოიშობა აჩქარება, ძალა ეწოდება“ [28].

ამ განმარტებაში პირველ სიტყვა — „სიდიდეს“ — იმაზე მიუთითებს, რომ ძალა — ეს ისეთი რამ არის, რომლის გაზომვა შეიძლება. მომდევნო წინადადებაში — „რომლითაც სასიათდება ერთი სხეულის მეორეზე მოქმედება“ — ძალის თვისებრივი მხარის გაგება დაყვანილია სიტყვა „მოქმედების“ მნიშვნელობის გაგებაზე, მაგრამ ამ სიტყვის მნიშვნელობის შესახებ სახელმძღვანელოში არსად არაფერია მითითებული. რაც შეეხება მომდევნო წინადადებებს — „რის გამოც იცვლება სიჩქარე, ე. ი. წარმოიშობა აჩქარება, ძალა ეწოდება“ — იგი არ იძლევა ძალის თვისებრივი მხარის განმარტებას, რადგან უცნობია სწორედ ის, რის გამოც წარმოიშობა აჩქარება და რაც ძალის ცნებითაა გამოსატყული.

ამრიგად, ძალის განმარტება ამ ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ არ შეიცავს აუცილებელ ინფორმაციას. ძალის ცნების ამ განმარტების დადებითი მნიშვნელობა იმით ამოიწურება, რომ იგი შეიცავს გარკვეულ ინფორმაციას ძალის ცნების გამოყენების სფეროს შესახებ.

მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის განსაზღვრისათვის სახელმძღვანელოში მოცემულია შემდეგი განმარტება: „მექანიკური მუშაობა წარმოადგენს პროცესს, რომლის დროსაც ხდება წინააღმდეგობათა დაძლევა სხეულის მოძრაობის გზაზე“. აქ მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის არსის გაგება დაყვანილია იმის გარკვევაზე, თუ რა იგულისხმება „წინააღმდეგობის დაძლევაში“. სახელმძღვანელოში მოტანილია „წინააღმდეგობის დაძლევის“ მრავალი მაგალითი, მაგრამ არაფერია ნათქვამი იმაზე, თუ რა საერთო არსებითი მხარე აქვთ მათ და რას ნიშნავს იგი ფიზიკის თეალსაზრისით. ამის გამო გაურკვეველი რჩება მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის არსი.

მუშაობის ცნების მოტანილი განმარტება, მის დადგენასთან დაკავშირებით გადმოცემულ მასალასთან ერთად საკმაო ინფორმაციას იძლევა ამ ცნების გამოყენების სფეროზე. ასევე კარგად არის გაშუქებული მუშაობის რაოდენობრივ მხარესთან დაკავშირებული ყველა საკითხი.

სიმძლავრის ცნების განსაზღვრისათვის სახელმძღვანელოში ორი განმარტებაა მოცემული, ორივე მათგანი მუშაობის ცნებაზეა დაყრდნობილი. მაგრამ რადგან მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარე სათანადოდ არ არის გაშუქებული, ფაქტიურად გაურკვეველი

რჩება სიმძლავრის ცნების თვისებრივი მხარეც. კარგადაა გადმოცემული სიმძლავრის რაოდენობრივი მხარის შეფასება და სათანადო მითითებანი ამ ცნების გამოყენების სფეროს შესახებ.

ენერჯის ზოგადი ცნების შინაარსი სახელმძღვანელოში განმარტებულია, როგორც მუშაობის შესრულების უნარი, მაგრამ, რადგან მუშაობის თვისებრივი მხარე უცნობია, ენერჯის ზოგადი ცნების თვისებრივი მხარეც უცნობი რჩება.

ენერჯის კონკრეტული სახეები — კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების რაობის განმარტებანი ემყარება ენერჯის ზოგად ცნებებს. მაგრამ რადგან ენერჯის ზოგადი ცნება არ არის განმარტებული, ფაქტიურად გაუცნობიერებელი რჩება კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების თვისებრივ მხარეთა რაობა. რაც შეეხება მათი რაოდენობრივი მხარეების გამოსაანგარიშებელ ფორმულებსა და სათანადო მითითებებს გამოყენების სფეროების შესახებ, სახელმძღვანელოში ისინი კარგადაა გადმოცემული.

უკანასკნელი 10—15 წლის მანძილზე ჩვენი ქვეყნის საშუალო და სპეციალური სკოლებისათვის ფიზიკაში სწვადასხვა ავტორთა კოლექტივის (ლ. ჟდანოვი და ნ. ხლებნიკოვი; დ. სახაროვი და მ. ბლუდოვი; ა. პერიშკინი და ნ. ტრეტიაკოვი; და სხვ.) რამდენიმე სახელმძღვანელო გამოიცა. ყველა მათგანში ზემოხსენებული ცნებების თვისებრივ მხარეთა გაშუქების მხრივ ძირითადად ისეთივე მდგომარეობაა, როგორიც ზემოთ ავწერეთ. ამიტომ მათ აღარ განვიხილავთ.

ახლა ვნახოთ, როგორ არის გაშუქებული ძალის, მუშაობის, სიმძლავრისა და ენერჯის ცნებათა თვისებრივი მხარეები ამერიკაში ერთ-ერთ ყველაზე უფრო პოპულარულ, საშუალო განათლებისათვის განკუთვნილ ფიზიკის სახელმძღვანელოში, რომელიც შეადგინეს ფლორიდის უნივერსიტეტის ფიზიკის პროფესორმა ლ. ელიოტმა და დასავლეთ მიჩიგანის კოლეჯის ფიზიკის „პროფესორის ასისტენტმა“ უ. უილკოქსმა.

ფიზიკის ამ წიგნში ძალის შესახებ ვკითხულობთ: „ძალა — ეს არის ბიძგი ან წევვა, მაგრამ უფრო ზუსტად: ძალა ეწოდება იმას, რაც იწვევს ან წყვეტს მოძრაობას, ცვლის მოძრაობის მიმართულებას ან ცვლის სხეულის ფორმას“ [150, გვ. 50].

პირველი განმარტების მიხედვით ძალის არსების გაგებისათვის საჭიროა „ბიძგისა“ და „წვევის“ არსის გარკვევა, მაგრამ სახელმძღვანელოს ავტორები ასე ღრმად არ იჭრებიან საკითხის არსში, მხოლოდ გარეგნულად აღწერენ ბიძგებისა და წვევის მაგალითებს, რის გამოც მათი მნიშვნელობა მხოლოდ იმით ამოიწურება, რომ

გარკვეულ ინფორმაციას იძლევიან ამ ცნების მოცულობის. მისი გამოყენების სფეროს შესახებ.

მეორე განმარტება, რომელიც ავტორებს „უფრო ზუსტად“ მიაჩნიათ, ძალას განმარტავს როგორც მოძრაობის გამომწვევ მიზეზს, მაგრამ მოძრაობის მიზეზის შესახებ ჯერ კიდევ ძველი საბერძნეთის მოაზროვნეთაგან დაწყებული დღემდე ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო, ანტაგონისტური შეხედულება არსებობს. ამის თაობაზე ავტორები არაფერს ამბობენ. ამიტომ გაუგებარი რჩება, რას გულისხმობენ ისინი მოძრაობის გამომწვევ მიზეზად.

როცა მუშაობის, სიმძლავრისა და ენერჯიის ცნებათა შინაარსის განსაზღვრების საკითხზე გადადიან, ელიოტი და უილკოკსი მიუთითებენ, ცოტა მოინახება ისეთი სიტყვები, რომელთა შესახებაც იმდენი აბნეულობა და სხვადასხვანაირი გაგება იყოს, როგორც ამას ვხვდებით მუშაობის, სიმძლავრისა და ენერჯიის მნიშვნელობათა შესახებო [150, გვ. 237]. მეორე გვერდზე ისინი პირდაპირ წერენ: „რასაკვირველია, ცნებებში ასეთი აბნეულობა მიუტევებელია არა მარტო მეცნიერებაში, არამედ რომელიც გნებავთ სხვა დარგში“ [150, გვ. 238].

ელიოტსა და უილკოკსს საჭიროდ მიაჩნიათ აღნიშნოს, რომ: „განსაზღვრებებს შეიძლება წარუდგინოთ ისეთივე მოთხოვნა, როგორსაც ვუყენებთ ჰიპოთეზებს, სახელდობრ: იმათგან გამომდინარე ლოგიკური შედეგები უნდა ეთანხმებოდნენ ცდას და არ მივყავდეთ უაზრო შედეგებამდე“ [150, გვ. 238]. სამწუხაროდ, მუშაობის ცნების შინაარსის გარკვევისათვის ავტორთა მთელი მსჯელობა იმით ამოიწურება, რომ თურმე იმ „ვინმეს“, რომელიც სათიბის სახელურს აწვება, მაგრამ ბალახს არ თიბავს, ფულს არ უხდის, ხოლო იმას, ვინც ბალახს თიბავს, ფულს აძლევენ და რომ F. t არ გამოდგება მუშაობის გასაზომად, ხოლო F. S ამ მიზნით გამოსადეგია. მუშაობის ცნების განმარტებისათვის ამ მსჯელობიდან მხოლოდ იმ დასკვნის გამოტანა შეიძლება, რომ მუშაობა ტოლია ძალა გამრავლებული გზაზე, მაგრამ ეს მუშაობის რაოდენობრივი მხარის გამოსაანგარიშებელი ფორმულის სიტყვიერი გამოთქმვა და არა მუშაობის ცნების შინაარსის განსაზღვრება.

ელიოტი და უილკოკსი სიმძლავრეს განმარტავენ როგორც მუშაობის შესრულების სიჩქარეს, ენერჯიას, როგორც მუშაობის შესრულების უნარს. კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების განმარტება ასევე მთლიანად დაფუძნებულია მუშაობის ცნებაზე. რადგან ავტორები არ განმარტავენ მუშაობის ცნების თვისებრივ მხარეს, ფაქტიურად განუმარტავი რჩება ყველა ზემოხსენებული

ცნების — სიმძლავრის, ენერჯის, კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების თვისებრივი მხარეები. რაც შეეხება ამ ცნებათა გამოყენების სფეროსა და მათი რაოდენობრივ მხარეთა შეფასებას, ამ მიმართულებით წიგნში მოცემულია სათანადო ინფორმაცია.

ახლა განვიხილოთ, როგორ არის გაშუქებული ძალის, მუშაობისა და ენერჯის ცნებები ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ავტორიტეტულად აღიარებული ამერიკელი ფიზიკოსის ჯ. ორიის წიგნში „პოპულარული ფიზიკა“. ავტორი წინასიტყვაობაშივე აცხადებს, რომ წიგნის სულისკვეთებისა და მიმართულების განმსაზღვრელია პასუხი გასცეს კითხვებზე: „რა არის ფიზიკური რეალობა? რას მოყავს მოძრაობაში სამყარო? რას წარმოადგენენ ბუნების „გამოცანები“? [111]. ორიი აქვე აღნიშნავს, რომ თავისი ბუნებით ფიზიკა „საფუძველშივე ღრმა ფილოსოფიური მეცნიერებაა“, მაგრამ, სამწუხაროდ, არაფერს ამბობს იმაზე, თუ რომელი ფილოსოფიური მიმართულება წარმოადგენს მის კრედოს.

ორიი ძალის ცნებას ცალკე პარაგრაფს უძღვნის, რომელსაც უკეთებს შემდეგ ეპიგრაფს: „გაწიე — უბიძგე ფიზიკაში“. შესავალში დაპირების თანახმად — გააკვიოს, რას მოყავს მოძრაობაში სამყარო — მოსალოდნელი იყო, რომ ავტორი პირველ რიგში შეეცდებოდა გაეშუქებინა ძალის ცნების თვისებრივი მხარე და ამით პასუხი გაეცა კითხვაზე რა არის ის, რაც „ეწევა და უბიძგებს“. მაგრამ ასე არ იქცევა, სრულებით არაფერს ამბობს ძალის თვისებრივ მხარეზე, ე. ი. უპასუხოდ ტოვებს კითხვას — რა არის მოძრაობის გამომწვევი მიზეზი და პირდაპირ იწყებს ძალის რაოდენობრივი მხარის გამოსაანგარიშებელი ფორმულების გადმოცემას.

ორიი ასევე სრულიად არაფერს ამბობს მუშაობისა და ენერჯის თვისებრივ მხარეთა შესახებ. იგი იძლევა მხოლოდ მათი სიდიდის გამოსაანგარიშებელ ფორმულებს, ერთეულებსა და სათანადო მითითებებს ამ ცნებათა გამოყენების სფეროს შესახებ.

იმდენად მრავალრიცხოვანია ფიზიკის, მექანიკის, თეორიული და ანალიზური მექანიკის სახელმძღვანელოები, აგრეთვე მონოგრაფიები, მეთოდური და სხვა სახის ლიტერატურა, რომლებშიც მოცემულია სათანადო მასალა ძალის, მუშაობისა და ენერჯის შესახებ, რომ მათი ინდივიდუალური განხილვა შეუძლებელია, თუმცა ეს არც არის აუცილებელი, რადგან განსახილველი ცნებების თვისებრივი მხარეების გაშუქების მიხედვით ისინი შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად. ძალის ცნების შინაარსის გარკვევის მხრივ, მაგალითად, ხსენებული ლიტერატურა იყოფა რვა ძირითად ჯგუფად.

პირველ ჯგუფს ეკუთვნებთ იმ ლიტერატურას, რომელთა ავტორები არ არკვევენ ძალის ცნების თვისებრივ მხარეს და იძლევიან სათანადო ინფორმაციას მხოლოდ მისი რაოდენობრივი მხარის შესახებ და გამოყენების სფეროს შესახებ [9, 19, 122].

მეორე ჯგუფში შეიძლება მოვაქციოთ ის ლიტერატურა, რომელთა ავტორები ნეოპოზიტივისტური ოპერაციონალიზმის გავლენის ქვეშ იმყოფებიან და უაზროდ მიიჩნევენ ძალის ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ საკითხის დაყენებასაც კი. ასეთი ჯგუფის ლიტერატურას უნდა მიეკუთვნოს ოპერაციონალიზმის მამამთავრის, ამერიკელი ფიზიკოსის ბრიჯმენისა და მისი მიმდევრების ნაშრომები.

მესამე ჯგუფის ლიტერატურაში შეიძლება გავაერთიანოთ ისინი, რომელთა ავტორები ძალის თვისებრივი მხარის გარკვევას უკავშირებენ კუნთების დაძაბვის შეგრძნებას [49, 50, 116]. ეს გზა დასახული მიზნის მისაღწევად არ გამოდგება, რადგან ფიზიოლოგიას ჭერჭერობით კუნთების დაძაბვის მოქმედებაზე მხოლოდ იმის თქმა შეუძლია, რომ ეს არის პირობითი ან უპირობო რეფლექსის გამოვლინება.

მეოთხე ჯგუფის ავტორებს ძალის თვისებრივი მხარის განსაზღვრება დაფუძნებული აქვთ სიტყვა „ქმედებაზე“, მაგრამ რადგან ქმედების განსაზღვრებას არ იძლევიან, ფაქტიურად განუსაზღვრელი რჩება ძალის ცნების თვისებრივი მხარე [35, 12, 22, 39, 44, 82, 107, 125, 126, 137, 143].

მეხუთე ჯგუფის ლიტერატურის ავტორები ძალას განიხილავენ, როგორც დეფორმაციის, სიჩქარის შეცვლის — აჩქარების ან მოძრაობის გამოწვევს მიზეზად. მაგრამ არ პასუხობენ კითხვაზე: რას ვგულისხმობთ ძალაში, რომელიც „იწვევს დეფორმაციას ან მოძრაობას?“ [2, 15, 30, 58, 66, 67, 90, 114, 130, 140, 142, 145].

მეექვსე ჯგუფში შეიძლება გავაერთიანოთ ის ავტორები, რომლებიც რ. კოტისის მსგავსად ძალას მიიჩნევენ ისეთ „პირველ მიზეზად“, რომელშიც უდიდესი სიცხადით ვლინდება „უმადლესი სიბრძნე და ყოვლისშემძლეობა ყოვლადუბრძენესი და ყოვლისშემძლებელი შემოქმედებისა“ [109, გვ. 20].

მეშვიდე ჯგუფში შეიძლება მოვაქციოთ ის ლიტერატურა, რომელთა ავტორები ფიზიკისათვის საერთოდ ზედმეტად თვლიან ძალის ცნებას და ცდილობენ ააგონ ფიზიკის ისეთი კურსი, რომელშიც სრულებით არ იქნება ძალის ცნება [65].

და, ბოლოს, მერვე ჯგუფში გვინდა მოვაქციოთ უახლესი მიმდინარეობის გამომხატველი ლიტერატურა, რომელთა ავტორები

ქალას განიხილავენ, როგორც „გადატანილი მოძრაობის ზომას“ [84, 106].

მუშაობის ცნების გაცნობიერების მხრივ არსებული ლიტერატურა იყოფა ხუთ ძირითად ჯგუფად.

პირველს მიეკუთვნება ნაშრომები, რომელთა ავტორები ვერ ამჩნევენ ან საჭიროდ არ თვლიან მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის განმარტებას [9, 107, 116, 145].

მეორე ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ ის ლიტერატურა, რომლებშიც მუშაობის ცნების შინაარსის განსაზღვრება დაფუძნებულია ძალაზე. მაგრამ, რადგან მათში მოცემული არ არის ძალის ცნების თვისებრივი მხარის დამაკმაყოფილებელი განმარტება, ცხადია, ფაქტიურად განუმარტავი რჩება მუშაობის ცნების რაობა [2, 15, 35, 39, 122, 125, 137, 142, 143].

მესამე ჯგუფში შეიძლება გავაერთიანოთ ის ლიტერატურა, რომელთა ავტორები მუშაობის ცნების შინაარსის განსაზღვრებას აფუძნებენ ენერგიაზე [59, 113, 126]. რაც შეეხება ენერგიის შინაარსის განსაზღვრებას, ზოგი მათგანი მისი განმარტების საჭიროებას არ თქლის აუცილებლად, ზოგიერთი კი ენერგიას განმარტავს მუშაობის ცნებაზე დაყრდნობით, რის გამოც ვიღებთ წრეს — მუშაობა განიშარტება ენერგიით, ენერგია — მუშაობით. ასეთი განსაზღვრებანი გაუმართლებელია, რადგან ვერ აკმაყოფილებს ლოგიკის საყოველთაოდ ცნობილ ელემენტარულ წესს — რომ განმარტება არ უნდა იყოს წრე.

მეოთხე ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ ის ავტორები, რომლებიც მუშაობის ცნების თვისებრივ მხარეს განმარტავენ, როგორც წინააღმდეგობის გადალახვას სხეულის მოძრაობის გზაზე [22, 82].

მეხუთე ჯგუფის ავტორები მუშაობის ცნების შინაარსის გარკვევას უკავშირებენ მატერიის მოძრაობის ფორმებს, მაგრამ ხაზს უსვამენ მხოლოდ რაოდენობრივ მხარეს, თვისებრივი მხარე კი გაურკვეველი რჩება [28, 44, 106, 130].

სპეციალური ლიტერატურა, რომელშიც განხილულია ენერგიის ცნება, შეიძლება დაიყოს ექვს ჯგუფად.

პირველი ჯგუფის ლიტერატურის ავტორები, ისევე როგორც ძალისა და მუშაობის ცნების შემთხვევაში, ვერ ამჩნევენ ან საჭიროდ არ თვლიან ენერგიის ცნების თვისობრივი მხარის გაშუქების აუცილებლობას [9, 92, 111, 114].

მეორე ჯგუფის ლიტერატურაში ენერგიის ცნების შინაარსის განსაზღვრება დაფუძნებულია მუშაობისა და ძალის ცნებაზე, მაგრამ მათში შესაბამისად არ არის განმარტებული მუშაობისა და ძალის ცნებათა თვისებრივი მხარეები, რის გამოც ფაქტიურად გა-

ნუსაზღვრელი რჩება ენერჯის ცნების თვისებრივი მხარე [2, 15, 22, 35, 38, 39, 82, 115, 122, 125, 137, 142, 143].

მესამე ჯგუფს უნდა მივაკუთვნოთ ის ავტორები, რომლებიც ვ. ოსტვალდის მსგავსად თვლიან, რომ ენერჯის ცნებას არ ესაჭიროება განმარტება, რადგან იგი პირველადია და თვითონ არის საფუძველი ყველა სხვა ცნების განსაზღვრებისა [86, 140]. რომ არაფერი ვთქვათ ამ თვალსაზრისის მეთოდოლოგიურ არსზე, თავისთავად ცხადია, იგი მეცნიერულად ყოვლად გაუმართლებელია. ისე როგორც ძალის, ენერჯის ცნების შინაარსის გარკვევა უშუალოდ არის დაკავშირებული „მოძრაობის მიზეზის პრობლემასთან“ და ამ პრობლემის გვერდის ავლა არ შეიძლება. საჭიროა მოცემული იქნას ენერჯის თვისებრივი მხარის ისეთი განსაზღვრება, რომელიც დააკმაყოფილებს აუცილებელ მოთხოვნას — ასახოს მოვლენის ის მხარე, რომლისთვისაც იგი არის განკუთვნილი.

მეოთხე ჯგუფს მივაკუთვნებთ ბრაიტმენსა და მის თანამოაზრეებს, რომლებიც „ფიზიკოსების მიერ აღწერილ ენერჯიაში“ გულისხმობენ „ღვთიურ ნებას მოქმედებაში“ [55].

მეხუთე ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ თანამედროვე ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსების რ. ფეინმანის (ნობელის პრემიის ლაურეატი), რ. ლეიტონისა და მ. სანდსის ფიზიკის მეცნიერების შემდგომი პროგრესისათვის მეტად სასარგებლო გულშია განცხადება: „მნიშვნელოვანია გვახსოვდეს, რომ დღევანდელი დღის ფიზიკისათვის არ არის ცნობილი, რა არის ენერჯია“ [140, გვ. 73]. ეს მოსაზრება, უდავოდ, სწორია იმ ფიზიკისათვის, რომელსაც დღემდე ნათლად და მკაფიოდ არ გაუცნობიერებია, რომ ფიზიკის კვლევის საგანს წარმოადგენს მატერიის ცალკეული სახეები და მოძრაობის ის ფორმები, რომლებშიც ეს სახეები მონაწილეობენ ან თავისთავში შეიცავენ მათ. როგორც უკვე ითქვა, ძალის, მუშაობისა და ენერჯის ცნებები მოძრაობის ფორმათა სხვადასხვა მხარეებს გამოხატავენ.

მექექსე ჯგუფს გვინდა მივაკუთვნოთ ის ავტორები, რომლებიც ენერჯის ცნების შინაარსის გარკვევას უკავშირებენ მატერიის მოძრაობის ფორმებს. ისინი შეიძლება გაიყოს ორ ქვეჯგუფად: ერთნი, რომლებიც მიუთითებენ, რომ ენერჯია მატერიის მოძრაობის ფორმის თვისებაა, მაგრამ არ ასახელებენ, კერძოდ, რომელი თვისება არის გამოხატული ამ ცნებაში [20, 110]; მეორენი ენერჯიას განმარტავენ როგორც მოძრაობის გარდაქმნის ზომას, მაგრამ გარკვევით არაფერს ამბობენ ამ ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ [44, 89, 106, 130, 152].

როგორც ვხედავთ, არსებულ ლიტერატურაში ძნელად შეიძლება მოინახოს ძალის, მუშაობისა და ენერჯის ცნების თვისებრივ მხარეთა ყოველმხრივ დამაკმაყოფილებელი განმარტებანი.

ასეთი მდგომარეობის მიზეზი მრავალია. ისინი, ეს მიზეზები, შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად ჯგუფად. პირველი — ეს არის საკითხის სირთულე და მეცნიერების განვითარების დონის შემოსაზღვრულობა; მეორე — მეთოდოლოგიურ მიმდინარეობათა ბრძოლა სამყაროს შემეცნებისა და ცნების რაობის გაგების საკითხებში; მესამე — ფსიქოლოგიური ფაქტორები.

პირველი და მეორე ჯგუფის მიზეზებზე ზოგადად უკვე მივუთითეთ შემეცნებისა და ცნებათა რაობისადმი მიძღვნილ პარაგრაფებში. უფრო კონკრეტულად მათზე მომდევნო თავში გვექნება ლაპარაკი, აქ კი გვინდა შევჩერდეთ მესამე ჯგუფის მიზეზებზე.

როგორც ჯერ კიდევ ადრე აღინიშნა, „ბუნებით ყველა ადამიანი შემეცნებისაკენ ისწრაფვის“ [42]. სწავლის გზით შემეცნების პროცესში მოზარდი იგებს ახალ-ახალ სიტყვებს (ძალა, მუშაობა, სიმძლავრე, ენერჯია და სხვ.); იგი მიიღტვის შეიცნოს, რა იგულისხმება ამ სიტყვებში; მას უნდა გაიგოს, ამ სიტყვებში ნავარაუდევ რაობას რა ადგილი უჭირავს იმ გარემოში, რომელიც ნიადაგზე მოქმედებს მის პიროვნებაზე; სურვილი აქვს პირველ რიგში შეიცნოს აღებულ სიტყვაში ნავარაუდევნი საგნის თუ მოვლენის თვისებრივი მხარე. მიუხედავად შემეცნებისადმი ლტოლვით გამოწვეული დიდი სურვილისა, მოსწავლე ძალის, მუშაობის, ენერჯისა და ზოგიერთი სხვა ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ ვერ ახერხებს დამაკმაყოფილებელი პასუხის მიღებას. სამაგიეროდ მთელი სწავლის პერიოდში იგი განუწყვეტლივ იღებს სათანადო ინფორმაციას აღებული ცნების რაოდენობრივი მხარისა და მისი გამოყენების სფეროს შესახებ. მიღებულ ცოდნაზე დაყრდნობით იგი წყვეტს ცხოვრებისაგან ნაკარანხევ მთელ რიგ ამოცანებს, გადადის კლასიდან კლასში, ამთავრებს სკოლას, მისაღებ გამოცდებს აბარებს უმაღლეს სასწავლებელში, შედის ასპირანტურაში, ამთავრებს მას და ა. შ. პიროვნების ჩამოყალიბების ამ პროცესში ადამიანს გაუცნობიერებლად, თანდათანობით ექმნება არასწორი შთაბეჭდილება, ვითომ მან უკვე ყველაფერი იცის აღებული ცნების შესახებ. როცა ასეთი შეხედულების პიროვნება წერს სახელმძღვანელოს ან ასწავლის მოსწავლეებსა და სტუდენტებს, იგი აშუქებს ზემოაღნიშნულ ცნებათა რაოდენობრივ მხარესა და მათი გამოყენების სფეროს, ოღონდ თუ დადგა ფაქტის წინაშე, რომ მოსწავლეს ან სტუდენტს აინტერესებს რაღაც სხვა, ვიდრე მის ლექციაში და სახელმძღვანელოებშია გადმოცემული, არასახარბილო მდგომარე-

ობაში აღმოჩნდება და უხერხულობის თავიდან ასაცილებლად ცდილობს შექმნას შთაბეჭდილება, თითქოს ფიზიკის მეცნიერებისათვის მეტის ცოდნა არ არის საჭირო, რომ თითქოს ეს „ფილოსოფოსობაა“, რომელიც საგანს ვნებს. სამწუხაროდ, ზოგიერთი ვერ ამჩნევს, რომ ასეთი მოქმედება არ არის სასარგებლო მეცნიერებისათვის. როგორც უკვე მინიშნებული იყო, მეცნიერების შემდგომი პროგრესისათვის უმჯობესია ისე მოვიქცეთ, როგორც ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსები რ. ფეიმანი, რ. ლეიტონი და მ. სენდსი იქცევიან ენერჯის ცნების თვისებრივი მხარის განმარტების მიმართ; არასრულყოფილობის მიჩქმალვის ნაცვლად უკეთესია ხაზი გავუსვათ იმას, რაც სტიმულს მისცემს შემდგომი კვლევის დაჩქარებას ნაკლოვანებათა გამოსასწორებლად.

ცნებათა თვისებრივი მხარის არასრულფასოვანი დაუფლება და ამ ფაქტის გაუცნობიერებლობა მარტო ფიზიკისათვის როდია დამახასიათებელი. იგი ჩვეულებრივი მოვლენაა აგრეთვე მეცნიერების სხვა დარგებისთვისაც. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ თვალს გადავავლებთ ქართველ ფსიქოლოგთა უკანასკნელ გამოკვლევებს.

რ. ნათაძე ხაზგასმით მიუთითებს, რომ „ჩვეულებრივი ყოველდღიური აზროვნების პროცესში, კულტურული ზრდადამთავრებული ადამიანიც კი აზროვნებს მეტწილად არამეცნიერული, არალოგიკური ცნებებით, ე. ი. სათანადო სიტყვათა მნიშვნელობაში არა მარტო არ გულისხმობს სათანადო მოვლენათა არსის გამომხატველ ნიშნებს — არსებით ნიშნებს, არამედ ხშირად არ იცნობს ამ ნიშნებს“ [26, გვ. 121].

დ. რამიშვილს შრომაში „მეტყველების განსხვავებულ სახეთა ფსიქოლოგიური ბუნებისათვის“ მოტანილი აქვს ფაქტები, რომლებიც იმაზე მიუთითებენ, რომ არა მარტო კულტურულ ზრდადამთავრებულ ადამიანს, არამედ ზოგჯერ სპეციალისტ მეცნიერსაც კი არა აქვს თავისი დარგის ცნების შინაარსი გაცნობიერებული. ერთ-ერთ ბოტანიკოსს კითხვაზე „რა არის ბალახი?“ გაკვირვებით განუცხადებია, რომ „ამას არავითარი განმარტება არ სჭირდება, ყველამ იცის, რა არის ბალახი“ [31, გვ. 84], მაგრამ მისი განსაზღვრება მას ვერ მოუხერხებია.

ანალოგიური შინაარსის პასუხები მიუღია ავტორს სხვა დარგების ზოგიერთ სპეციალისტისაგანაც კითხვებზე: რა არის ძაღლი? რა არის შური? რა არის ზნეობა — უზნეობა? და სხვ.

ასეთივე მდგომარეობაა ფსიქოლოგიაში სწავლისა და სხვა ცნებების გაგების მხრივ. ა. ფრანგიშვილს ნაშრომში „სწავლის ფსიქოლოგიური ბუნებისათვის“ [34] მოტანილი აქვს სიტყვის —

„სწავლა“ სხვადასხვანაირი გაგების ფაქტები როგორც ყოველდღიურ „სიტყვა-ხმარებაში, ისე მეცნიერულ ფსიქოლოგიაში“. ამ სიტყვის სხვადასხვანაირი გაგების გამო, როგორც ავტორი მიუთითებს, საქმე იქამდეა მისული, რომ ზოგიერთ მეცნიერს აუცილებლად მიაჩნია შემდგომ დაიყოს სწავლის ცნება და დადგინდეს სწავლის სხვადასხვა ტიპები.

ეხება რა ანალოგიურ პრობლემას, ა. ბოკორიშვილი ნაშრომში „ფსიქოლოგიზმი და ანტიფსიქოლოგიზმი ფსიქოლოგიაში“, მიუთითებს, რომ ტერმინები: „სუბიექტი“ და „ობიექტი“ სხვადასხვა მნიშვნელობით გამოიყენება ლოგიკაში, გნოსეოლოგიაში. ფსიქოლოგიაში, ონტოლოგიაში, სამართლის თეორიაში, ეთიკაში. სოციოლოგიაში და ა. შ. ავტორი გამოდის იმ დაშვებიდან, რომ ეს გარემოება ყველასათვის კარგად არის ცნობილი, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, იძულებულია აღნიშნოს, რომ „...მაინც ხშირია შემთხვევა, როცა ამ ტერმინების მნიშვნელობა არაა დიფერენცირებული საჭირო სიზუსტით, არაა თანმიმდევრულად ხმარებული ერთჯერ აღებული მნიშვნელობით“ [6. გვ. 5].

მსგავს მოვლენებთან საქმე გვაქვს მხატვრული სიტყვის გამოჩენილ ოსტატთა შემოქმედებაშიც. მარკ ტვენი ერთ-ერთ ნაწარმოებში სიტყვა „ბალზამს“ ხმარობს და იქვე შენიშნავს: „მართალი გითხრათ, არც მინახავს და არც ვიცი, რა არის „ბალზამი“. მაგრამ რატომღაც მგონია, რომ ამ შემთხვევაში სწორედ ეს სიტყვა უნდა ვისმართო“ [32, გვ. 46].

ვიდრე ჩვენთვის საინტერესო ცნებათა შინაარსის სწავლების მეთოდის გადმოცემას შევეუდგებოდეთ, ბუნებრივია, ჯერ უნდა შევჩხოთ ცნებათა შინაარსის სწორად დადგენის საკითხს, წინააღმდეგ შემთხვევაში კურობოთელი ფაქტის წინაშე აღმოჩნდებით. საილუსტრაციოდ მოვიტანთ ერთ მაგალითს: ვ. იუსკოვიჩი თავის ერთ-ერთ ნაშრომში [151, გვ. 98] „სითბური ენერჯისა“ და „შინაგანი ენერჯის“ ცნებების შინაარსის შესახებ ეხება იმ აზრთა სხვადასხვაობას, რომელიც არსებობს, ერთი მხრივ, ვ. ნოზდრეცს, ნ. სუვოროვს, ა. მლოდზაევსკის, ზოლოჯ მემორე მხრივ. კ. პუტილოვს და სხვა ცნობილ მეცნიერთა შორის, შემდეგ კი დასძენს: „ზოგიერთები თვლიან, რომ შინაგანი ენერჯის ცნება ძნელი და კიდევ მეტი მიუწვდომელია მოსწავლეთათვის. მაგრამ ბევრი მასწავლებლის გამოცდილება უარყოფს ამ აზრს“. გამოდის, რომ ცნებებს, რომელთა შინაარსის დადგენაში ვერ შეთანხმებულან გამოჩენილი ფიზიკოსები და რომელთაც რ. ფეიმანი „დღევანდელი დღის ფიზიკისათვის“ უცნობად თვლის, თურმე კარგად იგებენ და ითვისებენ საშუალო სკოლის მოსწავლეები.

ამგვარად, მორიგი გადასაწყვეტი ამოცანა. რომელიც ჩვენს წინაშე დგება, ეს არის საკითხი იმის შესახებ, შეიძლება თუ არა მეცნიერების განვითარების თანამედროვე დონეზე ძალის, მუშაობისა და ენერჯის ცნებებისათვის მოვნახოთ ისეთი განსაზღვრებანი, ნამდვილად რომ მიუთითებენ ობიექტური რეალობის იმ მხარეებზე, რაც ამ ცნებებშია ნაგარაუდვეი.

მომდევნო თავში ვეცდებით ამ ამოცანის დადებითად გადაჭრას იმ შეხედულობიდან გამომდინარე, რომ ეს შესაძლებელია, თუ დავეყრდნობით მეცნიერულ-მატერიალისტურ მოძღვრებას, რომელიც სათანადო ყურადღებით ეპყრობა მეცნიერული შემეცნების დარგში დაგროვილ მთელ შემკვიდრეობას, კრიტიკულად აფასებს მას, თავს უყრის მასში გაფანტულ ყოველ რაციონალურ მარცვალს და მთელი შესაძლებლობით ილტვის გამოიყენოს იგი ადამიანის სიცოცხლისა და ცხოვრების პროგრესის მარადსაყოფად.

ნაკლოვანებანი, რომელიც ცნებათა თვისებრივ მხარეებს, განსაზღვრებებს ახასიათებთ, შეიმჩნევა არა მარტო ძალის, მუშაობისა და ენერჯის განსაზღვრებებში, არამედ IX კლასის ფიზიკის კურსის სხვა ცნებების განსაზღვრებებშიც. მაგრამ აქ ამ ცნებებს იმიტომ გამოვეყოფთ, რომ ისინი ძირითადად განსაზღვრავენ IX კლასის ფიზიკის კურსის არსსა და მიმართულებას. ძალასთან, მუშაობასა და ენერჯისთან უშუალოდ დაკავშირებული სხვა ცნების თვისებრივი მხარე სათანადოდ გაშუქდება ნაშრომის მეორე ნაწილში, სადაც მოცემულია ჩვენთვის საინტერესო ცნებების ანალიზი და სწავლების მეთოდი დაპროგრამებული სწავლების შუქზე.

თავი III

მოძრაობის მიზეზის პრობლემა და ძალის, მუშაობისა და ენერჯიის ცნების შინაარსი

§ 6. ძალის ცნების შინაარსი

ძალის ცნების შინაარსის გაცნობიერება უნდა დავეუქავშიროთ მოძრაობის მიზეზის საკითხს.

მოძრაობის მიზეზის პრობლემას აქტუალურად განიხილავდნენ ჯერ კიდევ ძველი საბერძნეთის მოაზროვნეები და მის გარშემო იმთავითვე ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმდინარეობა ჩამოყალიბდა: ერთი — მატერიალისტური, ხოლო მეორე — იდეალისტური.

მატერიალისტური მიმდინარეობა ამტკიცებდა და ამტკიცებს, რომ მოძრაობა „შეუქმნადი და მოუსპობადია“, იგი არასოდეს წარმოშობილა და არც ოდესმე მოისპობა. სამყაროში წარმოებს მხოლოდ მოძრაობის გადაცემა ერთი სხეულიდან მეორეზე, ან გარდაქმნა მოძრაობის ერთი ფორმიდან მეორეში.

მოძრაობის მიზეზის საკითხის გადაწყვეტაში ზოგიერთ ბერძენ ფილოსოფოსთან ერთად არისტოტელეც იდეალიზმის მხარეზე გადადის. იგი თავის ცნობილ ნაშრომში „ფიზიკაში“ ასე მსჯელობს. რადგან ყოველი სხეულის მოძრაობის მიზეზი რომელიმე სხვა სხეულიდან მიღებული მოძრაობაა, მოძრაობის მიზეზის ძიება დაუსრულებელ პროცესს წარმოადგენს, ხოლო თუ გვინდა თავი დავაღწიოთ მოძრაობის მიზეზის დაუსრულებელ ძიებას, „აუცილებელია ეცნოთ პირველი ამმოძრავებლის არსებობა და არ წავიდეთ უსასრულობაში“ [43, გვ. 151]. პირველ ამმოძრავებელს „მეტაფიზიკაში“ არისტოტელე განმარტავს როგორც არსს, „რომლის არსება ჰდგომარეობს რეალურ მოღვაწეობაში და არ შეიცავს თავისთავში მატერიას“ [42, გვ. 208].

ამგვარად, რახან არ სურს მოძრაობის მიზეზის „დაუსრულებელი ძიება“, არისტოტელე სამყაროში არსებულ მრავალფეროვან მოძრაობათა პირველმიზეზად რაღაც არამატერიალურ არსებას — ღმერთს მიიჩნევს.

კლასიკური ფიზიკის ჩამოყალიბება და განვითარება სწორედ მოძრაობის შესახებ ძველი ბერძნული იდეალისტური ფილოსოფიიდან მომდინარე მცდარი შეხედულებების კრიტიკით დაიწყო. კუზანსკის, ლეონარდო და ვინჩის, კოპერნიკის. ჯორდანო ბრუნოს, ტარტალიას, ბენდენტის, დეკარტეს, გალილეის და სხვა მეცნიერთა კვლევის შედეგად ცხადი გახდა, რომ სწორი არ არის სამყაროს მიწიერად და ზეციერად დაყოფა, კოსმოსურ სხეულთა მოძრაობა არ ემორჩილება პტოლომეის გეოცენტრულ სისტემას, სიმძიმის მიზეზი არ არის სხეულთა მისწრაფება „სამყაროს ცენტრისაკენ“, მცდარია მოძრაობის არისტოტელესეული დაყოფა ბუნებრივ და არაბუნებრივ მოძრაობად, თავისუფლად ვარდნილი სხეულების სიჩქარე არ არის პროპორციული მათი მასებისა და სხვ. მცდარი დებულების ნაცვლად წამოყენებული იქნა ახალი, უფრო სწორი შეხედულებანი, ჩამოყალიბდა მექანიკის კანონები, დაიწყო ძიება იმ მიზეზების გამოკვლევისათვის, რომლებიც წარმართავენ ციურ სხეულთა მოძრაობას. მაგრამ რადგან იმ დროს ცნობილი იყო მატერიის მოძრაობის მხოლოდ მექანიკური ფორმა, ახლად აღორძინებულმა მატერიალისტურმა მიმდინარეობამ, მიუხედავად დეკარტესა და პირველ პერიოდში მისი მიმდევრის — ნიუტონის დიდი მონდომებისა, ვერ შეძლო თუნდაც იმ დროისათვის დამაკმაყოფილებლად აეხსნა მთელი რიგი მოვლენები, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო გრავიტაციული ურთიერთმოქმედების ბუნების ახსნის საკითხი.

ნიუტონმა გრავიტაციული ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულის დადგენის შემდეგ, ინერციის მოვლენაზე დაყრდნობით, ახსნა ციურ სხეულთა მოძრაობის კანონზომიერება, მაგრამ, როგორც თვითონვე აღნიშნავდა, ვერ შეძლო აეხსნა გრავიტაციული ძალის ბუნება.

როგორც ცნობილია, ნიუტონი გრავიტაციული ძალის ბუნების ახსნას დიდი მონდომებით ცდილობდა დეკარტეს „გრიგალების ჰიპოთეზაზე“ დაყრდნობით, მაგრამ ეს შეუძლებელი აღმოჩნდა, რის გამოც ნიუტონმა ზურგი შეაქცია ამ ჰიპოთეზას. გრიგალების ჰიპოთეზაზე განაწყენებული ნიუტონი თავის ცნობილ „საწყისებში“ წერდა: „მიზიდულობის ძალების ამ თვისებათა მიზეზი დღემდე ვერ შევძელი გამოძევანა მოვლენებიდან, ჰიპოთეზებს კი არ ვთხზავო“ [109, გვ. 662].

გრავეიტაციული ძალის ბუნების ახსნაში მექანიკური მატერიალიზმის მარცხით დაუყოვნებლივ ისარგებლა იდეალისტურმა მიმდინარეობამ. იდეალიზმის წარმომადგენლები ყველაფერს აკეთებდნენ იმისათვის, რომ კოსმოგონიაში განცდილი მარცხის ნაცვლად თავიანთი პოზიციები მოიპოვებინათ და განემტკიცებინათ ჩამოყალიბების პროცესში მყოფ კლასიკურ ფიზიკაში. ამ ტენდენციას გამოსატავდა ნიუტონის „საწყისების“ მეორე გამოცემის რედაქტორი როჟერ კოსტი, რომელიც გადაჭრით ილაშქრებს გრავეიტაციული მიზიდულობის ბუნების რაიმე მატერიალისტური ახსნის შესაძლებლობის წინააღმდეგ. კოსტის მსჯელობა ციურ სხეულთა მოძრაობის მიზეზად ღმერთის გამოცხადების შესახებ არსებითად არ განსხვავდება არისტოტელეს მსჯელობისაგან მოძრაობის გამომწვევი არამატერიალური მიზეზის არსებობის აუცილებლობის შესახებ. კოსტი „ამტყიცებს“, რომ გრავეიტაციული მიზიდულობა არის სხეულების უმარტივესი თვისება, რომლის ახსნა მატერიალისტური თვალსაზრისით არ შეიძლება და, ამდენად, იგი მოძრაობის ისეთი არამატერიალური მიზეზია, რომელშიც უდიდესი სიცხადით ვლინდება ...უმადლესი სიბრძნე და ყოვლისშემძლეობა ყოვლადუბრძნესი და ყოვლისშემძლებელი შემოქმედისა [109, გვ. 20].

ამრიგად, როგორც ვხედავთ, ძალის ცნების შინაარსის დადგენა უშუალოდ დაკავშირებულია ძველი ბერძნული ფილოსოფიიდან მომდინარე მოძრაობის „მიზეზის პრობლემასთან“ და ამ პრობლემის ორ სხვადასხვაგვარ გადაწყვეტასთან ერთად ძალის ცნების გაგებაშიც ძირითადად ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო შეხედულებაა. მათგან ერთი ცდილობს განამტკიცოს ის შეხედულება, რომ ობიექტურად არსებობს რაღაც ძალა, რომელიც არის მოძრაობის მიზეზი. მეორე მიმდინარეობა კი თვლის, რომ მოძრაობა „შეუქმნადი და მოუსპობადია“, რომ ბუნებაში წარმოებს მხოლოდ მოძრაობის გადაცემა-გარდაქმნები, და ძალას განიხილავს, როგორც მოძრაობის გადაცემა-გარდაქმნის მხოლოდ ერთ გარკვეულ მხარეს.

ნიუტონი „საწყისებში“ პირველ რიგში საჭიროდ მიიჩნევს განმარტოს ძალის თვისებრივი მხარე. იგი წერს: „მოდებული ძალა არის ქმედობა, წარმოებული სხეულზე, რომ შეცვალოს მისი უძრაობის ან თანაბარი სწორხაზოვანი მოძრაობის მდგომარეობა“ [109, გვ. 26].

ნიუტონს არ აკმაყოფილებს ძალის თვისებრივი მხარის ეს განმარტება, იგი გრძნობს, რომ საჭიროა განიმარტოს, რა არის „მოდებული ძალა ანუ ქმედება“, რომელსაც შეუძლია შეცვალოს

„სხეულის უძრავობის ან თანაბარი სწორხაზოვანი მოძრაობის მდგომარეობა“ და ამ მიმართულებით წერს: „მოდებული ძალის წარმოშობა სხვადასხვანაირია, იგი შეიძლება წარმოდგეს: დარტყმისაგან, წნევისგან, ცენტრისკენული ძალებისაგან“ [109, 26].

დარტყმით (დაჯახებით) ქმედებაში ანუ მექანიკურ ძალაში, რომელსაც შეუძლია შეცვალოს სხეულის თანაბარი და სწორხაზოვანი მოძრაობა, ნიუტონი გულისხმობს დროის ერთეულში ერთი სხეულის მექანიკური მოძრაობის გამოვლინებას მეორე სხეულის მიმართ და მისი სიდიდის გასაზომად ადგენს კანონს: „მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება პროპორციულია მოდებული მამოძრავებელი ძალის და წარმოებს იმ სწორი ხაზის გასწვრივ, საითაც ეს ძალა მოქმედებს“ [109, გვ. 40]. იგი ფორმულით ასე ჩაიწერება:

$$\bar{F} = \frac{m \bar{v}_1 - m \bar{v}_0}{t}$$

რაც შეეხება ცენტრისკენული ძალისა და წნევისაგან „მოდებული ძალის წარმოქმნის“ რაობას, მათი თვისებრივი მხარე ნიუტონის ფიზიკაში ბოლომდე არ არის შეცნობილი, რადგან ბევრ შემთხვევაში წნევა და ცენტრისკენული ძალა გაპირობებულია გრავიტაციული ძალით, რომლის ბუნება ნიუტონისათვის, როგორც ი:ვითონ ამბობს, არ იყო ცნობილი.

ფიზიკისათვის, რომელიც გარდა მექანიკურისა არ ცნობს მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმების არსებობის ფაქტს, იმ კითხვაზე პასუხის გასაცემად, თუ საიდან წარმოდგება გრავიტაციული, ელექტრული, ბირთვული და ზოგიერთ სხვა ძალით გამოწვეული სხეულის მექანიკური მოძრაობა, რჩება ერთადერთი გზა: კოტსივით ფორმალურად გამოაცხადოს, ეს ძალები უმარტივესი ბუნებისანი არიან და ახსნა არ სჭირდებათო. ფაქტიურად კი მათი, ე. ი. ამ ძალების შედეგად მიღებული მოძრაობის- წარმოშობა მიზეზად იგულისხმოს, როგორც კოტსი ამბობს, „ყოვლის შემძლებლის ნების გამოვლინება“, ან კიდევ ოსტვალდის „ენერგია-სუბსტანცია“, რაც. ბრაიტმენის თქმით, სხვა არაფერია, თუ არა „ღვთიური ნება მოქმედებაში“ [55].

სხვადასხვა ძალის და, მათ შორის, გრავიტაციული ძალის მიზეზად „ღვთიური ნების გამოვლინების“ აღიარება, მხოლოდ იმას ნიშნავს, რომ ამ ძალების ბუნების კვლევა მეცნიერებისათვის აკრძალულ ზონად გამოვაცხადოთ და ხელი შევეუშალოთ შემდგომ პროგრესს. რაოდენობრივი მხარის წინა პლანზე წამოწევით სხვა-

დასხვა სახის ძალების თვისებრივ მხარეთა მიჩქმალვაც არაერთა შემთხვევაში არ შეიძლება მივიჩნიოთ დადებითად, რადგან: 1. იგი ხელს უწყობს შთაბეჭდილების შექმნას, „თითქოს უკვე გავერკვიეთ“, როგორც ენგელსი ამბობს, ამა თუ იმ ძალის გამპირობებელ „საკმაოდ გაურკვეველ პირობებში“ და ამით აბრკოლებს პროგრესს სხვადასხვა ძალის ბუნების კვლევის დარგში; 2. ამ ცნებაზე დაყრდნობილი აზროვნებითი პროცესი საშუალებას არ გვაძლევს სწორად ჩაწვდეთ მოვლენის არსში; 3. საექვოდ ხდის მეცნიერების უნარს შეიცნოს ძალის ბუნება, ეს კი საფუძველს უქმნის მეცნიერებაში მისტიკური რწმენის შემოქრას, რაც ფაქტიურად იმის აღიარებას ნიშნავს, რომ ადამიანის შემოქმედებითი აზრი უძლურია შეიცნოს ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების ყველა მხარე და ამიტომ აუცილებელია დაუშვათ ადამიანზე ძლიერი რალაც ზებუნებრივი არსების არსებობა.

ფიზიკა აღიარებს მოძრაობის სხვადასხვა ფორმების არსებობის ფაქტს, გამოდის მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან და გრავიტაციული, დრეკადობისა და სხვა სახის ძალებისაგან წარმოქმნილი მექანიკური მოძრაობის მიზეზად მიიჩნევს არა რალაც „არამატერიალურ არსებას“, არამედ მატერიის მოძრაობის შესაბამის ფორმებს, რომლებიც დროის ერთეულში გარდაიქმნებიან აღებული სხეულის მექანიკურ მოძრაობად. აქედან გამომდინარე, ძალა ზოგადად შეიძლება განიმარტოს, როგორც სხეულის მიმართ გამოვლინებული მოძრაობა, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

ძალა შეიძლება განიმარტოს აგრეთვე, როგორც ერთი სხეულის ქმედება მეორეზე, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას. ამ შემთხვევაში „ქმედება“ გულისხმობს აღებული სხეულის მიმართ მოძრაობის რომელიმე ფორმის გამოვლინებას.

რაც შეეხება ძალის რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეების შეფასებას, ძალის სიდიდე იზომება სხეულის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებებით დროის ერთეულში და ამ ცვლილების მიმართულება აქვს (იგულისხმება, რომ ძალის სიდიდე არ იცვლება დროში).

იმ შემთხვევაში, როცა მოძრაობის გამოვლინების, ქმედების დროს საქმე არ გვაქვს სიჩქარის ცვლასთან, მაგრამ ვდგავართ დეფორმაციის ფაქტის წინაშე (ტვირთი ჰკილია ზამბარაზე და სხვ.), მაშინ ძალის სიდიდე იზომება დეფორმაციის სიდიდით.

ფრ. ენგელსი გამოდის მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან და ანალოგიურ მოსაზრებას გამოთქვამს და-

ლის ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ. „ბუნების დიალექტიკა-ში“ იგი წერს: „ძალა სიზუსტით ტოლია თავის გამოვლინებისა“ [11, გვ. 19]. იგულისხმება მოძრაობის გამოვლინება.

ა. ნაუშოვი თავის „თეორიული მექანიკის კურსში“ ძალას განმარტავს როგორც — გადატანილი მოძრაობის რაოდენობის ზომას დროის ერთეულში [106, გვ. 60].

ძალის შესახებ ანალოგიურ თვალსაზრისს გამოთქვამს გ. კონიკი ნაშრომში: „ძალის ცნების განვითარების ლოგიკა ფიზიკაში“ [84].

ძალის ცნების იმ განმარტებებში, რომლებსაც ნაუშოვი და კონიკი იძლევიან, ნაკლოვანებად მიგვაჩნია, ის, რომ ისინი ერთმანეთისაგან არ ასხვავებენ ძალის ცნების თვისებრივსა და რაოდენობრივ მხარეებს.

როცა მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონზე დაყრდნობით ირკვევა ფიზიკაში განხილული ძალების საერთო თვისებრივი მხარის რაობა, იბადება კითხვა: მეცნიერების ამ დარგში განხილულ სხვადასხვა ძალას შორის საერთო ნიშანთან ერთად არსებობს თუ არა არსებითი ხასიათის განსხვავება და თუ არსებობს, როგორია ის ნიშნები, რომელთა მიხედვით მათი ერთმანეთისაგან განსხვავებულობა უნდა იქნას გაცნობიერებული?

„წმინდა მექანიკური“ თვალსაზრისით, ისე როგორც ბევრი სხვა ფაქტორი. შეიძლება უგულვებლევყოთ სხვადასხვა ძალას შორის არსებული გამანსხვავებელი ნიშნები და მხედველობაში მივიღოთ მხოლოდ ის აჩქარება, რომელსაც ისინი ანიჭებენ აღებულ სხეულს, მაგრამ ფიზიკისათვის და, საერთოდ, სამყაროს შემეცნების თეორიის თვალსაზრისით, არსებითი მნიშვნელობა აქვს ფიზიკაში განხილული ძალების ბუნების რაობასა და მათი განმანსხვავებელი ნიშნების გაცნობიერებას.

ფიზიკაში განიხილება მრავალი სახის ძალები, რომელთაგან ძირითადად ვხვდებით მექანიკურ, გრავიტაციულ, დრეკადობის, სითბურ, ელექტრომაგნიტურ და ბირთველ ძალებს.

ჩამოთვლილი ძალებისაგან ყველაზე ნათელია მექანიკური ძალის რაობა — იგი წარმოადგენს ერთი სხეულის მექანიკური მოძრაობის გამოვლინებას მეორეს მიმართ, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას. რაც შეეხება სხვა სახის ძალებს, მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონის თანახმად ისინი უნდა განვიხილოთ როგორც მატერიის მოძრაობის ამა თუ იმ ფორმის გამოვლინება აღებულ სხეულის მიმართ, რომელიც ამ უკანასკნელს ანიჭებს აჩქარებას ან იწვევს მის დეფორმაციას.

ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად ფიზიკის როგორც კლასიკურ, ისე რელისტიურ თეორიაში დადგენილია შესაბამისი ფორმულები:

$$\vec{F} = \frac{m \vec{v}_t - m \vec{v}_0}{t}; \quad \vec{F} = m \vec{a}; \quad \vec{F} = \dot{\vec{p}};$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \right) = \vec{F}; \quad \vec{F} = - \operatorname{grad} \Pi = \frac{Z e^2}{r^2} \text{ და სხვ.}$$

§ 7. მუშაობის ცნების შინაარსი

როგორც ძალის, ასევე მუშაობის შესახებაც პირველი წარმოდგენები დაკავშირებულია მუშაობის შემსრულებელ ცოცხალ ორგანიზმთა კუნთების მოქმედებასთან, მაგრამ მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის გაცნობიერებისათვის უმჯობესია მივმართოთ არა ფიზიოლოგიას, არამედ ფიზიკას და პრობლემის გადაწყვეტა ვეძებოთ მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონზე დაყრდნობით. პირველ რიგში გავაანალიზოთ ის პროცესები, რომლებიც მუშაობის დროს ორთქლმავალში მიმდინარეობს.

ვთქვათ, ცილინდრში შევეუშვით გარკვეული ტემპერატურის ორთქლი. მაგრამ დგუშს არ აქვს გადაადგილების საშუალება. ამ დროს დგუშის მიმართ დროის ყველა ერთეულში ვლინდება ორთქლის სითბური მოძრაობა, მაგრამ ეს მოძრაობა არ გარდაიქმნება დგუშისა და მატარებლის მექანიკურ მოძრაობად (ჯარემოსადმი სითბოს გადაცემას მხედველობაში არ ვიღებთ). როგორც კი შეიქმნება დგუშის ამოძრავების პირობები, ორთქლის სითბური მოძრაობა მატარებლის მოძრაობის გზის გასწვრივ დაიწყებს გარდაქმნას დგუშისა და მთელი შემადგენლობის მექანიკურ მოძრაობად. რომ არ იყოს ხახუნი, ჰაერისა და სხვა სახის წინააღმდეგობანი, მატარებლის შემადგენლობა ორთქლიდან ერთი ბიძგის შედეგად მიღებული სიჩქარით განაგრძობდა თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას. მაგრამ რადგან მატარებლის შემადგენლობა „რეალურ სამყაროში“ იმყოფება, ორთქლის პირველი ბიძგით მიღებული მექანიკური მოძრაობა მალე გარდაიქმნება ჰაერის ფენების მექანიკურ, ხოლო ხახუნის შედეგად — ლერძის, ბორბლებისა და რელსების სითბურ მოძრაობად. სასურველ მანძილზე მატარებლის მექანიკური მოძრაობის შენარჩუნებისათვის საჭიროა ორთქლის ცილინდრში განუწყვეტლივ ხდებოდეს სითბური მოძრაობის გარდაქმნა დგუშისა და შემადგენლობის მექანიკურ მოძრაობად.

თუ შემადგენლობას ამოძრავებს ელმავალი, ამ შემთხვევაში, როგორც ამბობენ, მუშაობის შესრულებელია ელმავალი. მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან გამომდინარე. მატარებლის შემადგენლობის გადაადგილების პროცესში ელმავლის მიერ მუშაობის შესრულებაში სხვა არაფერი შეიძლება ვიგულისხმოთ, თუ არა ის, რომ, ერთი მხრივ, ელექტროძრავები ელექტრომაგნიტურ მოძრაობას გარდაქმნიან შემადგენლობის მექანიკურ მოძრაობად, ხოლო, მეორე მხრივ, შემადგენლობის მექანიკური მოძრაობის შედეგად და მისი მეშვეობით იგი, ე. წ. ელექტრომაგნიტური მოძრაობა გარდაიქმნება ჰაერის ფენების მექანიკურ მოძრაობად, ღერძების, ბორბლებისა და რელსებისა კი — სითბურ მოძრაობად.

ძრავებამორთული მატარებლის შემადგენლობა ინერციით განაგრძობს მოძრაობას. თოფიდან გასროლილი ტყვია ეჭახება რაიმე წინააღმდეგობას, ფიზიკაში ამ პროცესებსაც მექანიკური მუშაობა ეწოდება. პირველ შემთხვევაში მატარებლის შემადგენლობის მექანიკური მოძრაობა გზის მოცემულ უბანზე გარდაიქმნება ჰაერის ფენების მექანიკურ, ხოლო ბორბლებისა და რელსების სითბურ მოძრაობად, მეორე შემთხვევაში კი დამუხრუჭების გზაზე ტყვიის მექანიკური მოძრაობა გარდაიქმნება წინააღმდეგობის გარემოს სითბურ მოძრაობად.

ზემოჩამოთვლილ, აგრეთვე მათი მსგავს სხვა პროცესებში, რომელთაც ფიზიკაში მექანიკური მუშაობა ეწოდებათ. საერთო ის არის, რომ სხეულის გადაადგილების გზის მოცემულ უბანზე მოძრაობის ერთი ფორმა გარდაიქმნება მოძრაობის სხვა ფორმად. ამ ზოგადი არსებითი ნიშნების მიხედვით მექანიკური მუშაობა შეიძლება ასე განიშარტოს: მექანიკური მუშაობა ეწოდება სხეულის გადაადგილების გზაზე მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნის პროცესს.

მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან გამომდინარე მექანიკური მუშაობის ყველა სახის, მათ შორის ცოცხალი ორგანიზმების მიერ შესრულებული მუშაობის თვისებრივი მხარეც უნდა გავიგოთ როგორც სხეულის გადაადგილების გზის გასწვრივ მოძრაობის ერთი ფორმის მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის პროცესი.

მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ ანალოგიურ მოსაზრებებს გამოთქვამს ა. ნაუმოვი. იგი წერს: „მუშაობა ეწოდება ენერჯის გარდაქმნის პროცესს, მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნის პროცესს“ (ხაზი ჩვენია — კ. ქ.) [106, გვ. 159].

რაც შეეხება მუშაობის რაოდენობრივ მხარეს, მის გამოსაანგარიშებლად ფიზიკაში დადგენილია მრავალი ფორმულა. კონკრეტული პირობების მიხედვით ის ფორმულა უნდა გამოვიყენოთ, რომელიც ხელსაყრელია აღებულ მომენტში. აქ მოვიტანთ ზოგიერთ მათგანს:

$$A = F \cdot S \cos \alpha; \quad A = \int_a^b (F_x dx + F_y dy + F_z dz);$$

$$A = \int_1^2 p dv; \quad A = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (T = \text{const.});$$

$$A = Q(V_1 - V_2) = QU = IUt \text{ და სხვ.}$$

§ 8. ენერგიის ცნების უინაარსი

ძველი ბერძნული ბუნებისმეტყველებიდან მომდინარე მოძრაობის „მიზეზის პრობლემა“ თანამედროვე ფიზიკაში მთელი სირთულით გადატანილია ენერგიის ცნებაში, ამიტომ ენერგიის ცნების მეცნიერული არსის გარკვევისათვის ყველაზე მიზანშეწონილია გამოვიდეთ მოძრაობის „მიზეზის პრობლემიდან“. როცა მოძრაობის მიზეზის საკითხს ეხება, ენერგეტიზმის მამამთავარი ვილჰელმ ოსტვალდი წერს: „გარკვეული მასის მქონე სხეულს რომ მივანიჭოთ შესაბამისი სიჩქარე, ამისათვის აუცილებელია დაიხარჯოს მუშაობა“ [112, გვ. 22]. მოძრაობის მიზეზად ოსტვალდი არისტოტელეს „პირველი მამოძრავებლის“ ნაცვლად ენერგიას აცხადებს, ხოლო ენერგია, ოსტვალდის მტკიცებით, არამატერიალური არსებობს. ოსტვალდი უარყოფს მატერიის პირველადობას და პირველად ენერგიას აცხადებს; იგი პირდაპირ წერს: „ენერგიას მიენიჭა სრულიად განსაკუთრებული ხელმძღვანელი როლი და ამის გამო მატერიის წინანდელი ძირითადი თვისებები — მასა და წონა მიჩნეული უნდა იქნენ ენერგიის გარკვეული სახეების მეორად რაოდენობრივ ფაქტორად“ [112, გვ. 22].

ცხადია, მატერიისაგან მოწყვეტილი ოსტვალდისეული ენერგია არსებითად არაფრით განსხვავდება არისტოტელეს არამატერიალური „პირველი მამოძრავებლისაგან“ და სწორედ ამიტომ, რომ პერსონალისტი ბრაიტმენი აცხადებს: „ენერგიის მატარებელი არის ღმერთი, ხოლო ფიზიკოსების მიერ აღწერილი ენერგია ღმერთის ნებაა მოქმედებაში“ [55].

ენერგიის ოსტვალდისეული გაგება უპირისპირდება ფიზიკის მეცნიერულ ბუნებას. ამის გამო ბუნებისმეტყველ მეცნიერთა დიდი უმრავლესობა მძაფრი წინააღმდეგობით შეხვდა ენერგეტიკული მიმდინარეობის გამოჩენას ფიზიკაში. „მონისტური ენერგეტიზმის“ შესახებ მოხსენებით ოსტვალდი პირველად 1895 წელს გამოვიდა ქ. ლიუბეკში, გერმანელ ბუნებისმეტყველთა და ექიმთა ყრილობაზე. „მონისტური ენერგეტიზმის“ იდეამ ყრილობის მონაწილეთა შორის ისეთი რეაქცია გამოიწვია, რომ ოსტვალდის ერთადერთი მომხრე გ. გელში იძულებული გახდა გამოსულიყო საჯარო პროტესტით, რომელშიც განაცხადა, რომ იგი: „ჩამოვიდა ლიუბეკში მეცნიერული დებატისათვის, რომლის მიზანია მეცნიერული პრობლემების განვითარება და გარკვევა, და არა იმისათვის, რომ მოწმე გამსდარიყო რაღაც ჯვარცმის, რომელიც მიმდინარეობს ბრბოს მხარდაჭერით“ [112, გვ. 31]. კიდევ მეტი, ოსტვალდი ნაშრომში „ენერგეტიკული იმპერატივი“ მოგვითხრობს, რომ მისი კოლეგები და მეგობრები, რომლებიც ენერგეტიკულ შეხედულებას არანორმალური გონების ნაყოფად თვლიდნენ, ოსტვალდს დასცინოდნენ და ურჩევდნენ ხელი აეღო ამ ანტიმეცნიერულ იდეაზე. როგორც ვხედავთ, „მონისტურმა ენერგეტიზმმა“ მეცნიერულ სარბიელზე გამოსვლისთანავე სასტიკი მარცხი განიცადა, მაგრამ ამ მიმდინარეობას ფარხმალი მაინც არ დაუყრია, პირიქით, ენერგიის ანტიმეცნიერულ გაგებაზე დაყრდნობით თანდათან აძლიერებდა მეცნიერულ-მატერიალისტური მიმდინარეობის წინააღმდეგ ბრძოლას და ამჟამად, უკვე ფიზიკის თანამედროვე მიღწევებზე დაყრდნობით, ცდილობს დაასაბუთოს, თითქოს ენერგია მატერიისაგან დამოუკიდებელი რეალობაა, მატერიის ცნებამ დაკარგა მეცნიერული აზრი და თითქოს მის ადგილს ახლა ენერგიის ცნება იკვრს. ენერგეტიზმის აშკარა გავლენითაა დაწერილი ტ. კრავეცის სტატია „ენერგიის შესახებ სწავლების ევოლუცია“, რომელიც ენერგიის 100 წლისთავის იუბილეს მიეძღვნა [86].

ენერგიის ცნების ენერგეტიკული გაგების არსის გარკვევა მოითხოვს გაკვრით მაინც განვიხილოთ, ამ მიმდინარეობის წარმომადგენლები როგორ „ამტკიცებენ“ თავიანთ მოსაზრებებს ენერგიის შესახებ. საამისოდ განვიხილოთ ზემოხსენებულ ტ. კრავეცის სტატიაში გამოთქმული ზოგიერთი მოსაზრება.

ბუნებრივია, სანამ ენერგიის შენახვასა და გარდაქმნაზე ვიმსჯელებდეთ, საჭიროა წინასწარ გავარკვიოთ ენერგიის რაობა, მისი თვისებრივი მხარე, ე. ი. გავარკვიოთ საკითხი იმის შესახებ, თუ ენერგიის ცნებაში მოძრავი მატერიის რომელი მხარეა გამოხატული. ტ. კრავეცი ასე არ იქცევა, პირიქით, თავს არიდებს ენერგიის

ცნების თვისებრივი მხარის განსაზღვრას, რადგან ეს ერთბაშად გამოააშკარავებდა ავტორის ანტიმეცნიერულ-ენერგეტიკულ პოზიციას; ამიტომ იგი პირველ პარაგრაფში პირდაპირ იწყებს მსჯელობას ენერგიის შენახვის კანონზე. კიდევ მეტი, კრავეცი ამტკიცებს, თითქოს არც მაიერს გააჩნდა რაიმე აზრი ენერგიის ცნებაში გამოხატული შესაძლო პროცესის თვისებრივი მხარის შესახებ და სჯიდა მხოლოდ ენერგიის გარდაქმნაზე [86, გვ. 339].

სინამდვილეში საქმის ვითარება სრულიად საწინააღმდეგოდ წარმოგვიდგება. მაიერს კარგად ესმოდა მოძრაობის მიზეზის შესახებ ძველი ბერძნული ფილოსოფიიდან მომდინარე პრობლემის არსი და იგი შემდეგნაირად წყვეტდა ამ პრობლემას: „მოძრაობა არ წარმოიშობა თავისთავად; იგი წარმოიშობა მისი მიზეზის — ძალისაგან“ [96, გვ. 92].

ძალას მაიერი ასე განმარტავს: „მოძრაობა არის ძალა“, რაც თანამედროვე ტერმინოლოგიით ასე გამოითქმის: „მოძრაობა არის ენერგია“. იმის ნათელსაყოფად, თუ რას გულისხმობს მაიერი „ძალაში“, მას შემდეგი მაგალითი მოყავს: „თუ თეთრი ბურთულა შუა ადგილზე დაეჯახა წითელს, მაშინ იგი კარგავს თავის მოძრაობას, ხოლო წითელი ბურთულა მოძრაობას იწყებს იმავე სიჩქარით. თეთრი ბურთულის მოძრაობა არის ის, რომლის მოხმარება იწვევს წითელი ბურთულის მოძრაობას ან გარდაქმნას ასეთში. თეთრი ბურთულის მოძრაობა არის ძალა“ [96, გვ. 95].

რატომ უწოდებს მაიერი „თეთრი ბურთულის“ მოძრაობას ძალას? მხოლოდ იმიტომ, რომ თეთრი ბურთულის მოძრაობა გამოყენებულ იქნა წითელი ბურთულის ასამოძრაველად, ან თეთრი ბურთულის მოძრაობა გარდაიქმნა წითელი ბურთულის მოძრაობად. მაშ, მაიერის მიხედვით, „თეთრი ბურთულის მოძრაობა არის ძალა“ ანუ ენერგია, ეს იმას ნიშნავს, რომ მოძრავ თეთრ ბურთულას შეუძლია მოძრაობაში მოიყვანოს წითელი ბურთულა, ე. ი. თეთრი ბურთულის მოძრაობა შეიძლება გარდაიქმნას წითელი ბურთულის მოძრაობად. რადგან „წითელი ბურთულის“ ამოძრავება მუშაობის შესრულებას ნიშნავს, შეიძლება დავასკვნათ, რომ თანამედროვე ფიზიკაში აღიარებული ენერგიის ერთ-ერთი შედარებით დამაკმაყოფილებელი განმარტება — მუშაობის შესრულების უნარს ეწოდება ენერგია — მაიერიდან იღებს სათავეს. ამგვარად, მაიერი სწორად განმარტავს ენერგიის ცნების შინაარსს და იმ ძირითადი პრობლემის გადაჭრაში, თუ საიდან წარმოდგება მოძრაობა, აშკარად და გარკვევით მეცნიერული მატერიალიზმის მხარეზე დგას. რატომ არ ამჩნევენ ამ მეტად მნიშვნელოვან ფაქტს კრავეცი და ენერგეტიზმის სხვა წარმომადგენლები?! ამ კითხვაზე პასუხი

ნათელი გახდება, თუ მივიღებთ მხედველობაში იმ გარემოებას, რომ ფაქტებზე დაყრდნობით შეუძლებელია ენერგიის მოწყვეტა მატერიის მოძრაობის ფორმებისაგან (იგულისხმება ფაქტებზე არა ემპირისტულად, არამედ მეცნიერულად დაყრდნობა).

მეორე პარაგრაფში — „სიძნელები პოტენციალური ენერგიის გაგებაში“—კრავეცი ხაზგასმით ამბობს, „მექანიკები“ ენერგიის შენახვის შესახებ სწავლების თვით დასაწყისში აღმოჩნდნენ თეორიული ხასიათის სიძნელების წინაშე და შემდეგ განაგრძობს: „არსებითად მექანიკაში სრულიად თვალსაჩინოა მხოლოდ ენერგიის ერთი სახე — კინეტიკური ენერგია. როგორც კი შევეცდებით პოტენციური ენერგიის შესახებ ცნების ფორმულირებას, ვექცევით აზრთა სისტემაში, რომელსაც მივყავართ შორს მექანიკიდან“ [86, გვ. 339].

სადავო საკითხის არსის გარკვევის მიზნით განვიხილოთ პოტენციური ენერგიის ერთი კარგად ცნობილი სახე: თოქზე ჩამოკიდებული სხეული დედამიწასთან ფარდობით უძრაობაში იმყოფება, მაგრამ თუ თოქს გადავჭრით, იგი დედამიწის მიმართ დაიწყებს მოძრაობას. იბადება კითხვა: საიდან წარმოიქმნა სხეულის მოძრაობა, რის ხარჯზე შესრულდა მუშაობა? ეს იგივე კითხვაა, რომელზეც ოსტვალდი უპასუხებდა, საჭირო მუშაობა არ შეიძლება შეიქმნას არარაობისაგან. თუ არარაობისაგან მოძრაობის წარმოქმნის შესაძლებლობას გამოვირიცხავთ, მაშინ ამ კითხვაზე რჩება ორი, ერთი — მატერიალისტური და მეორე — იდეალისტური. პასუხი. მატერიალიზმის თვალსაზრისით ამ კითხვას შემდეგნაირი პასუხი უნდა გაეცეს: თოქის გადაჭრის შემდეგ სხეულის ამოძრავების მიზეზი ის არის, რომ სხეულის მექანიკურ მოძრაობად გარდაიქმნება მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმა. მატერიის მოძრაობის ამ ფორმას თუ გრავიტაციულს დავარქმევთ, ეს მეცნიერული მოსაზრება შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ: სხეულის ვარდნის პროცესში მატერიის მოძრაობის გრავიტაციული ფორმა გარდაიქმნება სხეულის მექანიკურ მოძრაობად. აქედან გამომდინარე, ასევე მარტივად შეიძლება გაცნობიერებულ იქნეს გრავიტაციული (პოტენციური) ენერგიის ცნების რაობა; სახელდობრ, ეს ცნება შემოტანილია იმ შესაძლო ობიექტურ-რეალური პროცესის აღსანიშნავად, რომ მატერიის მოძრაობის გრავიტაციულ ფორმას გარკვეულ პირობებში უნარი ან ენერგია აქვს გარდაიქმნას სხეულის მექანიკურ მოძრაობად (რადგან პოტენციური ენერგიის მრავალი სახე არსებობს, მიზანშეწონილია ენერგიის ამ სახეს გრავიტაციული ენერგია ეწოდოს).

ვარდნილი სხეულის მოძრაობის წარმოშობის ამ მეცნიერული მოსაზრებების საწინააღმდეგოდ ენერგეტიკული მანდინარეობა ცდილობს შექმნას შთაბეჭდილება, თითქოს ვარდნილი სხეულის მექანიკურ მოძრაობად გარდაიქმნება რალაც არამატერიალური სუბსტანცია — პოტენციური ენერგია (სრულიად ანალოგიურად დგას საკითხი პოტენციური ენერგიების სხვა სახეების ბუნების გარკვევის დროსაც).

რადგან არ სურს მოძრაობის წარმოშობის მიზეზის საკითხში პირდაპირ გამოააშკარაოს თავისი ენერგეტიკული პოზიცია, კრავეცი თავს არიდებს საკითხის ასე პირდაპირ დაყენებას და პოტენციური ენერგიების ბუნების გარკვევის საკითხი დაჰყავს მათი გამპირობებელი ძალების ბუნების გარკვევამდე. იგი პირდაპირ მიუთითებს, რომ „პოტენციური ენერგიის ბუნების შეცნობა მოითხოვს ძალების ბუნების შეცნობას, კერძოდ, საჭიროა გაირკვეს „რა არის“ მიზიდულობის ძალა, დრეკადობის ძალა, მოლეკულური ძალები, ელექტრომაგნიტური ძალა და ბირთვული ძალები“. კრავეცი იქვე დასძენს, ზემოხსენებულ ძალების ბუნების გარკვევა ეკუთვნის ისეთ საკითხთა რიცხვს, რომელთა გადაწყვეტა საერთოდ არ შეიძლება „ან, ყოველ შემთხვევაში. დღეს ეს გადაუწყვეტელია“ [86, გვ. 339].

როგორც უკვე ვნახეთ, ძალების ბუნების საკითხი — ეს არის ოდნავ სხვა კუთხით დაყენებული იგივე მოძრაობის მიზეზის საკითხი. კრავეცი უდავოდ გრძნობს ამ გარემოებას, მაგრამ თავისი იდეალისტური პოზიციის მისაჩქმალავად კვლავ გვერდს უვლის საკითხის პირდაპირ წამოკრას და აყენებს კითხვას: „ხომ არ შეიძლება მთლიანად გვერდი ავუაროთ ამ ცნებას?“ (ლაპარაკია პოტენციულ ენერგიაზე) [86, გვ. 339].

მესამე პარაგრაფში უკვე ცხადი ხდება, რომ კრავეცი უარყოფს არა პოტენციური ენერგიებისა და მათი გამპირობებელი ძალების ბუნების იდეალისტურ. არამედ მეცნიერულ-მატერიალისტურ გაგებას. ამ პარაგრაფში ვკითხულობთ: „როცა პ. ლაზარევი გადმოსცემს უმოვის სწავლებას, სარგებლობს ასეთი თვალსაჩინო ილუსტრაციით: გაზი, რომელიც დგუშს ქვემოთ დიდი წნევის პირობებშია, ფლობს გარკვეული რაოდენობის ხილულ პოტენციურ ენერგიას. მაგრამ სინამდვილეში ეს პოტენციური ენერგია არის გაზის — გარემოს მოლეკულების კინეტიკური ენერგია, რომლის შინაგანი მოძრაობა ჩვენთვის შეუმჩნეველი რჩება“ [86, გვ. 340].

პოტენციური ენერგიის ბუნების ახსნისათვის უმოვისა და ლაზარევის გამოთქმულ ამ მეცნიერულ მოსაზრებას კრავეცი ფაქტიურად უარყოფს. იგი წერს: „საეჭვოა, რომ ჩვენ ადვილად წა-

ვიდეთ ფარული გარემოს აღიარების გზით“ [86, გვ. 340]. კრავეცი ანგარიშს არ უწევს იმ ფაქტს, რომ თანამედროვე ფიზიკაში გაზის მოლეკულური აღნაგობა ყოვლად შეუძლებელია ჩაითვალოს „ფარულ გარემოდ“ და უნებლიეთ ამქადავებს, რომ ენერგიის შესახებ ენერგეტიკული შეხედულებისათვის იგი, ისე როგორც ოსტვალდი, მახი და პოზიტივისტები, მზად არის გაილაშქროს არა მარტო „ჰიპოთეზების“; არამედ უკვე ექსპერიმენტულად მრავალმხრივ დასაბუთებული გაზის კინეტიკური თეორიის წინააღმდეგ და ამ გზით უარყოს მატერიის მოძრაობის სითბური ფორმის არსებობა, რომელიც აპირობებს სითბურ ენერგიას.

ამგვარად, უკვე იგრძნობა იმის ნიშნები, რომ კრავეცი უარყოფს არა პოტენციური ენერგიის ცნებას, არამედ ამ ცნების მეცნიერული გაგების შესაძლებლობას. გარდა ამისა, ცხადი ხდება, რომ რამდენადაც კრავეცი უარყოფს მატერიის მოძრაობის სითბურ და სხვა ფორმებს, იგი მექანიზმის ნაკლოვანებებს კი ვერ ძლევს, როგორც ჰკონია, არამედ თვითონ რჩება მექანიციზმისა და იდეალიზმის ტყვეობაში.

მექანიციზმის საბაბით მატერიალიზმის უარყოფის ცდები მატერიალიზმის წინააღმდეგ ბრძოლის ერთ-ერთი ძველი ხერხია, რომლის შესახებაც ენგელსი წერს: „ყველაზე კომიკური ისაა, რომ „მატერიალისტურსა“ და „მექანიკურის“ გათანაბრება ჰეგელიდან მოდის; ჰეგელს „მექანიკურის“ ეთიკეტით მატერიალიზმის დამციკრება სურდა“ [11, გვ. 261].

მეოთხე პარაგრაფში კრავეცი ცდილობს დაამტკიცოს, რომ არაპატერიალური ენერგია არა მარტო არსებობს, არამედ მას აქვს აგრეთვე „ლოკალიზაციის“ თვისება. ამის დასამტკიცებლად მას ორი მაგალითი მოჰყავს. ჩვენ შევჩერდებით მეორე მაგალითზე, რადგან მასში უკეთ ჩანს ენერგიის ცნების იდეალისტური გაგების არსი.

„სიცარიელეში“ ელექტრული ენერგიის „ლოკალიზაციის“ ფაქტის დასამტკიცებლად კრავეცი წერს: „ცნობილია, რომ თუ გვინდა სიცარიელეში მყოფი R რადიუსიანი იზოლირებული ლითონის სფერო დავმუხტოთ e ელექტრობის რაოდენობით, ამისათვის უნდა დავხარჯოთ $\frac{e^2}{2R}$ მუშაობა.

მაქსველი სარგებლობდა ფარადეის ძირითადი მოსაზრებებით და თავას ტრაქტატში აჩვენა, რომ ჩვენ მივიღებთ იგივე შედეგს, თუ ელექტრულ ენერგიას წარმოვიდგენთ არა როგორც მავთულის ზედაპირზე თავმოყრილს, არამედ განვიზილავთ მას როგორც მთელს

უსაზღვრო სივრცეში განაწილებულს $\omega = \frac{E^2}{8\pi}$ კანონის მიხედვით,

სადაც ω არის ენერგიის სიმკვრივე (ენერგიის რაოდენობა ერთეულ-
ლოვან მოცულობაში), E კი ელექტრული დაძაბულობა აღებულ
წერტილში" [86, გვ. 341].

თუ თანმიმდევრობას ოდნავ დავარღვევთ და განსახილველი
სტატიის მეექვსე პარაგრაფს გადავიკითხავთ, ადვილად შევნიშ-
ნავთ: კრავეცი უსიტყვოდ იზიარებს ოსტვალდის აზრს იმის შესა-
ხებ, რომ მატერიისა და ენერგიის დუალიზმიდან გამარჯვება ენერ-
გიას დარჩა და მატერიის მაგივრად სუბსტანციის ადგილი დაიჭირა
არამატერიალურმა „სუბსტანცია-ენერგიამ“. თუ ამ გარემოებას
წმედველობაში მივიღებთ, ადვილად შევნიშნავთ, რომ კრავეცი
„სიცარიელეში“ ენერგიის განაწილებაზე ლაპარაკობს მკითხველი-
სათვის ისეთი შთაბეჭდილების შესაქმნელად, თითქოს „არამატერი-
ალურ გარემოში“ შეიძლება ენერგია არსებობდეს მატერიის გა-
რეშე. კრავეცი ასევე გაუშართლებლად ცდილობს შექმნას ყალბი
შთაბეჭდილება, თითქოს მაქსველი და ფარადეი მისი თანამოაზრენი
არიან ენერგიის იდეალისტურ გაგებაში. სინამდვილეში ორივე ეს
ბუმბერაზი მეცნიერი მკვეთრად ეწინააღმდეგება ენერგიის ცნების
იდეალისტურ გაგებას. ამ ფაქტის ნათელსაყოფად და საკითხის იმ
პრინციპული მხარის გასარკვევად, რომ ენერგია არ შეიძლება არ-
სებობდეს მოძრავი მატერიის ამა თუ იმ ფორმის გარეშე, მაქსვე-
ლის ზემოხსენებული ტრაქტატიდან მოვიტანთ რამდენიმე ამონა-
წერს და ყურადღებას გავამახვილებთ შემდეგ გარემოებაზე.

1. როგორც ვნახეთ, კრავეცი ეწინააღმდეგება უმოვსა და ლა-
ზარეცს, რომლებიც პოტენციურ ენერგიას განიხილავენ, როგორც
„რომელიდაც გარემოს“ კინეტიკურ ენერგიას, მაქსველი კი, პირი-
ქით, ემხრობა ამ უკანასკნელთ. იგი მაგნიტური და ელექტრომაგ-
ნიტური პოტენციური ენერგიების გამპირობებლად თვლის მოლე-
კულების შიგნით ცირკულაციაში მყოფ ელექტრონებს. „ჩვენ. მა-
შასადამე, — წერს მაქსველი, — როგორც მაგნიტური, ისე ელექ-
ტრომაგნიტური ენერგია უნდა განვიხილოთ, როგორც კინეტიკური
ენერგია (იგულისხმება მოლეკულებში მყოფი ელექტრონების კი-
ნეტიკური ენერგია. — კ. ქ.) და მივაწეროთ მათ შესაბამისი ნიშა-
ნი, როგორც ეს არის გაკეთებული 635 პარაგრაფში“ [97, გვ. 513].

2. კრავეცს შესაძლებლად მიაჩნია ენერგიის არსებობა არამა-
ტერიალურ სივრცეში — სიცარიელეში, მაქსველს კი, პირიქით.
შეუძლებლად მიაჩნია ენერგიის არსებობა მატერიის გარეშე. „ტრაქ-
ტატის“ ბოლო გვერდზე მაქსველს მოწონებით მოყავს ტორიჩელის

აზრი ენერჯის შესახებ, „რომ იგი შეიძლება იმყოფებოდეს არავითარ სხვა კუთრკულში, თუ არა ისეთში, რომელიც წარმოადგენს საგნების მატერიალური სუბსტანციის საგანძურს“ [97, გვ. 632].

3. კრავეცი უარყოფს ყოველგვარ მატერიალისტურ ჰიპოთეზას იმ შესაძლო ფარულ გარემოთა შესახებ, რომლებიც აპირობებენ როგორც მანძილზე სხვადასხვა სახის ურთიერთმოქმედების გადაცემას, ისე შესაბამისი პოტენციური ენერჯიების არსებობას, მაქსველს კი, პირიქით, მეცნიერების ერთ-ერთ ძირითად მიზნად მიაჩნია ამ გარემოთა აღმოჩენა და შესწავლა. იგი წერს: „ამგვარად, ყველა ამ თეორიას ჩვენ მიყვართ გარემოს კონცეპციამდე, რომელშიც ადგილი აქვს გავრცელებას. და თუ ჩვენ ამ გარემოს მივიღებთ როგორც ჰიპოთეზას, მე მიმაჩნია, რომ მან უნდა დაიკავოს თვალსაჩინო ადგილი ჩვენს გამოკვლევებში და ჩვენ ვალდებული ვართ შევეცადოთ შევქმნათ რაციონალური წარმოდგენა მისი მოქმედების ყველა დეტალზე, რაც მუდამ იყო ჩემი მიზანი ამ ტრაქტატში“ [97, გვ. 632].

ანალოგიური მოსაზრებები, რომლებიც კრავეცის იდეალისტურ შეხედულებათა პირდაპირ საწინააღმდეგოა, მრავლად მოიპოვება ფარადეისა და მეცნიერული მატერიალიზმის მიმდევარ სხვა ფიზიკოსთა ნაშრომებში.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ კრავეცი ენერჯის არამატერიალობისა და „ლოკალიზაციის“ თვისების დასამტკიცებლად ფარადეისა და მაქსველის მოსაზრებებს იშველიებდა, მათი მოსაზრებები კი ენერჯის ენერჯეტიკულ გაგებას პირდაპირ ეწინააღმდეგება, უნდა დავასკვნათ, რომ კრავეცის ეს მტკიცებაც მოკლებულია მეცნიერულ საფუძველს.

მატერიისაგან მოწყვეტილი ენერჯის ლოკალიზაციის თვისების „დამტკიცების“ შემდეგ კრავეცი იწყებს იმის „მტკიცებას“, რომ არამატერიალურ ენერჯიას აქვს მოძრაობის თვისება. როგორც წინა პარაგრაფში, ისე აქაც (მე-5 პარაგრაფი) ავტორი არ ამტკიცებს რაიმეს, არამედ ცდილობს შექმნას ყალბი შთაბეჭდილება, თითქოს ნ. უმოვი მისი თანამოაზრე იყოს ენერჯის მოძრაობის იდეალისტურ გაგებაში, მაგრამ, ავტორის სავალალოდ, უმოვის ნაშრომებზე თვალის ერთი გადავლებითაც ცხადი ხდება, რომ ეს მეცნიერი, ისე როგორც მაქსველი, ფარადეი, ტორიჩელი და სხვა მატერიალისტი ფიზიკოსები, მკვეთრად ეწინააღმდეგება ენერჯის მოძრაობის იდეალისტურ გაგებას. აი, რას ამბობს უმოვი ენერჯის შემცველი მატერიის მოძრაობის იმ ფორმებზე, რომლებზეც დაკვირვება მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე დონეზე არ ხერხდება: „ჩემს მიერ გამოთქმული მოსაზრების მიხედვით შექ-

მნილ პოტენციურ ენერგიას შეესაბამება გარკვეული რაოდენობის ცოცხალი ძალა, რომელიც ერთი გარემოს ნაწილაკების მოძრაობიდან გადაეცემა მეორე გარემოს უსასრულოდ მცირე მოძრაე ნაწილაკებს, რაც არ ექვემდებარება ჩვენს დაკვირვებას“ [138, გვ. 133].

უმოვი მკვეთრად და გარკვევით ემიჯნება აგნოსტიციზმს და მაქსველის მსგავსად მეცნიერების ერთ-ერთ მიზნად მიიჩნევს ექსპერიმენტული ტექნიკის შემდგომი პროგრესის გზით შეცნობილ იქნეს მატერიის ეს ჯერ კიდევ შეუცნობილი ფორმები [138, გვ. 152].

ენერგიის მატარებელ მატერიალურ ნაწილაკთა შესახებ ანალოგიურ მოსაზრებებს ხშირად ვხვდებით სტოლეტოვის შეხედულებებშიც [129, გვ. 483].

როგორც ვხედავთ, უმოვი და სტოლეტოვი, ისე როგორც მაიერი, მაქსველი და სხვა მატერიალისტი ფიზიკოსები, ეწინააღმდეგებიან იმ იდეალისტურ მოსაზრებას, თითქოს რაღაც არამატერიალური ენერგია შეიძლება არსებობდეს და, მით უმეტეს, მოძრაობდეს.

მე-6 პარაგრაფში, რომლის სათაურია „ენერგია-სუბსტანცია“, კრავეცი ერთგვარად აჯამებს წინა პარაგრაფებში მიღებულ „შედეგებს“. ამ პარაგრაფების განხილვისას დავინახეთ, რომ ნაშრომში დასახელებული ყველა ფიზიკოსი გადაჭრით ეწინააღმდეგება ენერგიის ცნების იდეალისტურ გაგებას, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, რადგან ამ ცნების იდეალისტური გაგების დამამტკიცებელი სხვა საბუთი არა აქვს, კრავეცი არ ერიდება ისტორიული სინამდვილის ფალსიფიკაციას და აკეთებს დასკვნას: „ამგვარად, ჩვენ ვხედავთ, რომ იმ წლებში, სახელდობრ, 75 წლის წინ, მოწინავე ფიზიკოსთა გონებაში მწიფდებოდა აზრი ენერგიის სუბსტანციულობის შესახებ“ [86, გვ. 344].

ენერგიის სუბსტანციური გაგების მომხრეები, რასაკვირველია, არსებობენ, მაგრამ მათ კრავეცი არ ასახელებს ორი გარემოების გამო: პირველი, კრავეცი თავის ნამდვილ წინამორბედებს არ ასახელებს იმიტომ, რომ ცხადი გახდება მისი კავშირი იდეალისტურ მიმდინარეობასთან, რის აღიარებაც არავითარ შემთხვევაში არ სურს; მეორე, მათაც არა აქვთ და მეცნიერული თვალსაზრისით არც შეიძლება ჰქონდეთ რაიმე მტკიცება იმის შესახებ, რომ მოძრაობის შექმნა, მუშაობის შესრულება ან, რაც იგივეა, სხეულის ამოძრავება და წინააღმდეგობის პირობებში ამ მოძრაობის შენარჩუნება შეუძლია რაღაც არამატერიალურ არსებას.

თანამედროვე ფიზიკის უკანასკნელი მიღწევებიც იმაზე მიუთითებს, რომ ურთიერთქმედების ყოველგვარი გამოვლინება და

ენერჯის სსვადასსვა სახეები გაპირობებულა შესაბამისი ველების საშუალებით, რომლებიც მატერიის კონკრეტულ სახეებს წარმოადგენენ შესაბამისი მოძრაობის ფორმით. დ. ივანენკო აკრიტიკებს ფეინმან-ჟილერის პირდაპირი მოქმედების ჰიპოთეზას და ელექტრომაგნიტური ველის შესახებ წერს: „პირიქით, თანახმად კარგად დადგენილი კონცეპციისა, რომელიც წარმოადგენს ფარადეი-მაქსველ-უმოვ-ლებედევ-აინშტაინის იდეების განვითარებას, ელექტრომაგნიტური ველი უნდა განვიხილოთ მატერიის დამოუკიდებელ განსაკუთრებულ სახედ მისთვის დამახასიათებელი თავისუფლების ხარისხებით, რომელიც ფლობს არა მარტო იმპულსს, არამედ მოძრაობის რაოდენობის მომენტსაც (სადოვსკი), გარდა ამისა. უნარი აქვს გარდაიქმნას ელექტრონ-პოზიტრონში და, პირიქით, აღმოცენდება ელექტრონ-პოზიტრონის ანიგილაციის ხარჯზე“ [128, გვ. 586].

რამდენადაც ელექტრომაგნიტურ ველში საქმე გვაქვს მატერიის მოძრაობის ელექტრომაგნიტურ ფორმასთან, უნდა დავასკვნათ, რომ თანამედროვე ფიზიკის სწავლების მიხედვით ელექტრომაგნიტური ენერჯია გაპირობებულა მატერიის მოძრაობის იმ ფორმით, რომელსაც მატერიის მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ფორმა ეწოდება. სრულიად ანალოგიურად დგას საკითხი ენერჯის გრავიტაციული, დრეკადობით, ბირთვული და სხვა სახეების მიმართაც.

როგორც ივანენკოს ნაშრომიდან მოტანილი ამონაწერი მიუთითებს, თანამედროვე ფიზიკის სწავლების მიხედვით ელექტრომაგნიტური ენერჯის გამპირობებელი მატერიის ერთ-ერთ კონკრეტულ სახეს — ელექტრომაგნიტურ ველს მიეწერება არამარტო ენერჯიულობა, არამედ იმპულსი, მოძრაობის რაოდენობის მომენტი და სხვა თვისებები. კრავეცი კი უგულებელყოფს ენერჯის გამპირობებელი მატერიის ამ სახეს, მატერიის შესაბამისი მოძრაობის ფორმას და მომდევნო პარაგრაფში ოსტვალდის მსგავსად ყველა ამ თვისებას მიაწერს არამატერიალურ „სუბსტანცია-ენერჯიას“. ენერჯეტიზმის ამ მოკლე მიმოხილვიდანაც ნათლად ჩანს როგორც ენერჯის ცნების იდეალისტური გაგების არსი, ისე ენერჯეტიზმის ბუნება. ენერჯეტიზმის აპოლოგეტები საკითხის არასწორად დაყენებით, ისტორიული და მეცნიერული ფაქტების ფალსიფიკაციით, პრაქტიკით დადასტურებული მეცნიერული მატერიალიზმის ძირითადი დებულებების უგულებელყოფით და ანტიმეცნიერულ-ემპირისტულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით ცდილობენ შექმნან ყალბი შთაბეჭდილება, ვითომ არსებობს მატერიისა და მისი მოძრაობის ფორმებისაგან დამოუკიდებელი რაღაც არამატერიალური არსება

— „ენერგია-სუბსტანცია“, რომელსაც უნარი აქვს შეასრულოს მუშაობა, ე. ი. შექმნას მექანიკური, სითბური, ელექტრომაგნიტური და მოძრაობის სხვა ფორმები, რომ ეს არამატერიალური „ენერგია-სუბსტანცია“ პირველადია და განსაზღვრავს მთელი სამყაროს შინაარსს.

ენერგეტიკული მოსაზრების კრიტიკული განხილვა ცხადყოფს ენერგეტიზმის არსის ლენინური შეფასების სისწორეს: „ენერგეტიკული ფიზიკა არის წყარო ახალი იდეალისტური ცდებისა — მოძრაობა უმატერიაოდ წარმოვიდგინოთ...“ [17, გვ. 346].

როგორც უკვე ითქვა, ენერგიის ცნების სწორად გარკვევისათვის აუცილებელია გამოვიდეთ მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან. პერპეტუუმ-მოზილეს აგების უშედეგო ცდების მრავალსაუკუნოვანი ისტორია და ამის შედეგად ჩამოყალიბებული ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონი იმაზე მიუთითებს, რომ მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონის სამართლიანობა არ შეიძლება სადავოდ მივიჩნიოთ, თუცა არიან მეცნიერები, რომლებიც პირდაპირი თუ არაპირდაპირი გზით ამას კვლავ სადავოდ ხდიან.

თუ არისტოტელესათვის ცხადი იყო, რომ „უძრაობაში მყოფი“ მატერიალური სამყარო თავისთავად „პირველი ამმოძრაებლის“ გარეშე ვერ მოვიდოდა მოძრაობაში, ე. დიურინგი შეეცადა მოენახა რაღაც ხიდი, რომლის შემწეობითაც „ერთ დროს უძრაობაში მყოფი“ მატერიალური სამყარო თავისთავად გადავიდა მოძრაობის მდგომარეობაში. ფ. ენგელსი აკრიტიკებს დიურინგის ამ უიმედო განზრახვას და წერს: „თუ სამყარო ოდესმე ასეთ მდგომარეობაში იმყოფებოდა, რომელშიც აბსოლუტურად არავითარი ცვლილება არ ხდებოდა, როგორ შეეძლო ამ მდგომარეობიდან ცვლილებებზე გადასულიყო? შეუძლებელია ის, რაც აბსოლუტურად უცვლელი და ამასთანავე მარადისობიდან ამ მდგომარეობაში იმყოფებოდა. თავისთავად ამ მდგომარეობიდან გამოსულიყო და მოძრაობისა და ცვალებადობის მდგომარეობაში გადასულიყო. მაშასადამე, მას გარედან, სამყაროს გარედან უნდა მისცემოდა პირველი ბიძგი, რომელმაც იგი ამოძრავა. მაგრამ „პირველი ბიძგი“, როგორც ცნობილია, ღმერთის მეორე სახელია. ბატონ დიურინგს, რომელიც თავის სამყაროს სქემატიკაში გვარწმუნებდა, ღმერთსა და საიქიანს საბოლოოდ ავყარე საქურველიო, ორივე ხელახლა შემოჰყავს ნატურფილოსოფიაში გამძაფრებული და გაღრმავებული სახით“ [10, გვ. 64], ან კიდევ: „არაბობიდან შემოქმედებითი აქტის დაუხმარებლად რაიმეზე ვერ გადავალთ, თუნდაც ეს „რაიმე“ ისე მცირე იყოს, როგორც მათემატიკური დიფერენციალი“ [10,

გვ. 66]. როგორც ყველა სხვა საკითხში, მოძრაობის საკითხშიც ენგელსი თანმიმდევრულად იცავს და ავითარებს მეცნიერულ-მატერიალისტურ თეალაზრისს. იგი აყენებს ცნობილ დებულებას: „უმოდროდ მატერია ისევე წარმოუდგენელია, როგორც მოძრაობა უმატერიოდ. ამიტომ მოძრაობაც ისევე შეუქმნელი და გაუნადგურებელია, როგორც თვით მატერია; ამას წინანდელი ფილოსოფია (დეკარტი) ასე გამოთქვამს: სამყაროში არსებული მოძრაობის რაოდენობა მუდამ ერთი და იგივეა. მაშასადამე, შეუძლებელია მოძრაობა შეიქმნას, იგი მხოლოდ გადაიტანება“ [10, გვ. 72]. თუ დეკარტე მოძრაობის შენახვასა და გადატანაში მხოლოდ მექანიკურ მოძრაობას გულისხმობდა, ენგელსი მოძრაობის შეუქმნადობაზე, მოუსპობლობასა და გარდაქმნადობაზე ლაპარაკობს ზოგადი აზრით, სადაც იგულისხმება არა მარტო მექანიკური მოძრაობა, არამედ მატერიის მოძრაობის ყველა სხვა ფორმა საერთოდ.

მატერიის მოძრაობის ფორმათა ურთიერთგარდაქმნის აღმოჩენის მთავარ ეტაპებსა და ამ აღმოჩენის პროცესში ლოგიკური ხაზის განვითარებას ენგელსი მთელი სიღრმით შეცნობილი ჭეშმარიტებისათვის დამახასიათებელი სიცხადით შემდეგნაირად გადმოგვცემს: „ხახუნი რომ სითბოს წარმოშობს, პრაქტიკულად ეს უკვე წინასიტორაულმა ადამიანებმა იცოდნენ, როდესაც მათ გამოიგონეს ხახუნით ცეცხლის მიღება, შესაძლებელია ჯერ კიდევ ასი ათასი წლის წინ, ხოლო ამაზე კიდევ უფრო ადრე სხეულის გაციებულ ნაწილებს სრესვის საშუალებით ითბობდნენ. მაგრამ ამ ხნიდან იმის აღმოჩენამდე, რომ ხახუნი საერთოდ სითბოს წყაროს წარმოადგენს, ვინ იცის რამდენი ათასეული წელი გავიდა. ასე თუ ისე, დადგადრო, როცა ადამიანის ტვინი საკმარის განვითარდა იმისათვის, რომ გაეოთქვა მსჯელობა: ხ ა ხ უ ნ ი ს ი თ ბ ო ს წ ყ ა რ ო ა, ეს არსებობას მსჯელობა და მასთან დადებითი.

კვლავ ათეული წლები გავიდა, ვიდრე 1842 წელს მაიერმა, ჯოულმა და კოლდინგმა გამოიკვლიეს ეს სპეციალური პროცესი იმ დროს აღმოჩენილი მსგავსი სახის სხვა პროცესებთან მის მიმართებაში, ე. ი. მისი უახლოესი ზოგადი პირობების მიხედვით და ასეთი მსჯელობა ჩამოაყალიბეს: „ყველა მექანიკურ მოძრაობას უნარი აქვს ხახუნის საშუალებით სითბოდ გარდაიქმნეს“. ესოდენ დიდი დრო და ემპირიული ცოდნის უზარმაზარი რაოდენობა იყო საჭირო იმისათვის, რომ საგნის შემეცნებაში წინ წაგვეწია არსებობის ზემოთ მოყვანილი დადებითი მსჯელობიდან რეფლექსიის ამ უნივერსალურ მსჯელობამდე.

ახლა საქმე უკვე სწრაფად წავიდა წინ. უკვე სამი წლის შემდეგ მაიერმა შესძლო ყოველ შემთხვევაში საქმის არსის კვალდა-

კვალ რეფლექსიის მსჯელობა იმ საფეხურზე აყევანა, რომელზედაც მას ამჟამად ძალა და ღირებულება გააჩნია. „მოდრაობის ყოველი ფორმა იმდენადვე უნარიანია, რამდენადაც იძულებულია თვითეული შემთხვევისათვის გარკვეულ პირობებში პირდაპირ, ან არაპირდაპირ გარდაქმნას მოძრაობის ყველა სხვა ფორმად“ [11, გვ. 230].

მატერიის მოძრაობის ფორმების ამ ურთიერთგარდაქმნის თვისებას ენგელსი ენერგიას უწოდებს. მაგალითად, იგი წერს: „...მოძრაობა, რომელსაც დაუკარგავს უნარი მისთვის დამახასიათებელ სხვადასხვა ფორმებში გადავიდეს, თუმცა ჯერ კიდევ გააჩნია Dynamis, მაგრამ აღარ აქვს Energeia და, ამრიგად, ნაწილობრივ მოსპობილია“ [11, გვ. 230]. ენერგიის ეს ენგელსისეზური გაგება პრინციპულად ემთხვევა მაიერის გაგებას. განსხვავება მათში ის არის, რომ მაიერი ენერგიის მაგივრად ტერმინ „ძალას“ ხმარობდა, ამასთან ისე ნათელი წარმოდგენა არ ჰქონდა მატერიის მოძრაობის ფორმებზე, როგორც ენგელსს.

როცა ენერგიის თვისებრივ მხარეს მატერიალიზმის თვალსაზრისით არკვევს, ენგელსი განიხილავს აგრეთვე იმ გაუგებრობას, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ენერგიის რაოდენობრივი მხარის გარკვევაში კარტეზიანელებსა და ლაიბნიცის მომხრეებს შორის. კარტეზიანელებს თავიანთი მექანიკური დოქტრინა საშუალებას არ აძლევდა გაეგოთ ის ფაქტი, რომ მექანიკური მოძრაობა გარკვეულ შემთხვევებში გარდაიქმნება ეკვივალენტური მოძრაობის სხვა ფორმად, ხოლო ლაიბნიცმა და მისმა მომხრეებმა, თუმცა ემპირიული გზით მონახეს მექანიკური მოძრაობის მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის გასაზომი ფორმულა, მაინც ამ პროცესის ნამდვილი შინაარსის ბოლომდე შეცნობა ვერ შეძლეს, რადგან კარტეზიანელების მსგავსად თვითონაც მექანიზმის ტყვეობაში იმყოფებოდნენ.

ენგელსმა პრაქტიკიდან აღებული კერძო მაგალითების განხილვით აჩვენა, რომ დრეკადი ურთიერთქმედების დროს ხდება მექანიკური მოძრაობის გარდაქმნა კვლავ მექანიკურ მოძრაობად, ხოლო არადრეკადი ურთიერთქმედების დროს მექანიკური მოძრაობა გარდაიქმნება მატერიის მოძრაობის სითბურ ან სხვა რომელიმე ფორმად. ამის მიხედვით მექანიკურ მოძრაობას ორი ზომა აქვს. ენგელსი აანალიზებს ამ გარემოებას და წერს: „ერთი სიტყვით: *mv* არის მექანიკური მოძრაობა, მექანიკური მოძრაობითვე გაზო-

მილი; $\frac{mv^2}{2}$ არის მექანიკური მოძრაობა, გაზომილი მოძრაობის რომელიმე სხვა ფორმის გარკვეულ რაოდენობად გარდაქმნის თავისი უნარით“ [11, გვ. 91].

ამგვარად, ენერგიის ცნების თვისებრივი მხარის მეცნიერული გაგების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ, რადგან მოძრაობა შეუქმნადია, მოძრაობის ესა თუ ის ფორმა შეიძლება წარმოიქმნას მხოლოდ მოძრაობის რომელიმე სხვა ფორმის გარდაქმნის ხარჯზე და, მაშასადამე, მუშაობის შესრულება ანუ მოძრაობის ამა თუ იმ ფორმის მიღება შეიძლება მხოლოდ მატერიის მოძრაობის ამა თუ იმ ფორმის გარდაქმნის ხარჯზე. აქედან გამომდინარე, ენერგიის ცნება შეიძლება განიმარტოს ასე: მატერიის მოძრაობის ფორმის თვისებას გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად—წოდება ენერგია.

რადგან ენერგიის ცნება მატერიის მოძრაობის ურთიერთგარდაქმნის თვისებას გამოხატავს, ცხადია, მატერიის მოძრაობის ფორმებისაგან ენერგიის მოწყვეტა, რაღაც არამატერიალურ არსებად აღიარება და მოძრაობის მიზეზად გამოცხადება, როგორც ამას ვ. ოსტვალდი და ენერგეტიზმის სხვა მიმდევრები აკეთებენ, მცდარი და ანტიმეცნიერულია.

რაც შეეხება ენერგიის რაოდენობრივი მხარის შეფასებას, ამ საკითხში ამჟამად აზრთა სხვადასხვაობა არ არსებობს და იმის მიხედვით, თუ მოძრაობის რომელ ფორმასთან გვაქვს საქმე, მისი შეფასება ხდება შესაბამისი ფორმულებით:

$$E_j = \frac{mv^2}{2}; \quad E_s = mgh; \quad E_s = \frac{kx}{2}; \quad E_{\omega} = \frac{I\omega^2}{2};$$

$$u_{\text{გაზ}} = E_j + E_s; \quad E_s = \frac{1}{2} \left(\frac{ES}{L} \right) \Delta L; \quad E_s = -\frac{c'}{r^{k_1}} + \frac{c''}{r^{k_2}};$$

$$E_{\omega} = \frac{1}{2} k a^2; \quad E_{\text{ვალ}} = \rho a^2 \omega^2 r \sin^2 \omega \left(t - \frac{y}{V} \right);$$

$$W_s = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i v_i; \quad W_s = \frac{1}{8\pi} \int_V E^2 dv;$$

$$W = \frac{1}{8\pi} \int_V H B dv \quad \text{და ა. შ.}$$

ამგვარად, თუ ძალის, მუშაობისა და ენერჯის ცნებების შინაარსის გარკვევის საკითხს დავუკავშირებთ მატერიის მოძრაობის ფორმებს, რომელთა სხვადასხვა მხარეებსაც ისინი გამოხატავენ, და თანმიმდევრულად დავეყრდნობით მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონს, ნათელი გახდება ამ ცნებების რაობა და შესაძლებელია მათი განსაზღვრებათა მოცემა ჭეშმარიტებისათვის დამახასიათებელი სიცხადითა და გარკვეულობით.

თუ გავიხსენებთ, რომ ამ ცნებათა შინაარსის (თვისებრივი მხარეები) დადგენის მხრივ დიდი გაურკვეველობაა დღემდე არსებულ ფიზიკაში, უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, იმ ფიზიკაში, რომელიც დღემდე არ ცნობს მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტს, ცხადი გახდება, რა დიდი მნიშვნელობა აქვს მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტის აღიარებას ძალის, მუშაობის, ენერჯისა და მათთან დაკავშირებული სხვა ცნებების შინაარსის სწორად განსაზღვრისათვის მეცნიერების განვითარების თანამედროვე დონის შესაბამისად.

მატერიის სხვადასხვა სახისა და მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტის აღიარებას ვადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ფიზიკის მეცნიერების კვლევის ობიექტის უკეთ გაცნობიერების, მეცნიერების განვითარების შესაბამის დონეზე მიღწეული ცოდნის სწორად განსაზღვრისა და ფიზიკის მეცნიერების შემდგომი პროგრესის გზების ოპტიმალურად დასახვისათვის. ამ გარემოებათა გაცნობიერება კი განაპირობებს ფიზიკის სასწავლო საგნის ოპტიმალური სტრუქტურის შემუშავებას.

ფიზიკის მეცნიერების კვლევის ობიექტად უნდა მივიჩნიოთ მუდამ ცვალებადობასა და ურთიერთგარდაქმნაში მყოფი მატერიის გარკვეული სახეები, მოძრაობის ის ფორმები, რომლებშიც ეს სახეები მონაწილეობენ ან თავისთავში შეიცავენ, აგრეთვე მოვლენები, რომლებსაც ძირითადად ისინი განაპირობებენ.

მატერიის ეს სახეებია: სხეული, სხეულის შემადგენელი ნაწილაკები, მოლეკულები, ატომები, ატომის ბირთვი, ბირთვის შემადგენელი ნაწილაკები და მატერიის ამ სახეების ურთიერთქმედების გამპირობებელი ველები.

მატერიის მოძრაობის ის ფორმები, რომლებშიც მატერიის ეს სახეები მონაწილეობენ ან თავისთავში შეიცავენ, შემდეგია: მექანიკური, გრავიტაციული, სითბური, ელექტრომაგნიტური და ბირთვული.

მოვლენები, რომელთაც ძირითადად მატერიის ზემომითითებული სახეები და მოძრაობის ფორმები განაპირობებენ, ცნობილია

როგორც მექანიკური, გრავიტაციული, სითბური, ელექტრომაგნიტური და ბირთვული მოვლენები.

განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ფიზიკის მეცნიერების მიღწეული დონე განისაზღვრება იმ ცოდნით, რაც მოპოვებულია მატერიის ზემოთ მითითებული სახეებისა და მოძრაობის ფორმების ურთიერთკავშირის, ურთიერთგარდაქმნისა და ბუნებასა და ტექნიკაში მათი სხვადასხვა გამოვლინების შესახებ.

ყველა ამ მიმართულებით ფიზიკის მეცნიერების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე მოპოვებულია დიდი და მნიშვნელოვანი დადებითი ცოდნის მარაგი. მაგრამ ყველა მიმართულებითვე იგრძნობა მიღწეული შემეცნების დონის შემოსაზღვრულობა და საზღვრების შემდგომი გაფართოების აუცილებლობა. ფიზიკის მეცნიერების შემდგომი წინსვლაც სწორედ ამ ნიშნით მიმდინარეობს.

ფიზიკის სასწავლო საგნის სტრუქტურის საფუძვლად უნდა ავიღოთ ფიზიკის მეცნიერების კვლევის ძირითად ობიექტებზე მოპოვებული დადებითი ცოდნა, ისტორიული გამოცდილებისა და მომავლის პერსპექტივების გათვალისწინებით. ამ ზოგადი დებულებიდან გამომდინარე, ფიზიკის სასკოლო კურსის სტრუქტურას ასაკის შესაბამისი ინტელექტის განვითარების დონის გათვალისწინებით საფუძვლად უნდა დაედოს ის დადებითი მეცნიერული ცოდნა, რომელიც ფიზიკაში მოპოვებულია მატერიის სხვადასხვა სახისა და მათი მოძრაობის ფორმების ურთიერთკავშირის, ურთიერთგარდაქმნისა და პრაქტიკაში მათი გამოყენების შესახებ, წარსულის ისტორიისა და მომავლის პერსპექტივების გათვალისწინებით. როცა ამ მოსაზრებებიდან გამოვდივართ, ცხადი ხდება, რა ვადამწყვეტი უპირატესობა აქვთ მათ ფიზიკის ისეთი ფუნდამენტური ცნებების შინაარსის სწორად გაცნობიერებისათვის, როგორცაა ძალა, მუშაობა და ენერჯია. ნაშრომის მეორე ნაწილში დავინახავთ, რომ მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტის აღიარებას არსებითი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ძალასთან, მუშაობასთან და ენერჯიასთან დაკავშირებული სხვა ცნებების მეცნიერული თვალსაზრისით გამართლებული სწავლებისთვისაც.

ჩვენს წინაშე მდგომი მორიგი ამოცანები ასეთია:

1. პედაგოგიური ფსიქოლოგიის მონაცემების მიხედვით დავადგინოთ მოსწავლის ინტელექტუალური განვითარების ის ეტაპი, რომლიდანაც შეიძლება დაიწყოს ცნების სრულფასოვანი სწავლება;

2. გავაცნობიეროთ ცნების ფორმირების ფსიქოლოგიური კანონზომიერებანი;

3. გავაშუქოთ ის ამოცანები, რომლებსაც პრაქტიკის მოთხოვნათაგან გამომდინარე პედაგოგიკა უსახავს ცნების სწავლებას სკოლაში.

ცნების სწავლების ფსიქოლოგიური და
პედაგოგიური საკითხები

§ 9. ფსიქოლოგია ცნების დაუფლების ინტელექტუალური
შესაძლებლობის განვითარების შესახებ

ამერიკელი ფსიქოლოგი ჯ. ბრუნერი 1959 წელს გამოცემულ წიგნში „სწავლების პროცესი“ სწავლებისათვის მზადყოფნის საკითხების განხილვას იწყებს ასეთი ჰიპოთეზით: „ნებისმიერ ბავშვს განვითარების ნებისმიერ სტადიაზე შეიძლება წარმატებით ვასწავლოთ ნებისმიერი საგანი საკმაოდ სრულფასოვანი ფორმით“ [51, გვ. 34]. ბრუნერი ასეთივე მოსაზრებას აყენებს ცნების სწავლების შესაძლებლობათა შესახებ, ცდილობს დაამტკიცოს თავისი ჰიპოთეზა და ამ გზით იგი აქციოს ისეთ თეორიად, რომელზეც დაფუძნებით უნდა გარდაიქმნას მთელი პედაგოგია. დასაბუთებისას ბრუნერი არ ერიდება ამერიკული ბიჰევიორისტული ფსიქოლოგიისათვის დამახასიათებელ გაუბრალოებებს, მაგრამ ბოლოს მაინც იძულებულია ფაქტიურად უარყოს ეს ჰიპოთეზა. როცა სასწავლო პროგრამების გადასინჯვაზე ლაპარაკობს, ბრუნერი აუცილებლად თვლის პროგრამებზე ვიმსჯელოთ არა ნებისმიერ ასაკში ნებისმიერი საგნის სწავლების შესაძლებლობის, არამედ „ბავშვის გონებრივი განვითარების“ [51, გვ. 52] დონის შესაბამისობის თვალსაზრისით.

თუ ცნების სწავლების პროცესში უგულებელყოფთ ცნების შემეცნებით მნიშვნელობას და დაკვაყოფილებით მხოლოდ იმით, რომ მოსწავლემ სათანადო გაცნობიერების გარეშე შეძლოს მიწოდებული ტერმინების გამეორება და ცალკეულ შემთხვევებში მისი სწორად გამოყენება, ცხადია, ცნების ამნაირი სწავლება შეიძლება დავიწყოთ ნებისმიერ სასკოლო ასაკში, მაგრამ როცა საკითხი დვას ცნების სრულფასოვან დაუფლებაზე, ე. ი. ცნების თვისებრივი, რაოდენობრივი მხარეებისა და მისი გამოყენების სფეროს გაცნობი-

ერებასა და გააზრებულად, მტკიცედ შესწავლაზე, საჭიროა საკმაო სიზუსტით გავეცნოთ იმ ეტაპებს, რომელთა მიხედვითაც აღმავალი ვზით საფეხურებრივად ვლინდება გონებაში ცნების დაუფლებას შესაძლებლობანი.

ცნების დაუფლებაში ასაკობრივი განვითარების მიხედვით ინტელექტუალურ შესაძლებლობათა განვითარების საკითხი ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევის საფუძველზე მრავალმა ფსიქოლოგმა შეისწავლა და ბევრი აწეამადაც განაგრძობს მის ინტენსიურ კვლევასა და ძილებული შედეგების შემდგომ დაზუსტებას.

ფსიქოლოგთა გარკვეული ნაწილი პიროვნებაში ცნების შემუშავების პროცესის ექსპერიმენტული კვლევისას ძირითადად მხედველობაში იღებდა მხოლოდ ცნების სოციალურ მომენტს — კომუნიკატურ, ურთიერთგაგებინების ფუნქციას, და სათანადო ყურადღებას არ აქცევდა მის შემეცნებით მნიშვნელობას.

წინამორბედებისაგან გამსხვავებით, რ. ნათაძე თავის სადოქტორო დისერტაციაში (1939 წელი) ძირითად ამოცანად მიიჩნევდა სათანადო ექსპერიმენტების საფუძველზე გამოეკვლია. მოსწავლის პიროვნებაში რომელ ასაკობრივ საფეხურზე იღვიძებს შემეცნებითი განწყობა, „რომელ საფეხურზე ჩნდება ის შემეცნებითი ინტერესი და შემეცნების ის ძალა. რომელსაც ცნება გულისხმობს; ჩვენს ამოცანას შეადგენს, — წერდა იგი, — იმ მომენტის გამოვლენა, როდესაც ბავშვის ცნება შემეცნებას ემსახურება არსებითის ძიების სახით; როდის ცდილობს მოზარდი განასხვავოს ცნებაში არსებითი არაარსებითისაგან, როდის იწყება არსებითის ძიება ცნებაში“ [25, გვ. 12]. ნაშრომის მეორე ძირითად ამოცანად ავტორი მიიჩნევდა გამოეკვლია „ცნებათა განზოგადების, ე. ი. სახეობით ცნებათა განზოგადებული არსებითი ნიშნების განზოგადების ინტოგენეტიკური განვითარება“ [25, გვ. 17].

რადგან ჩვენი ნაშრომის ძირითადი მიზანი სწორედ ის არის, რომ ფიზიკის ზოგიერთი ცნების სწავლების პროცესში მოსწავლე მიიყვანოს ობიექტური რეალობის იმ არსებითი მხარეების შეცნობამდე, რომლებიც ცნებაშია ასახული, რ. ნათაძის ზემოხსენებული ნაშრომი ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა.

როგორც ცნობილია, ბავშვი ადრეული ასაკიდან სწორად ხმარობს ცალკეულ სიტყვებს, მაგრამ ზოგიერთი აბსტრაქტული ცნების დაუფლება უჭირს ზრდადასრულებულ აღამიანსაც კი, რომელიც იმ დარგში არ მუშაობს, საიდანაც აღებულია დასაუფლებელი ცნება. ამჟამად, როცა პედაგოგიკაში, ფსიქოლოგიაში, ეკონომიკაში, ლინგვისტიკასა და სხვა ჰუმანიტარულ დარგებში დაიწყო მათემატიკური მეთოდების გამოყენება და შესაბამისად წარმოიშვა

ასალი ცნებები, ცხადი გასდა იხიცი, რომ ამ ახალ ცნებებს ჰარმაგი სპეციალისტებიც გაჰირვებით ეუფლებიან. აქედან გამომდინარე, იბადება კითხვა: როგორი კრიტერიუმები გამოვიყენოთ იმის დასადგენად, თუ როდის იწყება და ძირითადად როდის მწიფდება მოზარდში ცნების სრულფასოვანი დაუფლების შესაძლებლობათა გამოვლინება?

ცნების დაუფლების შესაძლებლობათა ჩასახვისა და განვითარების გამოსავლინებლად რ. ნათაძე სამ ძირითად კრიტერიუმს ასახელებს:

პირველი კრიტერიუმი მიუთითებს იმაზე, რომ მოზარდი ახერხებს ცნების არსებითი ნიშნების გაცნობიერებას, არსებითი ნიშნების მიხედვით საგანთა მიკუთვნებას მათი ამსახველი ცნებისათვის და. პირიქით. ცნების არსებითი ნიშნებიდან იმ საგნების გამოცნობას, რომლებიც ალებულ ცნებაშია ნავარაუდევო.

ცნების დაუფლების უფრო მაღალ დონეზე მეტყველებს მეორე კრიტერიუმი. იგი მიუთითებს იმ შესაძლებლობათა გამოვლინებაზე, როდესაც მოზარდი ამქაღვენებს „სახეობით ცნებათა განზოგადებით მათი შემცველი უფრო ზოგადი გვაროვნული ცნების შემუშავება-შედგენის“ უნარს [26, გვ. 125].

მესამე კრიტერიუმი მიუთითებს იმაზე, რომ მოზარდი უფრო სრულყოფილად ეუფლება ცნებასა და ცნებით აზროვნებას. ამ კრიტერიუმად რ. ნათაძე ლ. ვიგოდსკისთან ერთად აცხადებს მოზარდის მიერ ცნებების სისტემის დაუფლების ცნებათა შორის ლოგიკურ დამოკიდებულებათა უნარის გამოვლინებას.

იმ ძირითადი დასკვნების საფუძველზე, რომლებიც რ. ნათაძემ ოცი წლის განმავლობაში მოწყობილი ექსპერიმენტების შედეგად გამოიტანა და რუსულ, ინგლისურ და გერმანულ ენებზე გამოქვეყნდა, ირკვევა, რომ ცნების დაუფლების პირველი ნიშნების გაღვივება მოზარდში იწყება 8 წლის ასაკიდან.

7 წლის ასაკში „ცნობიერების სივიწროვესა“ და ცნების განცდის სუბიექტურობათა გამო მოზარდი ჯერ კიდევ ვერ ავლენს ცნების ნიშანთა დაუფლების რაიმე უნარს, მისი აზროვნება მკაცრად არის მოქცეული კონკრეტულობისა და თვალსაჩინოების საზღვრებში.

8 წლის ასაკიდან იწყება „ნიშნის ცნობიერების გაღვივება“. მაგრამ ამ ასაკში კონკრეტულობასა და თვალსაჩინოებას ჯერ კიდევ დომინირებული მდგომარეობა უკავია. ცნების მიწოდება ვერბალური გზით შეუძლებელია, იგი შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ თვალსაჩინო კონკრეტული მასალის გამოყენებით. ნაწილობრივ მცირდება სუბიექტურ დამახინჯებათა და „ცნობიერების სივიწრო-

ვის“ ფაქტორები. გამოვლინებას იწყებს ცნებათა განზოგადების უნარი, მაგრამ ბავშვისათვის ჯერ კიდევ მიუწვდომელია „ცნებათა სისტემის“ დაუფლება, იგი ვერ ახერხებს ცნებათა შორის ლოგიკურ დამოკიდებულებათა ჩაწვდომას.

9 წლის ასაკიდან „ნიშნის ცნობიერების“ შესაძლებლობის შესამჩნევ ზრდასთან ერთად იგრძნობა აზროვნების კონკრეტულობის დაძლევის დასაწყისი. რაც შეეხება თვალსაჩინოებით შეზღუდვებს, მათი დაძლევა ჯერ კიდევ არ ხერხდება. „თვალსაჩინო ხატი“ ჯერ კიდევ გადამწყვეტ როლს თამაშობს და იგი ხშირად „ფარავს ცნების მნიშვნელობას“. „ცნობიერების სივიწროვის“ გადალახვა, რომელიც 8 წლის ასაკში დაიწყო, ამ პერიოდისათვის უკვე საბოლოოდ გადალახულად უნდა ჩაითვალოს. შემდგომ განვითარებას განიცდის ცნებათა განზოგადების უნარი და, რაც მთავარია, „ამ ასაკში პირველად ჩანასახოვან ფორმაში იჩენს თავს ცნების განზოგადებისას არსებითის ძიების ტენდენცია“ [26, გვ. 174].

10 წლის ასაკში, როგორც რ. ნათაძე მიუთითებს, აშკარად იგრძნობა, რომ ცნებითი აზროვნების ინტენსიური განვითარება შესამჩნევ აღმავლობას აღარ განიცდის, ხოლო „11 წლის ასაკი ცნების განვითარებაში კარდინალური გარდატეხის საფეხურს წარმოადგენს“ [26, გვ. 174], რაც შემდეგი ფაქტორებით ხასიათდება:

1. ცნების ნიშანთა გაცნობიერების პროცესში მნიშვნელოვნად მალალ დონეზეა ცნების შემეცნებითი ფუნქციის განვითარება, მაგრამ ცნების ნიშნების სრულყოფილ დაუფლებასთან ჯერ კიდევ არა გვაქვს საქმე;

2. ინტენსიურ განვითარებას იწყებს ვერბალური აზროვნება, რის გამოც ამ ასაკში ბავშვი ახერხებს „მიმართებით ნიშნებზე აგებული კონკრეტული ცნების დაუფლებას თვალსაჩინო, კონკრეტული მასალის გარეშე, წმინდა ვერბალური განსაზღვრებათა საფუძველზე“;

3. მოზარდი ავლენს ცნებათა ნამდვილ, რეალურ განზოგადობათა უნარს; წინა ასაკთან შედარებით იგი უდავოდ ახალ ეტაპს წარმოადგენს, მაგრამ ჯერ კიდევ არ არის სრულყოფილი;

4. ხდება „ცნებათა შორის ლოგიკურ დამოკიდებულებათა წვდომის უნარის მომწიფება“, მაგრამ ეს დამოკიდებულება ამ ასაკში ბავშვს ესმის არა როგორც ლოგიკური, არამედ როგორც რეალური, საგნობრივი დამოკიდებულება“.

რ. ნათაძე აჯამებს დაწყებითი სკოლის ფარგლებში მოზარდის მიერ ცნების დაუფლების შესაძლებლობებს და ასკვნის: „მნიშვნე-

ლოვან მიღწევათა მიუხედავად, ლოგიკური ცნების სრული დაუფლება 11 წლის საფეხურზე ჯერ არ არის მიღწეული“ [26, გვ. 174].

მომდევნო, 12 და 13 წლის ასაკში ცნების დაუფლების შესაძლებლობათა ტემპის ზრდის საკითხი რ. ნათაძეს გამოკვლევული აქვს შემდეგი ფაქტების მიხედვით: 1. ცნების ნიშანთა დაუფლება; 2. ვერბალური აზროვნება; 3. ცნებათა განზოგადოება; 4. ცნებათა სისტემის დაუფლება; 5. რელატიურ ცნებათა დაუფლება; 6. რელატიურ ცნებათა განზოგადება; 7. რელატიურ ცნებათა სისტემის დაუფლება და 8. რელატიურ ცნებათა შემუშავება ვერბალური გზით. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტის შედეგების გაანალიზების საფუძველზე მკვლევარი იმ დასკვნამდე მიდის, რომ 12 და 13 წლის ასაკში ცნების დაუფლების შესაძლებლობათა ტემპის ზრდა შედარებით მცირეა იმ ნახტომისებურ განვითარებასთან შედარებით, რომელთანაც საქმე გვაქვს 10-დან 11 წლის ასაკში გადასვლის დროს.

ცნების დაუფლების შესაძლებლობის შემდგომ ნახტომისებურ განვითარებასა და სასკოლო ასაკში ამ განვითარების ძირითად დამთავრებასთან საქმე გვაქვს მომდევნო — 14 წლის ასაკში. რ. ნათაძე პირდაპირ წერს: „მე-14 წელი, ისევე როგორც მე-11, ცნების დაუფლების განვითარებაში არსებითი წინსვლის, ერთგვარი ნახტომის ასაკს წარმოადგენს, რომლითაც უკვე მიიღწევა სასკოლო ასაკში ძირითადად უკანასკნელი საფეხური ცნებითი აზროვნების განვითარებაში“ [27, გვ. 299]. ამ დასკვნამდე ავტორი მიდის შემდეგი ფაქტორების მიხედვით მოწყობილი ცდების შედეგად: 1. არსებითი ნიშნის ობიექტივაცია; 2. გონებრივ ოპერაციათა საფუძვლის ობიექტივაცია; 3. ვერბალური აზროვნების განვითარება; 4. განზოგადებული აზროვნება; 5. ცნებათა სისტემის დაუფლება.

მოზარდის ფიზიკური და გონებრივი განვითარების შესაბამისად ცნების დაუფლების ინტელექტუალურ შესაძლებლობათა მომწიფების შესახებ ანალოგიური შედეგები მიიღეს დ. უზნაძემ [33], ლ. ვიგოდსკიმ [57], უ. პიაჟემ და მისმა სკოლამ [121], რომლებიც კვლევის თავისებურ მეთოდებს იყენებდნენ. პროფ. რ. ნათაძის ზემომითითებულმა დასკვნებმა ახალი დასაბუთება პოვეს იმ ექსპერიმენტების შედეგად, რომლებიც უკანასკნელ წლებში შ. ნადირაშვილმა მოაწყო სასკოლო ასაკის ბავშვებში განზოგადოების უნარის განვითარების გამოსაკვლევად [23].

ცნების დაუფლების ინტელექტუალურ შესაძლებლობებზე ფსიქოლოგთა მიერ დადგენილი კანონზომიერებების გათვალისწინ-

ნება ფიზიკის სწავლების მეთოდისათვის აუცილებელია ამჟამად ამ საკითხში არსებული ორი ურთიერთსაპირისპირო უკიდურესობის წინააღმდეგ საბრძოლველად და ასაკის მიხედვით ფიზიკის ცნებათა სწავლებისათვის გარკვეული ადგილის დასადგენად.

პირველ უკიდურესობას წარმოადგენს ბიჭვეიორისტული ტენდენციების გავლენით წარმოშობილი მოსაზრება, თითქოს „ნებისმიერი ცნება შეიძლება სრულფასოვნად წარმოდგენილი და გამოყენებული იქნას ნებისმიერი სასკოლო ასაკის მოსწავლის აზროვნებაში“ [51, გვ. 34]. მეორე უკიდურესობა კი არის ის, რომ ზოგიერთ მეთოდისტს სურს საშუალო სკოლის კურსში მთელი რიგი ცნებების თვისებრივ მხარეთა არასრულფასოვანი გაშუქებისა და სწავლების ფაქტი გაამართლოს იმ მცდარ მოსაზრებაზე დაყრდნობით, თითქოს საშუალო სკოლის მოსწავლეები ჯერ კიდევ სათანადოდ არ იყვნენ მომწიფებული მათი დაუფლებისათვის.

ცნების დაუფლების ინტელექტუალურ შესაძლებლობათა შესახებ ფსიქოლოგიური მეცნიერების ზემომოტანილი სწავლების შესაბამისად, ფიზიკის სწავლების მეთოდიკა უნდა გამოდიოდეს იმ დებულებიდან, რომ საშუალო სკოლის ასაკში (IX-X კლასი, მე-16 და მე-17 წელი) მოსწავლეებს გააჩნიათ ფიზიკის ცნებების დაუფლების სრულფასოვანი ინტელექტუალური შესაძლებლობა.

§ 10. აედაზოგიური ფსიქოლოგია მოსწავლეში ცნების ფორმირების კანონზომიერებათა შესახებ

რახან შემეცნებისა და ცნების რაობაში სხვადასხვა თვალსაზრისია, მოსწავლეში შემეცნებითი პროცესის მიმდინარეობისა და მის საფუძველზე ცნებისა და ცოდნის ფორმირების შესახებაც სხვადასხვანაირი გაგებაა. ნ. მენჩინსკაია ნაშრომში „ცნების შეთვისების ფსიქოლოგია“ აკრიტიკებს იმ ფსიქოლოგთა მცდარ აზრს, რომლებიც თვლიან, მოსწავლეთა შეგნებაში ცნების ჩამოყალიბების პროცესში მასწავლებელი არ უნდა ერეოდეს, რადგან ცნების ჩამოყალიბების პროცესი „სულის იღუმალი, რთული და ფაქიზი პროცესიაო“ [100, გვ. 107].

ასახვის მეცნიერული თეორიის თანახმად, სწავლებისას ცნების ფორმირების პროცესი არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება ჩაითვალოს იღუმალ, შეუცნობად და მართვასდაუქვემდებარებელ პროცესად. რაც შეეხება სირთულეს, როგორც ეს პირველი სქემა-მოდელიდან ჩანს, იგი დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. მაგრამ ცნების ფორმირების პროცესის სირთულე როდი ნიშნავს იმას, თითქოს გამართლებული იყოს მისი მიჩნევა შეუცნობად პროცე-

სად; პირიქით, საჭიროა რაც შეიძლება უკეთ შევისწავლოთ ფაქტორები, რომლებზეც იგი არის დამოკიდებული და რომელთა გათვალისწინება აუცილებელია სწავლებისას ცნების ფორმირების პროცესის ოპტიმალური მართვისათვის.

პიროვნებაში ცნების ფორმირების პროცესი, როგორც ახალი ცნებების შემუშავების, ისე მეცნიერებაში უკვე შემუშავებული ცნებების დაუფლების დროს, საკმაოდ დეტალურად აქვთ შესწავლილი და გადმოცემული თავიანთ ნაშრომებში ბოგოიავორსკის [48], გალპერონს [63, 64], ელკონინს [63], ვიგოდსკის [57], ზაპოროჟეცს [63], კალმიკოვას [80], მენჩინსკაიას [100], ლევიტოვს [94], ლონტიევს [120], ნათაძეს [24, 25, 26, 27], პიაჟეს [121], სმირნოვს [85], ტალიზინას [133, 134], ტერეხოვას [135], უზნაძეს [33] და სხვა მეცნიერებს.

სწავლების პროცესში ცოდნის ფორმირების კანონზომიერებათა შესახებ ბოლო ხანებში საყურადღებო თეორია წამოაყენეს პ. გალპერინმა და ა. ლონტიევმა. „ეულგარულ-სენსუალისტური და ნატურალისტური“ თეორიების წინააღმდეგ ისინი ამტკიცებენ, რომ, მართალია, ცოდნის წყარო აღქმებია, მაგრამ ცოდნის ფორმირების საფუძველია გარეგანი — პრაქტიკული და შინაგანი — გონებრივი მოქმედებანი [95, გვ. 59]. რამდენადაც ცბეობების შემუშავება ხდება აღქმის საფუძველზე არა უშუალო, არამედ გაშუალებული შემეცნების გზით, რომელსაც თან ახლავს სხვადასხვა გონებრივი ოპერაცია (მოქმედება), ცხადია, ცნების სწავლებისათვის ამ თეორიას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. თუ მხედველობაში მივიღებთ აგრეთვე, რომ ფიზიკის მთელ რიგ ცნებებს არა მარტო თვისებრივი, არამედ რაოდენობრივი მხარეც აქვთ, რომელთა დაუფლება მოსწავლისაგან მოითხოვს მოახდინოს სხვადასხვა პრაქტიკული გაზომვა და თეორიული გაანგარიშებანი, კიდევ უფრო ნათელი გახდება, რომ ცნების შესახებ სრულფასოვანი ცოდნის ფორმირების პროცესი დაკავშირებულია სხვადასხვა პრაქტიკულ (ექსპერიმენტულ) და გონებრივ ოპერაციასთან.

ზემოაღნიშნული გარემოებანი იმაზე მიუთითებენ, რომ ცნების ფორმირების პროცესში მასწავლებელი არა თუ არ უნდა ეროდეს, არამედ, პირიქით, საჭიროა დაპროგრამებულ იქნეს მთელი მისი მოქმედება იმ შესაძლებლობათა ფარგლებში, რასაც მეცნიერების განვითარების არსებული დონე და ასაკის თავისებურება იძლევა.

ჩვენ ვნახეთ, რომ ზოგჯერ თვით მეცნიერებაში ცნების შინაარსი ბოლომდე არ არის შეცნობილი და არცა ვგაქვს მისი სრულფასოვანი განსაზღვრება, მაგრამ ცნობილია ცნების მოცულობა,

ხოლო თუ ცნებას რაოდენობრივი მხარე აქვს, მაშინ ცნობილია აგრეთვე მისი რაოდენობრივი მახასიათებლებიც.

როცა ცნობილი არ არის ცნების თვისებრივი მხარე და შესაბამისი განსაზღვრება, ან კიდევ, როცა ინტელექტის განვითარების დონე საშუალებას არ იძლევა მიწოდებულ იქნას ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ ზუსტი მეცნიერული ცოდნა, ასეთ შემთხვევაში როგორც თვითგანვითარების დროს, ისე პედაგოგიურად ორგანიზებულ გარემოში, ცნების შესახებ შეხედულების ფორმირება ხდება მისი მოცულობის, მისი გამოყენების სფეროს თანდათანობით უფრო სრულყოფილად გაცნობიერების გზით. თუ ცნებას რაოდენობრივი მხარე აქვს, მაშინ მის შესახებ შეხედულების ფორმირებაში განსაკუთრებულ როლს ასრულებს აგრეთვე რაოდენობრივი მხარის გამოსაანგარიშებელი ფორმულების, წესებისა და შესაბამისი ერთეულების გაცნობა.

როცა მეცნიერებაში ცნების თვისებრივი მხარე, მისი შინაარსი კარგად არის ცნობილი და მოცემულ ასაკში ინტელექტის განვითარების დონე მისი სრულფასოვანი დაუფლების საშუალებას იძლევა, ე. ი. მიღწეულია ცნებითი აზროვნების დონე, ცნების სწავლება უნდა დავიწყოთ ცნების შინაარსის გაცნობიერებით და ამ გზით მოსწავლე მივიყვანოთ მოვლენებისა და საგნების იმ არსებითი მხარეების შემეცნებამდე, რომლებიც აღებულ ცნებაშია ნავარაუდები. თვისებრივი მხარის გაცნობიერების შემდეგ უნდა გადავიდეთ ცნების გამოყენების არსის, ცნების მოცულობის გაცნობიერებაზე, შემდეგ კი — ცნების რაოდენობრივი მხარის გაზომვის ხერხების, გამოსაანგარიშებელი ფორმულების, წესების, ერთეულების სწავლებაზე. ცნების შესახებ მიღებული ცოდნის შემდგომი დაზუსტება, გაღრმავება, განმტკიცება და სათანადო ცოდნა-ჩვევების დანერგვა უნდა მოხდეს ექსპერიმენტული, მოსაფიქრებელი და გამოსაანგარიშებელი ამოცანების ამოხსნის პროცესში.

ცნების შინაარსის, გამოყენების სფეროსა და რაოდენობრივი მხარის სხვადასხვა მაგალითის გაანალიზების დროს მრავალმხრივად გააზრებისა და გაცნობიერების შედეგად გამოძევადება პირობითი რეფლექსები, რის საფუძველზე ავტომატურად ხდება ცნების გამოყენება აზროვნების პროცესში. ცნების შესახებ სრულფასოვანი ცოდნის მიღების შემთხვევაში პიროვნება საჭიროების შესაბამისად აღადგენს და გამოიყენებს ცნების სწავლების პროცესში მიღებულ მთელ ცოდნას.

რამდენადაც IX კლასის ასაკის მოსწავლეში უკვე მომწიფებულია ცნების სრულფასოვანი დაუფლების შესაძლებლობანი, ფიზიკის ცნებების სწავლება უნდა დავიწყოთ თვისებრივი მხარეების

გაცნობიერებით, შემდეგ კი გადავიდეთ მათი გამოყენების არის
რაოდენობრივი და მიმართულბრივი მხარეების შესწავლაზე.

§ 11. ფიზიკის ცნებების სწავლებასთან დაკავშირებული პედაგოგიური ამოცანები

მეცნიერულ-მატერიალისტური მოძღვრების მიხედვით შემეც-
ნების საგნად მიჩნეულია ობიექტურად არსებული სამყაროს კა-
ნონზომიერებათა ასახვა ადამიანის გონებაში, ხოლო ცნება — ეს
არის შემეცნების შედეგად მიღებული აზრი, რომელიც მეცნიერე-
ბის განვითარების დონის შესაბამისად ასახავს საგნებისა და მოვ-
ლენების არსებით ნიშნებს. აქედან გამომდინარე, საერთოდ ცნებე-
ბის და, მათ შორის, ფიზიკის ცნებების სწავლებასთან უშუალოდ
დაკავშირებული პედაგოგიური ამოცანაა ინტელექტის განვითარე-
ბის დონის შესაბამისად მოსწავლე მიიყვანოს საგნებისა და მოვ-
ლენების იმ არსებითი მხარეების შემეცნებამდე, რომლებიც ფი-
ზიკის ცნებებშია ასახული, ამასთან ხელი შეუწყოს აზროვნებისა
და შემეცნებითი უნარის განვითარებას მოსწავლის პიროვნებაში.

სწავლების პროცესში სასკოლო საგნების შემეცნებითი მნიშ-
ვნელობის ხაზგასმას ამ ბოლო დროს განსაკუთრებული ყურადღე-
ბა ექცევა როგორც საბჭოთა, ისე საზღვარგარეთის პედაგოგიაში
[85]. ფიზიკის სწავლების პროცესში ფიზიკის შემეცნებითი მნიშ-
ვნელობის გამოკვეთას დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ საბჭოთა ფი-
ზიკოსები. ფიზიკის მეცნიერების შემეცნებით მნიშვნელობას სე-
რიოზული ყურადღების ღირსად თვლიან თანამედროვე ცნობილი
ამერიკელი ფიზიკოსები რიჩარდ ფეინმანი [140], ჯეი ორინი [111]
და სხვები.

როგორც ზემოთ ითქვა, ფიზიკის ე. წ. ფილოსოფიურ ცნებებ-
ში ასახული ცოდნა დიდად არის დამოკიდებული მსოფლმხედვე-
ლობაზე. ამიტომ ბუნებრივია, რომ ასეთი ცნების სწავლების სა-
კითხი მკიდროდ უკავშირდება იმ პედაგოგიურ ამოცანებს, რომ-
ლებიც ჩვენს პედაგოგიურ ლიტერატურაში ცნობილია სწავლა-
აღზრდის პროცესში მეცნიერულ-მატერიალისტური მსოფლმხედ-
ველობის ფორმირებისათვის ხელის შეწყობის სახელწოდებით. სა-
ბჭოთა სკოლაში მოსწავლეთა იდეურ-პოლიტიკური, მორალური,
ესთეტიკური, ანტირელიგიური, ინტერნაციონალური აღზრდა და
სწავლა-აღზრდასთან დაკავშირებული ყველა სხვა ამოცანა მეცნი-
ერულ-მატერიალისტურ მსოფლმხედველობაზე დაყრდნობით
წყდება.

პედაგოგიკის მთელი ისტორია გვიჩვენებს, რომ მოზარდი თაობის მსოფლმხედველობრივ აღზრდას მუდამ დიდი ყურადღება ექცეოდა. მას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება დღეს, როცა ჩვენი პლანეტის საზოგადოებრივი ცხოვრება გაყოფილია ორ ძირითად — კომუნისტურ და ბურჟუაზიულ — ბანაკად და როცა სულ უფრო ნათელი ხდება, რომ „იდეები ატომურ ბომბზე უფრო ძლიერია“ [41].

თანამედროვე ბურჟუაზიული იდეოლოგია იდეალისტურ-რელიგიურ მეთოდოლოგიას ეყრდნობა. ბურჟუაზიული იდეოლოგიის ინტერესების გამომხატველი პედაგოგები განი, ლაი, მაკაგონენი და სხვები მოითხოვენ, „სასწავლო პროგრამები და მთელი სასწავლო პროცესი ისე იქნას აგებული, რომ მეცნიერების სწავლება არა მარტო ეთანადებოდეს, არამედ ორგანულად შეერწყმას რელიგიის სწავლებას“ [77, გვ. 567].

საგულისხმოა, ასეთი ფაქტიც: XX საუკუნის მეორე ნახევარში, როცა ცხადი გახდა, რომ ადამიანი შეიძლება დაეპატრონოს არა მარტო დედამიწას, არამედ „ზეცასაც“, ვატიკანში კათოლიკური ეკლესიის მესვეურებმა გახსნეს „მეცნიერებათა აკადემია“, რომლის მიზანია მოუხახოს რელიგიას ახალი „მეცნიერული დასაბუთება“.

რელიგიის უმაღლესი იერარქიის წარმომადგენლები აცხადებენ, რომ მეცნიერების პროგრესის შედეგად კი არ მცირდება, არამედ, პირიქით, იზრდება „გაურკვეველ“ საკითხთა რიცხვი. აქედან გამომდინარე, „ასკენიან“ ისინი, მეცნიერება რელიგიისაგან დამოუკიდებლად ვერასოდეს შეძლებს მოვლენათა პირველი მიზეზების მიკვლევას; მათი აზრით, ყველა მოვლენის პირველ მიზეზად ღმერთი უნდა ვიწამოთ, მეცნიერების მიზანი კი ის არის, რომ იკვლიოს ბუნების მრავალფეროვან მოვლენებში როგორ ვლინდება „ღვთის ნება“.

რელიგიისა და იდეალიზმის სპეკულაციის ერთ-ერთი ობიექტი მუდამ იყო და ამჟამადაც არის ადამიანის თავის ტვინში — „სულში“ მიმდინარე პროცესები.

მეცნიერების უახლესი დარგი — კიბერნეტიკა, რომლის წარმოშობა განაპირობა თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის უმაღალითო წარმატებებმა, მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ მატერიის ყველაზე რთულ სახეში — ცოცხალ ორგანიზმებში და, მათ შორის, ადამიანის თავის ტვინში — „სულში“ მიმდინარე პროცესები არა მარტო შეცნობადია, არამედ მათი თავისებური მანქანური მოდელირებაც კი შეიძლება.

თანამედროვე მეცნიერება უკვე შეუდგა ამ იდეის ტექნიკურ ხორცმესხმას და, როგორც ცნობილია, უკვე მოიპოვა ისეთი წარმატებები, რომლებზეც 30—40 წლის წინათ ოცნებაც კი წარმოუდგენელი იყო.

მეცნიერებისა და ტექნიკის ეს მიღწევები ერთხელ კიდევ ამტკიცებს მატერიალიზმის იმ ძირითადი მოსაზრების სისწორეს, რომ სამყაროში მიმდინარე ყველა მოვლენა „ამქვეყნიურია“, მატერიალურია, მეცნიერებისა და ტექნიკის პროგრესის კვალობაზე ადამიანის მიერ მათი არა მარტო შეცნობა, არამედ მართვაც შეიძლება, რაც უზრუნველყოფს სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობას.

მიუხედავად კიბერნეტიკის სწორადგაგებული არსის პროგრესული სულისკვეთებისა, კიბერნეტიკის ერთ-ერთი ფუძემდებელი ნ. ვინერი სამყაროს დალუპვას უქადის და უარყოფს სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობის იდეას. იგი ფართოდ ეხება „სამყაროს სითბური კვდომის თეორიის“. აღწერს „მაქსველის დემონს“ და „სითბური კვდომის თეორიის“ სასარგებლოდ წყვეტს მას [13, გვ. 48 — 51]. ამავე თვალსაზრისით მიმოიხილავს დარვინის, ლამარკის თეორიებს და მთელ რიგ მეცნიერულ და სოციალურ ფაქტორებს. ვინერი მიუთითებს იმ ფაქტებსაც, როცა სამყაროში ენტროპია კი არ იზრდება, არამედ მცირდება, მაგრამ აკნინებს ამ გარემოების მნიშვნელობას და „თერმიულ სიკვდილს“ უწინასწარმეტყველებს კაცობრიობას. მკითხველისათვის ამ რეაქციული იდეის შთაბრუნებისათვის იგი მრავალგვარ ხერხს მიმართავს და დემაგოგიურად აცხადებს „ჩვენ გვეყოფა სიმამაცე შეუდრეკლად შევხედოთ ჩვენი ცივილიზაციის დალუპვას, ისე როგორც გვეოფნის გამბედაობა უშიშრად ვუმზერდეთ ჩვენი პირადი დალუპვის უქველ ფაქტორს“ [13, გვ. 70]. ვინერის პესიმისტური განწყობილებისა და რეაქციული ქადაგების ნამდვილი სათავე უნდა ვეძებოთ არა კიბერნეტიკასა და საერთოდ მეცნიერებაში, არამედ ვინერის რელიგიურ შეხედულებებში, რაც რელიგიური აღზრდის უშუალო ნაყოფს წარმოადგენს. ვინერი სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობის იდეის წინააღმდეგ ძირითადად იმიტომ ილაშქრებს, რომ ეს იდეა ეწინააღმდეგება რელიგიის არსს. იგი პირდაპირ წერს, პროგრესის იდეის რწმენა „ნიშნავს საკუთარ რელიგიურ რწმენასა და ტრადიციებთან კავშირის გაწყვეტას“ [13, გვ. 64].

მეცნიერებისა და ტექნიკის პროგრესი თანმიმდევრულად ააშკარავებს მოდერნიზებული „ახალი“ იდეალისტურ-რელიგიური და რეაქციული კონცეფციების მცდარობას, მაგრამ მეცნიერების

განვითარების არსებული დონისათვის ჯერ კიდევ აუხსნელი მოვლენების, ხოლო ზოგჯერ არასწორი კონცეფციების საფუძველზე შედგენილი თეორიების შედეგად კვლავ ჩნდება „გაუთრკვევლობის ატმოსფერო“, რასაც დაუყოვნებლივ იყენებენ ბურჟუაზიული იდეოლოგიის წარმომადგენლები იდეალიზმისა და რელიგიის ხელახალი აღორძინებისათვის.

მეცნიერული მატერიალიზმი გამოდის იმ მოსაზრებიდან, რომ სამყაროში არ არის ადგილი ზებუნებრივი ძალებისათვის, იგი თავისი ბუნებით ერთიანია, მატერიალურია. სამყაროს მრავალფეროვანი მოვლენანი წარმოადგენენ ურთიერთგარდაქმნადი მატერიის მოძრაობის ფორმების სხვადასხვა გამოვლინებას. ჯერ კიდევ აუხსნელ მოვლენათა მიზეზი უნდა ვეძებოთ არა რაღაც ზებუნებრივ ძალებში, არამედ „თავის ყველა ნაწილში დაუსაბამო და დაუსრულებელ მატერიალურ სამყაროში“. მეცნიერებისა და ტექნიკის წინსვლის კვალობაზე ადამიანი თანდათან უფრო ღრმად სწვდება და ეუფლება ბუნების საიდუმლოებას და ცხადი ხდება, რომ შესაძლებელია სამყაროში მიმდინარე პროცესების არა მარტო შეცნობა, არამედ მათი მართვაც. აქედან გამომდინარე, მეცნიერების მიზანია არა რელიგიური შეხედულებების პროპაგანდა, რომელიც პასიურობისა და უმოქმედობისაკენ უბიძგებს ადამიანის შემოქმედებით გენიას, არამედ იმ აზრის შთაგონება, რომ სამყაროში ყველაზე მძლავრი არსება — ეს მოაზროვნე ადამიანია, რომელსაც შეუძლია მართოს სამყაროში მიმდინარე პროცესები და, მაშასადამე, მის ხელთ არის სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობის უზრუნველყოფის საქმე.

მეცნიერული მატერიალიზმის ძირითადი მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ფიზიკის ცნებათა სწავლების დროს ძირითადად ხელი უნდა შევუწყოთ შემდეგი შეხედულებების ფორმირებას: 1. ბუნების სხვადასხვა საგნები, რომლებიც ჩვენი ცნობიერებისაგან დამოუკიდებლად არსებობენ, მატერიის სხვადასხვა სახეს წარმოადგენენ; 2. მატერია შეუქმნადი და მოუსპობადია; 3. მატერიის ესა თუ ის სახე განუწყვეტლივ მოძრაობაშია; 4. თვით საგნების შიგნით საქმე გვაქვს მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმასთან; 5. ის, რაც მოძრაობს, მატერიალურია; 6. მოძრაობა შეუქმნადი და მოუსპობადია; 7. ფიზიკა არის ერთ-ერთი მეცნიერება ბუნების შესახებ, რომელიც შეისწავლის მატერიის მოძრაობის ყველაზე მარტივ და ზოგად ფორმებსა და თვისებებს; 8. ბუნების სხვადასხვა მოვლენა არის მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა გამოვლინება; 9. მთელ რიგ საგნებსა და მოვლენებს შორის არსებობს მიზეზობრივი კავშირი; 10. რადგან საგნები და მოვლენები დაკავშირე-

ბული არიან ერთმანეთთან, ყოველი მოძრაობა მიმდინარეობს წინააღმდეგობის პირობებში; 11. რადგან მოძრაობა მიმდინარეობს წინააღმდეგობის პირობებში, ბუნებაში საქმე გვაქვს მატერიის მოძრაობის ფორმათა განუწყვეტელ ურთიერთგარდაქმნასთან; 12. რადენობრივი ცვლილებები გარკვეულ საფეხურზე იწვევენ თვისებრივ ცვლილებებს; 13. მეცნიერებისა და ტექნიკის შემდგომი პროგრესის გზით ჩვენი ცოდნა ბუნების მოვლენებისადმი თანდათან უფრო ღრმა და საფუძვლიანი ხდება და ა. შ.

გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ, სადაც ეს შესაძლებელია, დიდად სასარგებლოა, როცა მატერიალისტური შეხედულებები შემოგვაქვს რელიგიურ-იდეალისტურ შეხედულებებთან დაპირისპირებით. ამ დროს ხაზს ვუსვამთ მატერიალიზმის უპირატესობას და ასაკის შესაბამისად მოსწავლეებს განვუმარტავთ, რომ მეცნიერულ-მატერიალისტური მოძღვრება უძლეველი სოციალისტური ბანაკის იდეოლოგიური დასაყრდენია, ხოლო ანტიმეცნიერულ იდეალისტურ-რელიგიურ შეხედულებებს მომაკვდავი იმპერიალიზმის იდეოლოგები ებლაუჭებიან, ექსპლოატატორული ცხოვრების წესის მარადიულობისა და სამართლიანობის „დასამტკიცებლად“. მატერიალისტურ და იდეალისტურ შეხედულებათა დაპირისპირება და ამ დაპირისპირების დროს მატერიალიზმის უპირატესობის ჩვენება სწავლების პროცესში ადიდებს ინტერესს, ამხვილებს ყურადღებას, ზრდის შეგნებულობასა და აქტიურობას, მოსწავლეებში ნერგავს მებრძოლ მატერიალისტურ სულისკვეთებას, აძლიერებს მარქსიზმ-ლენინიზმის მოძღვრებისადმი სიყვარულსა და მისი გამარჯვების რწმენას, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს საბჭოთა სამშობლოს პატრიოტი და კომუნიზმისათვის თავდადებით მებრძოლი თაობის აღზრდისათვის.

მარქსიზმ-ლენინიზმის თვალსაზრისით, ადამიანის მიერ ბუნების შემეცნება. რაც პრაქტიკის მოთხოვნათა საფუძველზე მიმდინარეობს, თვითმიზანი კი არ არის, არამედ საჭიროა იმისათვის, რომ ადამიანმა დაიმორჩილოს და გარდაქმნას ბუნება, რათა უზრუნველყოს სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობა. ამ გარემოებიდან გამომდინარე, ფიზიკის ცნებების სწავლებასთან მჭიდროდ დაკავშირებული ამოცანაა მოსწავლეთა შეიარაღება ცოდნითა და ჩვევითა სისტემით, რაც ხელს უწყობს მათ ყოველმხრივ პარმონიულ, პოლიტექნიკურ განათლებასა და მომზადებას როგორც პრაქტიკული საქმიანობისათვის, ისე სწავლის შემდგომი განგრძობისათვის.

რადგან სასკოლო ფიზიკის კურსის შინაარსის გადმოცემაში ფიზიკის ცნებების ხვედრითი წონა დიდია, ბუნებრივია, მათ სწავლებასთან თავისებურად არის დაკავშირებული ლოგიკური აზროვ-

ნების განვითარება [16], საბჭოთა პატრიოტიზმისა და პროლეტარული ინტერნაციონალიზმის სულისკვეთებით აღზრდა [21] და ყველა ის პედაგოგიური ამოცანა, რომლებიც ფიზიკის აწავლებას ეკისრება კომუნიზმის აქტიური მშენებელი ახალგაზრდობის მომზადების დარგში.

ნ ა წ ი ლ ი მ ა ო რ ა მ

IX კლასის უიზიკის კურსში ზოგიერთი სწავლის
შინაარსის სწავლების მეთოდი დაპროგრამებული
სწავლების შუაზე

წიგნის შინაარსი

§ 12. დაპროგრამებული კერძო მეთოდური ლიტერატურა ფიზიკაში

დაპროგრამებული სახელმძღვანელოები და მსწავლებელი მანქანებისათვის განკუთვნილი დაპროგრამებული მასალები ისეა შედგენილი, რომ ისინი იძლევიან სწავლების მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვის საშუალებას. ამ გარემოებათა გამო ზოგიერთები გამოთქვამენ აზრს, თითქოს დაპროგრამებული სახელმძღვანელოების შექმნის შემდეგ საჭირო აღარ იქნება მეთოდური ლიტერატურა. ეს გაუგებრობა იმიტაც არის გაპირობებული, რომ დაპროგრამებული სწავლების თაობაზე დღემდე არსებულ ლიტერატურაში არაფერია ნათქვამი დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურის შესახებ. დაპროგრამებულ სახელმძღვანელოებსა და მასალებთან ერთად დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურის საჭიროების აუცილებლობა მაშინვე ნათელი გახდება, თუ გავიხსენებთ მეთოდური ლიტერატურის არსს.

ტერმინი „ლიტერატურა“; როგორც ცნობილია; ლათინური სიტყვიდან lit(l)eratura-დან წარმოდგება და ქართულად ნიშნავს დაწერილსა და დასტამბულ ნაწარმოებთა ერთობლიობას აქედან გამომდინარე, მეთოდურ ლიტერატურაში საერთოდ უნდა ვიგულისხმოთ წერილობით გადმოცემული, სწავლების მეთოდოლოგიაში მოპოვებული მეცნიერული ცოდნა. როგორც ცნობილია, მეთოდური ლიტერატურის შინაარსს შეადგენს: 1. საგნის სწავლების მეთოდის გაშუქება; 2. სასწავლო საგნის შემეცნებითი, იდეურ-პოლიტიკური მნიშვნელობის და სხვა პედაგოგიურ ამოცანების განსაზღვრა და განათლების სისტემაში მისი ადგილის დადგენა; 3. სასწავლო საგნის შინაარსის განსაზღვრა, სასწავლო პროგრამებისა და სახელმძღვანელოების მეცნიერული დასაბუთება; 4. სწავლა-აღზრდის მიზნებისა და ამოცანების შესაბამისად სწავლების მეთოდებისა და ორგანიზაციული ფორმების გამოყენება; 5. საგნების მიხედვით

სასწავლო მოწყობილობათა დაძველება და 6. მასწავლებელთა მომზადების დონისაღმე მოთხოვნების განსაზღვრა მოცემული საკნების მიხედვით. ადვილი შესამჩნევია, რომ ამ საკითხების შეტანა არ შეიძლება მოსწავლეთათვის განკუთვნილ სასწავლო საგნის სახელმძღვანელოში, როგორც სახისაც (დაპროგრამებული თუ ჩვეულებრივი) არ უნდა იყოს იგი.

მეთოდური ლიტერატურა, თავის მხრივ, იყოფა ორ ძირითად ნაწილად: ზოგადი და კერძო ლიტერატურა. ზოგად მეთოდურ ლიტერატურაში განიხილება: საგნის სწავლების ამოცანები; სასწავლო პროგრამისა და სახელმძღვანელოს აგების პრინციპები; სწავლების ორგანიზაციული ფორმების საკითხები; ლაბორატორიებისა და კაბინეტების მოწყობის საკითხები და სხვ. კერძო მეთოდურ ლიტერატურაში ზოგად-პედაგოგიურ მოთხოვნათა შესაბამისად განიხილება პროგრამით გათვალისწინებული იმ მასალის სწავლების საკითხები, რომელიც უნდა შეესაბამებოდეს მეცნიერების განვითარების დონეს.

დაპროგრამებული და ჩვეულებრივი სახელმძღვანელოების მსგავსად კერძო მეთოდური ლიტერატურა შეიძლება იყოს ჩვეულებრივი და დაპროგრამებული.

ფიზიკის ცნებების სწავლებისადმი მიძღვნილი ჩვეულებრივ კერძო მეთოდურ ლიტერატურას ახასიათებს ძირითადად შემდეგი ნაკლოვანებანი: 1. ბევრ მათგანში ძნელია გაარკვიო შემეცნებასა და ცნების რაობის საკითხში როგორი პოზიცია უკავია ავტორს. როგორც უკვე მითითებული იყო, ამ ნაკლოვანების მანკიერება განსაკუთრებით თავს იჩენს მაშინ, როცა საქმე ეხება ფიზიკის ისეთი ცნებების სწავლებას, რომელთა გაგებაში აზრთა სხვადასხვაობაა; 2. იგრძნობა, რომ ზოგიერთი ავტორი არ ეყრდნობა და არ იყენებს იმ მონაცემებს, რომლებიც უკვე მოპოვებულია პედაგოგიურ ფსიქოლოგიაში, კერძოდ, არ არის გაცნობიერებული ინტელექტუალური განვითარების დონე, ცოდნის ფორმირების კანონზომიერებანი, „გადატანის ფაქტორი“, ალგორითმიზაციის მნიშვნელობა და სხვ.; 3. ასაკის შესაბამისად ყოველთვის რაციონალურად არ ხდება დიდაქტიკური პრინციპების გამოყენება, 4. არ არის შესაბამისად გათვალისწინებული სწავლების პედაგოგიკური ამოცანები; 5. დიდძალი კერძო მეთოდური ლიტერატურის გაცნობის დროს აშკარად იგრძნობა, რომ მათ ავტორებს საფუძვლიანად არ შეუსწავლიათ და არ გაუთვალისწინებიათ აღებული საკითხის გარშემო სხვა ავტორთა მიერ უკვე გამოთქმული მოსაზრებანი, რის გამოც იგი ატარებს ვიწრო სუბიექტურ და ემპირისტულ ხასიათს; 6. ცალკეული ცნებების სწავლების მეთოდი მოცულობის,

შინაარსისა და სწავლების რეგლამენტის მიხედვით ვერ თავსდება მთელი კურსის სწავლების მეთოდთა სასტემოში და სხვ.

ჩვეულებრივი კერძო მეთოდური ლიტერატურის ყველაზე არსებითი და მნიშვნელოვანი ნაკლი ის არის, რომ მის ავტორებს სათანადოდ არა აქვთ გაცნობიერებული სწავლების კიბერნეტიკული ბუნება და მათ მიერ მოცემულ მეთოდებში ზემოთ მითითებულ ფილოსოფიური, ფსიქოლოგიური და პედაგოგიური ფაქტორების გათვალისწინებით არ არის დაპროგრამებული უწყევშირის გზით სწავლების მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა. ამის გამო როგორც კოლექტიური, ისე ინდივიდუალური სწავლების დროს მოსწავლეთა უმრავლესობაში გზადაგზა გროვდება გაურკვეველი, გაუცნობიერებელი, შეუთვისებელი, ხშირად კი სათანადო განწყობის უქონლობის გამო სრულად აღუქმელ საკითხთა რიცხვი, რაც თანდათანობით აფერხებს და, ბოლოს, შეუძლებელ ხდის შემდგომ წინსვლას სწავლების პროცესში.

ჩვეულებრივი კერძო მეთოდური ლიტერატურის გამოყენების ეფექტი მთლიანად დამოკიდებულია მასწავლებლის ინდივიდუალურ თავისებურებაზე. თუ მასწავლებელს აქვს თეორიული მომზადების მაღალი დონე, კარგი მეთოდური ალღო და საშუალება დიდი დრო დაუთმოს თითოეული საკითხის ახსნისათვის მზადებას, შედეგიც კარგი იქნება, თუ არა და, არადამაკმაყოფილებელ შედეგებს მივიღებთ.

ძირითადი ნიშნები, რითაც დაპროგრამებული კერძო მეთოდური ლიტერატურა ჩვეულებრივისაგან განსხვავდება, შემდეგია: აქ კიბერნეტიკის ძირითადი მოსაზრებებიდან გამომდინარე სწავლება განიხილება, როგორც მართვადი პროცესი, ნათლად გაცნობიერებულია სწავლების ამოცანები და მათ მიაღწევად მოცემულია ყველა აუცილებელი და საკმაო ოპერაციის დეტალური გეგმა (პროგრამა), რომელიც ოპტიმალურად უზრუნველყოფს უწყევშირის გზით სწავლების პროცესის მიზანდასახულ ეტაპობრივ მართვას.

დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურა მასწავლებელთა დიდ უმრავლესობას საშუალებას აძლევს დროისა და ენერჯის ნორმალური ხარჯვის პირობებში ადვილად მოემზადოს გაკვეთილისათვის, ოპტიმალურად მართოს სწავლების პროცესი გაკვეთილზე, მიაღწიოს კარგ შედეგებს ჰოზარდი თაობის აღზრდა-განათლებაში.

ფიზიკის დაპროგრამებულ კერძო მეთოდურ ლიტერატურაში მთელი სისრულით უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი გარემოებანი:

1. ფიზიკის ისეთი ცნებების შინაარსის გაგებისა და ოპტიმალურა სწავლებისათვის, რომელთა მიმართ მეთოდოლოგიური და

მეთოდური თვალსაზრისით აზრთა სხვადასხვაობაა, საჭიროა მოცემულ იქნას სათანადო ინფორმაცია და დადგინდეს მეცნიერების განვითარების არსებული დონისათვის ყველაზე სწორი თვალსაზრისი;

2. ცნებათა შინაარსის, მოცულობის, რაოდენობრივი და მიმართულბრივი მხარეების სწავლების დროს ფსიქოლოგიის თანამედროვე მონაცემების მიხედვით ნათლად უნდა იყოს გაცნობიერებული ასაკის ინტელექტუალური განვითარების დონე;

3. პედაგოგიური ფსიქოლოგიის მონაცემთა შესაბამისად, საჭიროა გავითვალისწინოთ, როგორ მიმდინარეობს შემეცნების პროცესი და როგორ ვითარდება შემეცნებითი უნარი და აზროვნება; ასაკის მიხედვით როგორ იცვლება თვალსაჩინოებისა და მეტყველების როლი; როგორ ხდება ცნებების, ცოდნის, დახელოვნებისა და ჩვევების ფორმირება;

4. გაცნობიერებული უნდა იქნას ის პედაგოგიური ამოცანები, რომლებიც აღებული ფიზიკის ცნების სწავლებასთან არის დაკავშირებული;

5. მივაწოდოთ მხოლოდ ისეთი მასალა, რომელიც საჭიროა შემეცნების გზით სწავლა-აღზრდისათვის დასახული მიზნების მისაღწევად; ამ გარემოებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე მოსწავლეთა ნორმალური დატვირთვის პრობლემის დადებითად გადაწყვეტისათვის;

6. გადასაცემი მასალა, დასახული მიზნების შესაბამისად, როგორც პარაგრაფების, ისე თავების მიხედვით, მოცემული უნდა იქნას ლოგიკურ კავშირში;

7. შესასწავლი მასალა მოცულობის შინაარსისა და სწავლების რეგლამენტის მიხედვით უნდა თავსდებოდეს მთელი კურსის სწავლების მეთოდის სისტემაში.

სწავლების პროცესის მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვისათვის მოსწავლეებზე გადასაცემი მასალა ისე, როგორც დაპროგრამებული სახელმძღვანელო, დაპროგრამებული კერძო მეთოდური ლიტერატურაც საჭიროა დავაპროგრამოთ შემდეგი ფაქტორების მიხედვით:

1. პარაგრაფები, რომლებშიც მოცემულია მხოლოდ ის მასალა, რაც საჭიროა შემეცნების გზით სწავლა-აღზრდისათვის დასახული მიზნების მისაღწევად, მასალის თავისებურებათა გათვალისწინებით უნდა დაიყოს „ინფორმაციის ქვანტებად“, ულუფებად ან, პედაგოგიკისათვის კარგად ცნობილი ცნებით რომ ვთქვათ, ქვესაკითხებად. ამ დაყოფის ძირითადი მიზანი ის არის, რომ მასალის გადაცემა უნდა მოხდეს ქვესაკითხების მიხედვით ეტაპობრივად. როგორც გა-

მოცდილება გვიჩვენებს, იგი მნიშვნელოვნად უადვილებს მასწავლებელს ახალი მასალის ახსნისათვის მზადებას, გაკვეთილის გეგმის შედგენას და თვით ჩატარებას;

2. ქვესაკითხების სიდიდე მოცულობისა და სიძნელის მიხედვით უნდა შეესაბამებოდეს მოსწავლეთა ინტელექტის განვითარებისა და კლასის მომზადების დონეს;

3. ქვესაკითხების შემდეგ უკუკავშირის გზით სწავლების პროცესის მართვისათვის მოცემული უნდა იქნეს საკონტროლო კითხვები და დავალებები;

4. საკონტროლო კითხვები ან დავალებანი თავიანთი მიზნის მიხედვით სხვადასხვა შემთხვევაში შეიძლება იყოს შემდეგი ხასიათისა: ა) გამოარკვიოს, რამდენად სწორად გაიგეს მოსწავლეებმა გადაცემული მასალა; ბ) ხელი შეუწყოს აზროვნებისა და შემეცნებითი უნარის განვითარებას; გ) გამოავლინოს, რამდენად შესწევთ „გადატანის უნარი“ მოსწავლეებს—გამოიყენონ წინათ მიღებული ცოდნა ახალი მასალის გაგებისა და შეთვისებისათვის („გადატანის უნარის“ გამომუშავებისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს სასწავლო კურსის ალგორითმიზაციას. ამიტომ როგორც დაპროგრამებული სახელმძღვანელოების, ისე დაპროგრამებული მეთოდური ლიტერატურის შედგენისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მათ ალგორითმიზაციას); დ) ჩაუნერგოს მოსწავლეს მიღებული კანონზომიერების მათემატიკური ფორმულებით გამოსახვის უნარი და, პირიქით, სიტყვიერად გადმოსცეს მათემატიკური გზით დადგენილ კანონზომიერებათა შინაარსი; ე) შეასრულებინოს მოსწავლეებს სხვადასხვა გარეგანი (დახაზვა, გაზომვა, ცდის მოწყობა და სხვ.), და შინაგანი (გონებრივი ოპერაციები, მსჯელობანი და სხვ.) მოქმედება, რაც საჭიროა ქვესაკითხებში მოცემული ცოდნის შეთვისებისათვის; ვ) მისცეს მოსწავლეებს ჩვევა, მიღებული ცოდნა გამართულად გადმოსცენ სიტყვიერად და წერილობით; ზ) მიღებული ცოდნა დაუკავშირონ პრაქტიკას; თ) უზრუნველყოს მიღებული ცოდნის მტკიცედ დაუფლება და სხვ.

საკონტროლო დავალებებსა და კითხვებზე პასუხს აძლევენ მოსწავლეები. საჭიროების მიხედვით უნდა დაზუსტდეს მიღებული პასუხები.

სწავლების პროცესის ეტაპობრივ მართვას, ერთი შეხედვით, „პარციალიზმის“ ელფერი დაჰკრავს, მაგრამ თუ სწავლების „პროგრამას“ მიზანდასახულად შევადგენთ, იგი აუცილებლობით იქნება გამართლებული. რაც შეეხება შესასწავლი მასალის გამთლიანებას, ეს შეიძლება რამდენიმე გზით მოხდეს: ჯერ ერთი, როცა ეს აუცილებელია, წინასწარ შეიძლება მოსწავლეებს ვესაუბროთ და ზოგა-

დად მოკუხაზოთ შესასწავლი მასალის შინაარსი; მეორე მხრივ, ეტაპობრივი მართვის გზით სწავლების დამთავრების შემდეგ გადაილახება ძირითადი სიძნელე. რომელიც თან ახლავს ახალი მასალის საფუძვლიანად გაგება-შეთვისებას და ახსნილი მასალის გამთლიანებას მოსწავლეები მოასდგენენ ჯერ პარაგრაფში მოცემულ კითხვებზე თანმიმდევრულა პასუხები გაცემით, ხოლო შემდეგ—პარაგრაფის ძირითადი შინაარსის თხრობით;

5. მოსაზრებულობისა და აზროვნების განვითარებისათვის მიღებული ცოდნის შემდგომი გაღრმავების, მისი პრაქტიკასთან უკეთ დაკავშირებისა და სათანადო ცოდნა-ჩვევების გამომუშავებისათვის პარაგრაფების ბოლოს მოცემული უნდა იქნას სხვადასხვა ხასიათის ამოცანები მასალის თავისებურებათა მიხედვით.

6. შესწავლილი მასალის ურთიერთდაკავშირებისა და დასისტემების. აგრეთვე აღებული თავის ძირითადი საკითხებისადმი ყურადღების გამახვილებისა და მათ მიხედვით მიღებული ცოდნის განმტკიცებისათვის ყოველ თავს ბოლოში უნდა დაერთოს საკონტროლო კითხვები.

წინამდებარე ნაშრომის მეორე ნაწილი განეკუთვნება დაპროგრამებული კერძო მეთოდური ლიტერატურის რიგს. პირველ რიგში მან უნდა დააკმაყოფილოს ის მოთხოვნილებანი, რომლებიც უშუალოდ დაკავშირებულია ფიზიკის განსახილველი ცნებების შინაარსის სწავლების ოპტიმიზაციასთან. ბუნებრივია, იგი უნაკლო და უხარვეზო არ იქნება, რადგან წარმოადგენს ასეთი ტიპის მეთოდური ლიტერატურის შექმნის პირველ ცდას.

მეთოდოლოგიური, მეთოდური და სხვა საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია აღებული ცნებების სწავლებასთან და ნავარაუდევია არა მოსწავლეთათვის გადასაცემად. არამედ მასწავლებელთა და მეთოდისტებისათვის, ყოველ პარაგრაფში გამოიყოფა სახელწოდებით „წინასწარი შენიშვნები“.

§ 13. წესნაწავალი საშუაარი

წინასწარი შენიშვნები როგორც ითქვა, ფიზიკის სასწავლო საგნის სტრუქტურას საფუძვლად უნდა დაედოს მატერიის ის სახეები და მოძრაობის ის ფორმები, რომელთაც ფიზიკის მეცნიერება შეისწავლის პრაქტიკასთან მათ კავშირში. ფიზიკის არსებული სახელმძღვანელოების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მათ უმრავლესობაში გაცნობიერებულად თუ გაუცნობიერებლად მეთ-ნაკლები თანმიმდევრობით დაეულია ზემოაღნიშნული სტრუქტურა, მაგრამ ძნელი არ არის შევნიშნოთ, რომ მათი ავტორები სხვადასხვანაირი გაგებით იყენებენ ტერმინს „მატერია“, ხოლო რაც შეეხება ცნებებს მატერიის მოძრაობის ფორმების, აგრეთვე დებულებებს მათი ურთიერთგარდაქმნის შესახებ, ბევრ სახელმძღვანელოში იგი არ არის გაცნობიერებული.

როსელი [123] ფიზიკის კურსის დასაწყისში ცალკე თავს უძღვნის „მატერიალის აგებულებას“, მაგრამ არაფერს ამბობს იმაზე, თუ რას გულისხმობს მატერიალის ცნებაში. მოძრაობაში როსელი გულისხმობს მხოლოდ მექანიკურ მოძრაობას. გრავიტაცია, სითბო, ელექტრობა, მაგნეტიზმი, სინათლე და ბირთვული პროცესები ფიზიკის ამ კურსში განხილულია როგორც სხვადასხვა მოვლენები და არა როგორც მატერიის მოძრაობის ფორმები, რომელთაც გარკვეულ პირობებში შეუძლიათ ურთიერთგარდაქმნა. ანალოგიური მდგომარეობაა „ფიზიკის ფუძემდებელი ლექციებში“ [140], ორიის „პოპულარულ ლექციებში“ [11] და უცხოელ ავტორთა ფიზიკის სხვა კურსებში.

ამათგან თვისებრივად განსხვავდება ფიზიკის ის სახელმძღვანელოები, რომლებიც საბჭოთა ავტორებს ეკუთვნის; თითქმის ყველა მათგანის შესავალ ნაწილში ლაპარაკია მატერიასა და მისი მოძრაობის ფორმებზე, მათ ურთიერთგარდაქმნაზე, თუმცა ეს თვალსაზრისი თანმიმდევრულად არ არის გატარებული.

ფიზიკის ცნობილი მეთოდისტები ე. გორიაჩინი, ი. სოკოლოვი [127] და პ. ზნაპენსკი [74] ფიზიკის სწავლების მეთოდის თაობაზე კურსებში პირდაპირ მიუთითებენ, რომ ფიზიკის სასკოლო კურსის სტრუქტურა ძირითადად უნდა აიკონსტრუირდეს მატერიის მოძრაობის ფორმების სირთულის მიხედვით. ამ თვალსაზრისის თავისი ზოგადი ფორმით ერთხმად იზიარებს თითქმის ყველა საბჭოთა ფიზიკოს-მეთოდისტი, მაგრამ ისეთი ფიზიკის სახელმძღვანელო ან ფიზიკის სწავლების მეთოდისტი კურსი, რომელშიც თანმიმდევრობით იქნება გატარებული ეს თვალსაზრისი, დღემდე არ არის შექმნილი. ამის მიზეზი, ცხადია, იმაში უნდა ეძებოთ, რომ მატერია და მისი მოძრაობის ფორმები მეთოდოლოგიურ საკითხთა რიგს განეკუთვნება, რის გამოც მათი არსის გაგებაში ჯერ კიდევ არის აზრთა სხვადასხვაობა.

უხსოვარი დროიდანვე ადამიანს ებადებოდა კითხვა: როგორ გაიჩნდა ბუნება? რა არის ბუნებაში მიმდინარე მრავალრიცხოვანი მოვლენების მიზეზი? მოვლენებს, რომელთა მიზეზს განვითარების მოცემულ ეტაპზე ადამიანი თვითონ ბუნებაში ვერ პოულობდა, მიაწერდა ზებუნებრივ არსებას -- ლმერთს. ფენგელის სიტყვებით რომ ვთქვათ, გნოსეოლოგიურად ადამიანური ცოდნის უმწიფობის საფუძველზე ისახებოდა და ისახება რელიგიური რწმენა და იდეალისტური მსოფლმხედველობა. კლასობრივი საზოგადოების ჩამოყალიბების შემდეგ გაბატონებულმა ექსპლოატატორულმა კლასებმა თავიანთი ბატონობის იდეოლოგიურ იარაღად აქციეს რელიგიური რწმენა და იდეალისტური მსოფლმხედველობა. იმპერიალიზმის იდეოლოგიები დღესაც „ამტიციებენ“, რომ ღმერთმა შექმნა დედამიწაზე არსებული ყოველი ცოცხალი არსება და მათ შორის ადამიანიც, რომელსაც შთაბერა თავისი „უკუდავი სული“. ინგლისელი ებისკოპოსი ნოქსი თავის ცნობილ წიგნში „ღმერთი და ატომი“ დაბეჭდვით ირწმუნებოდა, რომ „ღმერთმა შექმნა ატომი და იმავე ატომში მანვე ჩადო უდიდესი ენერჯია“ [8].

ჯერ კიდევ ძველ ბაბილონში, ეგვიპტეში, ჩინეთსა და სხვა ქვეყნებში წარმოიშვა იდეალიზმის საწინააღმდეგო მატერიალისტური მიმდინარეობა. დიდი და ხანგრძლივი ბრძოლის შედეგად გამოიმუშავებულ იქნა ის მატერიალისტური შეხედულებანი, რომ სამყარო ერთიანია, მატერიალურია და მასში არ არის ადგილი რაღაც ზებუნებრივი ძალების არსებობისათვის; სამყაროში მიმდინარე ყველა პროცესის მიზეზი მუდამ ცვალებადობაში მყოფი მატერიაა და აზრი არა იქვს რაღაც ზებუნებრივი მიზეზების გამოგონებას. მარქსიზმის კლასიკოსებმა მოგვეცეს მატერიის ცნების მეცნიერულად გამართლებული, ყველაზე უფრო სრულყოფილი განმარტება. როცა მატერიის ცნებას სუბიექტური იდეალიზმის

„გაფორმებული თავდასხმებისაგან იცავდა, ლენინი მას შემდეგნაირად განმარტავდა: „მატერია არის ფილოსოფიური კატეგორია იმ ობიექტური რეალობის აღსანიშნავად, რომელიც ადამიანს მოცემული აქვს მის შეგრძნებაში, რომლის ასლს, ფორმირებას, ანარეკლს ჩვენი შეგრძნებანი იძლევა, რომელიც არსებობს მათ დამოუკიდებლად“ [17, გვ. 155].

მატერია უზოგადესი ცნებაა, რომელშიც გაიაზრება სამყაროში არსებული ყველა საგნისათვის საერთო და არსებითი ნიშნები. ეს ნიშნებია: ობიექტურად არსებობა, მუდამ მოძრაობასა და ცვალებადობაში ყოფნა, გარკვეულ პირობებში ურთიერთქმედება და ურთიერთგარდაქმნადობა, უშუალოდ ან გაშუალებულად ადამიანის გრძნობათა ორგანოებზე ზემოქმედება.

ისე, როგორც არ არსებობს „ხილი როგორც ასეთი“, ან „ცხოველი როგორც ასეთი“ (ფ. ენგელსი), არამედ არსებობს ხილისა და ცხოველის კონკრეტული სახეები, ასევე არ არსებობს „მატერია როგორც ასეთი“, მაგრამ არსებობს მატერიის კონკრეტული სახეები. სამყაროში არსებული ყველა სხეული უდიდესი ვარსკვლავიდან დაწყებული ადამიანითა და ძალიან მცირე „ელემენტარული“ ნაწილაკებით გათავებული, თვით სხვადასხვა სახის ველების ჩათვლით, მატერიის კონკრეტული სახეებია.

მატერიის კონკრეტული სახეები სპეციფიკური არსებითი ნიშნების მიხედვით იყოფა ცალკეულ კლასებად. მაგალითად, ფიზიკაში ე. წ. უძრავი და მოძრავი მასის მიხედვით ისინი იყოფიან ორ ძირითად კლასად — ნივთიერებად და ველად. აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით, მატერიის კონკრეტული სახეები იყოფა მყარ სხეულებად, სითხეებად და გაზებად. ქიმიური შემადგენლობით მატერიის კონკრეტული სახეები იყოფა არაორგანულ და ორგანულ ნივთიერებად და ასე შემდეგ, მეცნიერების სხვადასხვა დარგი თავისი სპეციფიკური ნიშნების მიხედვით მატერიის კონკრეტულ სახეებს ყოფს სხვადასხვა კლასად და ქვეკლასად.

XIX საუკუნის დამდეგამდე მატერიის, ან, უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, მატერიის ცალკეული კონკრეტული სახეების აგებულების შესახებ მეცნიერების ცოდნის ზღვარს ატომი წარმოადგენდა. XX საუკუნის დასაწყისში ცხადი გახდა, რომ არ იყო სწორი მეცნიერებაში მანამდე გაბატონებული მეტაფიზიკურ-ატომისტური თეორია, რომელიც ატომს განიხილავდა როგორც შინაგან სტრუქტურას, შინაგან მოძრაობასა და ცვალებადობას მოკლებულ, აბსოლუტურად მყარ და გაუყოფელ, მატერიის უმცირეს ნაწილად. ატომის რთული აგებულების შესწავლით აღმოჩნდა, რომ იგი „ელემენტარულ“ ნაწილაკებთან, ელექტრომაგნიტურ და ბირთვულ ველთან ერთად თავის თავში შეიცავს მოძრაობის მექანიკურ, ელექტრომაგნიტურ და ბირთვულ ფორმებს, ატომი თავისი შემადგენელი ნაწილებით განუწყვეტელ „ცოცხალ“ კავშირშია მეზობელ ატომებთან და გარემოსთან, განუწყვეტლივ ასხივებს და შთანთქავს მატერიის სხვადასხვა სახეს.

მატერიალიზმი მუდამ თვლიდა და თვლის, რომ ისევე, როგორც მატერია, მისი მოძრაობაც შეუქმნადი და მოუღსობადია. მაგრამ მარქსამდელ მატერიალიზმს ნათლად გაეცნობიერებული ჰქონდა მხოლოდ მექანიკური მოძრაობა და ბუნების მრავალფეროვანი მოვლენების ახსნას ლამობდა ატომების მექანიკური მოძრაობით, სადაც ატომი მიჩნეული იყო როგორც მატერიის უმცირეს, შინაგან სტრუქტურას მოკლებულ უმარტივეს და გაუყოფელ ნაწილად. როგორც მოსალოდნელი იყო, მექანიკური მატერიალიზმი ჩიხში მოემწყვდა. იდეალიზმის სხვადასხვა სკოლის წარმომადგენლებმა სცადეს ეს კრიზისი მატერიალიზმის არა შემდგომი სრულყოფისათვის, არამედ მისი უარყოფისათვის გამოეყენებინათ.

ნათ. ფ. ენგელსმა მოძრაობის შეუქმნადლობისა და მოუსპობადობის კანონიდან გამომდინარე აჩვენა, რომ ბუნებაში საქმე გვაქვს მატერიის მოძრაობის არა მარტო მექანიკურ, არამედ მოძრაობის სხვა ფორმებთანაც. მან იმდროინდელი მეცნიერების მონაპოვართა ანალიზის საფუძველზე ცხადყო, რომ სითბურ მოძრაობას, მართალია, საერთო რამ აქვს მექანიკურ მოძრაობასთან, მაგრამ ამავე დროს მნიშვნელოვნად განსხვავდება მისგან და ამიტომ მათი გაიგივება არ შეიძლება. ანალოგიური მდგომარეობაა მატერიის გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური და ბირთვული მოძრაობის ფორმების შემთხვევაშიც. ყველა მათგანს აქვს საერთო რამ, გარკვეულ პირობებში ხდება მათი ურთიერთგარდაქმნა, მაგრამ თვისებრივად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და არ შეიძლება მათი გაიგივება ერთმანეთთან და მით უმეტეს მექანიკურ მოძრაობასთან.

რადგან „ბუნება თავის ყველა ნაწილში დაუსაბამო და დაუსრულებელია“, ცხადია. ჩვენი ცოდნა მატერიის სტრუქტურისა და მოძრაობის ფორმების შესახებ დაუსრულებლივ განვითარებაში იქნება. მეცნიერებისა და ტექნიკის პროგრესის კვლადაკვალ იგი თანდათან გაღრმავდება და გაფართოვდება. აღნიშნული გამოვლენებიდან გამომდინარე, არ შეიძლება დაველოდოთ იმ დროს, როცა მატერიის სტრუქტურა და მისი მოძრაობის ფორმები „საბოლოოდ“ იქნება შესწავლილი. საქირაა უკვე მიღწეულ შედეგებზე დაყრდნობით დავიწყეთ ფიზიკის სახელმძღვანელოებისა და სწავლების მეთოდის კურსების თანმიმდევრული აგება მატერიის მოძრაობის მექანიკური, გრავიტაციული, სითბური, ელექტრომაგნიტური და ბირთვული ფორმების მიხედვით. დიდი სიძნელის მიუხედავად, ამ დღეისთვის თანმიმდევრულად გატარებას პრინციპული მნიშვნელობა აქვს. როგორც უკვე არაერთხელ იყო მითითებული, მატერიის მოძრაობის ფორმების არსებობის ფაქტის აღიარების გარეშე შეუძლებელია ძალის, მუშაობის, ენერჯისა და მათთან დაკავშირებული სხვა ცნებების შინაარსის თანმიმდევრულად მეცნიერული ახსნის მოცემა.

ზემოაღნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით, შესავალ საუბარში საჭიროა განვიხილოთ შემდეგი ძირითადი საკითხები: 1. მატერია და მისი მოძრაობის ის ფორმები, რომელთაც ფიზიკა შეისწავლის; 2. მოძრაობათა გარდაქმნები და მათი გამოყენება ტექნიკაში; 3. მექანიკა, როგორც მეცნიერება მოძრაობის მექანიკური ფორმის შესახებ.

მასალის გადაცემა, ცხადია, უნდა მოხდეს თბრობის სახით. თვალსაჩინოებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა პლაკატი, რომელიც ცხადყოფს ფიზიკური მოვლენების გამოყენებას ტექნიკაში. პირველ რიგში, ცხადია, ისეთი პლაკატები უნდა მოვიმარჩუოთ, რომლებიც ნაკლებად არის ცნობილი მოსწავლეთათვის. მოსწავლეთა ყურადღების მობილიზებისა და აქტივობის გამოვლინების მიზნით საჭიროა გამოვიყენოთ ის ცოდნა, რომელიც მათ წინა წლებში ფიზიკიდან და ყოფაცხოვრებიდან მიიღეს. სწავლების პროცესის ეტაპობრივი მართვა უნდა მოხდეს იმ ქვესაკითხების მიხედვით, რომელთა საფუძველიანად გაეება და მტკიცედ შეთვისება აუცილებლად არის მიჩნეული.

ამ მოთხოვნათა გათვალისწინებით, ძირითადი საკითხების მიხედვით მასალის გადაცემის ერთ-ერთი ვარიანტი შეიძლება იყოს ასეთი:

მატერია და მისი მოძრაობის ის ფორმები, რომელთაც ფიზიკა მისწავლის

„ფიზიკა“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს „ბუნებას“. ფიზიკის მეცნიერება მისთვის დამახასიათებელი სპეციფიკური მეთოდებით ბუნებაში მიმდინარე მოვლენათა გარკვეულ ჯგუფს შეისწავლის. ბუნების წარმოშობისა და ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების შესახებ არის

ორი, ურთიერთსაწინააღმდეგო შეხედულება. რელიგიის მიმდევრები იმეორებენ ანტიმეცნიერულ მოსაზრებებს იმის შესახებ, რომ თითქოს დედამიწა, ადამიანი, ატომი და, საერთოდ, მთელი სამყარო რაღაც ზებუნებრივმა ძალამ — ღმერთმა — გააჩინა, რომ თითქოს სამყაროში მიმდინარე მრავალფეროვანი მოვლენები ღვთიური ნების გამოვლინებაა, ამიტომ მათი შეცნობა და მით უმეტეს გარდაქმნა არ შეიძლება. მეორე მხრივ, ადამიანის გონების ყოვლისშემძლეობაში დარწმუნებული მატერიალისტი მეცნიერები ამტკიცებენ, რომ სამყარო არავის გაუჩენია, იგი მუდამ არსებობდა და იარსებებს, მეცნიერებისა და ტექნიკის დღითიდღე მზარდი პროგრესი იმის საწინდარია, რომ ადამიანს უნარი აქვს არა მარტო შეიცნოს, არამედ კიდევაც დაიმორჩილოს სამყარო და უზრუნველყოს სიცოცხლისა და პროგრესის მარადიულობა, სამყაროში არსად არ არის ადგილი ღმერთებისათვის, იგი ერთიანად მატერიალურია.

1. როგორი შეხედულების არიან ბუნების შესახებ, ერთი მხრივ, რელიგიის მიმდევრები, ხოლო, მეორე მხრივ, მატერიალისტი მეცნიერები?

ვინ გაიხსენებს, რა ცნებაა შემოტანილი ატმის, ვაშლის, კომშის, ქლიავისა და სხვა მრავალწლიანი მცენარის ნაყოფის საჭმელად ვარგისი თვისებების აღსანიშნავად? 1. ასევე, ადამიანის, მაიმუნის, შინაური და გარეული ცხოველების საერთო არსებითი ნიშანი გადმოცემულია ცნებაში 2.

ხილისათვის, ცხოველებისათვის, თვით დედამიწისათვის, მზისა და ვარსკვლავებისათვის, მოლეკულისა და ატომისათვის, სამყაროში არსებული ყველა საგნისათვის საერთო და არსებითი ნიშანთვისებებია: ობიექტურად არსებობა, განუწყვეტელ მოძრაობასა და ცვალებადობაში ყოფნა, გარკვეულ პირობებში ურთიერთქმედება და ურთიერთგარდაქმნადობა, უშუალოდ არ გაშუალებით ჩვენს გრძნობათა ორგანოებზე ზემოქმედება.

სამყაროში არსებული ყველა საგნის საერთო და არსებითი თვისებების გამოსახატავად შემოტანილია უზოგადესი ცნება —

1 ხელი.
2 ცხოველი.

მატერია. მატერიის კერძო სახეა ნივთიერება, მოლეკულა, ატომი, ატომის შემადგენელი ნაწილაკი, ველი, ცოცხალი ორგანიზმი, მანქანა და სამყაროში არსებული ყველა საგანი. მათ უშუალოდ ან ხელსაწყოების საშუალებით შეუძლიათ იმოქმედონ ჩვენს გრძნობათა ორგანოებზე და გამოიწვიონ შეგრძნება. ამიტომ ამბობდა ლენინი: „მატერია არის ის, რაც მოქმედებს ჩვენს გრძნობათა ორგანოებზე და იწვევს შეგრძნებებს“.

2. როგორ განმარტა ლენინმა მატერია?

3. დაასახელეთ მატერიის კერძო სახეები

როგორ ფიქრობთ, რა პასუხი უნდა გაეცეს კითხვაზე: უძრავია თუ მოძრაობს სატელეფონო და ელექტროგაყვანილობის ბოძები, საცხოვრებელი სახლები და სხვა ნაგებობანი?

ამ კითხვაზე სასურველია მოსწავლეებმა თვითონ გასცენ პასუხი. იგი საბოლოოდ ასე უნდა დაზუსტდეს:

უშუალოდ დაკვირვებიდან ისეთი შთაბეჭდილება გვრჩება, თითქოს ყველა აღნიშნული საგანი უძრავია, მაგრამ თუ გავიხსენებთ, რომ დედამიწა სამყაროს სივრცეში მოძრაობს, დასმულ კითხვაზე უნდა გაეცეს შემდეგი პასუხი: სამყაროს სივრცეში ყველა საგანი განუწყვეტელ მოძრაობაშია.

მრავალი დაკვირვებით მიღებული შედეგების ღრმა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბუნების ყოველი საგანი, მატერიის კონკრეტული სახეობა, რომელიც ერთი შეხედვით უძრავი გვეჩვენება, განუწყვეტლად მოძრაობს სხვადასხვა ნაწილაკებისაგან შედგება და სხვადასხვა სახის მოძრაობაში მონაწილეობს. მაგალითად, სკოლის შენობა უძრავად გვეჩვენება, მაგრამ სინამდვილეში იგი დედამიწასთან ერთად მოძრაობს მზის ირგვლივ და ამავე დროს ბრუნავს დედამიწის ღერძის გარშემო; ასევე ითქმის სასკოლო ოთახში მოთავსებული მერხის, სამელნის, ცარცის. ჰაერის და სხვა საგნების ანსხეულების მიმართაც. ერთი სხეულის გადაადგილება ს მეორის მიმართ მექანიკური მოძრაობა ეწოდება.

ყოველი სხეული შედგება მოლეკულების, ატომებისა და სხვა ნაწილაკებისაგან, რომლებიც განუწყვეტელ ქაოსურ მოძრაობაშია. სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსურ მოძრაობას სითბური მოძრაობა ეწოდება.

4. როგორ განიმარტება მექანიკური მოძრაობა?

5. რას ეწოდება სითბური მოძრაობა?

ატომები თავის მხრივ შედგებიან ატომის ბირთვისა და მის გარშემო მბრუნავი ელექტრონებისაგან. ატომის ბირთვი შედგება სხვადასხვა ნაწილაკებისაგან, რომელთაც ელემენტარულ ნაწილაკებს უწოდებენ. ელექტრონების მოძრაობა განაპირობებს ელექტრომაგნიტურ ველს და მის შესაბამის ელექტრომაგნიტურ მოძრაობას. გარდა ელექტრომაგნიტური ველისა, არსებობს ბირთვული და გრავიტაციული ველები შესაბამისი მოძრაობის ფორმებით.

თანამედროვე ფიზიკა შეისწავლის მატერიის აგებულებისა და მისი მოძრაობის ხუთი უმარტივესი ფორმის კანონზომიერებებს. მოძრაობის ეს ფორმებია: მექანიკური, სითბური, გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური და ბირთვული მოძრაობა.

6. მოძრაობის რომელ ფორმებს შეისწავლის ფიზიკა?

მატერიის ყოველი კონკრეტული სახე — ესა თუ ის სხეული — როგორც მთლიანი, მონაწილეობს მექანიკურ მოძრაობაში, ხოლო თვით სხეულში მოძრაობის სხვადასხვა ფორმებია, რომლებსაც განაპირობებენ სხეულის შემადგენელი შესაბამისი მატერიის სახეები.

რა მდგომარეობაშიც არ უნდა იყოს მატერია, იგი განუწყვეტელ მოძრაობასა და ცვალებადობაშია. ამიტომ ამბობენ, რომ მატერიის ძირითადი თვისებებია მოძრაობა.

7. რატომ ამბობენ, რომ მოძრაობა არის მატერიის ძირითადი თვისება?

მოძრაობის გარდაქმნები და მათი გამოყენება ტექნიკაში.

ადამიანის სიცოცხლის შენარჩუნებისა და საზოგადოებრივი ცხოვრების პროგრესისათვის საჭიროა შევისწავლოთ, გარდაქმნათ და ადამიანის სამსახურში ჩაეყენოთ მთელი ბუნება. ამ მიზნით ადამიანები უხსოვარი დროიდან ქმნიდნენ საწარმოო იარაღებს. პირველყოფილი ადამიანისათვის ასეთი იარაღი იყო უბრალო ჯოხი და ქვა, შემდეგ მან გამოიგონა ქვისა და ლითონის იარაღები (ცული, ნიჩაბი, მშვილდ-ისარი, კავი და სხვ.). ახლა ფიზიკური და გონებრივი შრომის შესამსუბუქებლად ადამიანის განკარგულებაშია მისივე ხელით შექმნილი თანამედროვე ტექნიკა — სითბურ, ელექტრულ და ატომურ ენერგიაზე მომუშავე ძრავები, კოსმოსური ხომალდები, სწრაფად მოქმედი ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები, რომლებსაც შეუძლიათ წამში შეასრულონ მილიონობით არითმეტიკული ოპერაცია,

ამოხსნან რთული მათემატიკური განტოლებები, თარგმნონ ერთი ენიდან მეორეზე, ითამაშონ ჭადრაკი და სხვ. მთელი ეს სასწაულებრივი ტექნიკა ფიზიკისა და მეცნიერების სხვა დარგების ახალ-ახალი აღმოჩენების საფუძველზე ყოველდღიურად უმჯობესდება და ივსება ახალი გამოგონებებით.

8. რა არის საკირო ადამიანის სიციხლის შენარჩუნებისა და საზოგადოებრივი ცხოვრების შემდგომი პროგრესისათვის?
9. რისთვის სჭირდება ადამიანს ტექნიკა?

სხვადასხვა სახის ძრავები ფართოდ არის გამოყენებული ტრანსპორტზე, ფაბრიკა-ქარხნებსა და სოფლის მეურნეობაში. ძრავების მუშაობის ძირითადი პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ ისინი მოძრაობის სხვადასხვა ფორმას გარდაქმნიან მექანიკურ მოძრაობად. მაგალითად, ორთქლმავალში, ავტომანქანაში, მოტოციკლში, ტრაქტორში, თვითმფრინავში ხდება სითბური მოძრაობის გარდაქმნა მექანიკურ მოძრაობად. ელმავალში, ტროლეიბუსსა და ტრამვაიში ელექტრომაგნიტური მოძრაობა გარდაიქმნება ტვირთისა და თვით ამ მანქანის მექანიკურ მოძრაობად. გარდა ამისა, ტექნიკაში ფართოდ არის გამოყენებული სხვადასხვა სახის ხელაწყოები (ელქურა, ელნათურა, თერმომწყვილი და სხვ.), რომლებიც მოძრაობის ერთ ფორმას გარდაქმნიან მოძრაობის მეორე ფორმად.

რადგან ფიზიკა მოძრაობის იმ ფორმების ურთიერთგარდაქმნას შეისწავლის, რომლებზეც აგებულია მთელი ტექნიკა, ფიზიკის საფუძვლიანად შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც ტექნიკის დაუფლებისათვის, ისე მისი შემდგომი გაუმჯობესებისათვისაც. გარდა ამისა, ფიზიკას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ბუნების მოვლენების უფრო ღრმად შეცნობისა და მეცნიერების სხვა დარგების განვითარებისათვის.

10. რაში მდგომარეობს ძრავების მუშაობის ძირითადი პრინციპი?
11. რა მნიშვნელობა აქვს ფიზიკის შესწავლას?

ფიზიკის მეცნიერება მოძრაობის სხვადასხვა გარდაქმნის განხილვის დროს მუდამ გამოდის იმ კანონიდან, რომ ისევე, როგორც მატერია, მისი მოძრაობაც შეუქმნადი და მოუსპობადია, სამყაროში ხდება, მხოლოდ მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის გადაცემა ერთი სხეულიდან მეორეზე ან გარდაქმნა ერთი ფორმიდან მეორეში.

ფიზიკის მეცნიერების განვითარებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით გალილეო გალილეის, ისააკ ნიუტონს, მიხეილ ლომონოსოვს, ალბერტ აინშტაინს, მაქს პლანკს, ფრედერიკ ჟოლიო-კიურის და სხვა საბჭოთა და უცხოელ მეცნიერებს.

12. მოძრაობის სხვადასხვა გარდაქმნის დროს მოძრაობის შესახებ რომელი კანონიდან გამოდის ფიზიკა?

მექანიკა როგორც მეცნიერება მოძრაობის მექანიკური ფორმის შესახებ

მატერიის მოძრაობის იმ ფორმათა-
გან, რომელთაც ფიზიკა შეისწავლის, უმარტივესია მექანიკური მოძრაობა. მატერიის მექანიკური მოძრაობის მაგალითებია მანქანის, ადამიანის გადაადგილება, დედამიწისა და პლანეტების ბრუნვა მზის გარშემო, ფანქრისა და ცარცის მოძრაობა წერის დროს და სხვ. სხეულთა მექანიკური მოძრაობის ძირითადი ნიშან-თვისება ისაა, რომ იგი ადგილს იცვლის, გადაადგილდება სხვა საგნების მიმართ. სწორედ ამიტომ მექანიკური მოძრაობა ასე განიმარტება: ერთი სხეულის გადაადგილება ს მეორის მიმართ მექანიკური მოძრაობა ეწოდება.

ფიზიკის იმ დარგს, რომელიც მექანიკურ მოძრაობას და პრაქტიკაში მის სხვადასხვა გამოვლინებას შეისწავლის, მექანიკა ეწოდება.

როგორც აღვნიშნეთ, მატერიის მოძრაობის ფორმებიდან მექანიკური მოძრაობა ყველაზე მარტივია, მაგრამ ეს სიმარტივე მხოლოდ შედარებითია, რადგან მექანიკური მოძრაობა თავის მხრივ შედგება გადატანითი, ბრუნვითი, რხევითი და ტალღური მოძრაობებისაგან. თვით გადატანით მოძრაობაში არჩევენ თანაბარ, სწორხაზოვან, თანაბარცვალებად და სხვა სახის მოძრაობებს.

13. განმარტეთ, რას ეწოდება მექანიკური მოძრაობა და დასახელებთ სათანადო მაგალითები!

14. ფიზიკის რომელ დარგს ეწოდება მექანიკა?



ადვილად შევნიშნავთ, რომ შესავალ საუბარში არავითარი არსებითი სიძნელე არ გვხვდება განსახილველი საკითხების მეცნიერულ-მატერიალისტური თვალსაზრისით გამართლებული გაშუქებისათვის.

როგორც უკვე იყო მითითებული, ახსნილი მასალის გამთლიანება მოსწავლეებმა უნდა მოახდინონ ჯერ მოცემულ კითხვებზე თანმიმდევრულად პასუხების გაცემით, ხოლო შემდეგ შესავალი საუბრის ძირითადი შინაარსის თხრობით.

თ ა ვ ი I

კინემატიკის ზომიერთი ცნება

§. 14. კინემატიკის საბანი

წინასწარი შენიშვნები

სხვადასხვა ავტორთა მიერ მოცემული კინემატიკის განსაზღვრებანი შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად: 1. ავტორთა ერთი ჯგუფი კინემატიკის შესწავლის საგნად მიიჩნევს მოძრაობის გეომეტრიული მხარის შესწავლას [12, 150]; 2. მეორე ჯგუფის ავტორები კინემატიკას საზღვარევენ როგორც მექანიკის ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხეულის მექანიკურ მოძრაობას „გამომწვევი მიზეზების გარეშე“ [39, 111, 122, 125, 143]; 3. ზოგი ავტორი კინემატიკის განსაზღვრებისას საჭიროდ მიიჩნევს ხაზი გაუსვას, რომ კინემატიკაში მოძრაე ნივთიერ წერტილთა (ან სხეულთა) მასას მნიშვნელობა არა აქვს [35]; 4. ფენიმანისეულ ლექციებში [140] ავტორები არათუ არ განმარტავენ კინემატიკის ცნებას, არამედ თავს არიდებენ ამ ცნების გამოყენებას, ამის გამო I წიგნის მე-8 თავს ისინი კინემატიკის ნაცვლად „მოძრაობას“ უწოდებენ, რაც არ შეიძლება ჩაითვალოს გამართლებულად, მით უმეტეს, რომ ზუსტად ასეა დასათაურებული მე-5 თავის პირველი პარაგრაფი, მათში კი განხილულია მოძრაობის სხვადასხვა მხარე.

როგორც საერთოდ ყველა ცნების, ასევე კინემატიკის განსაზღვრების დადგენის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ მისი ძირითადი ნიშნები. კინემატიკის ძირითადი ნიშნები შემდეგია: 1. იგი მექანიკის ერთ-ერთი ნაწილია; 2. ნაწარუდევია ბუნებაში რეალურად არსებული მატერიის კონკრეტულ სახეთა მოძრაობის შესასწავლად, მაგრამ ამავე დროს მოხდენილია განყენება, აბსტრაქცია მოძრაეი კონკრეტული ობიექტებისაგან. როგორც ყოველი აბსტრაქცია, კინემატიკაში მოხდენილი ეს აბსტრაქცია იმდენად არის გამართლებული, რამდენადც იგი გარკვეულ პერიოდში აუცილებელია მოვლენის ცალკეული მხარეების შესწავლისათვის, ხოლო საბოლოო ანგარიშში ხელს უწყობს მოვლენის მთლიანობაში შესწავლას; 3. კინემატიკა შეისწავლის ტრაექტორიის ფორმისა და სიჩქარის ცვლილების მიხედვით სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობათა დამახასიათებელ ცნებებსა და კანონზომიერებებს; 4. კინემატიკა არ შეისწავლის იმ ფაქტორებს, თუ რით არის გაპირობებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმისა და სიჩქარის ცვლილება — ეს დინამიკის ამოცანაა; 5. კინემატიკა არ განიხილავს მოძრაეი სხეულის მასას. იგი დინამიკისათვის არის აუცილებელი; 6. გადატანითი მოძრაობის დროს კინემატიკაში აუცილებელი არ არის სხეულის ზომების მხედველობაში მიღება, ამიტომ იგი გადატანითი მოძრაობის შემთხვევაში სხეულს განიხილავს როგორც „მატერიალურ წერტილს“, ან განიხილავს

სხეულის ერთი რომელიმე „წერტილის“ მოძრაობას; 7. როცა საქმე გვაქვს არა-გადატანით მოძრაობასთან, მაშინ კინემატიკა მხედველობაში იღებს სხეულის ზომებს ან სხეულს განიხილავს, როგორც მატერიალურ წერტილთა ერთობლიობას.

კინემატიკას სხვა ნიშნებიც ახასიათებს, მაგრამ ისინი უშუალოდ არიან დაკავშირებული მატერიალური წერტილის, სიჩქარის, აჩქარებისა და სხვა ცნებებთან. ამიტომ მათ ამ ცნებების განხილვის დროს შევეხებით.

ჩამოთვლილ ნიშნებთან კინემატიკისათვის ყველაზე არსებითია პირველი, მესამე და მეოთხე ნიშანი და კინემატიკის ცნების განსაზღვრებაც ამ ნიშნების მიხედვით უნდა მოხდეს. იგი შეიძლება ასეთი იყოს: კინემატიკა ეწოდება მექანიკის იმ ნაწილს, რომელიც განმპირობებელი ფაქტორების გარეშე შეისწავლის ტრაექტორიის ფორმისა და სიჩქარის ცვლილების მიხედვით სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობათა დამახასიათებელ ცნებებსა და კანონზომიერებებს.

IX კლასში ფიზიკის სწავლების მეთოდოციის სისტემაში კინემატიკის შესახებ რეკლამენტში რომ ჩავეტოთ, საჭიროა მოსწავლეებს მოცულობისა და შინაარსის მხრივ მივაწოდოთ შემდეგი ხასიათის ინფორმაცია:

კინემატიკა სხეულის მოძრაობა თავისი ხასიათის მიხედვით სხვადასხვანაირია. გზის ფორმის შესაბამისად, იგი შეიძლება იყოს სწორხაზოვანი ან მრუდხაზოვანი, ხოლო სიჩქარის თვალსაზრისით სხეული შეიძლება მოძრაობდეს მუდმივი ან ცვალებადი სიჩქარით.

იმის მიხედვით, თუ როგორი ხასიათისაა მოძრაობა, იგი თავისებურ კანონზომიერებებს ემორჩილება. ამ კანონზომიერებებს და მათთან დაკავშირებულ ცნებებს შეისწავლის კინემატიკა. იგი შეიძლება განიშარტოს შემდეგნაირად: მექანიკის იმ ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობის დამახასიათებელ ცნებებსა და კანონზომიერებებს, ეწოდება კინემატიკა.

სწორხაზოვანად, მრუდხაზოვანად, მუდმივი ან ცვალებადი სიჩქარით წარმოებულ მოძრაობანი ე. ი. სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობანი გარკვეული ფაქტორებით არიან გაპირობებული, მაგრამ მათ კინემატიკა არ შეისწავლის, იგი დინამიკის შესწავლის საგანს წარმოადგენს.

§ 15. ფარდობითი მოძრაობა. ათვლის სისტემა

წინასწარი შენიშვნები სამყაროში არსებული ყველა სხეული განუწყვეტელ მოძრაობაშია, მაგრამ თანამედროვე ფიზიკის თვალსაზრისით, ნიუტონის გამოთქმა რომ ვიხმაროთ, „არ არსებობს ნამდვილად უძრავი სხეული“, რომელთანაც შედარებით შესაძლებელი იქნებოდა აღებულ სხეულთა მოძრაობის შედარება და ამ გზით მათი აბსოლუტური მოძრაობის შეცნობა. თანამედროვე ფიზიკის სწავლების მიხედვით, არ არსებობს არათუ

აბსოლუტურად უძრავი, არამედ არც აბსოლუტურად ინერციული სისტემა, მაგრამ, როგორც ე. როსელი, ლ. ლანდაუ და ა. კიტაიგოროდსკი მიუთითებენ, ინერციულთან ყველაზე უკეთ მიახლოებულ სისტემად შეიძლება ჩაითვალოს ვარსკვლავებთან ან „რამდენიმე გალაქტიკასთან დაკავშირებული“ ე. წ. ფუნდამენტური ათვლის სისტემა.

ათვლის ასეთ სისტემას საჭიროების მიხედვით თავიანთ პრაქტიკაში იყენებენ ასტრონომები, ფიზიკაში კი ჩვეულებრივ გამოიყენება ათვლის ისეთი სისტემები, რომლებიც დაკავშირებულია დედამიწასთან ან მზესთან, და მათ პირობითი ინერციულ სისტემებს უწოდებენ. ლ. ლანდაუ და ა. კიტაიგოროდსკი თავიანთ წიგნში „ფიზიკა ყველასათვის“, დედამიწის დღელაძურ ბრუნვას ადარებენ მზის ბრუნვას „ჩვენი“ გალაქტიკის ცენტრის გარშემო და ასკენიან, რომ ინერციულობის თვალსაზრისით „მზიური დამკვირვებელი 100 მილიარდჯერ უკეთესია მიწიერზე“. ათვლის სისტემების მიმართ შეცნობად მოძრაობას ან უძრაობას შესაბამისად ფარდობით მოძრაობას და ფარდობითი უძრაობას უწოდებენ.

ათვლის სისტემის განსაზღვრებანი ფიზიკის სახელმძღვანელოებში სხვადასხვანაირად არის მოცემული. მ. არხანგელსკი ათვლის სისტემას გეომეტრიულ აბსტრაქციად თვლის და მას უწოდებს „ერთგვაროვან და იზოტროპულ“ სივრცეში წარმოდგენილ სამ ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეს [44]. კ. პუტილოვის მიხედვით, ათვლის სისტემა, ორიენტაციის სისტემა ან კოორდინატთა სისტემა არის „უცვლელი და პირობით უძრავი სხეული“ [122]. მ. მირიანაშვილს თავის ზოგადი ფიზიკის კურსში ათვლის სისტემა განმარტებული აქვს, როგორც სხეული ან სხეულთა სისტემა, რომლის მიმართაც განიხილება ნივთიერი წერტილის ან სხეულის მდებარეობა და მოძრაობა [20].

ვფიქრობთ, IX კლასის ფიზიკის კურსში ათვლის სისტემის განმარტებისათვის საფუძვლად უნდა ავიღოთ მ. მირიანაშვილის განმარტება.

ამ პარაგრაფში მოცემული მასალა იყოფა სამ ძირითად საკითხად: 1. ფარდობითი უძრაობა; 2. ფარდობითი მოძრაობა და 3. ათვლის სისტემა. თვალსაჩინოებისათვის შეიძლება გამოიყენოთ თვით საკლასო ოთახში არსებული საგნები, სპეციალური ფიზიკური სადემონსტრაციო ხელსაწყოები და პლაკატები იმ ფაქტების დასურათებით, რომლებიც ქვემოთ ტექსტშია მოთავსებული. ძირითადი საკითხების მიხედვით თხრობა და სწავლების უეუკავშირით მართვა შეიძლება წარიმართოს შემდეგნაირად:

ფარდობითი უძრაობა იმის გამო, რომ ბუნებაში არ არსებობს უძრავი საგნები, შეიძლება ვილაპარაკოთ მხოლოდ აღებულ საგნის ფარდობით უძრაობაზე რომელიმე სხვა საგნის მიმართ. მაგალითად, სასკოლო შენობა ფარდობითად უძრავია დედამიწის მიმართ; დაფა უძრავია კედლის მიმართ; კონვეიერის მოძრავი ლენტის მიმართ უძრავია ლენტზე მოთავსებული დეტალები; ერთმანეთის მიმართ ფარდობით უძრაობაშია აგრეთვე ორი თვითმფრინავი, რომლებიც ერთმანეთის პარალელურად ერთი და იმავე მიმართულებით მიფრინავენ ერთნაირი სიჩქარით და სხვ.

1. როგორ უძრაობაზე შეიძლება ვილაპარაკოთ და რატომ?

სამყაროში არსებული ყველა სხეული განუწყვეტელ მოძრაობაშია, მაგრამ ამა თუ იმ მიზნიდან გამომდინარე, ჩვენთვის აუცილებელია ვიცოდეთ არა სხეულის მოძრაობა საერთოდ, არამედ აღებული სხეულის ფარდობითი მოძრაობა რომელიმე სხვა სხეულის მიმართ. მაგალითად, როცა ჩვენი მიზანია თბილისიდან მოსკოვში გამგზავრება, ჩვენთვის საინტერესოა მატარებლის, თვითმფრინავის ან ავტომანქანის მოძრაობა არა მზის ან დედამიწის ლერძის გარშემო, არამედ მათი ფარდობითი მოძრაობა თბილისიდან მოსკოვისაკენ მიმავალი გზის მიმართ. როცა საკითხი დგას ერთსა და იმავე გზაზე მოძრავი მატარებლების, მანქანების ან თვითმფრინავების უსათრთხოების შესახებ, მაშინ ჩვენთვის საინტერესოა ვიცოდეთ, როგორ მოძრაობენ ისინი ერთმანეთის მიმართ.

2. ამა თუ იმ მიზნიდან გამომდინარე, როგორი მოძრაობაა ჩვენთვის საინტერესო?

ათვლის სისტემა აშუალოდ საგნებზე დაკვირვებით იმის გარკვევა, თუ რომელი მათგანი მოძრაობს დედამიწის მიმართ, არ ხერხდება. მაგალითად, როცა ჩვენ სადგურში მყოფი მატარებლის ვაგონში ვსხედვართ და გვერდით მდგომი მატარებელი ადგილიდან დაიძრება, ფანჯრიდან დაკვირვების დროს გვეჩვენება, თითქოს ჩვენი მატარებელი ამოძრავდა ან, პირიქით, როცა ჩვენი ვაგონი დაიძრება, გვეჩვენება, თითქოს გვერდით მდგომი მატარებელი დაიძრა. წყნარ ზღვაში გემის მოძრაობის დროს თუ კაიუტის ფანჯრიდან ზღვის ზედაპირს გავცქერით, გვეჩვენება, თითქოს ზღვის წყალი მიედინება გემის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ.

იმის გამოსარკვევად, დედამიწის მიმართ მოძრაობს თუ არა მატარებელი, გემი ან თვითმფრინავი, მათი მდებარეობის შედარება უნდა მოვახდინოთ ისეთ სხეულებთან, რომლებიც ნამდვილად ვიცით, რომ დედამიწის მიმართ არ მოძრაობენ. ასეთებია: შენობები, ბოძები, მცენარეები და სხვ.

როცა საჭიროა დედამიწის ან სხვა პლანეტების მოძრაობის შესწავლა მზის გარშემო, მაშინ მათ მოძრაობას განიხილავენ მზის ცენტრის მიმართ, ხოლო თვით მზის სისტემის მოძრაობას განიხილავენ ე. წ. ფუნდამენტური ვარსკვლავების მიმართ და ა. შ.

ს ხ ე უ ლ ს ა ნ ს ხ ე უ ლ თ ა ჯ გ უ ფ ს , რ ო მ ე ლ თ ა მ ი მ ა რ თ ა ც ა ლ ე ბ უ ლ ი ს ა გ ნ ი ს მ ო ძ რ ა ო ბ ა გ ა ნ ი ხ ი ლ ე ბ ა , ა თ ვ ლ ი ს ს ი ს ტ ე მ ა ე წ ო დ ე ბ ა .

3. რას ეწოდება ათვლის სისტემა?

1. მოძრავი მატარებლის ვაგონში მჯდომი მგზავრის შესახებ ვაგონის გამოცდილებელი ამბობს, რომ მგზავრი არ მოძრაობს, ხოლო მეისრე, რომლის წინ მატარებელმა გაიარა, ამტყიცებს, რომ მგზავრი მოძრაობს. რა არის აზრთა სხვადასხვაობის მიზეზი?¹

2. გაშლილ ზღვებსა და ოქეანებში გემის მოძრაობის გამოსარკვევად რას უნდა დაუეკავშიროთ ათვლის სისტემა?²

§ 16. მატერიალური წარტილი. ტრამპტორია. ბალბანიტი მოძრაობა

წინასწარი შენიშვნები IX კლასის ამჟამად მოქმედი ფიზიკის სასკოლო კურსის პროგრამის კინემატიკის განყოფილებაში შეტანილია „მატერიალური წერტილის“ ცნება, მაგრამ სტაბილურ სახელმძღვანელოში, რომელიც ამ პროგრამის შესაბამისად არის დაწერილი, მატერიალური წერტილის რაობის შესახებ არაფერია ნათქვამი. ეს გარემოება უბრალო შემთხვევითობით არ არის გამოწვეული. მისი ნამდვილი მიზეზი იმაში უნდა ეძებოთ, რომ ამ ცნების გაგებაში დიდი აზრთა სხვადასხვაობაა, რის გამოც ავტორმა გადაწყვიტა გვერდი აუაროს ამ ცნებას და არ შეიტანა იგი არც კინემატიკისა და არც დინამიკის განყოფილებაში.

ახლახან გამოცემულ ფიზიკის ენციკლოპედიურ სიტყვარში მატერიალური წერტილი განმარტებულია როგორც „მექანიკაში შემოტანილი ცნება უსასრულო მცირე ზომების მქონე ობიექტის შესახებ, რომელსაც მასა აქვს“. მ. არხანგელსკი მატერიალურ წერტილს უწოდებს „რეალური სხეულის აბსტრაქციას, რომელიც მოცემულ ამოცანაში შეიძლება განხილულ იქნას როგორც სხეულის ტოლი მასის მქონე გეომეტრიული წერტილი [44, გვ. 18]. ფრიში და ტიმორევა ამ ცნების შესახებ წერენ: „მექანიკაში მატერიალური წერტილის ქვეშ ესმით სხეული, რომლის ზომები და ფორმა მოცემულ ამოცანაში შეიძლება უგულებელყოფილ იქნას“ [142, გვ. 19]. ი. სელენზევის აზრით, „როცა იხსნება სხეულის სასრულო ზომების გათვალისწინების აუცილებლობა, ლაპარაკობენ მატერიალურ წერტილზე — უსასრულოდ მცირე ზომების მქონე სხეულზე“. მომდევნო აბზაცში კი ავტორი შენიშნავს: „მატერიალური წერტილი სინამდვილეში არ არსებობს..., მაგრამ ამ ცნებით მოსახერხებელია ვისარგებლოთ როგორც რეალური სხეულების გამარტივებული მოდელით“ [126, გვ. 22].

ფეიშანისეულ ლექციებში მატერიალურ წერტილად მიჩნეულია მოძრავ სხეულზე „გაკეთებული პატარა ნიშანი“ [140, გვ. 140]. მსგავს წინააღმდეგობრივ განმარტებებს ეხედებით აგრეთვე ფიზიკისა და მექანიკის სხვა სახელმძღვანელოებში.

¹ აზრთა სხვადასხვაობის მიზეზი ის არის, რომ ისინი ათვლის სისტემად სხვადასხვა სხეულს იღებენ.

საკითხი დგას მგზავრის მოძრაობის შესახებ არა საერთოდ საწყაროს რომელიმე საგნის მიმართ, არამედ ათვლის სისტემის მიმართ. კერძოდ, მეისრის პასუხში საჭიროა კონკრეტულად შეითითოს, რომ „მგზავრი მოძრაობს ლიანდაგის მიმართ“, ხოლო გამოცდილებლის პასუხი ასეთი უნდა იყოს: „მგზავრი ვაგონის მიმართ არ მოძრაობს“.

² ვარსკვლავებს ან მზეს.

მატერიალური წერტილის შესახებ არსებულ ამ წინააღმდეგობრივ განსაზღვრებებს რომ ეცნობი, გეზადება კითხვები: როგორ გავივით მატერიალური წერტილის ცნების არსი? რისთვის არის ეს ცნება შემოტანილი? ან იქნებ შეიძლება თავი ავარიდოთ მის გამოყენებას?

ჩვენ ამ კითხვებზე ამომწურავი და „საბოლოო“ პასუხის გაცემის პრეტენზია, რასაკვირველია, არა გვაქვს, მაგრამ რამდენადაც ეს ცნება კვლავ შეტანილია საშუალო სკოლის ფიზიკის ახალი პროგრამის პროექტში, საჭიროდ მიგვაჩნია მიუთითოთ ზოგიერთ მხარეზე, რაც შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს.

როგორც უკვე აღინიშნა, ფიზიკა განმარტებულია როგორც მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის მატერიის მოძრაობის უმარტივეს ფორმებს. მოძრაობის ამ ფორმათაგან ყველაზე მარტივად მიჩნეულია მექანიკური მოძრაობა, მაგრამ როცა ვლაპარაკობთ რეალურად არსებული სხეულის თუნდაც მექანიკურ მოძრაობაზე, მთელ რიგ სირთულეთა წინაშე ვდგებით. რ. ფეიმანი და მისი „ლექციების“ თანავეტორები ღრუბლის მექანიკური მოძრაობის აღწერის სირთულეს იმაში ხედავენ, რომ „ღრუბელი არა მარტო ნელა გადაადგილდება, არამედ კიდევ დამატებით იცვლის მოხაზულობას ან განიციდის აორთქლებას“ [140, გვ. 140]. თუ თანამედროვე მეცნიერების თვალით შევხედავთ და „აბსოლუტური“ სიზუსტით ვიმსჯელებთ, ასეთივე ხასიათის ცვლილებებს განიციდის ნებისმიერი სხეული: გამოსხივების თეორიის თანახმად, ყოველი სხეული განუწყვეტლივ ასხივებს და შთანთქავს მატერიის სხვადასხვა სახეებს, მაშასადამე, იცვლის მასასაც და ფორმასაც. სხეულის სხვადასხვა ნაწილები, მონაწილეობენ რა სხეულის, როგორც მთლიანის, მექანიკურ მოძრაობაში, განიციდან რხევასა და ბრუნვას, მაშასადამე, აბსოლუტური აზრით არ შეიძლება ვილაპარაკოთ სხეულისა ან მისი ნაწილების გადატანით მოძრაობაზე. ასეთივე აზრით რეალურ სინამდვილეში არ შეიძლება ვილაპარაკოთ აგრეთვე თანაბარ ან თანაბარცვალეზად მოძრაობაზე და სხვ. ყოველივე ეს იმაზე მიუთითებს, რომ, მიუხედავად მექანიკური მოძრაობის „სიმარტივისა“, მისი ერთდროულად მთლიანობაში შესწავლა შეუძლებელია.

ამიტომ სხეულის მექანიკური მოძრაობის ცალკეული მხარეების შესწავლისათვის მექანიკა იძულებულია მოახდინოს გარკვეული დაშვებანი და აბსტრაქციები. მაგალითად, თუ დავუშვებთ, რომ სხეულის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც გადატანითი, მაშინ, კინემატიკის თვალსაზრისით, მისი მოძრაობის შესასწავლად საკმარისია განვიხილოთ აღებული სხეულის ერთი რომელიმე წერტილის მოძრაობა, ან არ მივიღოთ მხედველობაში სხეულის არც მასა, არც ზომები და თვით სხეული განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილი. თუ სხეულის მოძრაობას დინამიკის თვალსაზრისით ვსწავლობთ, მაშინ მთელ რიგ შემთხვევებში შეიძლება უგულებელვყოთ სხეულის ზომები, მაგრამ აუცილებელია მისი მასის მხედველობაში მიღება. ამ შემთხვევაში სხეულის ნაცვლად შეიძლება განვიხილოთ მისი ერთი რომელიმე წერტილის მოძრაობა, რომელშიც თავმოყრილი იქნება მთელი სხეულის მასა, ან სხეული შეიძლება განვიხილოთ როგორც მატერიალური წერტილი, რომლის მასა სხეულის მასის ტოლი იქნება.

როცა არ შეიძლება სხეულის ზომების უგულებელყოფა, მაშინ მხედველობაში იღებენ სხეულის ზომებს ან მას განვიხილავენ როგორც წერტილთა ერთობლიობას, რომელთაც სხეულის მოცულობა უკავიათ. კერძოდ, კინემატიკაში სხეული განიხილება როგორც გეომეტრიულ წერტილთა ერთობლიობა, დინამიკაში კი როგორც მატერიალურ წერტილთა ანსამბლი.

აბსტრაგირება და სხეულის როგორც წერტილის ან როგორც წერტილთა სისტემადად გამოსახვა ხშირად აუცილებელი ხდება იმის გამო, რომ საჭიროა

მომართობის კანონების გრაფიკული და მათემატიკური გამოსახვა. როგორც ექვე
ითქვა, ყოველგვარი აბსტრაქცია იმდენად არის გაშართლებული, რამდენადაც
აუცილებლობით არის გამოწვეული და ხელს უწყობს მოკლენის შესწავლას. აბ-
სტრაქციებზე დაყრდნობილ მსჯელობათა პროცესში თუ რაიმე გაუგებრობაჰქმ
ვივალთ, გაუგებრობის მიზეზი პირველ რიგში დამწებულ აბსტრაქციებში უნდა
ვეძებოთ. მაგალითისათვის განვიხილოთ ძენონის ისტორიული „პარადოქსი“.
ეს პარადოქსი სხვადასხვა ვერსიით არის გაერთელებული. ჩვენ მოვიტანთ იმ
სახით, როგორც „ფიქციონისეულ ლექციებშია“:

„უთქვათ, აქილეესი მირბის 10-ჯერ უფრო სწრაფად, ვიდრე კუ. მიუხედა-
ვად ამისა, — ამბობს ძენონი, — აქილეესი ვერასოდეს ვერ გაუსწრებს მას.
მართლაც, ვთქვათ, შეჯიბრების დასაწყისში კუ 100 მეტრით აქილეესის წინ იმ-
ყოფებოდა. იმ დროისათვის, როცა აქილეესი ამ 10 მეტრს გაიბრუნს, კუ 10 მეტ-
რით მის წინ აღმოჩნდება. გაიბრუნს რა ამ 10 მეტრსაც, აქილეესი კუს დაინა-
ხავს 1 მეტრით თავის წინ. იმ დროის განმავლობაში, ვიდრე იგი 1 მეტრს გა-
იბრუნს, კუ გაივლის 10 სანტიმეტრს და ა. შ...“.

გაუგებრობის მიზეზი, რომელიც მოტანილ „პარადოქსში“ იმალება, მაშინვე
ნათელი გახდება, თუ გავიხსენებთ, რომ ამ მსჯელობაში გაუმართლებლად არის
მოხდენილი აქილეესის ტერფისა და კუს ზომების აბსტრაქტიზება, რის გამოც
ისინი განხილულია როგორც წერტილები.

თუ დავუშვებთ, რომ აქილეესის ტერფის სიგრძე 50 სმ-ია, ხოლო კუს სიგ-
რძე 30 სმ-ი, ადვილად შევნიშნავთ, რომ „პარადოქსის“ მსჯელობის ბოლო ეტა-
პზე კუ აქილეესის ტერფის ზუსტად შუაში მოექცევა და „შეჯიბრებიდან გა-
მოითიშება“. მაშ, ამ მსჯელობაში თუ უკუევაგდებთ გაუმართლებელ აბსტრაქციას,
ძენონის მითითებული „პარადოქსის“ „სიციოცხლის ხანგრძლიობის“ გასაზომად
არა საუკუნეები, არამედ მხოლოდ წუთები დაგვეჭირდება.

ამ მიმოხილვიდან ჩვენ რამდენადმე ვუპასუხებთ ზემოთ დაყენებული კითხ-
ვებიდან ორ უკანასკნელს. ცხადია, ფიზიკაში გეომეტრიული და მატერიალური
წერტილის ცნების გვერდის ავლა არ შეიძლება, მისი შემოტანა გარკვეულ
აუცილებლობით არის გამოწვეული, მაგრამ მისმა გამოყენებამ სარგებლობის
ნაცვლად ზიანი რომ არ მოგვიტანოს, კარგად უნდა იქნას გაცნობიერებული
დამწებული აბსტრაქციის საპირობება და სამართლიანობის საზღვრები.

რაც შეეხება პირველ კითხვას, მისი პასუხისათვის სასარგებლოა ყურად-
ღება მივაქციოთ „ფიქციონისეულ ლექციების“ ავტორთა მიერ გარეგნულად ძა-
ლიან უბრალო, მაგრამ საკითხის არსის ეკვლობაზე მეტად არსებით მინიშნე-
ბას — წერტილის ისინი უწოდებენ „მომრავ სხეულზე გაკეთებულ პატარა ნი-
შანს“. რამდენადაც შემეცნება შეგარძნებებიდან იწყება, ცხადია, წერტილის ცნე-
ბა ჯერ პატარა საგნების, ხოლო შემდეგ მათი ნახაზზე გამოსახვის აღქმებიდან
იღებს სათავეს. ამჟამად პრაქტიკაში, როცა წერტილზე ლაპარაკობენ, ძირითა-
დად სამ რაიმეს გულისხმობენ:

1. შეუიარაღებელი ნორმალური თვალის თვალსაზრისით ძალიან პატარა
ზომის მქონე სხეულებს;
2. ნაწერზე, ნახატზე ან ნახაზზე გამოსახულ ყოველ-
მგზავ ერთნაირი და ძალიან პატარა ზომის მქონე ნიშნებს;
3. ამ უკანასკნელთა
გონებრივ წარმოდგენებს.

ტერმინი წერტილი ფიზიკაში, მათემატიკაში და, საერთოდ, პრაქტიკაში ხში-
რად გამოიყენება. იგი სხვა სიტყვებთან კავშირში გარკვეულ ცნებებს ქმნის, მა-
გალითად, „დუღილის წერტილი“, „ნაშის წერტილი“, „წერტილთა სიმრავლე“,
„უმალღესი წერტილი“ და სხვ. მექანიკაში კი ძირითადად ორგვარ წერტილს
არჩევენ — გეომეტრიულ და მატერიალურ წერტილს.

გეომეტრიულ წერტილს ისეთ პატარა წრიული ფორმის სიმბოლოს უწოდებენ, რომელიც შეიძლება დავხაზოთ ან წარმოვიდგინოთ, მაგრამ რომლის ზომები მხედველობაში არ მიიღება.

მატერიალურ ან, როგორც ზოგჯერ ამბობენ, ნივთიერ წერტილში გულისხმობენ ჩვეულებრივი მხედველობის თვალსაზრისით ძალიან პატარა სხეულს, ნახაზზე გამოსახულ წრიულ სიმბოლოს ან მათ წარმოდგენას, რომლის ზომები მხედველობაში არ მიიღება, მაგრამ რომელსაც გააჩნია მასა.

არსებითი, რაც მატერიალურ წერტილს გეომეტრიულიაგან განასხვავებს, ის არის, რომ მას მიეწერება მასა, რომლის უგულებელყოფა არ შეიძლება.

თუ ზემოთ გამოთქმული მოსაზრებები ძირითადად მაინც სწორია, მაშინ შეიძლება დავასკვნათ, რომ წერტილი ან წერტილთა სისტემა, რომელთაც კინემატიკაში სხეულის ან მისი ნაწილების ნაცვლად განიხილავენ, გეომეტრიული წერტილებია, ხოლო დინამიკაში სხეულის ან მისი ნაწილების ნაცვლად განხილულ წერტილებში, რომელთა ზომები არა, მაგრამ მასები აუცილებლად მხედველობაში უნდა მივიღოთ, იგულისხმება მატერიალური წერტილები.

ზემოაღნიშნული გარემოებანი იმაზე მიუთითებენ, რომ მატერიალური წერტილის ცნება უნდა შევიტანოთ დინამიკაში და არა კინემატიკაში. როგორც ამას ადგილი აქვს ფიზიკის სასკოლო კურსის პროგრამებსა და ფიზიკის მთელ რიგ სახელმძღვანელოებში. წერტილი, რომელზეც კინემატიკაში გვექნება ლაპარაკი, გეომეტრიული წერტილია და ამის თაობაზე სათანადოდ უნდა მივუთითოთ კინემატიკის სწავლების დროს.

ტრაექტორიის ცნების შესახებ თითქმის ყველა სახელმძღვანელოში ერთნაირ განსაზღვრებას ვხედებით. იგი განმარტებულია როგორც წირი, რომელზეც წერტილი მოძრაობს. გეომეტრიის თვალსაზრისით, რასაკვირველია, აქ ყველაფერი რიგზეა, მაგრამ თუ გავიხსენებთ ფეიშანისეულ ლექციებში მოხსენიებულ ღრუბლის მოძრაობის ტრაექტორიის დადგენის სიძნელეს, ცხადი გახდება, რომ ფიზიკის თვალსაზრისით სხეულის მოძრაობის რეალური ტრაექტორიის არსის გაგებაშიც მთელ რიგ გართულებებს ვაწყდებით. ჭერ ერთი, რადგან სხეულის მოცულობითი ზომები აქვს, მისი ტრაექტორია არ შეიძლება იყოს გეომეტრიული ხაზი; მეორეც, განა ჩვენ შეგვიძლია მათემატიკური ფორმულებით ან გრაფიკულად ავწეროთ ის ტრაექტორია, რომელსაც წაქცევის პროცესში აღწერს მოკრილი ხის ტანის, ღეროებისა და ფოთლების ცალკეული წერტილები?! თუ მხედველობაში მივიღებთ სხეულის შემადგენელი მოლეკულების, ატომებისა და „ელემენტარული ნაწილაკების“ მექანიკურ მოძრაობებსაც, ცხადი გახდება, რომ სხეულის „ყველაზე მარტივი“, მექანიკური მოძრაობის ტრაექტორიის აღწერის დროსაც კი ისეთსავე უმწერო მდგომარეობაში აღმოვჩნდებით, როგორც, მაგალითად, ბიოლოგიური ან ფსიქოლოგიური პროცესების მათემატიკური აღწერის დროს. ყოველივე ეს იმაზე მიუთითებს, რომ თვით „უმარტივესი“ მექანიკური პროცესების შესწავლის დროსაც აბსტრაგირება აუცილებელია, მაგრამ თუ გვინდა გაუგებრობებისა და „პარადოქსების“ წინაშე არ აღმოვჩნდეთ, უნდა გვახსოვდეს ის, რისი აბსტრაქციაც მოვახდინეთ.

ამ მოსაზრებებიდან გამომდინარე, IX კლასში მოსწავლეებს ჭერ უნდა შეეცეთ სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ცნება, რაც შეიძლება შემდეგნაირად განიშარტოს: გზას, რომელზეც სხეული გადაადგილდება, სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია ეწოდება. შემდეგ მიუთითებთ, რომ როცა შესაძლებელია სხეულის როგორც წერტილის განხილვა, მაშინ სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ნაცვლად ლაპარაკობენ წერტილის ტრაექტორიაზე. წერტილის მოძრაობის ტრაექტორიას კი განვმარტავთ, როგორც წირს, რომელზეც წერტილი მოძრაობს.

იქვე მივეუთითებთ, რომ სხეულსა და მის ნაცვლად განხილული წერტილის მოძრაობის ტრაექტორიები იდენტური არ არის. კერძოდ, სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიას აქვს სისქე, სიგანე, სიგრძე და გარკვეული ფორმა, წერტილის ტრაექტორიას კი აქვს მხოლოდ სიგრძე და ფორმა. შემდეგ შევნიშნავთ, რომ რადგან კინემატიკაში ძირითადად სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის მხოლოდ ფორმა და სიგრძეა საინტერესო, სხეულის ნაცვლად შეიძლება განვიხილოთ მისი შესაბამისი წერტილი ან წერტილების მოძრაობის ტრაექტორია.

გადატანილი მოძრაობის ცნების სწავლების მეთოდისათან დაკავშირებით ჩვენ მხოლოდ იმას აღვნიშნავთ, რომ, როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს, როცა ამ მოძრაობის დაპირისპირება არ ხდება ბრუნვით მოძრაობასთან, მაშინ მის შინაარსს ზისწავლეები ძნელად წვდებიან და, პირიქით. ამის გამო, ჩვენი აზრით, გადატანილი მოძრაობის სწავლება ბრუნვითი მოძრაობის დაპირისპირებით უნდა მოხდეს.

ზემოაღნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით, ამ პარაგრაფის საკითხების გადაცემა და სწავლების პროცესის ეტაპობრივი მართვა შეიძლება განხორციელდეს შემდეგნაირად:

ტრაექტორია გზას, რომელზეც სხეული გადაადგილდება, სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია ეწოდება (ტრაექტორია ლათინური სიტყვაა, ქართულად გადაადგილებას ნიშნავს). წერის დროს ცარცის ტრაექტორია ის კვალია, რომელსაც იგი ტოვებს დაფაზე. მოძრავი ნავის ან გემის ტრაექტორია ის კვალია, რომელსაც ისინი ტოვებენ წყლის ზედაპირზე.

1. დაასახელოთ ისეთი მაგალითები, სადაც თვალსაჩინოდ ჩანს სხეულის ტრაექტორია¹.

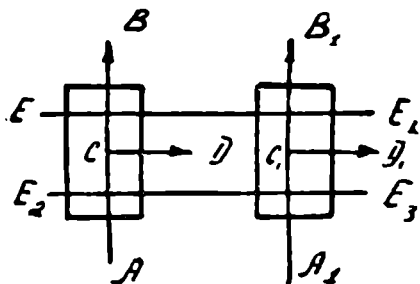
2. განმარტეთ, რას ეწოდება სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია.

ტრაექტორიის ფორმის მიხედვით სხეულთა მოძრაობა ორ ძირითად სახედ იყოფა — წრფივი და მრუდწირული მოძრაობა. სხეულის მოძრაობა წრფივია, თუ იგი გადაადგილდება წრფის გასწვრივ. წრფივი მოძრაობის მაგალითებია: მატარებლის მოძრაობა წრფივი ლიანდაგის გასწვრივ და სხვ. სხეული მრუდწირულ მოძრაობას ასრულებს, თუ იგი გადაადგილდება მრუდე ტრაექტორიის გასწვრივ. მრუდწირული მოძრაობის მაგალითებია: სხეულის მოძრაობა წრეწირზე, მატარებლის მოძრაობა მრუდე ლიანდაგებზე, დედამიწის ბრუნვა მზის გარშემო და სხვ.

¹ წერის დროს კალმის მიერ ქაღალდზე დატოვებული კვალი არის კალმის მოძრაობის ტრაექტორია. ტალახიან, მტკრიან ან თოვლიან ზედაპირზე ველოსიპედის ან მანქანის მიერ დატოვებული კვალი არის მათი მოძრაობის ტრაექტორია. მეტეორი ატმოსფეროში შემოჭრის დროს ტოვებს ცეცხლოვან კვალს, ეს კვალი მისი მოძრაობის ტრაექტორიაა.

3. მიუთითეთ ტრაექტორიის ფორმის მიხედვით რამდენ ძირითად სახედ იყოფა მოძრაობა და ჩამოთვალეთ შესაბამისი მაგალითები.

წრფივ პორიზონტალურ ლიანდაგზე ურიკას გადაადგილების



$$AB \parallel A_1 B_1$$

$$CD \parallel C_1 D_1$$

$$EE_1 = E_2 E_3$$

ნახ. 4

დროს ურიკაზე გავლებული ნებისმიერი მიმართულება მოძრაობის დროს თავისი თავის პარალელური რჩება (ნახ. 4).

ამ შემთხვევაში ურიკას ყოველი წერტილი ერთნაირი ფორმისა და ტოლი სიგრძის გზებს გადის, ამიტომ შეიძლება უგულებელვყოთ ურიკას ზომები და იგი განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილი.

4. გაიხსენეთ რას ეწოდება გეომეტრიული წერტილი!.

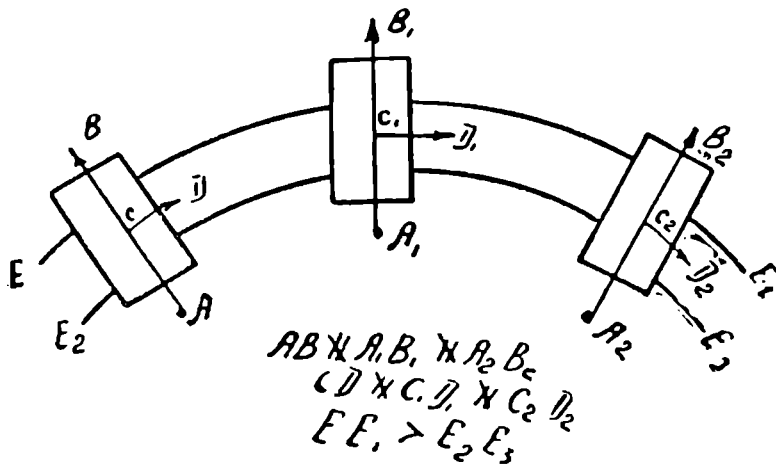
იგივე არ შეიძლება ითქვას, როცა ურიკა მრუდე ლიანდაგის გასწვრივ მოძრაობს. ურიკაზე გავლებული ნებისმიერი მიმართულება ურიკის მოძრაობის დროს თავისი თავის პარალელური არ რჩება (ნახ. 5). ურიკის ყველა წერტილი ფორმით ერთნაირ, მაგრამ სიდიდით სხვადასხვა სიგრძის გზებს გადის, ამიტომ ამ შემთხვევაში არ შეიძლება უგულებელვყოთ ურიკის ზომები და მისი მოძრაობა განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილის მოძრაობა.

მრუდე ლიანდაგის მსგავსი გზის გასწვრივ მიმართულების შეუცვლელად, როგორც ეს მე-6 ნახაზზეა ნაჩვენები, შეიძლება ეამოძრაოთ წიგნი ან სხვა რომელიმე სხეული. როგორც ნახაზიდან ჩანს, მიუხედავად იმისა, რომ სხეულის მოძრაობა მრუდე გზის გასწვრივ ხდება, სხეულზე გავლებული ყველა მიმართულება თავის პარალელური რჩება, ხოლო სხეულის ყველა წერტილი როგორც ფორმით, ისე სიდიდით ზუსტად ერთნაირ გზებს გაივლის. ამ შემთხვევაშიც კინემატიკის თვალსაზრისით შეიძლება უგულებ-

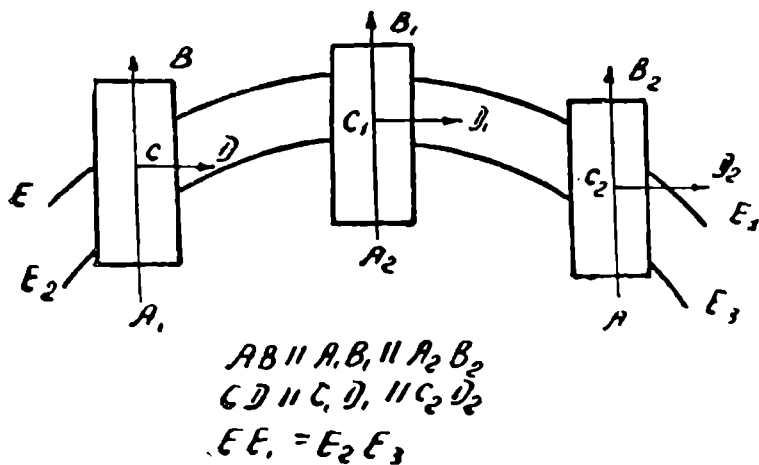
¹ გეომეტრიული წერტილი ისეთ პატარა წრიული ფორმის სიმბოლოს ეწოდება, რომელიც შეიძლება დაეხაზოთ ან წარმოვიდგინოთ, მაგრამ რომლის ზომები მხედველობაში არ მიიღება.

პელეკოთ სხეულის ზომები და მისი მოძრაობა განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილის მოძრაობა.

სხეულის მოძრაობას, როდესაც მისი ყველა წერტილი როგორც ფორმით, ისე სიდიდით ერთ-



ნახ. 5



ნახ. 6

ნაირ გზებს გადის, გადატანითი მოძრაობა ეწოდება.

გადატანითი მოძრაობის დროს სხეულში გავლებული ნების-

მიერი წრფე თავისი თავის პარალელური რჩება. ამ ნიშნის მიხედვით გადატანითი მოძრაობა შეიძლება განიმარტოს შემდეგნაირად: სხეულის მოძრაობას, როდესაც მასში გავლებული ნებისმიერი წრფე თავისი თავის პარალელური რჩება, გადატანითი მოძრაობა ეწოდება.

5. როგორ მოძრაობას ეწოდება გადატანითი მოძრაობა?

გადატანითი მოძრაობის დროს სხეულის ყველა წერტილი ფორმითა და სიდიდით ერთნაირ გზებს გაივლის. ამის გამო სხეულის ტრანექტორიის დასახასიათებლად შეიძლება უგულებელვყოთ სხეულის ზომები და მისი მოძრაობა განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილის მოძრაობა. გეომეტრიულ წირს, რომელზეც წერტილი მოძრაობს, ამ წერტილის ტრანექტორია ეწოდება.

6. გაიხსენეთ გეომეტრიული წირის თავისებურება და მიუთითეთ, რა განსხვავებაა სხეულისა და წერტილის ტრანექტორიებს შორის.

გადატანითი მოძრაობის დროს სხეულის ზომების უგულებელყოფა და მისი, როგორც გეომეტრიული წერტილის განხილვა ფაქტიურად იმას ნიშნავს, რომ ჩვენ უგულებელვყოფთ სხეულის მოძრაობის ტრანექტორიის სისქესა და სიგანეს. როგორც აღნიშნული იყო, ასეთი უგულებელყოფა (აბსტრაქცია) შეიძლება მხოლოდ გადატანითი მოძრაობის დროს. როცა სხეული ბრუნავს ან მოძრაობს მრუდე ლიანდაგზე, როგორც ეს მე-2 ნახაზზეა ნაჩვენები, მაშინ სხეულის მოძრაობის შესასწავლად განვიხილავენ მასზე მდებარე რამდენიმე წერტილის მოძრაობას. ეს საკითხი უფრო დაწვრილებით ბრუნვითი მოძრაობის შესწავლის დროს განვიხილება.

7. ჩამოთვალეთ გადატანითი მოძრაობის მაგალითები

8. როდის შეიძლება სხეულის მოძრაობა განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილის მოძრაობა?

§ 17. წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე

წინასწარი შენიშვნები სიჩქარე ერთი შეხედვით შეიძლება ისეთ ცნებათა რიცხვს მიეკუთვნოთ, რომელთა შესახებ აზრთა სხვადასხვაობა არ უნდა არსებობდეს, მაგრამ სინამდვილეში ასე როდია.

ორივე „პოპულარულ ფიზიკაში“ სიჩქარის პარაგრაფს უკეთებს ასეთ ეპიგრაფს: „რას აჩვენებს სპიდომეტრი“, რამდენიმე სტრიქონის შემდეგ კი

¹ სხეულის ტრანექტორიას აქვს სიგრძე, ფორმა, სისქე და სიგანე. რადგან გეომეტრიულ წირს სისქე და სიგანე არა აქვს, გეომეტრიული წერტილის ტრანექტორიას გააჩნია მხოლოდ სიგრძე და ფორმა.

ეკითხულობთ: „სპიდომეტრი აჩვენებს ავტომობილის მყის სიჩქარეს“ (კმ ს-ში).
 „ფინმანისეული ლექციების“ ავტორები უდავოდ არ ეთანხმებიან მყისი სიჩქარის ასეთ „განმარტებას“. ისინი წერენ: „ბევრი ფიზიკოსი ფიქრობს, რომ ნებისმიერი ცნების ერთადერთ განმარტებას წარმოადგენს მისი გაზომვის ხეობა“ [140, გვ. 145] და იქვე მიუთითებენ, რომ სპიდომეტრი შეიძლება „ვატეხილი“ იყოს და სიჩქარეს არ აჩვენებდეს. მაგრამ მანქანა რადგან მოძრაობს, მას სიჩქარე მაინც გააჩნია, მიუხედავად იმისა, სპიდომეტრი მას ზომავს თუ არა. აქ აშკარად იგრძნობა ფინმანისა და მისი თანაავტორების ანტიპოზიტივისტური და ანტიოპერაციონალისტური განწყობილება.

როსელი სიჩქარის შესახებ წერს: „განსაზღვრის თანახმად, წერტილის მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება ექვტორულ გამოსახულებას

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}.$$

სიჩქარის ცნების შინაარსის გარკვევის მხრივ აზრთა სხვადასხვაობა აგრეთვე ჩვენს სამამულო ფიზიკურ ლიტერატურაშიც. ს. სტრელკოვი თავის მექანიკის კურსში შენიშნავს, რომ თუ გულდასმით დეაკვირდებით მოძრაე სხეულებს, მათი მოძრაობა ძალიან რთულია. სხეულის სხვადასხვა წერტილები სხვადასხვანაირად მოძრაობენ და მთელი სხეულის მოძრაობის შესასწავლად საჭიროა შევისწავლოთ მისი ცალკეული წერტილების მოძრაობა. ავტორი იწყებს წერტილის მოძრაობის შესწავლას და მის სიჩქარეს შემდეგნაირად განმარტავს: „წერტილის სიჩქარე არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს კოორდინატების ცვლილებას დროის მსკლელობის მიხედვით“ [130, გვ. 19].

სამუშალო სკოლის პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული სიჩქარის, როგორც დროის ერთეულში გავლილი მანძილის, გაგება. ამგანამდე მოქმედ IX კლასის სტაბილურ სახელმძღვანელოში სიჩქარე შემდეგნაირად არის განმარტებული: „თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება სიდიდეს, რომელიც იზომება გზის შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს გზა იყო გავლილი“. ეს განმარტება უდავოდ საველოსმშობა იმ მხრივ, რომ აქ იგრძნობა ავტორის მისწრაფება ხაზი გაუსვას სიჩქარის ცნების თვისებრივ მხარეს, მაგრამ. სამწუხაროდ, დასახული მიზანი ბოლომდე მიღწეული არ არის. ამ გარემოებაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ ზემოთ მოტანილ სიჩქარის განმარტებაში ტერმინ „სიდიდის“ ნაცკლად მის მნიშვნელობას გავიაზრებთ (განმარტებით ლექსიკონებში „სიდიდე“ განმარტებულია, როგორც ისეთი რამ, რისი გაზომვაც შეიძლება). სიჩქარის ზემომოტანილი განმარტება ამ შემთხვევაში მიიღებს ასეთ სახეს: „თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება იმას, რაც იზომება გზის შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს გზა იყო გავლილი“. იმისათვის, რომ განვმარტოთ სიჩქარის თვისებრივი მხარე, საჭიროა სწორედ იმაზე მითითება, თუ რა არის ის, რაც გზისა და დროის შეფარდებით იზომება. სიჩქარის თვისებრივი მხარე უკეთ არის განმარტებული VII კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელოში. აქ ეკითხულობთ: „სხეულის სიჩქარე თანაბარი მოძრაობის დროს გვიჩვენებს, თუ როგორ გზას გადის სხეული დროის ერთეულში“.

რაოდენობრივი მხარიდან სიჩქარის თვისებრივი მხარეების გამოყოფისა და მათი განმარტების ცდებს ეხედებით მ. არბანგელსკის [44, გვ. 23], ა. სახაროვისა და მ. ბლუდოვის [125, გვ. 43] და სხვა ავტორთა ფიზიკის სახელმძღვანელოებში.

სიჩქარის ცნება გამოიყენება არა მარტო მექანიკაში, არამედ ფიზიკისა და მეცნიერების სხვა დარგებშიც. მაგალითად, ლაპარაკობენ დენის ძალის ცელი-

ლების სიჩქარეზე, მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზე, აორთქლების სიჩქარეზე, რადიოაქტიური დაშლის სიჩქარეზე, კიბიური რეაქციების სიჩქარეზე, მცენარეთა და ცხოველთა ზრდის სიჩქარეზე, საზოგადოებრივი ცხოვრების სხვადასხვა მოვლენების განვითარების სიჩქარეზე და ა. შ.

ზოგადი აზრით, სიჩქარის ცნებაში იგულისხმება, როგორ მიმდინარეობს ესა თუ ის პროცესი დროის მიხედვით. სიჩქარე, რომელზეც შექანიკაში ლაპარაკი, ეს არის სხეულის შექანიკური მოძრაობის სიჩქარე (როცა სხეულის მოძრაობაზე ვლაპარაკობთ, არ არის აუცილებელი „შექანიკურის“ მოხსენება, რადგან, თუ დამატებითი მითითება არ იქნება გაკეთებული, სხეულის მოძრაობაში ჩვეულებრივ იგულისხმება მისი შექანიკური მოძრაობა).

მოძრაივი სხვადასხვა სხეული (ადამიანი, ცხენი, გემი, მატარებელი, ავტომანქანა, თვითმფრინავი, რაკეტა ან ერთი და იგივე სხეული სხვადასხვა პირობებში) დროის ერთ და იმავე მონაკვეთში სხვადასხვა მანძილს გაივლის ან კიდევ ერთი და იმავე მანძილს გავლას მოძრაივი სხვადასხვა სხეული სხვადასხვა დროს ანდომებს. სხეულთა ამ თავისებურების დასახასიათებლად შემოტანილია სხეულის მოძრაობის სიჩქარის ცნება. ეს ცნება შეიძლება ასე განიშარტოს: სხეულის მოძრაობის იმ თავისებურებას, თუ დროის ალებულ მონაკვეთში რა მანძილს გაივლის ან მოცემული მანძილის გავლას რა დროს ანდომებს იგი, ეწოდება სხეულის მოძრაობის სიჩქარე.

როცა საქმე ეხება თანაბარი მოძრაობის შესწავლას, უნდა გვახსოვდეს, რომ ჩვენს მიერ უკვე მოხდენილ აბსტრაქციებსა და დაშვებებს ემატება კიდევ ერთი აბსტრაქცია და დაშვება. რახან ბუნებაში არ არსებობს გარეგან მოხაზულობასა და მასის ცვალებადობას მოკლებული სხეული, აბსოლუტური აზრით არ შეიძლება არსებობდეს წრფივი და თანაბარი მოძრაობაც. მაგრამ მთელ რიგ შემთხვევებში პრაქტიკულ მოთხოვნათა გადასაწყვეტად შესაძლებელია უგულვებლევყოთ არა მარტო სხეულის ზომები და მისი ტრაექტორიის არაწრფივობა, არამედ მისი სიჩქარის არათანაბრობაც და დაუღწეათ, რომ საქმე გვაქვს წრფივ თანაბარ მოძრაობასთან. ამ შემთხვევაში სხეული შეიძლება განვიხილოთ როგორც გეომეტრიული წერტილი, რომელიც წრფივად და თანაბრად მოძრაობს.

წრფივ თანაბარ მოძრაობაში მხოლოდ ერთი სახის სიჩქარეა და მას თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება, ხოლო არათანაბარ წრფივ მოძრაობაში ორი სახის სიჩქარეს არჩევენ, მათგან ერთს საშუალოს, მეორეს კი მყის სიჩქარეს უწოდებენ (ზოგიერთი ავტორი მყის სიჩქარეს ნამდვილი სიჩქარის სახელწოდებით მოიხსენიებს).

სიჩქარეთა სიდიდეების გამოსაანგარიშებლად და მიმართულების დასადგენად არსებობს შესაბამისი ფორმულები

$$v = \frac{s}{t}; \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}; \quad v = \frac{dt}{dx} \text{ და სხვ.})$$

და ექსპერიმენტული ხერხები.

რადგან სხვადასხვა ხასიათის შექანიკური მოძრაობის სიჩქარეებს გააჩნიათ როგორც თავისებრივი, ისე რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეები, აგრეთვე თავიანთი გამოყენების სფერო (მითითება იმაზე, თუ როგორი ხასიათის მოძრაობის სიჩქარეზეა ლაპარაკი და სხვ.), მის სრულ განსაზღვრებაში ყველა მხარეზე უნდა მიუღივით. წრფივ თანაბარ მოძრაობაში სიჩქარის სრული განსაზღვრება შემდეგ სახეს მიიღებს:

სხეულის წრფივი თანაბარი მოძრაობის იმ თავისებურებას, თუ დროის ალებულ მონაკვეთში რა მანძილს გაივლის ან მოცემული მანძილის გავლას რა

ღროს ანდომებს იგი, ეწოდება სხეულის მოძრაობის სიჩქარე. მისი სიდიდე იზომება გავლილი მანძილის შეფარდებით იმ ღროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს

გზა იყო გავლილი, რაც ფორმულით ასე გამოისახება $v = \frac{s}{t}$. იგი ვექტორული

სიდიდეა.

ცხადია, სიჩქარის ყველა ნიშნის მნიშვნელობის წდომის ინტელექტუალური შესაძლებლობა გააჩნია როგორც IX, ისე VII კლასის მოსწავლეს (ახალი სასწავლო პროგრამით ეს საკითხი VII კლასში შეისწავლება), მაგრამ ზემოთ მოტანილი განსაზღვრების მთლიანობაში შეიქმმა არ იქნება გამართლებული IX და, მით უმეტეს, VII კლასში.

რამდენადაც ცნების განსაზღვრებაში მთავარი ადგილი თვისებრივი მხარისა და გამოყენების სფეროზე მითითებას უკავია, სიჩქარის ზემოთ მოტანილი განსაზღვრებიდან ეს მხარეები, როგორც ძირითადი, ცალკე უნდა გამოეყოთ. მისი გაშუქებისა და გაცნობიერების შემდეგ გადავალთ რაოდენობრივი მხარის შესწავლაზე, მივცემთ სათანადო განმარტებას, დაეაღვენთ სიჩქარის სიდიდის საზომ ერთეულებს, გაეარკვეეთ მათ შორის არსებულ თანაფარდობას, შემდეგ კი მივცემთ სათანადო ცოდნასა და განმარტებას სიჩქარის ვექტორული ხასიათის შესახებ.

შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს ოთხ ძირითად საკითხად: 1. წრფივი თანაბარი მოძრაობა; 2. სიჩქარის ცნება; 3. სიჩქარის სიდიდე და მისი ერთეულები; 4. სიჩქარის ვექტორული ხასიათი.

სწავლების პროცესის მართვა შეიძლება წარიმართოს შემდეგნაირად:

წრფივი თანაბარი მოძრაობა თუ სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია წრფივია და იგი ღროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში

ტოლი სიგრძის გზებს გადის, ასეთ მოძრაობას წრფივი თანაბარი მოძრაობა ეწოდება. ზუსტად წრფივი და თანაბარი მოძრაობის განხორციელება ბუნებაში ძნელია, მაგრამ მთელ რიგ შემთხვევებში შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სხეულები წრფივად და თანაბრად მოძრაობენ. მაგალითად, ავტომობილის სწორ გზაზე მოძრაობის ღროს, როცა მისი სპიდომეტრი ოდნავ ირხვევა, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ იგი წრფივად და თანაბრად მოძრაობს. ასევე გემის, მატარებლის და სხვა სხეულთა მოძრაობა მთელ რიგ შემთხვევებში შეიძლება მივიჩნიოთ წრფივად და თანაბრად.



ნახ. 7

ფიზიკის კაბინეტში შეიძლება განვახორციელოთ წრფივი თანაბარი მოძრაობა და თვალზილულად დავაკვირდეთ მას. კინემატიკადინამიკის ხელსაწყოს თუ პორიზონტალურად დავამაგრებთ და პი-

ნაზე დაედებთ ხახუნის გამაწონასწორებელ ტვირთს, ურიკის მოძრაობის დროს შევნიშნავთ, რომ წრფის გასწვრივ განლაგებულ წვეთებს შორის მანძილები თითქმის ტოლია (ნახ. 7). რადგან მწვეთარა ყოველ მომდევნო წვეთს დროის ტოლი შუალედების შემდეგ უშვებს, ცხადია, რომ გზის ამ უბანზე ურიკას თანაბრად უმოძრავია წრფის გასწვრივ.

1. როგორ განიმარტება წრფივი თანაბარი მოძრაობა?

სიჩქარის ცვლა დროის ერთი და იმავე მონაკვეთში ფეხით, ცხენით, მატარებლით, ავტომანქანით, თვითმფრინავით, რაკეტით და სხვა სატრანსპორტო საშუალებით სხვადასხვა მანძილის გავლა შეიძლება. ან კიდევ, თუ გარკვეული მანძილია გასავლელი, ვთქვათ 100 მ ან 100 კმ, სხვადასხვა სხეული (მძლეოსანი ან სატრანსპორტო საშუალებები) სხვადასხვა დროს მოანდომებს მათ გავლას. სხეულთა მოძრაობის ამ თავისებურების დასახასიათებლად შემოტანილია სიჩქარის ცნება.

თუ სხეული წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, მაშინ მისი სიჩქარე შეიძლება ასე განიმარტოს:

სხეულის წრფივი თანაბარი მოძრაობის იმ თავისებურებას, თუ დროის ერთეულში იგი რამანძილს გაივლის, ან აღებული მანძილის გავლას რადროს ანდომებს, სხეულის მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება.

2. რას ეწოდება სხეულის მოძრაობის სიჩქარე?

სიჩქარის სიდიდე და მისი ერთეულები წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად გავლილ გზას ყოფენ იმ დროზე, რომლის განმავლობაშიც ეს გზა იყო გავლილი.

მაგალითად, თუ ავტომანქანამ სწორ გზაზე თანაბარი სიჩქარით 10 წამში გაიარა 200 მ, მაშინ მანქანის სიჩქარე უდრის:

$$\frac{200 \text{ მ}}{10 \text{ წმ}} = 20 \text{ მ/წმ.}$$

თუ სხეულის სიჩქარის აღსანიშნავად შემოვიღებთ v , გავლილი გზისათვის — S , ხოლო დროისათვის — t სიმბოლოებს, მაშინ სიჩქარის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად ზემოთ აღნიშნული წესი მათემატიკური ფორმულის სახით ასე დაიწერება:

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

რაც სიტყვიერად შემდეგნაირად გამოითქმის: სიჩქარის სიდიდე იზომება გავლილი გზის შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს გზა იყო გავლილი.

3. როგორი სახე აქვს სიჩქარის ფორმულას და როგორ გამოითქმის იგი სიტყვიერად?

სიჩქარის ფორმულაში გზისა და დროის ერთეულების შეტანით მივიღებთ სიჩქარის ერთეულებს:

$$\frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}; \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}; \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}; \frac{\text{მ}}{\text{წთ}} \text{ და ა. შ.}$$

4. რას ნიშნავს სხეულს აქვს სიჩქარე: $1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}$ (1 სანტიმეტრი

წამში); $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ (1 მეტრი წამში); $1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$ (1 კილომეტრი წამში)?

სიჩქარის ერთი ერთეულიდან მეორეში გადასვლისათვის საჭიროა აღებული სიჩქარის ერთეულის სიგრძისა და დროის ერთეულები გამოვსახოთ სიჩქარის მეორე ერთეულის შესაბამისი სიგრძისა და დროის ერთეულებით. მაგალითად, თუ გვინდა $1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$ - დან

გადავიდეთ $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ -ზე, შემდეგნაირად უნდა მოვიქცეთ:

$$1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}} = 1 \frac{1000 \text{ მ}}{3600 \text{ წმ}} = 0,27 (7) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

$$\text{მაშ: } 1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}} = 0,27 (7) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

ე. ი. სხეულის სიჩქარეს $1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$ -ში შეესაბამება სიჩქარე 0,27 მ/წმ-ში.

პირიქით, როცა გვინდა $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ - დან გადავიდეთ $1 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$ -ში, მაშინ 1 მეტრის მაგივრად უნდა დავწეროთ რამდენ კილომეტრს უდ-

$$1 \text{ მ} = \frac{s}{t}$$

რის იგი $\left(1 \text{ მ} = \frac{1}{1000} \text{ კმ}\right)$, ხოლო 1 წამის მაგივრად რამდენი საათის ტოლია 1 წამი $\left(1 \text{ წმ} = \frac{1}{3600} \text{ სთ}\right)$,

$$\text{ე. ი. } 1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}} = \frac{\frac{1}{1000} \text{კმ}}{\frac{1}{3600} \text{სთ}} = \frac{3600 \text{ კმ}}{1000 \text{ სთ}} = 3,6 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$$

$$\text{მაშ: } 1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}} = 3,6 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$$

ეს თანათარღობა გვეუბნება, რომ სხეულის სიჩქარეს $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ -ში

შეესაბამება სიჩქარე $3,6 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$, რაც სხვანაირად იმას ნიშნავს, რომ, თუ სხეული 1 წმ -ში გადის 1 მ სიგრძის გზას, მაშინ 1 სთ -ში გაივლის $3,6 \text{ კმ}$ სიგრძის გზას.

5. სიჩქარის ერთეულები $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$; $1 \frac{\text{მ}}{\text{წთ}}$ გამოსახეთ $1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}$ -ში და პირიქით $1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}$ -ი გამოსახეთ $\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ -ში.

სიჩქარის ვექტორული ხასიათი

ვთქვათ, ჩვენთვის ცნობილია შავ ზღვაში მცურავი გემის მოძრაობის სიჩქარის სიდიდე და მანძილი, რომლითაც იგი დაშორებულია ბათუმის, ფოთისა და სოხუმის ნავსადგურებს. შეიძლება თუ არა გავიგოთ, რომელი ნავსადგურისაკენ მიდის გემი და როდის მივა იმ ნავსადგურში?

გემის მოძრაობის სიჩქარის სიდიდესთან ერთად თუ არ ვიცით სიჩქარის მიმართულება, ვერ გავარკვევთ, რომელ ნავსადგურში მიდის გემი და ვერ გამოვიანგარიშებთ იმ დროს, რომელიც მან დასჭირდება აღებულ ნავსადგურში მისასვლელად.

მაშ, სიჩქარეს ახასიათებს არა მარტო სიდიდე, არამედ მიმართულებაც, ამიტომ ამბობენ, რომ სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა. ვექტორული სიდიდეა აგრეთვე ძალა, წონა, აჩქარება და სხვ.

6. რატომ ამბობენ, რომ სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა?

სიდიდეებს. რომელთაც აქვთ რაოდენობრივი მხარე, ხოლო არ გააჩნიათ მიმართულება, სკალარული სიდიდეები ეწოდებათ. სკალარული სიდიდეებია: სიმკვრივე, ფართობი, მოცულობა და სხვ.

7. როგორ სიდიდეებს ეწოდება სკალარული სიდიდეები?

ს ა ე ა რ ჯ ი შ ო

1. რამდენი მ/წმ შეესაბამება 180 კმ/სთ?
2. ვიცით, რომ 1 მ/წმ შეესაბამება 3,6 კმ/სთ, მონახეთ რამდენი მ/წმ შეესაბამება 800 კმ/სთ?
3. ორი ავტომობილი თანაბრად მოძრაობს, პირველი 5 წუთში 6 კმ გალა, მეორე კი 3 წამში 90 მეტრს. რომელი ავტომობილის სიჩქარეა მეტი?*

§ 18. წრფივი თანაბრად ცვალებადი მოძრაობის აჩქარება

წინასწარი შე-
ნიშვნები „პოპულარულ ფიზიკაში“ ორივე, ისე როგორც სიჩქარის შემთხვევაში, ინტერესს არ იჩენს აჩქარების თვისებრივი მხარის მიმართაც; მას იგი ესმის როგორც ის, რასაც აქსელერაციის მერტი ზომავს, და იძლევა აჩქარების სიდიდის გამოსაანგარიშებელ შემდეგ ფორმულებს: $a = \frac{v}{t}$ მუდმივი და $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ მყისი აჩქარებისათვის. ფიზიკის კურ-

სების სხვა ამერიკელი ავტორები — ელიოტი და უილკოკი, აგრეთვე ფეინმანი, ლეიტონი, სენდსი ლამობენ პირველ რიგში გააცნობიერონ აჩქარების თვისებრივი მხარე. პირველნი აჩქარების თვისებრივი მხარისათვის იძლევიან შემდეგ განმარტებას: „სიჩქარის ცვლილების ტემპს ეწოდება აჩქარება“ [150, გვ. 167]; მეორენი კი აჩქარებას თვლიან „სიჩქარის ცვლილების სისწრაფედ“ [140, გვ. 153].

ფიზიკის კურსების საბჭოთა ავტორებს შორის თითქმის ყველა იძლევა გარკვეულ მითითებას აჩქარების ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ. აჩქარებას ისინი განიხილავენ როგორც სიჩქარის ცვლილების დამახასიათებელს, მაგრამ ცალკე განსაზღვრებას არ იძლევიან; აჩქარების ცნებისათვის განკუთვნილ განსაზღვრებაში მითითებენ მხოლოდ იმაზე, როგორ გაიზომება აჩქარების ამა თუ იმ სახის სიდიდე და მიმართულება, ხოლო მის თვისებრივ მხარეზე არაფერს ამბობენ, რაც არ შეიძლება ჩაითვალოს გამართლებულად. იმისათვის, რომ ფიზიკა ოპტიმალურად უწყობდეს ხელს ბუნების მოვლენების შემეცნებას, ფიზიკის ცნებების განსაზღვრებისას პირველ რიგში ხაზი უნდა გავუსვათ იმას, თუ მოვლენის რა თავისებურების ასახავად მოვიტანეთ ესა თუ ის ცნება და ჯერ მივეუბნოთ მისი გამოყენების სფეროზე, შემდეგ კი მის რაოდენობრივ და მიმართულებით მხარეებზე.

როგორც თანაბრად ცვალებად, ისე არათანაბრად ცვალებად მოძრაობაში აჩქარება მოვლენათა ერთდამიპვე მხარეს გამოხატავს. მოვლენათა არსებითი მხარე, რაც აჩქარების ცნებაშია გამოხატული, ის არის, რომ დროის ერთი და იმავე მონაკვეთში ან დროის ერთეულში სხვადასხვა პირობებში სხვადასხვა

* ამოცანების ნაწილი აღებულია ფიზიკის სხვადასხვა სახელმძღვანელოებისა და ამოცანათა კრებულიდან.

სხეულის მოძრაობის სიჩქარე (აღმზინის, ცხენის, ავტომანქანის, ელმავლის, გემის, თვითმფრინავის, რაკეტის და ა. შ.) სხვადასხვანაირად იცვლება. ამ არსებითი ნიშნის მიხედვით აჩქარება შეიძლება ასე განიშარტოს: დროის ალღებულ მოწაკეთებულ სხეულის მოძრაობის სიჩქარის ცვლილებას აჩქარება ეწოდება.

იმის მიხედვით, თუ როგორი ხასიათისაა ცვალებადი მოძრაობა, არჩევენ სხვადასხვა სახის აჩქარებას და მათი სიდიდე სხვადასხვანაირად იზომება. თანაბრად ცვალებად მოძრაობაში აჩქარების სიდიდე იზომება სიჩქარის ცვლილების შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაში ეს ცვლილება მოხდა

$$\left(\bar{a} = \frac{\bar{v}_t - \bar{v}_0}{t} \right).$$

არათანაბრად ცვალებად მოძრაობაში არჩევენ ორგვარ აჩქარებას — საშუალოს და მყისის, ან, როგორც ზოგიერთი ავტორი ეწოდებს, „ნამდვილ“ აჩქარებას. საშუალო აჩქარების სიდიდე იზომება $\bar{a}_{საშ} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}$ ხოლო მყისი

$$a_{მყ} = \frac{d\bar{v}}{dt} \text{ ან } a_{მყ} = \frac{d^2\bar{r}}{dt^2}$$

აჩქარების ცნების სწორად შესწავლისათვის, ისე როგორც სიჩქარის შემთხვევაში, აქაც აუცილებელია ჯერ გაცნობიერებული და შესწავლილი იქნას ამ ცნების თვისებრივი მხარე და მიეთითოს მისი გამოყენების სფეროზე. როცა გამოკვეთილად მივცემთ სათანადო განმარტებას, გადავალთ ამ ცნების რაოდენობრივი და მიმართულბრივი მხარეების შესწავლაზე.

წრფივი თანაბრად ცვალებადი მოძრაობის შემთხვევაში აჩქარების ცნების სწავლება შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად საკითხად: 1. თანაბრად ცვალებადი მოძრაობა; 2. აჩქარების ცნება; 3. აჩქარების სიდიდე—ერთეულები და მიმართულება. სწავლების ეტაპობრივი მართვა კი შეიძლება განხორციელდეს შემდეგნაირად:

დადმართზე დაგორებული ბურთის, კასრის ან თანაბრად ცვალებადი მოძრაობა სხვა სხეულის სიჩქარე თანდათან იზრდება (ნახ. 8, AB უბანი). თუ გზის ზედაპირი გლუვია, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მოძრაობა წრფივია და სიჩქარე დროის ტოლ შუალედებში ტოლი სიდიდით მატულობს.



ნახ. 8

მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეულის სიჩქარე დროის ტოლ შუალედებში ტოლი სიდიდით

მატულობს, თანაბარ აჩქარებული მოძრაობა ეწოდება.

1. ჩამოთვალეთ ნიშნები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განასხვავებს თანაბარ და თანაბარაჩქარებულ მოძრაობებს!

აღმართზე გარკვეული სიჩქარით აგორებული ბურთის, კასრის ან სხვა სხეულის სიჩქარე თანდათან კლებულობს (ნახ. 8, C, D უბანი).

თუ სხეულის სიჩქარე დროის ტოლ შუალედში ტოლი სიდიდით კლებულობს, ასეთ მოძრაობას თანაბარშენელებული მოძრაობა ეწოდება.

თანაბარაჩქარებუი და თანაბარშენელებული მოძრაობანი შეიძლება გავაერთიანოთ თანაბარცვალებადი მოძრაობის ტერმინით.

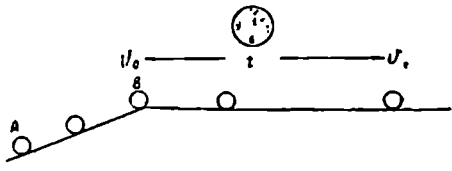
2. როგორ განიმარტება თანაბარაჩქარებული და თანაბარშენელებული მოძრაობა?

3. როგორ შეიძლება განიმარტოს თანაბარცვალებადი მოძრაობა?

ჩვენ შევისწავლით თანაბარცვალებად მოძრაობას. თუ აჩქარების გვეცოდინება დროის ერთეულში რამდენით მატულობს ცნება ან კლებულობს სიჩქარე, მაშინ სათანადო გამოანგარიშებით შეიძლება გავიგოთ, როგორი იქნება სხეულის სიჩქარე 1, 2, 3, 4, 5 და ა. შ. დროის ერთეულის შემდეგ.

სიჩქარის ცვლილებას დროის ერთეულში აჩქარება ეწოდება.

აჩქარების სიდიდის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგაჩქარების სიდიდით: ვთქვათ, AB გლუვ პორიზონტალურ გზაზე ურიკა ან რაიმე სხეული მიგორავს მუდმივი სიჩქარით. აღვნიშნოთ ეს სიჩქარე v_0 (ვენულიანი) (ნახ. 9).



ნახ. 9

B წერტილიდან სხეული იწყებს აჩქარებულ მოძრაობას. მისი სიჩქარე განუწყვეტლივ იზრდება. t დროის გასვლის მომენტში სხეულის მყისი სიჩქარე აღვნიშნოთ v_t -ით (ვეტიანი).

1 თანაბარი მოძრაობის დროს სხეული დროის ტოლ შუალედებში ტოლი სივრცის გზებს გადის, თანაბარაჩქარებული მოძრაობის შემთხვევაში დროის ყოველ მომდენო ტოლ შუალედში სხეული უფრო მეტ მანძილს გაივლის.

თანაბარი მოძრაობის დროს სხეულის სიჩქარე არ იცვლება, თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს კი სიჩქარე განუწყვეტლივ იზრდება.

სხვაობა $v_1 - v_0$ გვიჩვენებს, რამდენით იცვლება სიჩქარე t დროის განმავლობაში. თუ ამ ცვლილებას გავყოფთ დროზე, მივიღებთ გამოსახულებას $\frac{v_1 - v_0}{t}$, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენით

შეიცვალა სიჩქარე დროის ერთეულში. მაშ:

აჩქარების სიდიდე იზომება სიჩქარის ცვლილების შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა.

აჩქარების სიდიდეს თუ a ასოთი აღვნიშნავთ, მაშინ ეს წესი ალგებრული ფორმულით ასე ჩაიწერება:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

4. რას ეწოდება აჩქარება?

5. როგორ იზომება აჩქარების სიდიდე და როგორ იწერება მისი გამოსახარისმებელი ფორმულა?

6. როგორ იკითხება 1-ლი ფორმულა? 2.

როგორც პირველი ფორმულიდან ჩანს, აჩქარების ერთეულების დასადგენად საჭიროა სიჩქარის ერთეული გავყოთ დროის ერთეულზე:

$$\frac{m}{წმ} : წმ = \frac{m}{წმ^2}; \quad \frac{სმ}{წმ} : წმ = \frac{სმ}{წმ^2} \text{ და ა. შ.}$$

მათ შორის შემდეგი თანაფარდობაა:

$$\frac{m}{წმ^2} = 100 \frac{სმ}{წმ^2}; \quad \frac{სმ}{წმ^2} = \frac{1}{100} \frac{m}{წმ^2}$$

7. აჩქარების რა ერთეულები იცით და როგორ მიიღება ისინი?

სიჩქარის მსგავსად აჩქარებას სიდიდესთან ერთად გააჩნია მიმართულება, ამიტომ ამბობენ, რომ აჩქარება ვექტორული სიდიდეა.

თანაბარაჩქარებულ მოძრაობის დროს აჩქარება დადებითია, ხოლო თანაბარშენებულ მოძრაობის შემთხვევაში აჩქარება უარყოფითია.

8. თანაბარშენებულ მოძრაობაში რატომ არის აჩქარება უარყოფითი?

$$1 \quad a = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

2 ა ტოლია ვექტორის მინუს ვექტორის გაყოფა ტეზე.

9. როგორი სიდიდეა აჩქარება?

10. რა ეწოდება ისეთ მოძრაობას, რომლის დროსაც აჩქარება მუდმივია?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი:

1. მთიდან მარხილი თანაბრაჩქარებულად ეშვება და მოძრაობის დაწყებიდან 3 წამის შემდეგ მისი სიჩქარე არის 10,8 კმ/სთ. განსაზღვრეთ, როგორი აჩქარებით მოძრაობს მარხილი.

პას. $a=1$ მ/წმ².

2. 8 სმ/წმ სიჩქარით მოძრაობა სხეულმა თანაბრაჩქარებულ მოძრაობა დაიწყო; 5 წმ შემდეგ მისი სიჩქარე გახდა 50 სმ/წმ. როგორი აჩქარებით მოძრაობს სხეული?

3. ხელსაწყო 0,75 წმ ტოლი დროის შუალედებს აღრიცხავს. ბურთულა დახრილი ღარიდან დროის სამი ასეთი შუალედის განმავლობაში ჩამოვარდა და პორიზონტალურ ღარში მოძრაობის გაგრძელებისას დროის პირველი შუალედის განმავლობაში 45 სმ გაიარა. განვსაზღვროთ ბურთულის მუხის სიჩქარე დახრილი ღარის ბოლოში და მისი აჩქარება ღარში მოძრაობისას.

4. მატარებელმა მოძრაობის დაწყებიდან 2 წუთის შემდეგ მიაღწია 43,2 კმ/სთ სიჩქარეს. განსაზღვრეთ მატარებლის მოძრაობის აჩქარება მ/წთ²-ში, მ/წმ²-ში და სმ/წმ²-ში.

პას. 1296 კმ/სთ² $=360$ მ/წთ² $=0,1$ მ/წმ² $=10$ სმ/წმ².

დინამიკის ძირითადი ცნებანი

§ 19. დინამიკის საბანი

დინამიკის შესწავლის საგნის დადგენისა და შესაბამისად ამ ცნე-
წინასწარი შე- ბის განსაზღვრების მოცემის მხრივ ფიზიკისა და მექანიკის
ნიშვნები კურსების ავტორთა შორის საში ძირითადი ტენდენცია შეიმჩნევა:
ავტორთა ერთი ჯგუფი საერთოდ არ იყენებს ამ ცნებას; მეორე
ჯგუფი დინამიკის ცნებას იყენებს, მაგრამ არ იძლევა მის განსაზღვრებას; მესა-
მენი ამ ცნებას კიდევაც იყენებენ და თავისებური ინტერპრეტაციის მოქმედნასაც
ცდილობენ.

თუ გადავხედავთ დინამიკის შესახებ მესამე ჯგუფის ავტორთა თვალსაზ-
რისს, ადვილად შევნიშნავთ, რომ აზრთა მნიშვნელოვანი სხვადასხვაობაა. ორი-
რის აზრით, „დინამიკა შეისწავლის მატერიალურ სხეულთა ურთიერთქმედების
ზოგად კანონებს“ [111, გვ. 62]; ი. მირცხულავე წერს: „დინამიკა სწავლობს მა-
ტერიალური წერტილებისაგან შემდგარი სისტემის მოძრაობას და ამ მოძრაობის
გამომწვევე მიზეზებს“ [22, გვ. 52]; სახაროვი და ბლუდოვი დინამიკას შემდეგ-
ნაირად განმარტავენ: „დინამიკა, ან სწავლება იმ მიზეზებზე, რომელთა
დროს ადგილი აქვს ამა თუ იმ მოძრაობას“ [125, გვ. 38]. არცბაშევის „ფიზი-
კაში“ ვკითხულობთ: „დინამიკის ამოცანაა დაამყაროს კავშირი სხეულის
მოძრაობასა და იმ მიზეზებს შორის, რომლებიც ამ მოძრაობას იწვევს“ [2, გვ.
13]. ასეთივე აზრს გამოთქვამს სტრელკოვი თავის „მექანიკაში“ [130, გვ. 46].
არხანგელსკი დინამიკის შესახებ წერს: „დინამიკა მატერიალურ სხეულთა მოძ-
რაობას შეისწავლის როგორც მათ შორის ურთიერთქმედების შედეგს“ [44, გვ.
45]. ავტორთა უმრავლესობა დინამიკას განმარტავს, როგორც მექანიკის იმ ნა-
წილს, რომელიც სხეულის მოძრაობის კანონებს შეისწავლის მოძრაობის გამომ-
წვევე ძალებთან დამოკიდებულებაში.

დინამიკის შესწავლის საგნის დადგენისა და შესაბამისი განმარტების მო-
ცემისათვის ზემოთ მოტანილ ამონაწერთა გაანალიზებისას პირველ რიგში სა-
ჭიროა ვუპასუხოთ კითხვას: რის მოძრაობის კანონებს შეისწავლის ფიზიკა —
მატერიალურ წერტილთა თუ მატერიალურ სხეულთა? რამდენადაც მატერია-
ლური წერტილის ცნება თვით არის შემოტანილი მატერიალურ სხეულთა მოძ-
რაობის კანონზომიერებათა შესასწავლად, ამ კითხვის პასუხი ნათელია: დინა-
მიკის მიზანია შეისწავლოს მატერიალურ სხეულთა მოძრაობის კანონები.

მომდევნო კითხვები, რომლებსაც ზემოთ დასახული მიზნის მისაღწევად, პასუხი უნდა გაეცეს, შემდეგია: „რა არის მოძრაობის მიზეზი? რა არის ძალა? რა იგულისხმება ურთიერთქმედებაში?“

წინამდებარე ნაშრომის მესამე თავში „მოძრაობის მიზეზის პრობლემის“ განხილვის დროს ნათლად იყო გარკვეული, რომ მოძრაობის მიზეზად ან თვითონ მოძრაობა უნდა მივიჩნიოთ, ან რაღაც არამატერიალური არსება. ასევე ნაჩვენები იყო, რომ ურთიერთქმედებასა და ძალებში უნდა ვიგულისხმოთ ან მატერიის მოძრაობის ფორმათა გამოვლინება აღებული სხეულის მიმართ ან რაღაც არამატერიალური მიზეზი. რადგან არამატერიალური მიზეზების არსებობის დაშვება მეცნიერული თეალსაზრისით გაუმართლებელია, მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან გამომდინარე, მოძრაობის მიზეზად სხვა არაფერი შეიძლება მივიჩნიოთ, თუ არა თვით მოძრაობა. ბუნებაში მოძრაობის შექმნა კი არ ხდება, არამედ მიმდინარეობს მოძრაობის გადაცემა ერთი სხეულიდან მეორეზე ან მოძრაობის ერთი ფორმის გარდაქმნა მეორე ფორმად. ამრიგად, მოძრაობის მიზეზი ძალა კი არ არის, არამედ ძალა გამოხატავს მხოლოდ მოძრაობის გადაცემა-გარდაქმნის ერთ გარკვეულ მხარეს, ხოლო სხეულთა ურთიერთქმედებაში სხვა არაფერი შეიძლება ვიგულისხმოთ, თუ არა მექანიკური ან მოძრაობის სხვა რომელიმე ფორმის გამოვლინება, აღებული სხეულის ან სხეულების მიმართ, რასაც თან ახლავს მოძრაობის ხასიათის ცვლილება. დინამიკის შესწავლის საგანია იმ გარემოებათა გაცნობიერება, რომლებიც განაპირობებენ სხეულთა მოძრაობას და მათ ცვლილებას. დასახული მიზნის მიღწევისათვის დინამიკა ევრდნობა გარკვეულ ცნებებსა და კანონზომიერებას.

მისთვის დამახასიათებელი არსებითი ნიშნებიდან გამომდინარე, დინამიკა შეიძლება განიპარტოს შემდეგნაირად: დინამიკა ეწოდება მექანიკის იმ ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხვა დასხვა ხასიათის მოძრაობის გამაპირობებელ ფაქტორებს მათი დამახასიათებელი ცნებებითა და კანონზომიერებებით.

ამ თემის შესწავლის დროს სწავლების პროცესი შეიძლება წარემართოთ შემდეგნაირად:

კინემატიკის შესწავლისას ჩვენ განვიხილეთ შემდეგი სახის მოძრაობანი: თანაბარწრფივი, ცვალებადი, თანაბარაჩქარებულ და თანაბარშენელებული მოძრაობა. მოვიხსენიეთ აგრეთვე მრუდწრფივი მოძრაობა. მოძრაობათა ამ სახეების შესწავლის დროს პასუხი არ გაგვიცია კითხვებზე:

ა) რით არის გაპირობებული თანაბარი და წრფივი მოძრაობა?

ბ) რა იწვევს სხეულის აჩქარებულ ან შენელებულ მოძრაობას?

გ) რაზეა დამოკიდებული სხეულის აჩქარების სიდიდე? და სხვ.

ამ კითხვებზე პასუხის გაცემის თეალსაზრისით მოძრაობის ბუნებას შეისწავლის მექანიკის ის ნაწილი, რომელსაც დინამიკა ეწოდება.

დინამიკის სახელწოდება წარმოიშვა ბერძნული სიტყვიდან „დინამის“ (dynamis), რაც ქართულად ძალას ნიშნავს. ხოლო დი-

ნამიკის ცნება შემდეგნაირად განიმარტება: დინამიკა ეწოდება მექანიკის იმ ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობის გამაპირობებელ ფაქტორებს მათი დამახასიათებელი ცნებებითა და კანონზომიერებებით.

1. რა თვალსაზრისით შეისწავლის დინამიკა მოძრაობის ბუნებას?

2. როგორ განიმარტება დინამიკა?

სხვადასხვა ხასიათის მოძრაობის ბუნების შეცნობისათვის დინამიკა ეყრდნობა სამ ძირითად კანონს, რომელთაც ეწოდებათ მოძრაობის ან დინამიკის კანონები. სამივე კანონს თანმიმდევრობით შევისწავლით ამ თავში.

მოძრაობის კანონების აღმოჩენასა და ჩამოყალიბებაში დიდი წვლილი მიუძღვის გენიალურ ინგლისელ ფიზიკოსს ისააკ ნიუტონს. ამიტომ ამ კანონებს ხშირად უწოდებენ ნიუტონის კანონებს მოძრაობისათვის.

კინემატიკის შემდეგ მოძრაობის ბუნების ამსახველი კანონების შესწავლა საშუალებას მოგვცემს უფრო ღრმად შევიცნოთ, როგორ მიმდინარეობს მოძრაობა ბუნებაში. ამას კი დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც ბუნების მოვლენების შეცნობისათვის, ისე ბუნების გარდაქმნისა და ადამიანის სამსახურში მისი ჩაყენებისათვის.

3. რატომ უწოდებენ დინამიკის კანონებს ნიუტონის კანონებს მოძრაობისათვის?

4. რა მნიშვნელობა აქვს დინამიკის შესწავლას?

§ 20. მოძრაობის პირველი კანონი

იმ მოვლენის ასახსნელად, თუ რატომ განაგრძობს გასროლილი წინასწარი შე- სხეული მოძრაობას, სწორი თვალსაზრისის ჩანასახები შეიძლე- ნიშვნები ბა შევნიშნოთ დემოკრიტესა და სხვა ბერძენი მატერიალისტი ფილოსოფოსების მოსაზრებებში. მაგრამ გალილეო გალილეიმ-

დე ამ მოვლენის ახსნაში გაბატონებული იყო მცდარი შეხედულება, რომელიც თვლიდა, თუ სხეული მოძრაობს, მასზე უნდა მოქმედებდეს რაღაც ძალაო. როცა ამ მცდარ მოსაზრებას აკრიტიკებდა, გალილეი მივიდა სრულიად საპირისპირო დასკვნამდე. იგი „დილოგის“ [61] მთელი „მეორე დღის“ განმავლობაში სხვა დებულებებთან ერთად თავგამოდებით ამტკიცებს, რომ მოძრაე სხეულზე არათუ მოქმედებს, არამედ, პირიქით, თუ არ იმოქმედებს რაიმე ძალა, მაშინ არ იარსებებს მიზეზი, რომელმაც შეიძლება შეცვალოს მატერიალური სხეულის წრფივი და თანაბარი მოძრაობა და ამიტომ იგი დაუსრულებლად გააგრძელებს თანაბარ და წრფივ მოძრაობას. მოძრაობის ბუნების შესახებ ამ შეხედულებამ შემდგომი განვითარება კპოვა დეკარტესა და სხვა მეცნიერთა ნაშრომებში, ხო-

ლო მას შემდეგ, რაც ნიუტონმა ის დინამიკის პირველ კანონად გამოაცხადა, შეიქმნა აზრი, რომ იგი ობიექტურ კანონზომიერებათა რიგს ეკუთვნის. ამ კანონის შესახებ ამჟამად ასეთივე აზრი აქვს ყველა მეცნიერს, რომელიც აღიარებს, რომ მატერიალური სამყარო ნამდვილად არსებობს, მასში მიმდინარე პროცესები გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილებიან, აღმოჩენილი და დადგენილი კანონები მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების დონის შესაბამისად საკმაოდ ზუსტად ასახავენ მოვლენათა განვითარების არსს და ამ კანონებს ობიექტური ღირებულება აქვთ.

ორირი ამ კანონს თელის „ყოველივე გარემომცველის ყველაზე ზოგად აღწერად“ [111, გვ. 60]. მატერიალურ სხეულთა როგორც ინერციულობის, ისე ურთიერთქმედების გამაპირობებელ მიზეზად ორირი მიიჩნევს იმ „თვისებას“, რომ მატერიალურ სხეულებს აქვთ ინერციული მასა. ამ კანონს იგი ჭერ სიტყვიერად, ხოლო შემდეგ მათემატიკურად შემდგენიარად აყალიბებს: თავმინებებული სხეული (თუ მასზე არ მოქმედებს გარეგანი ძალა) ინარჩუნებს უძრავობის ან თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას ნულოვანი აჩქარებით $\ddot{u}=0$ თუ $\vec{F}=0$.

განსახილველ საკითხებთან დაკავშირებით, სრულიად ანალოგიურ მოსახრებებს ვხვდებით ფეინმანისეულ ლექციებში. ყურადღების ღირსია ფეინმანის შენიშვნა იმის თაობაზე, რომ, რახან საგნები ურთიერთქმედებაში არიან, ბუნებაში ინერციულ მოძრაობას არ შეიძლება ჰქონდეს ადგილი. იგი ინერციული მოძრაობის შესახებ ლაკონურად შენიშნავს: „რასაკვირველია, ბუნებაში ასეთი რამე არ შეიძლება იყოს“ [140, გვ. 157].

ინერციის კანონის ორიგინალურ ფორმულირებას იძლევა როსელი: „სხეული მოძრაობს თანაბრად და წრფივად, თუ მასზე არაერთი ძალეები არ მოქმედებენ“ [123, გვ. 72]. ამ კანონის ასეთნაირი ჩამოყალიბება არ არის სწორი იმ მხრივ, რომ თანაბრად და სწორხაზოვნად შეიძლება იმოძრაოს ისეთმა სხეულმა, რომელზეც მოქმედებენ ძალები, კერძოდ, როცა მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. მაგრამ მოტანილი ამონაწერიდან ჩვენთვის საინტერესოა არა ეს მცდარი მხარე, არამედ ის, რომ როსელმა ინერციის კანონიდან ამოიღო „უძრავობა“. ფიზიკა, რომელიც აღიარებს, რომ სამყაროში არ არის და არც შეიძლება არსებობდეს უძრავობაში (აბსოლუტურ უძრავობაში) მყოფი სხეული და უძრავობა, რომელზეც ლაპარაკია პრაქტიკაში, — ეს არის მხოლოდ ერთი სხეულის ფარდობითი უძრავობა მეორის მიმართ; ინერციის კანონიდან, ისე როგორც როსელი აკეთებს, ან, საერთოდ, უნდა ამოვიღოთ სიტყვა „უძრავობა“, ან ვილაპარაკოთ მხოლოდ ფარდობით უძრავობაზე.

როსელი, ორირის მსგავსად, თელის, რომ ინერციის თვისება გააჩნია მასას, რომელიც მატერიალურ სხეულებს აქვთ და ეს იმაში მდგომარეობს, „რომ იგი წინააღმდეგობას უწევს მისი მოძრაობის მდგომარეობის შეცვლას“ [120, გვ. 93].

საბჭოთა ფიზიკურ ლიტერატურაში ინერციის კანონი მეტწილად ფორმულირებულია იმ სახით, როგორც ნიუტონმა მოგვცა თავის „საწყისებში“. რაც შეეხება მისი სამართლიანობის დასაბუთებას, აქ ორი ძირითადი მიმართულება შეიმჩნევა.

ავტორთა ერთი ჯგუფი მიუთითებს, რაც უფრო მეტად გამოვრიცხავენ წინააღმდეგობას სხეულის მოძრაობის გზაზე, სხეული მიღებული სიჩქარით მით უფრო დიდხანს განაგრძობს თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას და აქედან გამომდინარე ასკენის: თუ ადგილი არ ექნება სხეულზე რაიმე გარეგან ქმედებას, მაშინ იგი მიღებული სიჩქარით დაუსრულებლად განაგრძობს თანაბარ და

წრფივ მოძრაობას. ოღონდ რადგან მატერიალურ სამყაროში არ შეიძლება ასეთი იდეალური პირობების პრაქტიკული განხორციელება, ზოგნი ფიქრობენ, რომ ზემოთ მითითებული მსჯელობა არ შეიძლება ჩაითვალოს ინერციის კანონის სრულფასოვან დასაბუთებად.

ავტორთა მეორე ჯგუფი ინერციის კანონის დასაბუთებლად იმ ფაქტზე მიუთითებს, რომ ყველა გაანგარიშება, რომლებიც ციურ ან ლედამიწიდან გატყორცნილ სხეულთა მოძრაობას ეხება, ინერციის კანონზე დაყრდნობით წარმოებს და რადგან მიღებული შედეგები ყოველთვის სწორია (ცდომილებანი გაპირობებულია სხვა ფაქტორების გაუთვალისწინებლობით), ინერციის კანონის სამართლიანობაში არ შეიძლება ეჭვი შევიტანოთ.

IX კლასში უმჯობესია მივეცეთ მოძრაობის პირველი კანონის შემდეგი ფორმულირება: ყოველი სხეული, მასზე სხვა სხეულის მოქმედებამდე, ინარჩუნებს ფარდობით უძრაობას ან წრფივ ღათანაბარ მოძრაობას. მისი სამართლიანობის დასაბუთებლად უნდა გამოვიყენოთ ზემოთ მითითებული რაგორც პირველი, ისე მეორე გზა. მართალია, პირველ ერთგვარი ნაკლოვანება ახსიათებს, მაგრამ IX კლასში ამ გზით მაინც ყველაზე უკეთ შეიძლება გაეაცნობიეროთ ინერციის კანონის ნამდვილი შინაარსი.

მოსწავლეთა შეგნებაში მეცნიერული მსოფლმხედველობის თანდათანობით გამომუშავების ინტერესები მოითხოვს მოძრაობის პირველი კანონის შესწავლის-თანავე შევუდგეთ შემდეგი ძირითადი შეხედულებების ფორმირებას: 1. ის, რაც მოძრაობს, მატერიალურია; 2. მოძრაობა შეუქმნადი და მოუსპობადია, იგი გადაეცემა ერთი სხეულიდან მეორეს; 3. მოძრაობის გადაცემის პროცესში საქმე გაქვს მიზეზობრივ კავშირთან.

შესასწაველი მასალა შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად საკითხად: 1. ფარდობითი უძრაობის ინერცია; 2. მოძრაობის ინერცია და ინერციის კანონის ჩამოყალიბება; 3. ინერცია ცხოვრებასა და ტექნიკაში.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარემართოთ შემდეგნაირად:

გაიხსენეთ ბურთი, წიგნი, სამელნე, ცარცი, მერხი და ფარდობითი სხვა საგნები, რომლებიც ფარდობით უძრაობაში იმუძრაობის ყოფებიან, ამოძრავდებიან თუ არა თავისთავად?
ინერცია რაგორც დაკვირვება გვიჩვენებს, უძრაობაში მყოფი საგნები თავისთავად .1.

რა მოხდება, თუ უძრაობაში მყოფ საგანს დაეჯახა სხვა მოძრავე საგანი?

უძრაობაში მყოფ საგანს თუ დაეჯახა რომელიმე მოძრავი საგანი, იგი .2.

იმ ფაქტს, რომ სხეულები ინარჩუნებენ ფარდობითი უძრაობის მდგომარეობას, უძრაობის ინერცია ეწოდება.

1 არ ამოძრავდებიან.

2 ამოძრავდება.

უძრავობის ინერცია იმაზე მიუთითებს, რომ მოძრაობა არ შეიძლება შეიქმნას თავისთავად. სხეული შეიძლება ამოძრავდეს მხოლოდ მაშინ, თუ მას რომელიმე მოძრავმა სხეულმა გადასცა თავისი მოძრაობა.

1. რას ეწოდება უძრავობის ინერცია?
2. რაზე მიუთითებს უძრავობის ინერცია?

დაკვირვება გვიჩვენებს აგრეთვე, რომ ბურ-
მოძრაობის ინერცია და **თი, ბადრო, ტყვია, ყუმბარა, ისარი და სხვა**
ინერციის კანონის ჩამო- **სხეული** გასროლის შემდეგ განაგრძობს მო-
ყალიბება **ძრაობას.** ამ მოვლენის ასახსნელად XVII სა-

უკუნემდე გავრცელებული იყო მცდარი შე-
 ხედულება. ზოგი ფიქრობდა, გასროლილი სხეული იმიტომ განაგ-
 რძობს მოძრაობას, რომ მასზე განუწყვეტლივ მოქმედებს რაღაც
 უხილავი ძალაო.

ეს მცდარი შეხედულება სათანადო გამოკვლევებით უარყვეს
 დეკარტემ, გალილეიმ, ნიუტონმა და სხვა მეცნიერებმა.

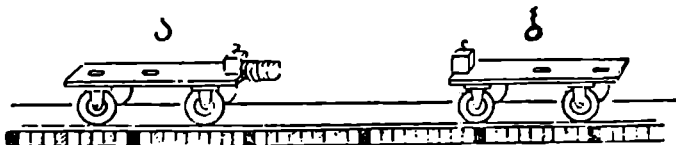
3. როგორ ხსნიდნენ XVII საუკუნემდე გასროლილი სხეულის
 მოძრაობას და როგორი იყო ეს ახსნა?

გასროლილი სხეულის მოძრაობის ნამდვილი ბუნება შეიძლება
 შევიცნოთ შემდეგი დაკვირვებისა და მსჯელობათა საფუძველზე.

გამოცდილებიდან ვიცით, რომ ჰორიზონტალურმიწოდვრიან ზე-
 დაპირზე გაგორებული ბურთი მალე ჩერდება, ხოლო მოასფალტე-
 ბულ ან სხვა სახის გლუვ ზედაპირზე, სადაც შემცირებულია წინა-
 აღმდეგობა, მნიშვნელოვნად მეტ მანძილს გაივლის. იბადება კით-
 ხვა: როგორ იმოძრავებს ბურთი, თუ გამოვრიცხავთ ყოველგვარ
 წინააღმდეგობას?¹

მაშ, სხეული, ვიდრე მასზე არ იმოქმედებს სხვა რომელიმე
 სხეული, ინარჩუნებს თანაბარ და წრფივ მოძრაობას.

სხეულის მიერ მასზე სხვა სხეულის მოქმე-
 დება მდე წრფივი და თანაბარი მოძრაობის შე-
 ნარჩუნებას მოძრაობის ინერცია ეწოდება.



ნახ. 10

¹ ცხადია, თუ არ იქნება რაიმე მიზეზი, რომელაც შეცვლის სხეულის სიჩქარის სიდიდეს ან მიმართულებას, მაშინ იგი უცვლელი სიჩქარით დაუსრულებლად განაგრძობს მოძრაობას.

მოდრაობის ინერცია იმაზე მიუთითებს, რომ მოძრაობა არ შეიძლება მოისპოს, იგი შეიძლება მხოლოდ გადაეცეს ერთი სხეულიდან მეორეს.

შართლაც: ა ურიკა (ნახ. 10) განაგრძობს თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას ბ ურიკაზე დაჯახებამდე. დაჯახების შემდეგ ე. ი. როცა ა ურიკის მოძრაობა გამოვლინდება ბ ურიკის მიმართ, იგი ჩერდება. სამაგიეროდ მოძრაობას იწყებს ბ ურიკა, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ა ურიკის მოძრაობა კი არ იკარგება, არამედ გადაეცემა ბ ურიკას.

5. რას ეწოდება მოძრაობის ინერცია?

6. რაზე მიუთითებს მოძრაობის ინერცია?

ამ დაკვირვებებისა და მსჯელობის საფუძველზე შეიძლება ჩამოაყალიბოთ კანონი:

ყოველი სხეული მასზე სხვა სხეულის მოქმედებამდე ინარჩუნებს ფარდობით უძრაობას ან წრფივ და თანაბარ მოძრაობას.

ამ კანონს მოძრაობის პირველი კანონი ეწოდება, იგი მოიხსენიება აგრეთვე ნიუტონის პირველი კანონის ან ინერციის კანონის სახელწოდებით.

6. როგორ გამოიქმის მოძრაობის პირველი კანონი?

ინერცია ლათინური სიტყვაა და ქართულად ნიშნავს „უმოქმედობას“. მექანიკაში ინერციის ცნებაში იგულისხმება სხეულის ფარდობითი უძრაობის ან წრფივი და თანაბარი მოძრაობის შენარჩუნება.

ინერციულობა მატერიის ერთ-ერთი განუყრელი თვისებაა. რა პირობებში და სადაც არ უნდა იყოს მატერია, იგი ინერციულია. ე. ი. უმიზეზოდ არ შეიცვლის სიჩქარეს ან ფარდობითი უძრაობის მდგომარეობას.

8. რა არის მატერიის ერთ-ერთი განუყრელი თვისება?

9. როგორ იმოძრაებდა გატყორცნილი ისარი, გასროლილი ტყვია ან ყუმბარა და, საერთოდ, ნებისმიერი გატყორცნილი სხეული, თუ მასზე არ იმოქმედებდა დედამიწის ან სხვა სხეულების მიზიდულობა, პაერისა და სხვა შემხედარი საგნების წინააღმდეგობა?

შეარჩიეთ, რომელია სწორი პასუხი.

ა) გაივლის დიდ მანძილს და შემდეგ დაეცემა დედამიწას!

1 არ არის სწორი. პირობის მიხედვით, მათ დედამიწა არ იზიდავს.

ბ) დაეჯახება მზეს ან მთვარეს!

გ) სამყაროს სიერეში დაესრულებლად განავრძობს წრფე და თანაბარ მოძრაობას².

სწეულის წრფივ და თანაბარ მოძრაობას, როცა მასზე არ მოქმედებენ სხვა სწეულები, ინერციული მოძრაობა ეწოდება.

10. როგორ შეიძლება ჩამოვყალიბოთ ინერციული მოძრაობის პირობა?

ინერცია ცხოვრებასა და ტექნიკაში ინერცია რომ არ იყოს, ვერ გავისროდით თოფი-დან ტყვიას, ან ქვემეხიდან ყუმბარას, ვერ გადავცემდით ბურთს მანძილზე; ვერ გადავხტებოდით ვერც სიგარძეზე და ვერც სიმაღლეზე და ა. შ.

მეორე მხრივ, თუ მხედველობაში არ მივიღეთ ის გარემოება, რომ ინერციის გამო მოძრავი ავტომანქანა, ტრამვაი, მატარებელი, გემი, თვითმფრინავი. ცხენი, ადამიანი და სხვა სხეული უეცრად ვერ გაჩერდება და ამავე დროს თუ წინასწარ არ განვსაზღვრეთ შეჩერების დაწყების მომენტი, გარდუვალთ ავარია.

ამგვარად, ინერციის მოვლენა, ისე როგორც ყველა სხვა მოვლენა, ზოგ შემთხვევაში სასარგებლოა, ზოგ შემთხვევაში კი საზიანო.

ინერციის კანონის აღმოჩენამდე (XVII ს.) ადამიანმა ალლოთი შეიძინო და გამოიყენა ინერცია, შემდეგ კი შეგნებულად. გააზრებულად იყენებს მას როგორც სხვადასხვა მანქანა-იარაღების, დანადგარებისა და ნაგებობების შექმნისათვის, ისე სხვადასხვა მეცნიერული კვლევა-ძიების დროს. ნიუტონმა ამ კანონის დახმარებით ახსნა მზის გარშემო პლანეტების ბრუნვის კანონზომიერებანი.

11. ჩამოთვალეთ ცხოვრებასა და ტექნიკაში მოძრაობის ინერციის გამოყენების მაგალითები.

12. მიუთითეთ მოძრაობის ინერციის საზიანო გამოვლინებებს მაგალითებზე და დაახსიანეთ, რა საშიშროებაა მოსალოდნელი, თუ ისინი არ გაითვალისწინა ადამიანმა.

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი:

1. რატომ იკრებენ სიჩქარეს მძღოლსნები სიგარძესა და სიმაღლეზე გადაატომის წინ?

2. გაიხსენეთ, რა მიმართულებით გადაიხრებით ტრანსპორტის: ა) სწრაფად ამოძრაობის დროს; ბ) სწრაფად გაჩერების დროს; გ) მოხვევის შემთხვევაში;

¹ არა. პირობის მიხედვით, მზე და მთვარე მათ არ იზიდავთ და არც ხელს უშლიან მოძრაობაში.

² პასუხი სწორია.

ახსენით ეს მოვლენები: ათვლის სისტემა დაუკავშირეთ ტრანსპორტის იმ სახეობას (ავტომანქანას, ტრამვაის...), რომლის მიმართაც ამ ამოცანას იხილავთ.

3. რატომ გამოჰყავს ორთქლის მანქანის ღვეში მკედარი წერტილებიდან ლილვზე ჩამოცმულ მასიურ მქნევარა ბორბალს?

4. რატომ არ შეიძლება ქუჩაში გადავიდეთ ახლოს მოძრავი ავტომანქანის წინ? შეუძლია თუ არა მძღოლს მანქანის ერთბაშად გაჩერება?

5. რატომ არის, რომ მოშვებული ჩაქუჩი ან ნაჯახი მკიდროდ დაერგება ტარზე, როცა ტარის თავისუფალ ბოლოს რაიმე მყარ საგანზე ვარტყამთ?

6. რატომ არის, რომ ციხეში მხედარი სწრაფად მორბენალ ცხენზე ახტომის შემდეგ მოხედება უნაგირის იმავე ადგილზე?

7. ახსენით, რატომ არის, რომ თუ ფეხებს მყარ საგანზე დაჰკრავთ, ფეხსაცმლიდან თოვლი ან ტალახი მოგშორდებათ?

8. რა იწვევს თავბრუსხვევას ლიფტის უეცარი ამოძრავების ან გაჩერების დროს?

§ 21. მასბ.

ინერციის თვისება ჩვენ მიეწერეთ „სხეულებს“, მაგრამ მეცნიერ-
წინასწარი რებაში განიხილავენ სხვადასხვა ბუნების სხეულებს. ისე როგორც
შენიშვნები გეომეტრიულ წერტილსა და მატერიალურ წერტილს, არჩევენ გეო-
მეტრიულ სხეულებსა და ფიზიკურ, ნივთიერ ან, უფრო ზუსტად
რომ ვთქვათ, მატერიალურ სხეულებს. ინერციის თვისება, ცხადია, არ შეიძლე-
ბა მიეწეროს გეომეტრიულ სხეულებს, იგი მხოლოდ მატერიალური სხეულების-
თვისაა დამახასიათებელი, რის მიზეზიც სხეულის მატერიალობაში უნდა ვეძე-
ბოთ. რაც უფრო მეტია აღებულ სხეულში მატერიის რაოდენობა, მით უფრო
დიდი იქნება მისი ინერციის სიდიდე. რასაკვირველია, მხედველობაში უნდა მი-
ვიღოთ სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობის როგორც შინაგანი მდგო-
მარეობა, ისე ფარდობითი მოძრაობა და კავშირი მატერიალურ გარემოსთან.

სხეულში მატერიის რაოდენობას ნიუტონმა მასა უწოდა და თავის ფუნდა-
მენტურ ნაშრომში „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები“
საჭიროდ მიიჩნია პირველ განსაზღვრავშივე გაეტარებინა ეს აზრი მასის შესახებ:
„განსაზღვრა I. მატერიის რაოდენობა (მასა) არის ისეთი ზომა, რომელიც ღვინ-
დება მისი სიმკვრივისა და მოცულობის პროპორციულად“ [109, გვ. 23].

მასის ნიუტონისეული განმარტების წინააღმდეგ გამოდიან იდეალისტური
მიმდინარეობის წარმომადგენლები. ე. მახი „მექანიკაში“ აკრიტიკებს ნიუტონის
მატერიალისტურ შეხედულებებს და წერს: „პირველ ყოვლისა, ჩვენ ვერ ვხე-
დავთ „მატერიის რაოდენობაში“ ისეთ წარმოდგენას, რომელსაც უნარი შესწევს
ახსნას და ილუსტრაცია უყოს მასის ცნებას, ვინაიდან იგი თვითონ არ შეიცავს
საკმაო სიცხადეს“ [98, გვ. 181].

მახი ცდილობს შექმნას შეხედულება „არამატერიალური მოძრაობის“ შე-
სახებ და უარყოფს მასის, როგორც მატერიის, რაოდენობის გაგებას და ამ
„არამატერიალურ მასას“ განიხილავს როგორც უბრალო ფორმალური პროპორ-
ციულობის კოეფიციენტი: ნიუტონის მეორე კანონში.

მასის, როგორც მატერიის რაოდენობის, გაგება სრულებით არ მოსწონს
ენერგეტიკის მამამთავრს ე. ოსტვალდს. იგი მოითხოვს, მასა განიმარტოს,
როგორც „ენერჯიის ტევადობა“ [113, გვ. 207—208].

როგორც მე-8 პარაგრაფში იყო მითითებული, ოსტვალდი ენერჯიაში გუ-
ლისხმობს „არამატერიალურ სუბსტანციას“, მოძრაობის ისეთ „მიზებს, რო-

მელიც თავის თავში არ შეიცავს მატერიას“. ოსტეალდს არავითარი მეცნიერული საბუთი არ მოუტანია თავისი მოსაზრების დასადასტურებლად, კიდევ მეტი, იმ კითხვაზეც არ გაუცია პასუხი, თუ მასა რომელი სახის ენერჯის (კინეტიკური, პოტენციური, ქიმიური და სხვა) ტევალობაა. თუ ენერჯის ცნების შინაარსს სწორად გავიგებთ და გაიხსენებთ, რომ ყოველი მატერიალური სხეულის მასა — მატერიის რაოდენობა თავისთავში შეიცავს მატერიის სხვადასხვა სახეს შესაბამისი მოძრაობის ფორმებით. რომელთაც აქვთ უნარი ანუ ენერჯია გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნან მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმებში, ცხადია, ამ თვალსაზრისით შეიძლება ვთქვათ, რომ სხეულის მასა შეიცავს ენერჯიას, მაგრამ მასის გაიგივება ენერჯიასთან, მით უმეტეს, რაღაც „არამატერიალურ სუბსტანცია-ენერჯიასთან“, არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება ჩაითვალოს მართებულად.

რამდენადაც დინამიკის ძირითადი ამოცანაა ახსნას მოძრაობის ბუნება, ხოლო დადასტურებულია, რომ მოძრავე სხეული მასზე სხვა სხეულის მოქმედებამდე უცვლელად ინარჩუნებს მიღებულ სიჩქარეს და ამის მიზეზი არ არის რაღაც არამატერიალური ძალის მოქმედება, ცხადია, მისი მიზეზი თვით სხეულში, მის მატერიალობაში უნდა ვეძებოთ. ამგვარად, დინამიკის უპირველესი ამოცანა თავის მოძღვრებაში ასახოს ის ფაქტი, რომ ინერციის მიზეზი სხეულის მატერიალობაშია. მასის ნიუტონისეული გაგება სწორედ ამ მიზანს ემსახურება და ამიტომ მიგვაჩნია, რომ იგი მეცნიერულად უველანე გამართლებულია.

ბუნებრივია, მასის ნიუტონისეულ გაგებას თან ახლავს ეპოქის განვითარების დონისათვის დამახასიათებელი ნაკლოვანებანი. პირველ რიგში აღსანიშნავია ის, რომ სხეულში თავმოყრილი მატერია, ნიუტონის აზრით, იმყოფება „სივცარიელში“, ეს კი ნიშნავს კარგილი სივრცის არსებობის დაშვებას და მატერიის გარკვეული რაოდენობის მოწყვეტას გარეგანი მატერიალური სამყაროსაგან: მეორე, ნიუტონი იცნობდა მატერიის მოძრაობის მხოლოდ ერთ — მექანიკურ ფორმას, მარტო მექანიკური მოძრაობით კი შეუძლებელია ახსნა მატერიალურ სხეულთა შორის კავშირი და სწორედ ამიტომ ვახდა ნიუტონი იძულებული განეცხადებინა: „მიზიდულობის ძალის ამ თვისებათა მიზეზი მე დღემდე ვერ შევძელი გამოვეყვანა მოვლენებიდან...“ [109, გვ. 662]; მესამე, ნიუტონისათვის უცნობი იყო მატერიის მოძრაობის ის ფორმები, რომლებთანაც საქმე გვაქვს თვით სხეულის შიგნით; მეოთხე, ნიუტონის ეპოქაში არ იყო აღმოჩენილი ის ფაქტი, რომ სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობა განუწყვეტელივ ასხივებს და შთანთქავს მატერიის სხვადასხვა სახეს და, ამგვარად, საქმე გვაქვს სხეულში მატერიის რაოდენობის განუწყვეტელ ცვლილებასთან; მეხუთე, იმ დროს უცნობი იყო ისიც, რომ სხეულის ფარდობითი სიჩქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლება სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობის — მასის კავშირი გარეშე მატერიალურ სამყაროსთან და ა. შ.

ნიუტონის ზემოთ მოტანილი განსაზღვრება მცდარია იმ მხრივ, რომ სიმკვრივის ცნება, რომელზეც დაფუძნებულია მასის გაზომვა, წინასწარ მოითხოვს ვიცოდეთ, როგორ გაეზომოთ მასა და შევეფარდოთ იგი მოცულობას. მაგრამ ყოველგვარი გაზომვა ხომ გასაზომის რომელიმე წინასწარ არჩეულ ეტალონთან შედარებას ნიშნავს. მაშასადამე, ამ შეცდომას სრულიადაც არა აქვს ისეთი პრინციპული მნიშვნელობა, რასაც მას მიაწერენ მასის ნიუტონისეული მატერიალისტური განმარტების მოწინააღმდეგენი.

იდეალისტური მიმდინარეობის წარმომადგენლები, ბეხტლიდან და კოტსიოდან მოიკიდებულო, სარკებლობენ ნიუტონის მატერიალისტური შეხედულებების ნაკლოვანებებით და ცდილობენ ნიუტონის მოძღვრებიდან განდევნონ არა „ნაყ-

ლოჯანებანი“, არამედ ის, რაც მატერიალისტურია. იდეალიზმის საწინააღმდეგოდ-მეცნიერული მატერიალიზმის მიზანია გამოასწოროს ის ნაკლოვანებანი, რაც ნიუტონის მატერიალისტურ შეხედულებას ახასიათებდა.

მასის საკითხში ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო გაგება თავის ასახეას პოულობს როგორც ფიზიკის სახელმძღვანელოებში, ისე ფიზიკის სწავლების მეთოდ-იკაში.

მასის შესახებ ნიუტონისეული შეხედულება განვითარებულია უმაღლესი სასწავლებლებისათვის განკუთვნილ მთელ რიგ ფიზიკის კურსებში. კ. პუტილოვი წერს: „სხეულის მასის ქვეშ გულისხმობენ მატერიის რაოდენობას ამ სხეულში“ [122, გვ. 64]. მ. არხანგელსკი კი მასას ასე განმარტავს: „მასა არის მატერიის რაოდენობის ზომა“ [44, გვ. 53]. მასის შესახებ ასეთივე თვალსაზრისს გამოთქვამს ა. ნაუმოვი თავის თეორიული მექანიკის კურსში [106, გვ. 12].

მასის მახსიებურ გაგებას ვხვდებით მექანიკის ზოგიერთ კურსში, რომლის ავტორები ნიუტონის მეორე კანონში მასას განიხილავენ, როგორც პროპორციულობის კოეფიციენტს.

დინამიკის მეორე კანონის ანალიზის დროს, რომელიც ფორმულებულია

ასე $a = \frac{F}{m}$ ან $F = ma$, ერთი შეხედვით ისეთი შთაბეჭდილება გვჩნება, თითქოს

სხეულის m მასაში გვაინტერესებდეს მხოლოდ სხეულის ინერციულობის ზომა. მაგრამ თუ გავიხსენებთ დინამიკის ძირითად მიზანს — გამოიკვლიოს, რა არის სხეულის მიერ მოძრაობის შენარჩუნებისა და მისი ცვლილების მიზეზი, ცხადი გახდება, რომ ჩვენთვის საინტერესოა არა მარტო სხეულის ინერციის ზომა-სიდიდე, არამედ ის ობიექტური რეალობა, რომელიც მას განაპირობებს. ეს ობიექტური რეალობა კი, რომელიც განაპირობებს სხეულის ინერციის სიდიდეს, არის არა ამ სხეულის გეომეტრიული ფორმა, ან გეომეტრიული ზომები, არამედ ამ სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობა ანუ მასა და მისი კავშირი გარე მატერიალურ სამყაროსთან. გარდა ამისა, m მასა გვხვდება ფიზიკის სხვა ნაწილებში: გრავეიტაციაში (მასის ინერციული და გრავეიტაციული ზომები ხომ ტოლად ითვლება), სითბოში, ელექტროლოზში, აგრეთვე მედიცინასა და მეცნიერების სხვა დარგებში, სადაც საინტერესოა არა ინერციულობა ან გრავეიტაციულობა, არამედ მატერიის რაოდენობა, რომელსაც ინერციისა და გრავეიტაციული თვისების გარდა, აქვს სხვა უამრავი თვისება.

მასის როგორც მხოლოდ ინერციის ზომად გაგება დინამიკას ხელიდან აცლის შესაძლებლობას ახსნას ინერციული მოძრაობის ბუნება, რადგან მას ამ შემთხვევაში მხოლოდ იმის თქმა შეუძლია, რომ ინერციული მოძრაობის მიზეზი არის ინერციის ზომა. „წმინდა მექანიკური თვალსაზრისით“ ეს გარემოება ზოგიერთებმა დამაკმაყოფილებლადაც კი შეიძლება მიიჩნიონ, მაგრამ მექანიკას ჩვენ მექანიკისათვის კი არ ვსწავლობთ, არამედ იმისათვის, რომ იგი დავეხმაროს ბუნების შემეცნებისა და გარდაქმნის საქმეში, ამიტომ მასის ზემოაღნიშნული მახსიბურია, ან კიდევ, როგორც მხოლოდ ინერციის ზომად გაგება დამაკმაყოფილებელი არ არის. ვფიქრობთ, ამ გარემოებას ვერ ითვალისწინებენ მექანიკის ზოგიერთი კურსის ავტორები და ამიტომაც არ იზიარებენ მასის ნიუტონისეულ მატერიალისტურ განმარტებას.

მასის ცნების გაგებაში არსებული დამახინჯებანი სხვა ავტორებთან [45, 52, 53, 54, 56, 70, 89, 103, 110, 124, 132] ერთად საფუძვლიანად გააკრიტიკა ნ. სუვოროვმა სტატიაში „მასის ცნება და მისი ფორმირება საშუალო სკოლის ფიზიკის კურსში“ [131].

IX კლასის ფიზიკის სახელმძღვანელოში [28] მასის ცნების გაშუქებას ეომობა ორი პარაგრაფი, რაც მოსწავლეთა განტეირთვის თვალსაზრისით არ შეიძლება დადებით მოვლენად ჩაითვალოს, მაგრამ ეს ნაკლი სრულიად უმნიშვნელოა იმ წინააღმდეგობასთან შედარებით, რომელიც ამ პარაგრაფებს ახასიათებს. 48-ე პარაგრაფში მასა განმარტებულია როგორც ნივთიერების რაოდენობა სხეულში, ხოლო 50-ე პარაგრაფში მასის შესახებ ვატიარებულია აზრი: „მასა — სხეულის ინერციის ზომაა“. ავტორი ვერ ამჩნევს, რომ მისი განმარტებანი ერთმანეთს ეწინააღმდეგება. თუ მასა სხეულში არსებული ნივთიერების რაოდენობა, ე. ი. მატერიის რაოდენობა (პირველ პარაგრაფში ნივთიერება განმარტებულია, როგორც მატერიის ერთ-ერთი სახე), მას, გარდა ინერციისა, სხვა მრავალი თვისებაც აქვს და, მასასადამე, არ შეიძლება მატერიის გაიგეება მის ერთ-ერთ თვისებასთან.

გაუმართლებლად უნდა ჩაითვალოს ისიც, რომ ინერციის ცნების თვისებრივი და რაოდენობრივი მხარის გაშუქება მოწყვეტილია ერთმანეთისაგან (პირველი განხილულია 30-ე პარაგრაფში, ხოლო მეორე — 50-ე პარაგრაფში).

მეთოდურ ლიტერატურაში მატერიალისტური ხაზის დამკველები გამოდიან იმ მოსაზრებიდან, რომ ნივთიერება მატერიის ერთ-ერთი სახეა და მასას განმარტავენ როგორც ნივთიერების რაოდენობას სხეულში. მასის ამ მატერიალისტური გაგების წინააღმდეგ გამოვიდა დ. ვალანინი [60, გვ. 33—34]. რომლის სტატიაში ფართო გამოხმაურება პოვა ფიზიკის მეთოდისტთა და მასწავლებელთა შორის. საპასუხოდ რამდენიმე სტატია გამოქვეყნდა ეურნალ „ფიზიკა ეშკოლეს“ ფურცლებზე, ამთგან ყველაზე საგულისმბოა, ნ. სუვოროვის ზემოხსენებული სტატია [131]. ავტორთა დიდი უმრავლესობა მასის არამატერიალისტური გაგების წინააღმდეგია. მათ დამაჯერებლად აჩვენეს ვალანინის მოსაზრებათა მცდარობა და განუითარეს ის შეხედულება, რომ მასის, როგორც ნივთიერების გაგება, მეცნიერულად უფრო სწორია და მისი სწავლება მეექვსე კლასიდანვე ყველაზე მისაწვდომი და გამართლებულია.

რამდენადაც მასა გააჩნა ველსაიც, რომელიც ფიზიკაში არ განიხილება როგორც ნივთიერება, უმჯობესია მასა გაგებულ იქნეს, როგორც მატერიის რაოდენობა სხეულში.

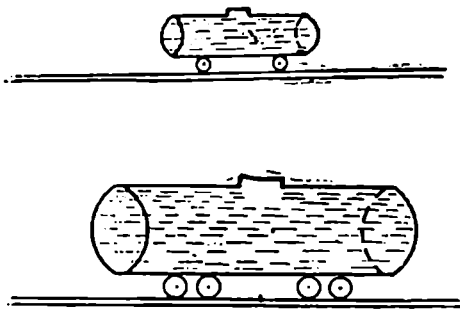
ამ თემის შესწავლა შეიძლება გაიყოს ორ ძირითად საკითხად: 1. უძრაობისა და მოძრაობის დამოკიდებულება მატერიის რაოდენობაზე — მასაზე; 2. მასის განსაზღვრა სასწორის საშუალებით და მისი ერთეულები.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარიმართოს შემდეგი სქემის მიხედვით:

უძრაობისა და მოძრაობის ინერციულობის დამოკიდებულება მატერიის რაოდენობაზე

მე-11 ნახატზე თქვენ ხედავთ წყლით სავსე ორ ცისტერნს, მეორეში ბევრად უფრო მეტი რაოდენობის წყალია ჩასხმული, ვიდრე პირველში. რომლის უძრაობის ინერციის დაძლევაა უფრო ძნელი?!

ასეთივე, ერთნაირი საგნების რაც უფრო მეტი რაოდენობას მოვათავსებთ ურკიაზე, ავტომანქანაზე ან სხვა სახის საზიდარზე, მით უფრო დიდი იქნება მათი უძრაობის ინერცია. ხოლო თუ ისინი მოძრაობენ, მით უფრო ძნელია მათი გაჩერება, ე. ი. მით უფრო



ნახ. 11

დიდია მათი მოძრაობის ინერცია.

ყოველი საგანი, ნივთიერების ყოველი სახეობა მატერიის კონკრეტული სახეობაა. აქედან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ: სხეულის ინერციის სიდიდე პროპორციულია მატერიის იმ რაოდენობისა, რომელსაც იგი შეიცავს¹.

1. საიდან ვასკვნით, რომ სხეულის ინერციის სიდიდე პროპორციულია მატერიის იმ რაოდენობისა, რომელსაც იგი შეიცავს?²

სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობას ნიუტონმა მასა უწოდა.

ზოგი ფიზიკოსი მასას შემდეგნაირად განმარტავს:

სხეულის მასა ეწოდება ნივთიერების იმ რაოდენობას, რომელსაც იგი შეიცავს:

2. რას უწოდა ნიუტონმა მასა?

მასის განსაზღვრა სასწორის საშუალებით და მისი ერთეულები

სხეულის მასის პროპორციულია არა მარტო სხეულის ინერცია, არამედ სხეულის წონაც (იგულისხმება ისეთი პირობები, როცა სხეულს წონა აქვს, ე. ი. ვიდრე იგი გადავიდოდეს უწონადობის მდგომარეობაში). ეს გარემოება საშუალებას იძლევა ბერკეტიან სასწორზე სხეულის წონასთან ერთად განვსაზღვროთ მისი მასაც.

¹ სხეულში თავმოყრილი მატერიის რაოდენობა გამოსხივება-შთანთქმის გამო განუწყვეტლივ იცვლება; სხეულის მოძრაობის სიჩქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლება აგრეთვე მისი ურთიერთქმედების ხასიათი გარემოსთან, რომელშიც იგი იმყოფება; მაგრამ ამ ფაქტორებს აქ მხედველობაში არ ვიღებთ.

² მატერიის რაც უფრო მეტი რაოდენობაა მოთავსებული საზიდარზე, მით უფრო დიდია მისი ინერცია, აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ინერციის სიდიდე მატერიის რაოდენობის პროპორციულია.

მასის ძირითად ერთეულად მიღებულია წონისა და ზომის საერთაშორისო ბიუროში მოთავსებული ეტალონური (სანიმუშო) პლატინისა და ირიდიუმის შენადნობისაგან დამზადებული ცილინდრის მასა, რომელსაც კილოგრამი (კგ) ეწოდება.

მასის ერთეულებად მიღებულია აგრეთვე გრამი (გ), მილიგრამი (მგ). გრამატომი (გ-ატ), ცენტნერი (ც), ტონა (ტ), კარატი (კარ) და სხვ.

ამ ერთეულთა შორის ასეთი თანაფარდობაა:

1 გ	=	1000 მგ
1 კგ	=	1000 გ
1 ც	=	100 კგ
1 ტ	=	1000 კგ
1 კარატ	=	$2 \cdot 10^{-4}$ კგ.

3. როგორ ხდება, რომ ბერკეტის სისწორით შესაძლებელია სხეულის წონასთან ერთად განისაზღვროს მისი მასაც?

4. რა არის მიღებული მასის ძირითად ერთეულად?

5. ჩამოთვალეთ მასის ერთეულები და დაწერეთ, როგორი თანაფარდობაა მათ შორის.

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი:

1. რამდენი გრამია 1 ტონაში?
2. რამდენი ცენტნერია 1 ტონაში?

§ 22. მოძრაობის რაოდენობა

წინასწარი მოძრაობის რაოდენობის ცნება სამუალო სკოლის ფიზიკის ძველ შენიშვნებში პროგრამაში არ შედიოდა, რაც სამართლიან უქმაყოფილებას იწვევდა მთელ რიგ მეთოდისტთა შორის. ახალ პროგრამაში იგი შეტანილია, მაგრამ თანმიმდევრობის მიხედვით არ არის მოთავსებული თავის კუთვნილ ადგილზე.

რადგან სამყარო მოძრავე მატერიაა და სამყაროს მრავალფეროვანი მოვლენანი მოძრავე მატერიის სხვადასხვა გამოვლინებას წარმოადგენს, ძალა და მოძრაობის დამახასიათებელი სხვა ცნებები უნდა განვიხილოთ როგორც მოძრაობის სხვადასხვა მხარის ამსახველი ცნებები, ხოლო მექანიკური ძალა და სხვა მექანიკური ცნებები — როგორც მექანიკური მოძრაობის გამოვლინების სხვადასხვა მხარის ამსახველი ცნებები. ეს გარემოება კი მოითხოვს ძალის ცნების შემოტანამდე შემოვილოთ, როგორც ენგელსი ამბობს, მექანიკური მოძრაობის ერთ-ერთი ზომის — მოძრაობის რაოდენობის ცნება (მეთოდოლოგიური თვალსაზრისით თუ რამდენად პრინციპულია ეს საკითხი, ამაზე უფრო დაწერილებით მომდევნო პარაგრაფში, ძალის ცნების სწავლების მეთოდის ანალიზის დროს შეეჩერდებით).

ამ ცნების შემოტანის პროცესში მისი შესწავლისადმი სათანადო გაწეობის შესაქმნელად მიზანშეწონილია მივუთითოთ მოსწავლეთათვის ცნობილ ისეთ მოვლენებზე, რომლებიც ცხადყოფს მოძრაობის რაოდენობის ცნების საჭირო-

ებას, ხოლო შემდეგ დავუსახელებთ იმ მეცნიერებს, რომლებსაც განსაკუთრებული ღვაწლი მიუძღვით ამ ცნების დადგენაში.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარიმართოს შემდეგნაირად:

მოდრაობის რაოდენობა და მისი ერთეულები

მატარებლის შემადგენლობაზე ელმავლის გადაბმის მომენტში ხდება შეჯახება; შეჯახების შედეგად მით უფრო მეტი ვაგონი შეირხევა, რაც უფრო დიდია ელმავლის მასა და სიჩქარე.

საბილიარდო მაგიდაზე განლაგებულ ბილიარდის ბურთულებს თუ მცირე მასის მაგიდის ჩოქბურთის ბურთი დაეჯახა, მათ უმნიშვნელო გადაადგილებას გამოიწვევს, მაგრამ თუ დიდი მასის ამავე ბილიარდის ბურთულა დაეჯახება, იგი მათ სხვადასხვა მიმართულებით გაფანტავს. რაც უფრო დიდი იქნება დაჯახებული ბურთულის მასა და სიჩქარე, მით უფრო დიდი იქნება მის მიერ გამოწვეული ეფექტი. აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ:

სხეულის მოძრაობით გამოწვეული ეფექტი დამოკიდებულია როგორც სხეულის მასაზე, ისე მის სიჩქარეზე.

1. რაზე დამოკიდებულია დაჯახების შედეგად გამოწვეული ეფექტი? დაასახელეთ სათანადო მაგალითები!

როცა მექანიკური მოძრაობის ბუნებას იკვლევდნენ, დეკარტემ, გალილეიმ და სხვა მეცნიერებმა მექანიკური მოძრაობის ამ თავისებურების გამოსახატავად შემოიტანეს ცნება, რომელსაც მოძრაობის რაოდენობა ან იმპულსი ეწოდება. იგი ასე განიმარტება:

მოძრაობის რაოდენობა ეწოდება სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავს.

ეს ცნება მათემატიკური ფორმულით ასე ჩაიწერება:

$$P = mv$$

2. როგორ განიმარტება და ფორმულით როგორ ჩაიწერება მოძრაობის რაოდენობა?

მოძრაობის რაოდენობა ვექტორული სიდიდეა. მოძრაობის რაოდენობის ერთეულების დასადგენად მის ფორმულაში საკმარისია შევიტანოთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი მასისა და სიჩქარის ერთეული. მივიღებთ:

1 დაჯახების შედეგად გამოწვეული ეფექტი დამოკიდებულია როგორც სხეულის მოძრაობის სიჩქარეზე, ისე მის მასაზე. მაგალითად, რაც უფრო სწრაფად მოძრაობს ავტომანქანა, მატარებელი და რაც უფრო დიდია მათი მასა, მით უფრო ძნელია მათი გაჩერება, ხოლო დაჯახების შემთხვევაში მით უფრო დიდია დაჯახებით გამოწვეული ნგრევა და ზარალი.

$$\frac{კ \cdot მ}{წმ} \quad \text{და} \quad \frac{გ \cdot სმ}{წმ}$$

3. დაასახელეთ მოძრაობის რაოდენობის ერთეულები და მიუთითეთ, როგორ ხდება მათი დადგენა?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი :

1. 500 გმ მასის მქონე ურთიკა 5 სმ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. გამოთვალეთ ურთიკის მოძრაობის რაოდენობა.

2. რა სიჩქარით მოძრაობს ბილიარდის ბურთულა, თუ მისი მოძრაობის რაოდენობა ტოლია 2,4 კგმ/წმ, ხოლო მასა 400 გ?

3. რას უდრის დელამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მასა, თუ იგი მოძრაობს 10 კმ/წმ სიჩქარით, ხოლო მისი მოძრაობის რაოდენობა ტოლია 10 000 000 კგმ/წმ?

§ 23. მოძრაობის მეორე კანონი — ძალა და მისი სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა

წინასწარი ძალის ცნების თვისებრივი მხარის შესახებ არსებული ორი ურთიშენიშვნები ერთსაწინააღმდეგო გაგება, რომელზეც ლაპარაკი იყო მე-6 პარაგრაფში, სათანადო ასახვას პოულობს ფიზიკის სწავლების მეთოდოლოგიაში.

დ. გალანინი იზიარებს იმ აზრს, რომ „ძალა არის მოძრაობის მიზეზი“ და „პროპედევტიკის“ მობიით მოითხოვს ძალის ცნების შესწავლა დაეწყოთ სტატიკის საკითხების განხილვის პროცესში [58, გვ. 28]. ნ. ტრეტიაკოვი აკრიტიკებს გალანინის შეხედულებას და წერს: „ნიუტონის კანონებამდე ძალის შესახებ ლაპარაკი ნიშნავს მიუკეთ მას რაღაც დამოუკიდებელი არამატერიალისტური ხასიათი“ [136, გვ. 50].

ტრეტიაკოვი, უდავოდ, სწორია; გალანინის მიხედვით გამოდის, რომ ძალა არის რაღაც მოძრაობისაგან დამოუკიდებელი მოძრაობის გამომწვევი მიზეზი. მეცნიერება უარყოფს ყოველგვარ მისტიკურ მოსაზრებას მოძრაობის წარმოშობის შესახებ და ამტკიცებს, რომ მოძრაობა შეუქმნადი და მოუსპობადია, რომ იგი მხოლოდ ურთიერთქმედების — სხეულთა მოძრაობის ურთიერთგამოვლინების შედეგად ან გადაეცემა ერთი სხეულიდან მეორეს, ან გარდაიქმნება მოძრაობის ერთი ფორმიდან მეორეში. ძალის ცნების გარშემო დისკუსიამ თავისებური კვალი დააჩნია ფიზიკის სწავლების მეთოდოლოგიაში. 1958 წელს გამოცემული წიგნის „ფიზიკის სწავლების მეთოდოლოგია საშუალო სკოლაში“ (ტ. 1) ერთ-ერთი თანაავტორი ლ. რუზნიკოვი დაწერილებით ჩერდება ამ ცნების როგორც გაგების, ისე სწავლების საკითხებზე. მას არასწორად მიაჩნია ძალის განმარტება „ქმედებად“, „მიძალებად“ (ამას ტაქტოლოგიად თვლის), ან კიდევ „სხეულის ძირითად თვისებად“ [101, გვ. 95]. იგი გამოდის ენგელსისა და ნიუტონის შეხედულებებიდან და ძალას განმარტავს როგორც „სხეულთა ურთიერთქმედების ზომას“ [101, გვ. 95]. აქ ძალის ცნების არსის გარკვევა დაყვანილია ურთიერთქმედების არსის გაგებამდე.

IX კლასის ფიზიკის ახალი სახელმძღვანელოს ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამ ცნების გაშუქებაში არსებითი ნაკლოვანებებია. თუ „სამყარო მოძრაეი მატერიაა“, როგორც ამას სახელმძღვანელოს ავტორი შესავალში აღნიშნავს, ცხადია,

ძალის ცნებაში მატერიის მოძრაობის რომელიმე მხარე უნდა იყოს გამოხატული. როცა მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის პრინციპიდან გამოვდივართ და უარვყოფთ ძალის შესახებ იმ იდეალისტურ გაგებას, რომ ძალა თითქოს მოძრაობის მიზეზია, თვით ძალა უნდა განვიხილოთ, როგორც მოძრაობის გამოვლინების შედეგი. ახალი ცნების გარკვევისათვის სწავლების დიდაქტიური პრინციპები პირველ რიგში ისეთი მაგალითების განხილვას მოიხოვან, რომლებშიც ყველაზე მეტი სიტყვით ჩანს შესასწავლი ცნების შინაარსი. სახელმძღვანელოს ავტორი ძალის ცნების გაშუქების დროს პირიქით იქცევა, ძალის შინაარსის გარკვევას ასე იწყებს: „ძალის პირველი წარმოდგენა დაკავშირებულია ხელისა და კუნთების დაძაბვასთან კუნთურ ძალასთან“. ავტორი ვერ ამჩნევს, რომ ეს მოსაზრება მან ისესხა იმათგან, ვისაც არ სურს გაირკვეს ძალის ცნების ნამდვილი შინაარსი და ვინც ისწრაფვის გააბატონოს ანტიმეცნიერული შეხედულება, თითქოს ძალა იყოს რაღაც არსება, რომელსაც შეუძლია მოძრაობის შექმნა ან მოსპობა. სახელმძღვანელოში მასალაც უმართებულოდაა განლაგებული. მაგალითად, ნიუტონის I და II კანონები ერთმანეთისაგან გაუმართლებლად მოწყვეტილი და დამორბეულია. მოძრაობის ნამდვილი ბუნების გარკვევა და ძალის შესახებ სწორი შეხედულების გამომუშავება მოითხოვს მოძრაობის I, II და III კანონის მკიდრო კავშირში განხილვას.

ფიზიკისა და მექანიკის სახელმძღვანელოების ავტორთა უმრავლესობა ნიუტონის მეორე კანონს მიიჩნევს როგორც ძალის ცნების განსაზღვრებას, მაგრამ ძალის ცნებას გააჩნია თვისებრივი, რაოდენობრივი, მიმართულებრივი მხარეები და გამოყენების სფერო. ამიტომ იბადება კითხვა — ამათგან რომელს მოიკავს ეს კანონი?

ზოგი ავტორი, ასე თუ ისე, ნიუტონის მეორე კანონს $F=ma$ ძალის ცნების თვისებრივი მხარის განსაზღვრებად მიიჩნევს, რაც არ არის სწორი.

ძალის ცნების თვისებრივი მხარის უგულებელყოფა და მისი გაიგივება რაოდენობრივ მხარესთან ისეთ არსებითი ხასიათის შეცდომათა რიგს ეკუთვნის, რომელიც საბოლოო ანგარიშში გაუგებრობამდე მიგვიყვანს. ამ მოსაზრების სისწორეში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ გადავკითხავთ ფერწმანასეული ლექციების მე-12 თავის პირველ პარაგრაფს — „რა არის ძალა?“ [140, გვ. 20]. როგორც მთელი წიგნი, ეს პარაგრაფიც დაწერილია ყველა სხვა ავტორისაგან განსხვავებული, ფეინმანისეული სულისკვეთებით. ფეინმანს ჰყოფნის სითამამე მკითხველს უთხრას სიმართლე, რომ მეცნიერებაში ყველაფერი ზუსტად როდია განსაზღვრული, რომ მექანიკა მათემატიკური თეორია კი არ არის, არამედ „ბუნების აღწერა“, ბუნების შეცნობა კი ძალიან ძნელია. მართალია, ის, რაც დღემდე ცნობილია, აბსოლუტური კვშმარტება არ არის, მაგრამ მეცნიერების პროგრესის კვალობაზე „სიმართლე მიიღწევა თანდათან, უფრო მეტი და მეტი მიახლოებითი სიზუსტით“ [140, გვ. 212]. ხსენებულ პარაგრაფში დასმულია კითხვა: „რამი მდგომარეობს ნიუტონის კანონების ფორმულის $F=ma$ ფიზიკური აზრი?“ და პასუხის არსი ასეთია: იმის ცოდნა, რომ $F=ma$, არ კმარა დაქახების, დეფორმაციის და მათი მსგავსი იმ მოვლენების დასახასიათებლად, რომელთაც ეს კანონი ეხება. ფეინმანი და მისი თანაავტორები პირდაპირ წერენ: „ნიუტონის კანონების კვშმარტი შინაარსი ასეთია: ივლისხმება, რომ ძალას, კანონის $F=ma$ -ს დამატებით გააჩნია დამოუკიდებელი თვისებები; მაგრამ ძალის დამახასიათებელი დამოუკიდებელი თვისებები სრულად არ აღწერილია არც ნიუტონის, არც სხვა ვინმეს; ამიტომ ფიზიკურად კანონი $F=ma$ -ს არასრული კანონია“ [140, გვ. 210].

როგორც უკვე ითქვა, ნიუტონი განასხვავებს ძალის თვისებრივ და რაოდენობრივ მხარეებს. მოძრაობის მეორე კანონის ჩამოყალიბებამდე, რომელშიც მითითებულია ძალის რაოდენობრივ და მიმართულებრივ მხარეებზე, ნიუტონი იძლევა ძალის თვისებრივი მხარის შემდეგ განსაზღვრებას: „მოდებული ძალა არის ქმედება, წარმოებული სხეულზე, რომ შეუცვლოს მისი უძრაობის ან თანაბარი სწორხაზოვანი მოძრაობის მდგომარეობა“ [109, გვ. 26]. ზემოთ აღინიშნა აგრეთვე, რომ ნიუტონი „დაჯახებით ქმედებაში“ გულისხმობდა ერთი სხეულის მექანიკური მოძრაობის გამოვლინებას მეორის მიმართ. ხოლო რამდენადაც მისთვის, გარდა მექანიკურისა, არ იყო ცნობილი მოძრაობის სხვა ფორმები, იგი სხვა სახის, კერძოდ, გრავიტაციული ძალის შესახებ ამბობდა, რომ მან ჭერჭერობით არ იცოდა მისი ბუნება (იგულისხმება თვისებრივი მხარე).

ძალის თვისებრივი მხარის რაობის განმარტების შემდეგ ნიუტონი იძლევა „მოდებული მამოძრავებელი ძალის“ სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრისათვის მეორე კანონის შემდეგ ფორმულირებას: „მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება პროპორციულია მოდებული მამოძრავებელი ძალის და წარმოებს სწორი ხაზის გასწვრივ, საითაც ეს ძალა მოქმედებს“.

ნიუტონის მიხედვით, ამ კანონის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ თუ სხეულზე „მოდებული მამოძრავებელი ძალა“ ცვლის სხეულის სიჩქარეს, რამდენადაც უყოველ მატერიალურ სხეულს მასა აქვს, იცვლება მისი მოძრაობის რაოდენობა და ამ შემთხვევაში სხეულზე მოქმედი ძალის სიდიდე და მიმართულება შეიძლება განისაზღვროს აღებული სხეულის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების პროპორციულად. როგორც შემდეგ დაზუსტდა, „მამოძრავებელი ძალის“ სიდიდე იზომება მოძრაობის რაოდენობის წარმოებული დროით, ხოლო თუ მასას მუდმივად ჩავთვლით, მივიღებთ ამ კანონის სხვანაირ ფორმულირებას, რომელიც ასე გამოისახება $F = m\ddot{x}$.

ნიუტონის „მოდებული“ და „მამოძრავებელი“ ძალის „სფერო“ ძალიან დიდი, იგი მოიცავს მექანიკურ, გრავიტაციულ, მაგნიტურ და, საერთოდ, ყოველგვარი სახის ძალას, მაგრამ რადგან ამ ძალებს შორის მსგავსებასთან ერთად (ყველანი იწვევენ აღებულ სხეულზე „ქმედებას“ და უცვლიან მას მოძრაობის რაოდენობას ან იწვევენ დეფორმაციას) არის განსხვავებაც: მოხდა ძალის ცნების შემდგომი დიფერენცირება და ამჟამად ფიზიკის სახელმძღვანელოებში ეხედებით სხვადასხვა სახის ძალებს, სახელდობრ: მექანიკურ, გრავიტაციულ, სითბურ, ელექტრომაგნიტურ, ბირთვული ძალებს. ლამაზაქია აგრეთვე ხახუნის დრეკადობის, ინერციის, რეაქციის, წნევის, „რეზულტატურ“ და სხვა სახის ძალებზე. მაგრამ ესენი ზემოთ ჩამოთვლილი ხუთი სახის ძალის ნაირსახეობაა.

როცა მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსაზრადობის კანონიდან გამოვიღებთ, ძალის ცნების თვისებრივი მხარისა და გამოყენების სფეროს განსაზღვრება მოცემული უნდა იქნეს შესაბამისი მოძრაობის ფორმასთან დაკავშირებით:

მექანიკური ძალა შეიძლება განიშარტოს როგორც სხეულის მიმართ გამოვლინებული მექანიკური მოძრაობა, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

გრავიტაციული ძალა შეიძლება განვმარტოთ როგორც სხეულის მიმართ გამოვლინებული გრავიტაციული მოძრაობა, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

იგი შეიძლება განიშარტოს აგრეთვე როგორც გრავიტაციული ველის ქმედება სხეულზე, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას და ა. შ.

საზოგადოდ კი, ძალა, როგორც უკვე იყო მითითებული, შეიძლება განიშარტოს შემდეგნაირად: ძალა ეწოდება სხეულის მიმართ გამოვ-

ლინებულ მოძრაობას, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

ყველა სახის ძალის სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრა, რომელიც სხეულის მიმართ ძლიანდება, შეიძლება ორი გზით; თუ საქმე გვაქვს სხეულის აჩქარებასთან, იგი გაიზომება სხეულის მასისა და აჩქარების ნამრავლით, ხოლო თუ აჩქარებასთან არა გვაქვს საქმე ან არ ხერხდება მისი გაზომვა, მაშინ ძალა გაიზომება დეფორმაციის იმ სიდიდით, რომელსაც იგი იწვევს.

განმარტება — ძალის თვისებრივი მხარე არის „ქმედება“, რომელიც სხეულს ანიჭებს აჩქარებას ან იწვევს მის დეფორმაციას — იძულებული ვიქნებით გამოვიყენოთ იმ შემთხვევაში, როცა შესაბამისი მოძრაობის ფორმის შესახებ ჭერ კიდევ არ გვაქვს მიცემული სათანადო ინფორმაცია. ხოლო როცა ასეთი ინფორმაცია მიწოდებული იქნება, ქმედებას განვმარტავთ როგორც სხეულის მიმართ მოძრაობის ალბულის ფორმის გამოვლინებას და შესაბამისად მივცემთ ძალის ზემოთ მოტანილ უფრო სრულყოფილ განსაზღვრებას.

ძალა, რომლის რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეების განსაზღვრაზე ლაპარაკია ნიუტონის მეორე კანონში, ესაა „მამოძრავებელი ძალა“, ე. ი. ის ძალა, რომელიც სხეულს ანიჭებს აჩქარებას. რაც შეეხება იმ ძალას, რომელიც იწვევს სხეულის დეფორმაციას, მაგრამ ვერ ანიჭებს მას აჩქარებას, ასეთი ძალის სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრა ნიუტონის მეორე კანონით უშუალოდ არ შეიძლება. ამ გარემოებას ზოგი ავტორი ნაწილობრივ იზიარებს, ზოგი კი სრულებით არ იღებს მხედველობაში. ორირი, მაგალითად, ამას ითვალისწინებს, მაგრამ, ნიუტონისაგან განსხვავებით, „მამოძრავებელი ძალის“ ნაცვლად ხმარობს გამოთქმას „რეზულტატური ძალა“ [111, გვ. 60].

ძალის ცნების შემოტანისა და მოძრაობის მეორე კანონის სწავლების დროს უნდა ვეყრდნობოდეთ არა მახისა და პოზიტივისტების, არამედ ნიუტონისეულ მეცნიერულ-მატერიალისტურ სულისკვეთებას. ამასთან, ცხადია, მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის ცვლილებები, რომლებიც ნიუტონის შემდეგ მოხდა მეცნიერულ-მატერიალისტურ მოძღვრებაში. ნიუტონი ძალის ცნების განსაზღვრებასა და მამოძრავებელი ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად განკუთვნილ მეორე კანონს უშუალოდ უკავშირებდა პირველ კანონს და განიხილავდა მათ მოძრაობის რაოდენობასთან მჭიდრო კავშირში. მოძრაობის ბუნების უკეთ შეცნობისათვის აუცილებელია ჩვენც ამ გზას მივყვეთ.

ამრიგად, ძალის ცნების სწავლების პროცესში ხელი უნდა შეუწყუთ შემდეგი შეხედულებების გამომუშავება-განმტკიცებას: 1. ბუნებაში ინერციული მოძრაობა შეუძლებელია იმიტომ, რომ საგნები იზოლირებული, განცალკევებული კი არ არის, არამედ ერთმანეთთან კავშირშია; 2. ბუნებაში მოძრაობა არც წარმოიშობა და არც ისპობა, იგი გადაეცემა ერთი სხეულიდან მეორეს; 3. ძალა რაიმე დამოუკიდებელი არსება არ არის, რომელსაც შეეძლოს მოძრაობის შექმნა ან მოსპობა; ძალის ცნება გამოხატავს ერთი სხეულის მოძრაობის გამოვლინებას მეორის მიმართ, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

ამ პარაგრაფში შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად საკითხებად: 1. ძალის ცნების შინაარსი; 2. მამოძრავებელი ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა; 3. ნიუტონის მეორე კანონის ექსპერიმენტული შემოწმება; 4. მამოძრავებელი ძალის ერთეულები და მათ შორის თანათარდება.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარიმართოს ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

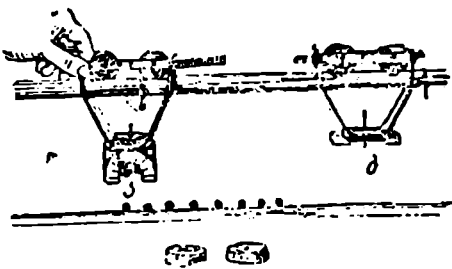
ძალის ცნების შინაარსი ძალის ცნების შინაარსის გამოსარკვევად და ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულის დასადგენად განვიხილოთ ა ურიკის დაჯახების მოვლენა ბ ურიკაზე (ნახ. 12).

ა ურიკის მასა აღვნიშნოთ m , სიჩქარე კი v_1 ; ბ ურიკის მასა-ლა საწყისი სიჩქარე შესაბამისად აღვნიშნოთ m და v_0 .

თუ ა ურიკის სიჩქარე $v_1 > v_0$, მაშინ გარკვეული დროის გავლის შემდეგ იგი დაეჯახება ბ ურიკას, რის შედეგადაც ა ურიკის სიჩქარე მოიკლებს, ბ ურიკის სიჩქარე კი მოიმატებს.

სიჩქარეთა ამ ცვლილების მიზეზია ის, რომ ა ურიკის მექანიკური მოძრაობა გამოვლინდა ბ ურიკის მიმართ, ე. ი. მათ შორის მოხდა მექანიკური ურთიერთქმედება.

ბ ურიკის სიჩქარის ცვლილებას თუ შევადარებთ იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ა ურიკის მექანიკური ქმედების შედეგად ბ ურიკას ენიჭება აჩქარება (ბ ურიკის უკუქმედებას ა ურიკაზე ჭერჭერობით მხედველობაში არ ვიღებთ).



ნახ. 12

თუ ბ ურიკა მკვიდრად იქნება დამაგრებული სადგარზე, მაშინ ა ურიკის მოქმედება მას აჩქარებას ვერ მიანიჭებს, მაგრამ გამოიწვევს მასზე დამაგრებული ზამბარის დეფორმაციას.

ანალოგიური მოვლენებია ნებისმიერი ორი სხეულის მოძრაობათა ურთიერთგამოვლინების ანუ ურთიერთქმედების დროს.

ერთი სხეულის მექანიკური ქმედებას მეორეზე, რაც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას, მექანიკური ძალა ეწოდება. ან, მექანიკური ძალა ეწოდება ერთი სხეულის მექანიკური მოძრაობის გამოვლინებას მეორის მიმართ, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

სხეულის აჩქარება შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე დედამიწის გრავიტაციული ველის, ელექტრული, მაგნიტური და სხვა სახის ველების მოქმედებამ.

დედამიწის გრავიტაციული ველის ქმედებას სხეულზე, რომელიც სხეულს ანიჭებს აჩქარებას ანიწვევს მის დეფორმაციას, სიმძიმის ძალა ეწო-

დება (გრავეიტაცია ლათინური სიტყვაა და ქართულად ნიშნავს სიმძიმეს).

ანალოგიურად შეიძლება განიმარტოს ელექტრომაგნიტური და სხვა სახის ძალები.

1. რას ეწოდება მექანიკური ძალა?
2. როგორ განიმარტება სიმძიმის ძალა?

მამოძრავებელი ძალის ახლა გავეცნოთ იმ ფორმულას, რომელიც სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა სიდიდის გამოსაანგარიშებლად.

მოვახდინოთ მე-12 ნახაზზე მითითებული ცდის უფრო ღრმა ანალიზი:

ა ურიკაზე დაჯახებამდე ბ ურიკას აქვს საწყისი mv_0 მოძრაობის რაოდენობა. დაჯახების შედეგად მისი სიჩქარე და, მაშასადამე, მოძრაობის რაოდენობა გაიზარდება. აღვნიშნოთ იგი mv -თ.

3. როგორ შეიძლება ფორმულით გამოვსახოთ ბ ურიკის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება?!

4. რას მივიღებთ, თუ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებას გავყოფთ იმ t დროზე, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა?2.

ნიუტონმა ერთი სხეულის ქმედებას მეორეზე, რაც ამ უკანასკნელს ანიჭებს აჩქარებას, მამოძრავებელი ძალა უწოდა და მისი სიდიდის გამოსაანგარიშებლად დაადგინა მოძრაობის მეორე კანონი, რომელიც შეიძლება ასე გამოითქვას:

მამოძრავებელი ძალის სიდიდე იზომება სხეულის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების შეფარდებით იმ დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა.

1 ბ ურიკის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება ფორმულით შემდეგნაირად გამოისახება

$$mv - mv_0 \quad (1)$$

2 პირველ გამოსახულებას თუ გავყოფთ t -ზე, მივიღებთ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებას დროის ერთეულში, რომელსაც შემდეგი სახე ექნება:

$$\frac{mv - mv_0}{t}$$

(იგულისხმება, რომ t დროის განმავლობაში მოძრაობის რაოდენობა თანაბრად იცვლება).

თუ ქმედების ანუ ძალის სიდიდეს F ასოთი აღვნიშნავთ, ეს კანონი, რომელსაც მოძრაობის, დინამიკის ან კიდევ ნიუტონის მეორე კანონი ეწოდება, ფორმულით ასე ჩაიწერება:

$$F = \frac{mv - mv_0}{t} \quad (2)$$

5. ნიუტონის მიხედვით რანაირად შეგვიძლია დავეწროთ ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა და როგორ გამოითქმის იგი სიტყვიერად?

ამჟამად მიღებულია ნიუტონის მეორე კანონის ჩაწერა შემდეგი ფორმულის სახით:

$$F = ma \quad (3)$$

რაც სიტყვიერად ასე გამოითქმის: მამოძრავებელი ძალის სიდიდე გამოიანგარიშება სხეულის მასისა და იმ აჩქარების ნამრავლით, რომელსაც იგი იღებს.

6. მეორე ფორმულიდან თუ ფრჩხილებს გარეთ გავიტანთ m -ს, ადვილად მივიღებთ მესამე ფორმულას. შეასრულეთ ეს მოქმედება!

7. ამჟამად როგორი ფორმულით წერენ ნიუტონის მეორე კანონს და როგორ გამოითქმის იგი სიტყვიერად?

ნიუტონის მეორე კანონის ექსპერიმენტული შემოწმება ნიუტონის მეორე კანონის სისწორე ფიზიკის სასკოლო ლაბორატორიის პირობებში ექსპერიმენტულად ასე შეიძლება დამტკიცდეს:

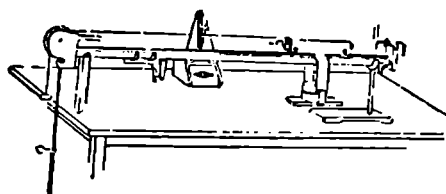
გადავეწროთ მე-3 ფორმულა შემდეგნაირად $a = \frac{F}{m}$. ამ ფორ-

მულის შინაარსი სიტყვიერად ასე გამოითქმება: აჩქარება, რომელსაც სხეული იღებს, მამოძრავებელი ძალის პირდაპირ პროპორციული და ამ სხეულის მასის უკუპროპორციულია. თუ ამ თანაფარდობის სამართლიანობა დავამტკიცეთ, დამტკიცებულად შეიძლება ჩაითვალოს ნიუტონის მეორე კანონიც, რადგან იგი მისი ნაირსახეობაა.

ამ თანაფარდობის სამართლიანობის ექსპერიმენტული შემოწმება მე-13 ნახაზზე მინიშნებული ხელსაწყოს საშუალებით შემდეგნაირად შეიძლება:

$$1 \quad F = \frac{mv - mv_0}{t} = m \frac{v - v_0}{t} = ma, \text{ მაშ } F = ma$$

ხახუნის წინააღმდეგობის გამორიცხვის მიზნით პინაზე დავაწყ-
 ყოთ იმდენი წვრილსაწონი, რომ ურიკამ იმოძრაოს თანაბარი სიჩ-
 ქარით.



ნახ. 13

აჩქარების ძალაზე დამო-
 კიდებულების გამოსარკვე-
 ვად ურიკის მასა დავტო-
 ვოთ უცვლელად. ურიკა
 დავაყენოთ საწყის მდებ-
 არეობაში, პინაზე მოვათავ-
 სოთ P მამოძრავებელი ძა-
 ლა (რადგან ხახუნი გამო-

რიცხულია, პინაზე დამატებით მოთავსებული წვრილსაწონები ური-
 კას ანიჭებენ აჩქარებას, ე. ი. არიან მამოძრავებელი ძალები); ავა-
 მოძრაოთ ურიკა და გავზომოთ გარკვეულ დროში (სამ წამში ან
 სამი წვეთის ვარდნის განმავლობაში) გავლილი გზა — S.

გავლილი გზისა და დროის გაზომვით ფორმულიდან $S = \frac{at^2}{2}$

გამოვთვალოთ აჩქარება a_1 .

დავაბრუნოთ ურიკა საწყის მდებარეობაში, პინაზე მოვათავ-
 სოთ ორჯერ მეტი 2p მამოძრავებელი ძალა, ავაიმოძრაოთ ურიკა,
 გავზომოთ გავლილი გზა და დრო და კვლავ გამოვთვალოთ აჩქა-
 რება a_2 .

გავიმეოროთ ცდა სამჯერმეტი 3p მამოძრავებელი ძალისათვის
 და იმავე წესით გამოვიანგარიშოთ აჩქარება a_3 ; a_2 ორჯერ, ხოლო
 a_3 სამჯერ მეტია a_1 -ზე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ თუ ურიკის
 მასა არ იცვლება, მისი აჩქარება მამოძრავებელი ძალის სიდიდის
 პირდაპირპროპორციულია.

8. როგორი ცდისა და მსჯელობის საფუძველზე შეიძლება და-
 ვამტკიცოთ, რომ სხეულის აჩქარება მამოძრავებელი ძალის სიდი-
 დის პირდაპირპროპორციულია?

აჩქარების მასაზე დამოკიდებულების გამოსარკვევად შევცვა-
 ლოთ ცდის პირობები. ამჯერად უცვლელი დავტოვოთ მამოძრავე-
 ბელი ძალის სიდიდე, ხოლო ურიკის მასა ვცვალოთ. მიღებული აჩ-
 ქარებები გამოვთვალოთ ზემოთ მითითებული წესით. ცდის შედე-
 გად ცხადი გახდება, რომ რამდენჯერაც გავზრდით ურიკის მასას,
 იმდენჯერ შემცირდება მისი აჩქარება (იგულისხმება, რომ მამოძ-
 რავებელი ძალის სიდიდე უცვლელი რჩება).

ცდის ამ შედეგებიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ:

ერთი და იმავე სიდიდის მამოძრავებელი ძალის მიერ მინიჭებული აჩქარება სხეულის მასის უკუპროპორციულია.

7. როგორი ცდისა და მსჯელობათა საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ აჩქარება მამოძრავებელი ძალის სიდიდის უკუპროპორციულია?

ზემოთ მითითებული ხელსაწყოთა გამოყენებით შეიძლება დამტკიცდეს აგრეთვე უშუალოდ მე-2 ფორმულის სამართლიანობა.

მამოძრავებელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად არ კმარა მარტო მისი გამოსაანგარიშებელი ფორმულის ცოდნა, ამისათვის საჭიროა აგრეთვე მისი ერთეულების დადგენა.

უკვე არაერთხელ მოხსენებული საერთო წესის შესაბამისად, თუ ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელ მე-3 ფორმულაში შევიტანთ ჩვენთვის უკვე ცნობილ მასისა და აჩქარების ერთეულებს, მივიღებთ ძალის სათანადო ერთეულებს.

10. შეასრულეთ ეს მოქმედება და მიიღეთ ძალის ერთეულები¹.

პირველ ერთეულს კგ · $\frac{მ}{წმ^2}$ ნიუტონის პატივსაცემად ნიუტონი (ნ) ეწოდება, ხოლო მეორე ერთეულს გ · $\frac{სმ}{წმ^2}$ დინს (დნ) ეწოდებენ.

შინაარსის მიხედვით ისინი შეიძლება ასე განიმარტოს:

ნიუტონი არის ისეთი მამოძრავებელი ძალა, რომელიც 1 კგ მასის მქონე სხეულს ანიჭებს 1 მ/წმ² აჩქარებას.

დინს ეწოდებენ ისეთ მამოძრავებელ ძალას, რომელიც 1 გ მასის მქონე სხეულს ანიჭებს 1 სმ/წმ² აჩქარებას.

ნიუტონსა და დინს შორის არის შემდეგი თანაფარდობა:

$$1 \text{ ნ} = 1000 \text{ გ} \cdot \frac{100 \text{ სმ}}{წმ^2} = 100000 \text{ გ} \cdot \frac{სმ}{წმ^2} \text{ ე. ი.}$$

$$1 \text{ ნ} = 10^5 \text{ დნ.}$$

$$\text{აქედან დნ} = \frac{1}{10^5} \text{ ნ} = 10^{-5} \text{ ნ.}$$

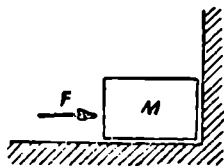
¹ კგ · $\frac{მ}{წმ^2}$ და გ · $\frac{სმ}{წმ^2}$

ამოცანები:

1. ბუნებაში რატომ არის შეუძლებელი ინერციული მოძრაობა?
2. დროის ერთეულში მოძრაობის რაოდენობის როგორი ცვლილების ტოლია დინი, ნიუტონი?
3. რით არის გამოწვეული თანაბარჩქარებულ და თანაბარშენელებული მოძრაობა და მოძრაობის რაოდენობის როგორი ცვლილება ახასიათებთ მათ?
4. რას უდრის ძალის სიდიდე, თუ მან 1 კგ მასის მქონე სხეულს 5 სმ/წმ² აჩქარება მიანიჭა?
5. განსაზღვრეთ სხეულის მასა, როცა 500 დინი სიდიდის ძალით სხეული 0,2 მ/წმ² აჩქარებით მოძრაობს.
6. ბლოკზე გადაკიდებული ძაფის ერთ ბოლოზე ჩამოკიდებულია 240 გ მასის, ხოლო მეორე ბოლოზე — 250 გ მასის მქონე სხეულები. ასეონით, რატომ ამოძრავდება ეს სხეულები და გამოიანგარიშეთ, რა მანძილს გაივლიან ისინი 3 წამში. პას. 90 სმ.

§ 24. მოძრაობის მესამე კანონი

მოძრაობის მესამე კანონის სწავლებასთან დაკავშირებით. ფიზიკისწარმოკოს-მეთოდისტი პრაფ. ი. სოკოლოვი აღნიშნავს, რომ ამ კანონის შენიშვნები შინაარსი მოსწავლეებისათვის ძნელად მისაწვდომია და ხშირად საგონებელში აგდებს მათ [127, გვ. 189]. არსებითად, ამასვე აღსტურებს ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსი ორიი, როცა წერს. ნიუტონის კანონების სწორად გაგება დიდ სიზუსტეს მოითხოვსო [111, გვ. 70]. ორიი იქვე



ნახ. 14

განიხილავს ნიუტონის კანონების არსის გაგებასთან დაკავშირებულ ერთ „პარადოქსს“ [111, გვ. 69]. კედელზე მიყრდნობილ M ძელაკზე მოქმედებს F ძალა (ნახ. 14). ორიი მიუთითებს, რომ ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ძელაკი უნდა მოძრაობდეს აჩქარებით

$$a = \frac{F}{m}$$

მაგრამ სინამდვილეში ეს ასე არ ხდება, ძელაკი არ მოძრაობს, მისი აჩქარება a-ს ტოლიაო, — წერს იგი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოძრაობის მეორე კანონში ნიუტონი ლაპარაკობს. არა ნებისმიერ ძალაზე საერთოდ, არამედ „მამოძრავებელ ძალაზე“, ცხადი ვახდება, რომ ორიის ეს დასკვნა არ არის სწორი, მაგრამ მიუყვებ ავტორის მსჯელობას და ვნახოთ, როგორ ასწორებს იგი ამ „შეცდომას“. „პარადოქსის“ თავიდან აცილებისათვის ორიი წინადადებას იძლევა ნიუტონის მეორე კანონში ($F=ma$) შემავალ F ძალაში უნდა ვიგულისხმოთ „რეზულტატური ძალა“. რეზულტატურ ძალას ავტორი აღებული შემთხვევისათვის ასე განსაზღვრავს $F'_{\text{რეზ}} = F + F'$ (1), სადაც F ძელაკზე მოქმედი ძალაა, ხოლო F' არის ძელაკზე კედლის უკუქმედების ძალა. შემდეგ ორიი იმოწმებს ნიუტონის მესამე კანონს და წერს, რომ F' ტოლია და მიმართულია იმ ძალის (F-ის) საწინააღმდეგოდ, რომლითაც ძელაკი აწვება კედელს, ე. ი. $F' = -F$. შეაქვს ეს მნიშვნელობა პირველ ტოლობაში $F'_{\text{რეზ}} = F + (-F) = 0$ და

სკენის: რადგან რეზულტატური ძალა 0-ის ტოლია, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად

$$a = \frac{F_{\text{რეზ}}}{M} = 0$$

და, მაშასადამე, ძელი უძრავი უნდა დარჩეს. ამგვარად ხსნის ორივე ძელი უძრაობის ფაქტს განხილულ მაგალითში.

ამ ახალი ცნების, „რეზულტირებული ძალის“ შემოტანით ორივე მის მიერ „პარადოქსად“ წოდებულ მოვლენას ახსნილად თელის, მაგრამ ვერ აშინებს, რომ ამ ახსნის ფასად უარყოფილია ნიუტონის მესამე კანონის ზოგადობა.

დავეშვათ, რომ F ძალამ დაძლია კედლის წინააღმდეგობა და აამოძრავა ძელაჟი, მაშინ, ცხადია, $\dot{x} = 0$ და, მაშასადამე, $F_{\text{რეზ}} > 0$, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ტოლობაში: $F_{\text{რეზ}} = F + F'$, $F > F'$ აქედან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ მოძრაობის დროს ნიუტონის მესამე კანონი არ არის სამართლიანი, რადგან ქმედების ძალა F მეტია უქუქმედების ძალაზე F' -ზე. ორივე, უდავოდ, გრძნობს ამ შეუსაბამობას და მოძრაობის შემთხვევაში ნიუტონის მესამე კანონის სამართლიანობის საილუსტრაციოდ იხილავს მე-15 ნახაზზე გამოსახულ მაგალითს. პორიზონტალურ ბრტყელ ზედაპირზე უხახუნოდ F ძალის მოქმედებით, ე. ი. აჩქარებით მოძრაობს M_A და M_B ძელაჟები. ორივე განზრახ ატარებს ასეთ მცდარ მსჯელობას: „ A ძელაჟზე მოღებულია F ძალა და მისი მეშვეობით იგი გადაეცემა B ძელაჟს. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, B ძელაჟმა A ძელაჟზე უნდა იმოქმედოს ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ($-F$) ძალით“ [111, გვ. 70].

შემდეგ ორივე წერს, თუ ხახუნს მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ A ძელაჟზე მოქმედი რეზულტატური ძალა იქნება

$$F_{\text{რეზ}} = F + (-F) = 0 \text{ და } a = \frac{F_{\text{რეზ}}}{M} = 0$$

აქედან გამომდინარე აკეთებს შესაბამის არასწორ დასკვნას: „როგორი დიდიც არ უნდა იყოს A ძელაჟზე მოღებული F ძალა, იგი ადგილიდან არასოდეს არ დაიძრება“.

ორივეს ზემოთ მოტანილ მსჯელობაში მცდარად მიაჩნია შემდეგი რამ: „ამ მსჯელობების შეცდომა მდგომარეობს იმ დაშვებაში, რომ ძალა F გადაეცემა A ძელაჟის მეშვეობით და ამის გამო მოღებულია B ძელაჟზე“. ორივეს ეს მსჯელობა თავად შეიცავს შეცდომას, ამიტომ, ცხადია, ვერ გამოდგება ზემოთ მოტანილი მცდარ მსჯელობათა გამოსააშკარავებლად.

ორივეს აზრი, რომ F ძალა A ძელაჟის მეშვეობით არ გადაეცემა B ძელაჟს, არ არის სწორი. ორივე იმავე წიგნში მკვეთრად ემიჯნება „შორსმოქმედების“ თეორიას და მას არასწორად აცხადებს. „ახლომოქმედების“ თეორიის მიხედვით კი განსახილველ შემთხვევაში F ქმედების B ძელაჟზე გადაცემა სხვა არაფერი შეიძლება იყოს, თუ არა A ძელაჟი. შეცდომა აქ კი არ უნდა ვეძებოთ, არამედ იმაში, რომ რადგან A ძელაჟს M_A მასა აქვს, იგი F ძალის უბრალო გადამცემი კი არ არის, არამედ მისი „მომხმარებელიც“ არის ამავე დროს. კერძოდ, A ძელაჟი F ძალიდან თვითონ იყენებს გარკვეულ ნაწილს, სახელდობრ, F_1 -ს, რომელიც ტოლია $F_2 = M_A \cdot a$ ხოლო ნაშთს $F_3 = F - F_1$ გადასცემს B

ნახ. 15



ძელაქს, რომელიც ამ უკანასკნელის აჩქარებისათვის იხარჯება და ტოლია $F_2 = M_B \cdot a$. ამგვარად, F ძალა ორად იშლება ($F = F_1 + F_2$) და შესაბამისად აჩქარებას ანიჭებს A და B ძელაქებს. მათი სიდიდე ძელაქების მასებისა და მიღებული აჩქარებებით ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად ასე გამოისახება:

$$F_1 = M_A \cdot a \text{ და } F_2 = M_B \cdot a \text{ მაშ, } F = M_A \cdot a + M_B \cdot a = a(M_A + M_B)$$

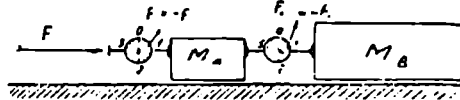
აქედან

$$a = \frac{F}{M_A + M_B} \quad (2)$$

ორივე ამავე შედეგს იღებს, მაგრამ არა ზემომოტანილი ობიექტური სინამდვილის შესაბამისი ფიზიკური შინაარსიდან გამომდინარე, არამედ ფორმალური დაშვების შემწეობით. იგი უშვებს, რომ A ძელაქის მხრიდან B ძელაქზე მოქმედებს „რომელიდაც F' ძალა“, სინამდვილეში ეს F' ძალა, „რომელიდაც ძალა“ კი არ არის, არამედ სწორედ ის F -დან ნაშთად დარჩენილი „მამოძრავებელი“ (ნიუტონი) F_2 ძალაა, რომელსაც A ძელაქი გადასცემს B ძელაქს. შემდეგ ორივე გამოყვეს მეორე ფორმულა და კმაყოფილდება იმით, რომ ცხადყოფს B ძელაქის ამოძრავების ფაქტს. რაც შეეხება ძირითად კითხვას: მოძრაობის დროს როგორ გავიგოთ, რომ ქმედებისა და უკუქმედების ძალები ტოლია, ამის შესახებ ორივე გარკვევით არაფერს ამბობს. ამ კითხვის პასუხი იმალება ამირის მიერ ზემოთ მოტანილ არასწორი მსჯელობის მეორე წინადადებაში. იქ ლაპარაკია იმის შესახებ, რომ თითქოს ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად B ძელაქმა A ძელაქზე უნდა იმოქმედოს A ძელაქზე მოქმედი F ძალის ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული $-F$ ძალით. ეს მოსაზრებაც არ არის სწორი. ნიუტონის მესამე და მეორე კანონის თანახმად, B ძელაქი A ძელაქზე უკუიმოქმედებს არა $-F$ ძალით, არამედ $-F_2$ ძალით, რომელიც ტოლია $M_B \cdot a$. A ძელაქი ამ უკუქმედებას $-M_B \cdot a$, თავის საკუთარ უკუქმედებასთან $M_A \cdot a$ ერთად უკუგადასცემს „ F ძალას“.

როგორც ვნახეთ, მოქმედი F ძალა ტოლია $M_A \cdot a + M_B \cdot a$. A და B ძელაქების ინერციით გამოწვეული უკუმოქმედი ან, როგორც ორივე უწოდებს, რეაქციის ძალა კი ტოლი იქნება $(-M_A \cdot a - M_B \cdot a) = -F$ მაშ, $F = -F$, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ქმედება იწვევს თავის ტოლ და საწინააღმდეგოდ მიმართულ უკუქმედებას.

ამგვარად, ძირითად კითხვას თუ ქმედება და უკუქმედება ტოლია, რატომ გვაქვს საქმე მოძრაობასთან? — ასეთი პასუხი უნდა გვეცეს: როცა F ძალა $\hat{=}$ აჩქარებით ამოძრავებს A და B ძელაქებს, უკუქმედების ძალა A და B ძელაქების ინერციის გამო აღიძვრება თვით მოძრაობის პროცესში, მათი ჯამი სიდიდით მოქმედ F -ის ტოლია და მის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული. ექსპერიმენტულად ამ კანონის სამართლიანობა შეიძლება ვაჩვენოთ შემდეგი ცდის (ნახ. 16) და მსჯელობათა საფუძველზე:



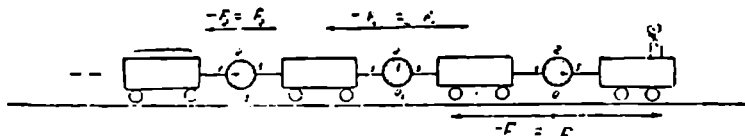
ნახ. 16

I დინამომეტრი გვიჩვენებს F მოქმედი ძალისა და A და B ძელაქების სისტემის უკუქმედების ჯამურ $-F$ -ის სიდიდეს (უნდა გვახსოვდეს, რომ არც ერთ

ხელსაწყოს არ შეუძლია გვაჩვენოს მოქმედი ძალის სიდიდე უუქმებლების ძალის სიდიდის გარეშე, რადგან ისინი ცალ-ცალკე არასოდეს არ ვლინდებიან). შესაბამისად, II დინამომეტრი გვიჩვენებს F ძალის ქმედების იმ ნაწილის F_2 -ის სიდიდეს, რომელსაც A ძელაკი ვადასცემს B ძელაკს და უუქმებლების ძალის — F_2 -ის სიდიდეს, რომელსაც B ძელაკი უწევს მასზე მიყენებულ F_2 ძალას. რაც შეეხება A ძელაკზე მოქმედი და უუქმობედი ძალის F_1 -ის სიდიდეს, იგი იქნება I და II დინამომეტრების ჩვენებათა სხვაობა. ამ ცდაში უშუალოდ მისი გაზომვა არ შეიძლება.

ორირის „პარადოქსების“ მსგავსი ხშირად გვხვდება ფიზიკის სწავლების პრაქტიკაში, მათი ძირითადი მიზეზი ის არის, რომ მთელ რიგ სახელმძღვანელოებსა და მეთოდურ ლიტერატურაში ან გვერდს უვლიან ძალის ცნების შინაარსის (თვისებრივი მხარის) გაცნობიერებას, ან არასწორად აშუქებენ მას. როგორც უკვე ითქვა, ორიზმა გვერდი აუარა ძალის ცნების თვისებრივი მხარის ვარკვევას. აქედან გამომდინარე, შედეგებშიც არ დაყოვნა, იგი „პარადოქსების“ წინაშე აღმოჩნდა. „პარადოქსების“ მოხსენსათვის ორიზი იძულებული გახდა მიემართა ფორმალური ოპერაციებისათვის და დაბრუნებოდა მის მიერვე უარყოფილ შორსმოქმედების თეორიიდან გამომდინარე ერთ მცდარ დებულებას. მოვლენის ფორმალური ოპერაციის ახსნის მიზნით, მან ჯერ შემოიტანა „რეზულტატური ძალის“ ცნება, ხოლო შემდეგ — „რომელიღაც ძალის“ ცნება. ცხადია, რახან ორიზის ფიზიკის კურსის სტრუქტურაში გვერდი აქვს ავლილი ძალის ცნების თვისობრივი მხარის ვარკვევას, გაუცნობიერებელი რჩება როგორც „რეზულტატური ძალის“, ისე „რომელიღაც ძალის“ თვისებრივი მხარე და მათზე დაყრდნობილ მსჯელობათა ფიზიკური შინაარსი.

ორირის „რეზულტატური ძალა“ და მასთან ერთად „რომელიღაც ძალაც“ უკეთეს შემთხვევაში ნიუტონის მამოძრავებელი ძალებია. თუ გავიხსენებთ, რომ ნიუტონის მეორე კანონში ლაპარაკია მხოლოდ მამოძრავებელი ძალის სიდიდებზე, ცხადი გახდება, რომ ზემოთ მოტანილი „პარადოქსის“ წარმოშობის მიზეზია ის, რომ ხშირად ვერ იგებენ ნიუტონის მეორე კანონის შინაარსს. ნიუტონს უდავოდ გაცნობიერებული ჰქონდა ის ფაქტი, რომ რეალურ სინამდვილეში ყოველგვარმა ქმედებამ (ძალამ) არ შეიძლება გამოიყენოს მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება ან აჩქარება; თუ ძალა აჩქარებას იწვევს, ასეთ ძალას ნიუტონმა მამოძრავებელი ძალა უწოდა და მისი სიდიდის გასაზომად დაადგინა ფორმულა $F = ma$. ეს კანონი არ შეიძლება გამოვიყენოთ მაშინ, როცა ძალა არ იწვევს აჩქარებას, ორიზი კი საწინააღმდეგოდ იქცევა და სწორედ ეს არასწორი მოქმედებაა „პარადოქსის“ წარმოშობის მიზეზი.



ნახ. 17

ზემოთ მითითებული „პარადოქსების“ ახსნისათვის არაფრით არ არის გამართლებული უკვე ყველასაგან ანტიმეცნიერულად აღიარებული შორსმოქმედების თეორიიდან გამომდინარე იმ დებულების გამოყენება, თითქოს სხეულთა ურთიერთქმედების დროს მოქმედი და უუქმობედი ძალები სხვადასხვა სხეუ-

ლებზეა მოდებული. მესამე კანონი თავისი არსით იმაზე მიუთითებს, რომ ბუნებაში არ არსებობს ცალმხრივი ქმედება; სადაც ზღება ქმედება, იქ იმავე დროს წარმოიშობა უკუქმედება. მაშასადამე, ურთიერთქმედების გადამცემი სხეულის ყოველ წერტილზე ადგილი აქვს როგორც ქმედებას, ისე უკუქმედებას. თუ გადამცემი სხეულის მასას, წონას და სხვა ფაქტორებს მივიღებთ მხედველობაში, მაშინ მის ყოველ წერტილში ქმედება-უკუქმედება ტოლი იქნება, მაგრამ სხვადასხვა წერტილში მას სხვადასხვა მნიშვნელობა ექნება. საილუსტრაციოდ განვიხილოთ მე-17 ნახ. მოცემული მაგალითი:

შემადგენლობის აჩქარებული მოძრაობის დროს, თუ ორთქლმავლის ქმედების F ძალის გადამცემი A ვაგონის მასას და ხახუნს მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ, ცხადია, B ვაგონს უცვლელად გადაეცემა F ძალა და მისი უკუქმედება იქნება $-F$ -ის ტოლი, მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღებთ ზემოაღნიშნულ ფაქტორებს, მაშინ F ძალის ნაწილი დაიხარჯება A ვაგონის ინერციის ($F_1' = M_A \cdot a$) და ხახუნის ($F_1'' = kP_{A1}$) დაძლევისათვის. სულ A ვაგონის მიერ მოხმარებული იქნება ძალა $F_1 = F_1' + F_1''$. F -ის დანარჩენი ნაწილი, ე. ი. $F_2 = F - F_1$ გადაეცემა B ვაგონს, იგი თავის მხრივ მოხმარდება B ვაგონის ინერციის ($F_2' = M_B \cdot a$) და ხახუნის ($F_2'' = kP_{B2}$) დაძლევისათვის.

ნახაზზე ნაჩვენებია, რომ O_1 და O_2 წერტილებში ცალ-ცალკე ქმედება უკუქმედების ძალების ტოლია, მაგრამ მათ სხვადასხვა რიცხვითი მნიშვნელობა აქვთ. ასეთი სურათი იქნება შემადგენლობის ყველა სხვა წერტილებში.

ზემოაღნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით, მოძრაობის მესამე კანონის სწავლების დროს ხელი უნდა შეეუწყოს შემდეგ შეხედულებათა ჩანერგვა-განმტკიცებას: ა) არ არსებობს ცალმხრივი ქმედება, ბუნებაში ადგილი აქვს მხოლოდ ურთიერთქმედებას; ბ) ქმედებასა და უკუქმედებას შორის არსებობს მიზეზობრივი კავშირი; გ) შემდგომ განვამტკიცებთ იმ შეხედულებას, რომ მოძრაობა შეუქმნადი და მოუსპობადია.

შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს ოთხ ძირითად საკითხად: 1. ქმედებისა და უკუქმედების ერთდროული აღძვრა; 2. ქმედებისა და უკუქმედების ძალების სიდიდის ტოლობა; 3. მოძრაობის მესამე კანონის ჩამოყალიბება; 4. მოძრაობის დროს უკუქმედების ძალის აღძვრის პირობა და მისი ტოლობა მოქმედი ძალის სიდიდესთან.

ქმედებისა და უკუქმედების ერთდროული აღძვრა

მოძრაობის მეორე კანონის შესწავლის დროს ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ I ურიკა (ნახ. 10) დაჯახების შედეგად მოქმედებს II ურიკაზე და ანიჭებს მას აჩქარებას, მაგრამ არაფერი

გვითქვამს იმაზე, რომ დაჯახების დროს II ურიკა უკუქმედებას ახდენს I ურიკაზე. უკუქმედების ეს უგულვებელყოფა (აბსტრაქცია) მოვახდინეთ შესასწავლი მოვლენის გამარტივების მიზნით. პირველი ურიკის მეორეზე მოქმედების დაწყებისთანავე აღიძვრება მეორე ურიკის უკუქმედება პირველზე. რის გამოც მეორე ურიკის სიჩქარე და მოძრაობის რაოდენობა მატულობს, პირველის კი, პირიქით, კლებულობს. როცა მაგიდაზე ან რაიმე სხვა საყრდენზე ხელის დაწოლით ვმოქმედებთ, ვგრძნობთ, რომ საყრდენი უკუქმე-

დებს გვიწევს. ასევე ბურთის, ბადროს ან რაიმე სხვა საგნის გასროლის დროს ვგრძნობთ, რომ ჩვენი მოქმედების დაწყებისთანავე ისინი უკუქმედებას გვიწვევენ.

უკუქმედების მოვლენა პირველად ნიუტონმა შენიშნა და გამოიკვლია, როცა მოძრაობის ბუნებას სწავლობდა. მრავალი ცდის ანალიზის საფუძველზე მან აჩვენა, რომ: ბუნებაში არ შეიძლება არსებობდეს ცალმხრივი ქმედება; თუ ერთი სხეული იწყებს მოქმედებას მეორეზე, მეორე სხეული იმავდროულად უკუქმედებას ახდენს პირველზე.

1. დაასახელოთ ქმედებისა და უკუქმედების ერთდროული აღქმის სხვა მაგალითები პრაქტიკიდან.

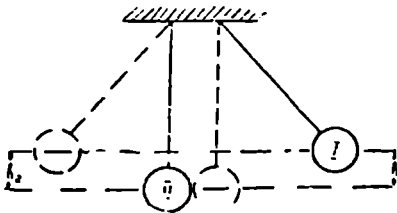
ქმედებისა და უკუქმედების ძალების სიდიდების ტოლობა

რაც უფრო დიდი ძალით ვაწვევით ხელით საყრდენს, ვგრძნობთ, რომ მით უფრო დიდი ძალით გვიწევს იგი წინააღმდეგობას. ასევე, რაც უფრო დიდი ძალით ვურტყამთ ხელს

ან ფეხს ბურთს ან სხვა სხეულს, ვგრძნობთ, რომ მით უფრო დიდი ძალით გვიწვევენ ისინი წინააღმდეგობას. შეგრძნებებიდან მიღებული შთაბეჭდილებები ზოგჯერ არ შეესაბამება სინამდვილეს. ამიტომ საჭიროა მათი ექსპერიმენტული შემოწმება (მაგალითად, ვარსკვლავები ძალიან პატარა სხეულებად გვეჩვენებიან, მაგრამ ისინი სინამდვილეში სიდიდით რამდენჯერმე აღემატებიან დედამიწას. ხშირად უძრავად გვეჩვენება მოძრავი მატარებელი ან გემი და სხვ.

გაიხსენეთ სათანადო მაგალითები „ფარდობითი მოძრაობიდან“).

ფიზიკის სასკოლო ლაბორატორიის პირობებში ქმედებისა და უკუქმედების ძალების სიდიდების ტოლობა შეიძლება დამტკიცდეს მე-18 ნახაზზე გამოსახული ცდისა და შემდეგ მსჯელობათა საფუძველზე:



ნახ. 18

განვიხილოთ ტოლი III მასების მქონე ფოლადის ორი ბურთულის დაჯახება (ნახ. 18). h_1 სიმაღლიდან ხელი გაუშვათ პირველ ბურთულას, იგი თანაბარაჩქარებულად g აჩქარებით გაივლის h_1 სიმაღლეს და მიღებული $v_1 = \sqrt{2gh_1}$ (1) სიჩქარით დაეჯახება მეორე ბურთულას. t დროის განმავლობაში დაჯახებით ქმედების შედეგად პირველი ბურთულა გაჩერდება, მეორე ბურთულა კი v_2 სიჩქარით ამოძრავდება და უარყოფითი g აჩქარება აიწვევს h_2 სიმაღლეზე, რომელიც, როგორც ცდა გვიჩვენებს, ზუსტად ტოლია

h_1 -ის. v_2 სიჩქარისათვის 1 ფორმულის ანალოგიურად შეიძლება დავწეროთ ფორმულა $v_2 = \sqrt{2gh_2}$ (2) რადგან $h_1 = h_2$. 1 და მე-2 ფორმულის შედარება გვიჩვენებს, რომ $v_1 = v_2$.

2. როგორ შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ $v_1 = v_2$?

პირველი ბურთულის ქმედებისა და მეორე ბურთულის უკუქმედების ძალების სიდიდეების ტოლობის დასამტკიცებლად გამოვთვალოთ მათი მოძრაობის რაოდენობათა ცვლილებანი დროის ერთეულში:

მეორე ბურთულისათვის გვექნება:

$$\frac{mv_2 - 0}{t} = \frac{mv_2}{t} = ma_2$$

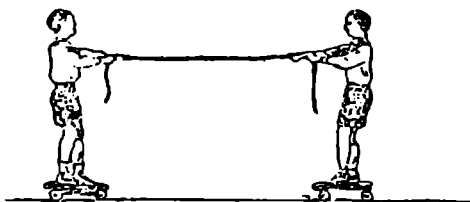
ეს არის იმ ძალის სიდიდე, რომლითაც პირველმა ბურთულამ იმოქმედა მეორეზე, ე. ი. $F_1 = ma_2$ (3)

პირველი ბურთულისათვის გვექნება:

$$\frac{0 - mv_1}{t} = -\frac{mv_1}{t} = -ma_1$$

ეს არის იმ ძალის სიდიდე, რომლითაც მეორე ბურთულა უკუქმედებას ახდენს პირველზე, ე. ი. $F_2 = -ma_1$ (4), რადგან $a_1 = a_2$ ($v_1 = v_2$). მე-3 და მე-4 ტოლობების შედარება გვიჩვენებს, რომ $F_1 = -F_2$, რაც სიტყვიერად ასე გამოითქმის: პირველი და მეორე ბურთულის ქმედებისა და უკუქმედების ძალების სიდიდეები სიდიდით ტოლი და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული არიან.

3. ცდიდან მიღებული შედეგის $v_1 = v_2$ საფუძველზე, როგორ შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ ქმედებისა და უკუქმედების ძალები სიდიდით ტოლი და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული არიან?



ნახ. 19

ორი სხეულის ქმედება-უკუქმედების ტოლობა შეიძლება დამტკიცდეს აგრეთვე მე-19 ნახატზე გამოსახული ცდისა და სათანადო გაზომვების გზით. ურიკაზე მდგომ მოსწავლეთაგან თუნდაც ერთ-ერთმა მოზიდოს თოკი, ორივე ურიკა მოსწავ-

ლებიანად ერთმანეთის შემხვედრად დაიწყებს აჩქარებულ მოძრაობას. თუ გავზომავთ მიღებულ აჩქარებებსა და მასებს, აღმოჩნდება, რომ მიღებული აჩქარებები მასების უკუპროპორციულია, ე.ი.

$$\frac{a_1}{-a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

აქედან, $a_1 m_1 = -m_2 a_2$ ე. ი. $F_1 = -F_2$.

4. მე-19 ნახატზე გამოსახული ცდის მიხედვით როგორ მსჯელობათა საფუძველზე შეიძლება დამტკიცდეს, რომ $F_1 = F_2$?

ზემოაღწერილი ურიკების, ბურთულების, მოძრაობის მესამე კანონის ჩამოყალიბება აგრეთვე ნებისმიერი სხვა სხეულების დაჯახების ან სხვა სახის ურთიერთქმედების დროს ურთიერთქმედება ერთდროულად აღიძვრება, სიდიდით ტოლია და მიმართულებით ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არის მიმართული. ეს კანონზომიერებანი ნიუტონმა გამოთქვა კანონის სახით, რომელსაც ნიუტონის, დინამიკის, ან კიდევ, მოძრაობის მესამე კანონი ეწოდება. იგი შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ:

ორი სხეულის ურთიერთქმედება სიდიდით უოველთვის ტოლი, ხოლო მიმართულებით ურთიერთსაწინააღმდეგოა.

5. თუ ქმედებისა და უქუქმედების ძალებს შესაბამისად F_1 და F_2 აღვნიშნავთ, ფორმულით როგორ შეიძლება გაზომიანობა მოძრაობის მესამე კანონი?¹

მოძრაობის დროს უქუქმედების აღძვრის პირობა და მისი ტოლობა მოქმედი ძალის სიდიდესთან ერთქმედვალის, რომლის ბორბლები რელების არ ეხება (ჩამოკიდებულია ან აწეულია რაიმე საშუალებით), მოძრაობაში ვერ მოვა რელების მიმართ. თუ ერთქმედვალს რელებზე დავაყენებთ, მაშინ დგუშსა და რელებს შორის ბორბლების საშუალებით დამყარდება ურთიერთქმედება და ერთქმედვალის მოძრაობას დაიწყებს რელების მიმართ; მოძრაობის დაწყებასთან ერთად ერთქმედვალის F ძალით იმოქმედებს ვაგონებზე და რალაც a აჩქარებით ამოძრავებს მათ (ნახ. 17). ინერციის გამო m_1, m_2, \dots, m_n მასის მქონე ვაგონები ცდილობენ შეინარჩუნონ თავიანთი პირვანდელი მდგომარეობა და ერთქმედვალზე მოახდენენ უქუქმედებას, რაც სიდიდით შესაბამისად ასე გამოისახება:

$$F_1 = m_1 a, \quad F_2 = m_2 a, \quad F_n = m_n a$$

რამდენჯერაც გაიზრდება ერთქმედვალის ქმედება, იმდენჯერ გაიზრდება ვაგონების მიერ მიღებული აჩქარებები, რომელთა შესაბამისად გაიზრდება აგრეთვე ვაგონების ინერციით გამოწვეული უქუქ-

¹ $F_1 = -F_2$.

ქმედებანი (რელსებთან ვაგონების ხახუნის ძალას ჯერ მხედველობაში არ ვიღებთ).

ამგვარად, ორთქლმავლის ქმედება და ვაგონების ინერციით გამოწვეული ჯამური უკუქმედება, რაც თვით მოძრაობის პროცესში აღიძვრება: ყოველთვის ტოლია. ეს გარემოება ფორმულით შეიძლება დაიწეროს შემდეგნაირად:

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (5)$$

6. რით არის გამოწვეული ვაგონების უკუქმედება ორთქლმავლის ქმედების მიმართ?

7. ცალკეული ვაგონების უკუქმედების ძალის სიდიდე როგორ დაიწერება ფორმულით?

8. ორთქლმავლის ქმედებისა და ვაგონების ჯამური უკუქმედების ტოლობა როგორ გამოისახება ფორმულით?

თუ მხედველობაში მივიღებთ რელსებთან ვაგონების ხახუნის ძალას, რომელიც მოძრაობის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული, მაშინ ინერციით გამოწვეულ უკუქმედებას დაემატება აგრეთვე ხახუნით გამოწვეული უკუქმედება. თუ ხახუნით გამოწვეული უკუქმედების სიდიდეს (ხახუნის ძალის სიდიდეს) ცალკეული ვაგონებისათვის შესაბამისად აღვნიშნავთ F'_1, F'_2, F'_n , მაშინ მე-5 ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$F = (F_1 + F'_1) + (F_2 + F'_2) + \dots + (F_n + F'_n) \quad (6)$$

რაც შეიძლება სიტყვიერად ასე გამოვთქვათ: ორთქლმავლის ქმედება და ვაგონების ინერციითა და ხახუნით გამოწვეული ჯამური უკუქმედება სიდიდით ყოველთვის ტოლია. თუ უკუქმედების ძალების სიდიდეთა ჯამს აღვნიშნავთ F'

$$[F' = (F_1 + F'_1) + (F_2 + F'_2) + \dots + (F_n + F'_n)]$$

და მიმართულებასაც მივიღებთ მხედველობაში, მაშინ მე-5 ტოლობა მოკლედ ასე ჩაიწერება:

$$F = -F'$$

ანალოგიურად შეიძლება აიხსნას ქმედება-უკუქმედების ძალების სიდიდეთა ტოლობა ცხენის მიერ საზიდრის გადაადგილების დროს. ცხენის მიერ საზიდრის ამოძრავების მომენტში ცხენის წევის F_1 ძალის საწინააღმდეგოდ მოქმედებენ საზიდრის ინერციით გამოწვეული $F_2 = ma$ და ხახუნის წინააღმდეგობით აღძრული $F'_2 = KP_n$ ძალები, მათი ჯამი ტოლია ცხენის წევის F_1 ძალის და მის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული, ე. ი.

$$F_1 = -(F_2 + F'_2) \quad (7)$$

თუ საზიდარი თანაბრად და სწორხაზოვნად მოძრაობს, მაშინ იგი ინერციის კანონის თანახმად მიღებული სიჩქარით განაგრძობს თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას; ამ შემთხვევაში $F_2=0$. ცხენი ნაკლები F_1' ძალით ეწევა საზიდარს და ამ შემთხვევაში

$$F_1' = -F_2'$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ წევის ძალა გაწონასწორებულია ხახუნის ძალით. როგორც კი ცხენი შეეცდება აჩქარებით აამოძრაოს საზიდარი, კვლავ აღიძვრება საზიდრის ინერციის უკუქმედების ძალა და ქმედება-უკუქმედება კვლავ მე-7 ტოლობით გამოიხატება.

ანალოგიურად შეიძლება აიხსნას მოძრაობის ყველა სხვა შემთხვევაში ქმედებისა და უკუქმედების სიდიდეთა ტოლობა.

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი :

1. მემანქანე ორთქლმავლით ჭერ ოდნავ უკან უბიძგებს შემადგენლობას, შემდეგ კი დაიწყებს წინსვლას. ახსენით, რით არის გამოწვეული მემანქანის ასეთი მოქმედება?

2. რით არის გამოწვეული პორიზონტალურ გზაზე თანაბრად მოძრავ ელმავალზე ვაგონების მხრივ უკუქმედება?

3. მიუთითეთ, როგორი სახის უკუქმედებების დაძლევა უხდება გემის ხრახნს ამოძრავების მომენტში და როგორი სახისაა თანაბარსწორხაზოვანი მოძრაობის დროს?

4. დინამომეტრზე ჩამოკიდებული 200 ნ ძის მქონე ტვირთი ჭეშმარიტად ზემოთ თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს ზამბარას 200 ნ ძალაზე მეტი ძალით ჭიმავს. ახსენით, საიდან წარმოიშობა ეს დამატებითი ძალა?

5. ნავიდან ბიჭის გადახტომის შედეგად ნავისა და ბიჭის მიერ მიღებული აჩქარებები მათი მასების უკუპროპორციულია. დაამტკიცეთ, რომ ურთიერთქმედების ძალები სიდიდით ტოლებია და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არიან მიმართული.

§ 25. მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონი

ორი მოძრაობის რაოდენობის — იმპულსის შენახვის კანონს წინასწარი „ბუნების ურღვევ კანონს“ უწოდებს [111, გვ. 63]. ფინიშანი კი შეინიშნენები თვლის, რომ „იმპულსის შენახვის კანონი ფრიალ სასარგებლო იონია, რომელიც საშუალებას იძლევა გადაეწყვიტოთ ძალიან ბევრი პრობლემა, ისე რომ არ შევიკრეთ პროცესის დეტალებში“ [140, გვ. 187]. იმპულსის მუდმივობის კანონი, მოძრაობისა და ფიზიკის სხვა ჩვეულებრივი კანონების რიგს ეკუთვნის, მისი სამართლიანობა ვარკვეულ პირობებთან არის დაკავშირებული და ამ კანონის ფორმულირებაში სწორედ ამიტომ აუცილებელი მოვიხსენიოთ „იზოლირებული სისტემა“ ან „გარეგანი ძალების არარსებობა“ და სხვა პირობები. ისე როგორც მოძრაობის კანონები, ეს კანონიც მატერიალურ სხეულებს ეხება, ხოლო როგორც არაერთხელ იყო მითითებული, თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ რეალურ სხეულებში მატერიის რაოდენობა (მასა) განუწყვეტლივ იცვლება, რომ სხეულთა მოძრაობა წარმოებს არა სივრცეში, არა-

მედ გარემოში, რომელშიც სხვადასხვა სიმკვრივით არის განაწილებული მატერია და აგრეთვე გავითვალისწინებთ, რომ რეალურ სამყაროში აბსოლუტური აზრით არ შეიძლება ვილაპარაკოთ იზოლირებულ სისტემაზე, ცხადია, იმპულსის შენახვის კანონის, ისე როგორც სხვა კანონების აბსოლუტური სიზუსტით, ექსპერიმენტული დამტკიცება არ შეიძლება. თუ შევქმნით ისეთ პირობებს, რომ ზემოაღნიშნული ფაქტორებით გამოწვეული ცდომილება ნულისაქენ მიისწრაფოდეს, მაშინ ექსპერიმენტით თანდათან უფრო მეტი და მეტი სიზუსტით შეიძლება დადასტურდეს, როგორც სხვა კანონების, ისე იმპულსის მუდმივობის კანონის სამართლიანობაც.

იმპულსის მუდმივობის კანონის სამართლიანობაზე მიუთითებს ყველა ის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა, როგორც მაკროფიზიკაში, ისე მიკროფიზიკაში, რომლებიც ამ კანონის სამართლიანობის დაშვებით შესრულდა. ამ კანონიდან ყოველი გადახვევის მიზეზი, როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს, არის არა კანონის არასიზუსტე, არამედ იმ ფაქტორების მხედველობაში მიუღებლობა, რომლებიც ჯერ კიდევ არ იყვნენ მიკვლეული თუ აღმოჩენილი და სათანადოდ გათვალისწინებულნი.

იმპულსის შენახვის კანონის გამოყენებით შეიძლება ავხსნათ რეაქტიული მოძრაობის პრინციპი და სათანადო მოცემულობათა პირობებში გავიანგარიშოთ, რა სიჩქარით იმოძრავენს რაკეტა, რეაქტიული თვითმფრინავი, ყუმბარა, ტყვია და სხვა სხეულები. ამ კანონმა უდიდესი მნიშვნელობა მოიპოვა ატომურ და ბირთვულ ფიზიკაში. მისი გამოყენებით შეიძლება საკმაოდ სწორი წარმოდგენა მივიღოთ ატომისა და ბირთვის აგებულებაზე, მათი შემადგენელი ნაწილაკების ბუნებაზე, მათ შორის არსებული ძალების სიდიდესა და ხასიათზე. სხეულთა აბსოლუტურად დრეკადი დაჭახების დროს იმპულსის მუდმივობის კანონზე დაყრდნობით შეიძლება ავგრეთვე დავასაბუთოთ მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონის სამართლიანობა, მაგრამ საერთოდ, როგორც ამას რენე-დეკარტე ფიქრობდა [88, გვ. 140], იმპულსის მუდმივობის კანონით არ შეიძლება დავამტკიცოთ მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონის სისწორე.

არადრეკადი დაჭახების დროს იმპულსის მუდმივობის კანონი უძლურია ახსნას, სად „იკარგება“ მოძრაობა. მაგალითად, ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მოძრაავი ტოლი იმპულსის მქონე ბურთულები არადრეკადი შეხლის დროს გაჩერდებიან, იმპულსის შენახვის კანონი დაცულია, მაგრამ იგი არაფერს ამბობს იმის შესახებ, რომ მოძრაობა არ მოსპობილა, არამედ გარდაიქმნა ბურთულების შინაგან მოძრაობად.

იმპულსის მუდმივობის კანონი ასევე უძლურია უპასუხოს კითხვას, სხეულთა თავისუფალი ვარდნის დროს რატომ იზრდება ვარდნილი სხეულის მოძრაობის რაოდენობა, ანდა თოფის ან ქვეშევხის გასროლის დროს საიდან წარმოდგება, ერთი მხრივ, ტყვიისა და ყუმბარის, ხოლო, მეორე მხრივ, ქვეშევხისა და თოფის მოძრაობა და სხვ. ასეთ შემთხვევებში მოძრაობის შეუქმნადობა და მოუსპობადობა შეიძლება დამტკიცდეს მხოლოდ ენერჯის შენახვის კანონის გამოყენებით. ცხადია, იგულისხმება, რომ ენერჯის ცნება და მისი შენახვის კანონი უნდა გავიგოთ მისი ნამდვილი მეცნიერული მნიშვნელობით და არა ოსტეალდისეული ან ბრაიტმენის მისტიკური თვალსაზრისით (იხ. § 8). თუ გამოვედით მართო მექანიკური მოძრაობიდან და არ ვაღიარებთ მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმების არსებობის ფაქტი ზემოაღნიშნულ და მთელ რიგ სხვა შემთხვევებში, ეერ ავხსნით, საიდან წარმოდგება აღებული სხეულის მექანიკური მოძრაობა ან რად გარდაიქმნება იგი. მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობისა და გარკვეულ პირობებში მათი ურთიერთგარდაქმნადობის ფაქ-

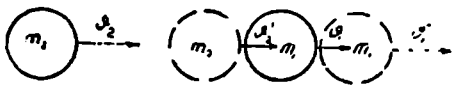
ტის გაუცნობიერებლობა იყო დეკარტესა და ლაიბნიცის მომხრეთა შორის წარმოშობილი იმ დიდი ისტორიული დავის მიზეზი, რომელშიც მონაწილეობა მიიღეს კანტმა და ლამაზბერგმა და რასაც შედეგად მოჰყვა კინეტიკური ენერჯიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულის აღმოჩენა.

ანალოგიური შეცდომის ან გაუგებრობას თავიდან აცილების მიზნით ამ კანონის სწავლების დროს საჭიროა მოსწავლეთა ყურადღება მივაქციოთ მოძრაობის რაოდენობის ვექტორული ხასიათს; ქვეშეხისა და ყუმბარის გასროლამდე და გასროლის შემდეგ მოძრაობის რაოდენობათა ჯამის ნულთან ტოლობა იმას კი არ ნიშნავს, რომ გასროლის შემდეგ მოძრაობასთან არ გავაქვს საქმე, არამედ ეს კანონი მხოლოდ იმაზე მიუთითებს, რომ ქვეშეხმა და ყუმბარამ სიდიდით ზუსტად ტოლი, ხოლო მიმართულებით ურთიერთსწინააღმდეგო მოძრაობის რაოდენობანი მიიღეს და ამიტომ მათი ვექტორული ჯამი 0-ის ტოლია. სასურველია აგრეთვე მიუთითოთ, რომ სხეულთა აბსოლუტურად დრეკადი დაჭახებისას სხეულთა მოძრაობის საერთო რაოდენობა მუდმივი რჩება, ხოლო არადრეკადი დაჭახებისას მოძრაობის რაოდენობის ნაწილი გარდაიქმნება სხეულთა შინაგან მოძრაობად; აქვე მიუთითებთ, რომ ამ შემთხვევაში მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონის სამართლიანობის დასაბუთებლად მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონი არ გამოდგება და საჭიროა მივმართოთ ენერჯიის შენახვის კანონს.

შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს სამ საკითხად: 1. ფორმულის გამოყვანა; 2. მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონის ჩამოყალიბება; 3. მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონის მნიშვნელობა.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარიმართოს ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

ფორმულის გამოყვანა
 მოძრაობის კანონების შესახებ უკვე მიღებული ცოდნისა და მათემატიკის გამოყენებით შეიძლება დავამტკიცოთ ბუნების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კანონი, რომელსაც მოძრაობის რაოდენობის (იმპულსის) მუდმივობის კანონი ეწოდება. განვიხილოთ სწორი ხაზის გასწვრივ სხვადასხვა სიჩქარით ერთი მიმართულებით მოძრაობა ორი ბურთულის დაჭახება (ნახ. 20).



ნახ. 20

თუ $v_2 > v_1$, მაშინ დაჭახებით მოხდება ურთიერთქმედება, რომელიც გაგრძელდება t დროის განმავლობაში.

1. მოძრაობის მეორე კანონის მიხედვით ფორმულით გამოსახებთ პირველი ბურთულის ქმედების ძალის სიდიდე მეორეზე¹.

2. იმავე გზით გამოსახებთ მეორე ბურთულის უკუქმედების ძალის სიდიდე პირველზე².

$$1 \quad F_1 = \frac{m_2 v_2' - m_2 v_2}{t} \quad (1)$$

$$2 \quad F_2 = \frac{m_1 v_1' - m_1 v_1}{t} \quad (2)$$

3. მოძრაობის მესამე კანონის თანახმად, როგორი თანადრობა არსებობს ამ ძალებს შორის?!

თუ მე-3 ტოლობას შევკვეცავთ t -ზე და პრიმიან წევრებს დავლაგებთ ერთ, ხოლო უპრიმოებს — მეორე მხარეზე, მივიღებთ:

$$m_2 v_2' + m_1 v_1' = m_2 v_2 + m_1 v_1 \quad (4)$$

მიღებული ფორმულით გამოსახული კანონზომიერება ასე შეიძლება გამოითქვას: **ორი ბურთულის ურთიერთქმედების შედეგად მათი მოძრაობის რაოდენობათა ჯამი არ იცვლება.**

იგულისხმება, რომ ბურთულების ურთიერთქმედებაზე გავლენას არ ახდენს ჰაერის წინააღმდეგობა, ზედაპირის ხახუნის ან სხვა სახის რაიმე ძალა; ასეთ სხეულებს იზოლირებული სხეულები ეწოდებათ. ნავარაუდევია აგრეთვე, რომ ბურთულები არ იმსხვრევიან და, საერთოდ, არ განიცდიან რაიმე მატერიალურ ცვლილებას.

4. რაში მდგომარეობს მე-4 ფორმულის ფიზიკური შინაარსი?

შემოაღნიშნულ კანონზომიერებას ადგილი აქვს გასროლის დროს თოფისა და ტყვიის, ქვემეხისა და ყუმბარის, აგრეთვე ნებისმიერი იზოლირებული სხეულების ურთიერთქმედების დროს, რომლებიც იზოლირებულია გარეშე გავლენისაგან. ზოგადი სახით ეს კანონზომიერება, რომელსაც მოძრაობის რაოდენობის ან, კიდევ, იმპულსის შენახვის კანონი ეწოდება, ასე ჩამოყალიბდება: **იზოლირებული სხეულების ურთიერთქმედების შედეგად მოძრაობის რაოდენობათა ჯამი უცვლელი რჩება.**

5. ზოგადი სახით როგორ გამოითქმის მოძრაობის (იმპულსის) მუდმივობის კანონი?

თოფიდან ტყვიის გასროლამდე თოფისა და ტყვიის მოძრაობის რაოდენობათა ჯამი ნულის ტოლია. მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონის თანახმად, მათი ჯამი ნულის ტოლი უნდა იყოს გასროლის შემდეგაც.

6. გამოსახეთ ზემოთ მითითებული კანონზომიერება ფორმულით და ახსენით, მიუხედავად იმისა, რომ თოფიცა და ტყვიაც

$$1 \quad F_1 = -F_2 \quad \text{ე. ი.} \quad \frac{m_2 v_2' - m_2 v_2}{t} = - \frac{m_1 v_1' - m_1 v_1}{t} \quad (3)$$

მოდრაობს, მათი მოძრაობის რაოდენობათა ჯამა რატომ არის ნულის ტოლი?¹.

რადგან გასროლამდე თოფი და ტყვია უძრავად იყო, იბადება კითხვა: გასროლის დროს საიდან წარმოდგა მათი მექანიკური მოძრაობა?

ამ კითხვაზე მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონს პასუხის გაცემა არ შეუძლია, ამისათვის საჭიროა მივმართოთ ენერჯის შენახვის კანონს. ამ კანონის მიხედვით, თოფის გასროლის შედეგად საწვავის სითბური მოძრაობა გარდაიქმნება თოფისა და ტყვიის მექანიკურ მოძრაობად.

მოძრაობის რაოდენობის
შენახვის კანონის მნიშ-
ვნელობა

მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონს დიდი მნიშვნელობა აქვს მრავალი მოვლენის ახსნისა და სხვადასხვა გაანგარიშებისათვის.

ამ კანონის გამოყენებით ადვილად ავხსნით, რატომ განიცდის უკუტემას თოფი ან ქვემეხი გასროლის დროს. ნა-ვიდან ან ურიკიდან ჩვენი გადახტომის დროს რატომ ამოძრავდე-ბიან ისინი ჩვენი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. რაკეტიდან ან რე-აქტიული ძრავიდან წვის პროდუქტების სწრაფად გამოდინების დროს რატომ მოძრაობენ ეს უკანასკნელნი გაზების გამოდინების საწინააღმდეგოდ და სხვ.

სათანადო მოცემულობების დროს ყველა ზემოთ მითითებულ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიანგარიშოთ, რა სიჩქარით იმოძრა-ვებენ სხეულები ან რა მასები აქვთ მათ და ა. შ.

ამ კანონს ფართო გამოყენება აქვს აგრეთვე ატომურ ფიზი-კაში ატომისა და ატომის ბირთვის აგებულების შესასწავლად.

7. ნაიდან გადახტომის დროს ნაი უკუაქცევა, ახსენით ეს მოვლენა.

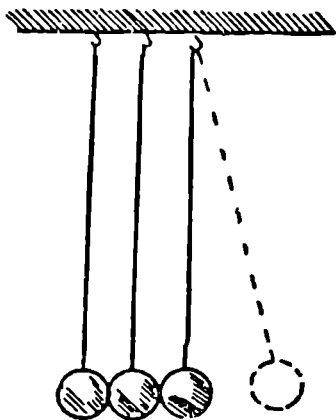
8. რა გამოყენება აქვს მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონს?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი:

1. 21-ე ნახაზზე გამოსახულია ერთნაირი მასის ფოლადის სამი ბურთულა, რომლებიც ჩამოკიდებულია ერთნაირი სიგრძის ძაფზე ისე, რომ ბურთულები

¹ $m_1v_1 + m_2v_2 = 0$. მოძრაობის რაოდენობა ვექტორული სიდიდეა, გასრო-ლის დროს თოფი და ტყვია სიდიდით ტოლი, ხოლო მიმართულებით ურთიერ-საწინააღმდეგო მოძრაობის რაოდენობას იღებს, ამიტომ მათი ჯამი ნულის ტო-ლი იქნება.

ერთმანეთს ეხება. თუ მარჯვენა ბურთულა გადაეხარეთ რაიმე კუთხით და ხელი გავუშვით, იგი მიეჩახება შუა ბურთულას, თვითონ გაჩერდება და ამასთან უკუ-იქცევა მარცხენა ბურთულა იმავე კუთხით, შუა ბურთულა უძრავად დარჩება. ავსსნათ ეს ცდა.



ნახ. 21

2. შაშხანიდან ტყვია 865 მ/წმ სიჩქარით ვარდება. როგორია შაშხანის სიჩქარე უკუცემის დროს, თუ მისი მასა 470-ჯერ მეტია ტყვიის მასაზე? სროლის მომენტში შაშხანას რატომ იღებენ მხართან მკიდროდ?

3. როგორ სიჩქარეს შეიქმნის 600 გ მასის შქონე შეშხუნა, თუ წვის პროდუქტები, რომელთა მასა 16 გ შეადგენს, მისგან გამოედინება 800 მ/წმ სიჩქარით.

§ 26. სხეულთა ბრავიტაციული ურთიერთქმედება, მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

„ფეინმანიეულ ლექციებში“ ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის წინასწარი კანონის აღმოჩენის ისტორიის დასაწყისად სამყაროს შემეცნების შენიშვნები ის უძველესი პერიოდია მიჩნეული, როცა „ჩვენი წინაპრები ავირდებოდნენ ვარსკვლავებს შორის პლანეტების მოძრაობას და, ბოლოს და ბოლოს, მიხვდნენ, რომ პლანეტები ბრუნავენ მზის გარშემო“ [140, გვ. 123]. ავტორები თვლიან, რომ ეს ფაქტი კოპერნიკმა „ხელახლა აღმოაჩინა“ [140, გვ. 123]. ამ კანონის აღმოჩენისათვის, ცხადია, აუცილებელი იყო ის დიდძალი მასალა, რომელიც ტინო ბრავემ დააგროვა პლანეტების მოძრაობაზე დაკვირვებისა და სათანადო გაზომვების მეოხებით, შემდეგ კი ანალიზის საფუძველზე კეპლენმა შეძლო ჩამოეყალიბებინა მისი სახელწოდებით ცნობილი კანონები. კეპლერის კანონების დასაბუთების ცდამ ნიუტონი მიიყვანა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოჩენამდე. ზემოაღნიშნულ ფაქტორებთან ერთად მსოფლიო მიზიდულობის კანონის დადგენისათვის არსებითი მნიშვნელობა ჰქონდა აგრეთვე ყველა იმ, დაახლოებით სწორ თუ არასწორ მოსაზრებას, რომლებსაც ნიუტონის წინამორბედები და თანამედროვენი გამოთქვამდნენ დედამიწაზე სხეულთა ვარდნისა ან პლანეტების მოძრაობის შესახებ, მაგრამ ეს ოდნავადაც არ ამცირებს ნიუტონის როლს ამ შესანიშნავი კანონის აღმოჩენაში, რომელიც იმდენად გრანდიოზულია, რომ „დამსახურებულ აღტაცებას იწვევს ადამიანის გონებისადმი“ [140, გვ. 122].

მსოფლიო მიზიდულობის კანონში ასახულ კანონზომიერებას ემორჩილება როგორც ნებისმიერად მცირე-მატერიალური ნაწილაკები, ისე ნაწილაკთა ისეთი კოლოსალური ერთობლიობა, როგორცაა მზე და მისი სისტემის შემადგენელი პლანეტები, აგრეთვე სამყაროს უდიდესი ვალაქტიკები. სამყაროში ამ კანონზომიერების მოქმედების მიზეზით წარმოიშვა კოსმოსური სხეულები და ჩვენი

დედამიწა, მისი მოქმედების შედეგად არსებობს დედამიწაზე ჰაერი, წყალი და სიციცხლისათვის აუცილებელი სხვა ფაქტორები. მსოფლიო მიზიდულობის კანონის საშუალებით შეიძლება გამოითვალოს მზესა და დედამიწას, დედამიწასა და მთვარეს, აგრეთვე სამყაროში არსებულ ნებისმიერ ორ მატერიალურ სხეულს შორის არსებული გრავიტაციული ძალის სიდიდე. მისი დახმარებით წარმოებს პლანეტების, თანამზაზვარების, კოსმოსური ხომალდების, აგრეთვე დედამიწის ზედაპირზე გასროლილი სხეულების მოძრაობის დამახასიათებელი სხვადასხვა სიდიდის მნიშვნელობათა გაანგარიშება.

გრავიტაციული ურთიერთმოქმედების — გრავიტაციული ძალის ჩაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარეები კარგად არის ასახული ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონში, მაგრამ მისი თვისებრივი მხარის შესახებ მეცნიერებას ჯერ კიდევ არა აქვს საქმარისი ინფორმაცია.

როგორც უკვე მივუთითეთ, ნიუტონი „საწყისებში“ პირდაპირ წერს, გრავიტაციული ურთიერთქმედების ბუნება ჯერჯერობით ცდიდან ვერ გამოვიყვანეთ. ცხადია, ნიუტონი გრავიტაციული ურთიერთქმედების ბუნებას მატერიალურად თვლიდა და ამიტომ მიუთითებდა ცდიდან მისი გამოყვანის საკიროებაზე. რაც შეეხება ნიუტონის განცხადებას ეპისკოპოს ბენტლისადმი მიწერილ წერილში, — გრავიტაციის გადამცემი „აგენტი“ მატერიალურია თუ არაპატერიალური, ამის გადაწყვეტა არ შემოძლია, — ეს ნიუტონის, როგორც მოქალაქის, კომპრომისია იმ ბრძოლაში, რომელიც მისი საზოგადოებრივი რელიგიური აზრისადმი და პირადად ბენტლის წინაშე, რომელმაც ნიუტონის „საწყისების“ მეორე გამოცემის ხარჯები იყისრა და თავისი დიდი ავტორიტეტით მაქსიმალურ ზეგავლენას ახდენდა ნიუტონზე, რომ „საწყისებში“ მეცნიერს მკეროდენი ადგილი მაინც დაეტოვებინა რელიგიისათვის. ამ ფაქტორებითვე უნდა აიხსნას ის გარემოება, რომ ნიუტონმა კოსმოსში კანონზომიერი მოძრაობის მარადიულობის უზრუნველყოფაში „სათის მომმართველის“ როლი მიანიჭა ღმერთს.

რახან ნიუტონმა, მიუხედავად აშკარა მატერიალისტური პოზიციისა, ვერ შეძლო აეხსნა გრავიტაციული ურთიერთქმედების ბუნება, ე. წ. ნიუტონიანელებმა ეს საკითხი მისტიციზმის სპეკულაციის საგნად აქციეს. მაგრამ, როგორც მეცნიერების განვითარების მთელი ისტორია გვიჩვენებს, ამა თუ იმ მოვლენის ბუნების ახსნაში მეცნიერული აზრი საბოლოო ანგარიშში ვერ ურიგდება რალაც ზებუნებრივი — არამატერიალური ძალების არსებობის დაშვებას, მათ ახსნას, ძიებას იგი თვით მატერიალურ სამყაროში იწყებს და პოულობს კიდევ. აინშტაინის [149], ივანეკოს [75, 128], სოკოლოვის [75, 128], ფოკის, ამბარტუმიანის, გობეჯიშვილის, ზულდოვიჩის, კერესელიძის, მირიანაშვილის, ქირიასა და სხვა მრავალი მეცნიერის [118] კვლევის შედეგად ცხადი ხდება, რომ გრავიტაციული ურთიერთქმედების გადამცემი არის არა რალაც მისტიკური „აგენტი“, არამედ გრავიტაციული ველი, რომელიც მატერიის ერთ-ერთი სახეობაა.

სხვადასხვა სახის ძალებისა და ენერგიების არსის გაგება შეუძლებელია, თუ გარდა მექანიკურასა, არ ვალიარებთ მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმების არსებობის ფაქტს; გრავიტაციული ძალისა და ენერგიის არსის განვობიერებისათვის ასევე აუცილებელია ვალიაროთ, რომ გრავიტაციული ველი მატარებელია მოძრაობის გრავიტაციული ფორმისა, რომელიც ალებული კონკრეტული პირობების მიხედვით გარდაიქმნება მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმად და, პირიქით, მოძრაობის ეს ფორმები გარდაიქმნებიან გრავიტაციულ მოძრაობად. გრავიტაციული ძალისა და შესაბამისად გრავიტაციული ენერგიის შესახებ ანალიზური მოსაზრება, მაქსელის, ტორინელისა და სხვა მეცნიერების პარალელურად, გამოთქვა ნ. უმოვმა. იგი პირდაპირ მიუთითებს, რომ: „ძალა, ე. ი.

სხეულის მოძრაობის ცვლილების მიზეზი (ლაპარაკია გრავიტაციულ ძალაზე — კ. ქ.), არის ჩვენთვის უხილავი მატერიის მოძრაობა, რომელიც გარს არტყია სხეულს" [139, გვ. 104].

მასადაამე, გრავიტაციული ურთიერთქმედების — გრავიტაციული ძალის მიზეზად უნდა მივიჩნიოთ გრავიტაციული ველი შესაბამისი მოძრაობის ფორმით და მას მოძრაობის გრავიტაციული ფორმა ეწოდოთ. აქედან გამომდინარე კი, გრავიტაციული ძალა, როგორც უკვე აღინიშნა, უნდა განიზარტოს შემდეგნაირად: გრავიტაციული მოძრაობის გამოვლინებას სხეულის მიმართ, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას, ეწოდება გრავიტაციული ძალა. თუ გრავიტაციული მოძრაობის ფორმების მოხსენიებას მოვერიდებით, მაშინ გრავიტაციული ძალა უნდა განიზარტოს, როგორც აღებულ სხეულზე გრავიტაციული ველის ქმედება, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დეფორმაციას.

როგორც ნ. მინშუტცინი [102, გვ. 85] და სხვები მიუთითებენ, საშუალო სკოლის ფიზიკის სახელმძღვანელოებსა და პროგრამებში უნდა შევიტანოთ სათანადო ინფორმაცია გრავიტაციული ველის შესახებ. მიუსხედავდ ამისა, საშუალო სკოლის ფიზიკის სახელმძღვანელოს ახალ პროექტში [120] არაფერია ნათქვამი გრავიტაციული ველის შესახებ, რაც არ შეიძლება ჩაითვალოს გამართლებულად.

მეცნიერული მსოფლმხედველობის ფორმირებისათვის ხელის შეწყობის და, განსაკუთრებით, გრავიტაციული (პოტენციური) ენერჯიის მეცნიერული თვალსაზრისით სწავლების ინტერესები მოითხოვს მსოფლიო მიზიდულობის კანონის შესწავლის პროცესში ხაზი გაესვას შემდეგ გარემოებებს: 1. სამყაროში არსებული საგნები დაკავშირებულია ერთმანეთთან გრავიტაციული ველის საშუალებით; 2. გრავიტაციული ველი წარმოადგენს მატერიის ერთ-ერთ სახეს; 3. გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა — ეს არის გრავიტაციული ველის ქმედება საგნებზე.

ამ თემის შესწავლა უნდა მოხდეს შემდეგი ძირითადი საკითხების მიხედვით: 1. სხეულისა და დედამიწის გრავიტაციული ურთიერთქმედება; 2. სხეულებს შორის არსებული გრავიტაციული ურთიერთქმედება; 3. გრავიტაციული ურთიერთქმედება კოსმოსურ სხეულებს შორის და მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ჩამოყალიბება; 4. გრავიტაციული მიზიდულობის მნიშვნელობა. სწავლების პროცესის მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა შეიძლება ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

სხეულისა და დედამიწის
გრავიტაციული ურთი-
ერთქმედება

ხიდან მოწყვეტილი ვაშლი, ხელიდან გაშვებული სამელნე, წიგნი, ბურთი, ქვა და სხვა საგნები ინერციის თვისების მიხედვით ვერ ინარჩუნებენ უძრაობის მდგომარეობას, პირიქით, აჩქარებით იწყებენ მოძრაობას და დედამიწაზე ვარდებიან.

იბადება კითხვა: საიდან წარმოდგება ამ სხეულების მოძრაობა, რატომ ვარდებიან ისინი დედამიწაზე?

ამ კითხვაზე ნიუტონამდე არასწორი პასუხი იყო გაბატონებული. რელიგიის მიმდევრები „ამტიციებდნენ“, რომ ღმერთმა დედამიწა სამყაროს ცენტრში გააჩინა და ყველა საგანს დაუწესა მისწრაფოდეს სამყაროს ცენტრისკენო.

1. როგორ ხსნიდნენ ნიუტონამდე სხეულთა ვარდნას დედამიწაზე?

ამ მცდარი შეხედულების წინააღმდეგ ხმა აღიმადღეს კოპერნიკმა, ჯორდანო ბრუნომ, გალილეო გალილეიმ, კეპლერმა და სხვა მეცნიერებმა. მათ აჩვენეს, რომ სამყაროს დაყოფა მიწიერად და ზეცაურად არ არის სწორი. დედამიწა ისეთივე ციური სხეულია, როგორც მარსი, იუპიტერი, ვენერა და სხვა პლანეტები, რომ დედამიწა არ არის სამყაროს ცენტრში; მზე დედამიწის გარშემო კი არ ბრუნავს, არამედ, პირიქით, დედამიწა და პლანეტები ბრუნავენ მზის გარშემო.

სხვა მეცნიერებთან ერთად, ნიუტონი დიდ ხანს ეძებდა დედამიწაზე სხეულთა ვარდნის ნამდვილ მიზეზს. ერთხელ ბაღში მჭიდროში, ღრმად ჩაფიქრებული ნიუტონის ყურადღება მიიქცია ხიდან ჩამოვარდნილმა ვაშლმა. ამ მოვლენის ასახსნელად ნიუტონმა დაუშვა მოსაზრება, რომ, ალბათ, სხეულებსა და დედამიწას შორის არსებობს მიზიდულობა და ეს იწვევს სხეულთა ვარდნას დედამიწაზე. ნიუტონის ეს მოსაზრება გამართლდა. ახლა უკვე დამტკიცებულია, რომ დედამიწასა და სხეულებს შორის არსებობს მიზიდულობა, რომელსაც გრავიტაციული ანუ სიმძიმის ძალა ეწოდება.

2. რა არის სხეულების დედამიწაზე ვარდნის ნამდვილი მიზეზი?

რამდენადაც დედამიწის ზედაპირიდან გარკვეულ სიმაღლეზე აწეული სხეული დედამიწიდან დაშორებულია, იბადება კითხვა: როგორ მოქმედებენ ისინი ერთმანეთზე?

ჩელიგიის წარმომადგირლები ჯერ კიდევ ნიუტონის სიცოცხლეში შეეცადნენ განემტკიცებინათ ის აზრი, რომ გრავიტაციული ურთიერთქმედება გადაეცემა რაღაც ლეთაებრივი ძალების საშუალებით. ეს მცდარი ანტიმეცნიერული მოსაზრება უარყოფილ იქნა. ახლა მეცნიერულად დადასტურებულია, რომ გრავიტაციული ურთიერთქმედება გადაეცემა ე. წ. გრავიტაციული ველის საშუალებით, რომელიც მატერიის ერთ-ერთი სახეა.

3. რის საშუალებით გადაეცემა გრავიტაციული ურთიერთქმედება?

4. რას წარმოადგენს გრავიტაციული ველი?

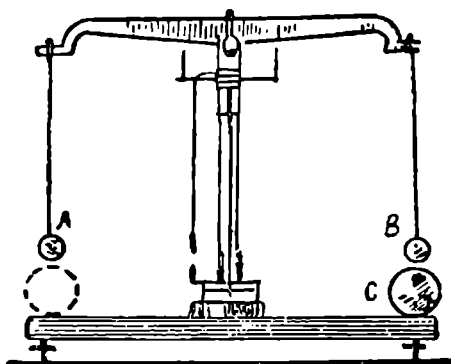
გრავიტაციული ველის ქმედების შედეგად სხეულები იღებენ აჩქარებას და ვარდებიან დედამიწაზე, ხოლო თუ ისინი დაკიდებული ან დაყრდნობილი არიან რაიმეზე, მაშინ ეს ველი იწვევს მათ დეფორმაციას. აქედან გამომდინარე, გრავიტაციული ძალა შემდეგნაირად განიხარტება: სხეულზე გრავიტაციული ველის ქმედებას, რომელიც იწვევს აჩქარებას ან დე-

ფორმაციას, ეწოდება გრავიტაციული ანუ სიმძიმის ძალა.

5. რას ეწოდება სიმძიმის ძალა?

სხეულებს შორის არსებული გრავიტაციული ურთიერთქმედება

ჩვენ ვნახეთ, რომ სხეულსა და დედამიწას შორის არსებობს გრავიტაციული ურთიერთქმედება. იბადება კითხვა — ასეთივე ურთიერთქმედება არის თუ არა ნებისმიერ ორ სხეულს შორის? ნიუტონი ფიქრობდა, რომ გრავიტაციული ურთიერთქმედება არსებობს ყველა სხეულებს შორის. ნიუტონის ეს მოსაზრება მრავალი ცდით დამტკიცდა.



ნახ. 22

ერთ-ერთი ასეთი ცდის სქემა გამოსახულია 22-ე ნახატზე. თუ მგრძნობიარე სასწორზე გავაწონასწორებთ ტყვიის ორ ბირთვის და შემდეგ ერთ-ერთ მათგანს ქვემოდან მივუახლოვებთ მათზე რამდენჯერმე უფრო მეტი მასის მქონე ტყვიის სფეროს, დავინახავთ, რომ წონასწორობა დაირღვევა, რის მიზეზიც, ცხადია, ის არის, რომ სას-

წორზე გაწონასწორებულ B ბირთვსა და მიახლოებულ C ბირთვს შორის თავი იჩინა ურთიერთმიზიდულობამ. უფრო ზუსტი ცდა შეიძლება ე. წ. გრეხვით სასწორებზე, რომლებიც საშუალებას იძლევა შევამჩნიოთ ურთიერთქმედების ძალის ოდნავი გამოვლინებაც კი.

6. როგორ მტკიცდება, რომ ნებისმიერ სხეულებს შორის არსებობს გრავიტაციული ურთიერთქმედება?

გრავიტაციული ურთიერთქმედება კოსმოსურ სხეულებს შორის და მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ჩამოყალიბება

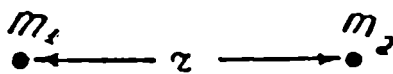
დედამიწასა და მის მახლობლობაში მყოფ ყველა სხეულს შორის ურთიერთმიზიდულობის არსებობაში რომ ვრწმუნდებით, გვებადება კითხვა: ასეთივე ურთიერთმიზიდულობა არსებობს თუ არა დედამიწასა და მზეს, მთვარესა და სხვა კოსმოსურ სხეულებს შორის?

ნიუტონი ცდილობდა თეორიული დასაბუთება მოენახა მზის გარშემო დედამიწისა და სხვა პლანეტების მოძრაობის კანონზომი-

ერებისათვის და იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ კოსმოსურ სხეულებს შორის არსებობს გრავიტაციული ურთიერთმიზიდულობა. ნიუტონის ეს მოსაზრება ახლა მეცნიერებაში ყოველმხრივ დასაბუთებულად ითვლება.

მრავალი გაანგარიშების საფუძველზე ნიუტონი დარწმუნდა, რომ გრავიტაციული ურთიერთმიზიდულობის ძალა, რომელიც არსებობს დედამიწასა და მის მახლობლობაში მყოფ სხეულებს, აგრეთვე კოსმოსურ სხეულებს შორის, ერთნაირი ბუნებისაა და ერთსა და იმავე კანონზომიერებას ემორჩილება. ამის გამო ამ კანონს მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ეწოდება.

მატერიალურ სხეულთა გრავიტაციული ურთიერთმიზიდულობის ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად ნიუტონმა დაადგინა კანონი, რომელიც შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ: **ორი მატერიალური სხეულის გრავიტაციული ურთიერთმიზიდულობის ძალა მათი მასების პირდაპირპროპორციული და მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია.**



ნახ. 23

თუ სხეულებს მატერიალურ წერტილებად წარმოვიდგენთ, მათ შორის მანძილს აღვნიშნავთ r (ნახ. 23), მასებს m_1 და m_2 , გრავიტაციის ურთიერთმიზიდუ-

ლობის ძალას F , ხოლო პროპორციულობის კოეფიციენტს γ ასობით, მაშინ ეს კანონი შეიძლება გამოისახოს მათემატიკური ფორმულის სახით.

7. მიღებული აღნიშვნების მიხედვით ფორმულით გამოსახეთ გრავიტაციული ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი კანონი!

8. რატომ ეწოდება გრავიტაციული მიზიდულობის კანონს მსოფლიო მიზიდულობის კანონი?

9. სიტყვიერად როგორ გამოითქმის და ფორმულით როგორ გამოისახება გრავიტაციული ძალის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი კანონი?

თუ პირველი ფორმულიდან განვსაზღვრავთ γ -ს, მივიღებთ

$$\gamma = \frac{F \cdot r^2}{m_1 \cdot m_2} \quad (2)$$

თუ ამ ფორმულაში შევიტანთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი სიდიდეების ერთეულებს γ -სათვის, მივიღებთ განზომილებას:

$$^1 F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\text{დნ} \cdot \text{სმ}^2}{\text{გ}^2}$$

γ -ს რიცხვითი მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ ცლით, რომელიც შეიძლება მოვაწყოთ 22-ე ნახატზე გამოსახული სქემის მიხედვით. ზუსტი გაზომვების შედეგად დადგენილია, რომ

$$\gamma = \frac{1 \text{ დნ} \cdot \text{სმ}^2}{15000000 \text{ გ}^2}$$

γ -ს ფიზიკური შინაარსი ასე შეიძლება გავიგოთ: γ გვიჩვენებს იმ გრავიტაციული ძალის სიდიდეს, რომლითაც ერთმანეთს მიიზიდავს ორი თითო გრამი მასის მქონე სხეული, რომელთა ცენტრები დაშორებულია 1 სმ-ით. რადგან $\gamma = \frac{1 \text{ დნ} \cdot \text{სმ}^2}{15000000 \text{ გ}^2}$ ეს იმას ნიშნავს, რომ ორი თითო გრამი მასის მქონე სხეული, რომლებიც ერთმანეთისაგან 1 სმ-ით არის დაშორებული, ერთმანეთს იზიდავს ერთი თხუთმეტმემილიონედი დინი ძალით.

როგორც ვიცით, დინი ძალიან პატარა სიდიდის ძალაა, მაშ, როგორ შეიძლება აიხსნას, რომ დედამიწა მის მახლობლობაში მყოფ სხეულებს ბევრად უფრო დიდი ძალით იზიდავს?¹.

10. რაში მოაგომარეობს გრავიტაციული მუდმივის ფიზიკური შინაარსი?

გრავიტაციული მიზიდულობის მნიშვნელობა დედამიწა^ა და ადამიანს შორის გრავიტაციული მიზიდულობა რომ არ არსებობდეს, მოძრაობის ინერციის გამო ადამიანი პირველი ფეხის გადადგმისთანავე მოწყდება დედამიწას, განაგრძობს მოძრაობას სამყაროს სივრცეში და დაიღუპება უჰაერობის, უწყლობისა და კვების უქონლობის გამო. ასევე ბურთი, ისარი, სატრანსპორტო საშუალებანი და, საერთოდ, ყველა საგანი დედამიწიდან პირველი ბიძგის მიღებისთანავე გაიბნეოდა სამყაროს სივრცეში.

მზის გარშემო დედამიწის ბრუნვის ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია მზესა და დედამიწას შორის არსებული გრავიტაციული მიზიდულობა. ეს მიზიდულობა რომ არ იყოს, დედამიწა ინერციის კანონის თანახმად მოწყდებოდა მზის სისტემას და ყინულოვან,

¹ საქმე ის არის, რომ დედამიწის მასა ძალიან დიდია. თუ პირველ ფორმულაში შევითანოთ დედამიწისა და აღებული სხეულის მასებს, აგრეთვე მათ ცენტრებს შორის მანძილსა და გრავიტაციული მუდმივის მნიშვნელობას, სათანადო გამოანგარიშებით გავიგებთ იმ ძალის სიდიდეს, რომლითაც დედამიწა და აღებული სხეული იზიდავს ერთმანეთს (დედამიწის ბრუნვა ლერძის გარშემო აქ მხედველობაში არ არის მიღებული).

უსიციოცხლო პლანეტად გადაიქცეოდა (აქ მხედველობაში არ ვი-
ლებთ სხვა ფაქტორებს).

დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა იმდენად დი-
დია, რომ მას უნარი შესწევს თავის გარშემო შეინარჩუნოს ატმოს-
ფერო. ეს უკანასკნელი კი განაპირობებს წყლის არსებობას დედა-
მიწაზე. ამგვარად, დედამიწაზე ადამიანის სიციოცხლის არსებობი-
სათვის აუცილებელი ფაქტორების — ჰაერისა და წყლის არსებო-
ბაც აგრეთვე გაპირობებულია დედამიწის გრავიტაციული მიზიდუ-
ლობით. იგივე მიზეზი განაპირობებს თოვლის, წვიმისა და, მაშა-
სადამე, მდინარეების არსებობასაც, რაც ელსადგურების, სარწყავი
სისტემებისა და სიციოცხლისათვის საჭირო სხვა საშუალებათა შექ-
მნის საშუალებას იძლევა.

11. დედამიწის გრავიტაციულ მიზიდულობას რა მნიშვნელობა
აქვს ადამიანის სიციოცხლისათვის?

როგორც ყოველი სხვა მოვლენა, გრავიტაციული მიზიდუ-
ლობაც ცხოვრებაში გვევლინება არა მარტო სასარგებლოდ; მთელ
რიგ შემთხვევებში იგი ხელს გვიშლის და მისი მოქმედება თუ წი-
ნასწარ არ გავითვალისწინეთ, დიდ ზიანს მოგვიტანს. მაგალითად,
მალაროებში ქანების ჩამონგრევის, მთებში ზევის გაჩენის, წყალ-
დიდობისა და სხვათა მიზეზი დედამიწის მიზიდულობაა; ამ მოვ-
ლენებს დიდი ზარალის მოტანა შეუძლიათ, თუ ისინი წინასწარი
სათანადო ღონისძიებებო არ ავიცილეთ. იგივე მიზიდულობა დი-
დად გვიშლის ხელს ავტომანქანით, მატარებლით, გემით, თვით-
მფრინავით ტვირთის გადატანის დროს, უდიდეს დაბრკოლებას
გვიქმნის თანამგზავრებისა და კოსმოსური ხომალდების გაშვების
საქმეში და ა. შ.

12. ჩამოთვალეთ დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობის
ზოგიერთი საზიანო გამოვლინება.

მეცნიერება თანდათან უკეთ წვდება გრავიტაციული ურთი-
ერთქმედების ბუნების არსში, რაც იმის საწინდარია, რომ მეცნიე-
რებისა და ტექნიკის შემდგომი პროგრესის კვალობაზე თანდათან
უფრო უკეთ შევძლებთ საჭიროების მიხედვით ვმართოთ ყველა ის
პროცესი, რომლებიც დაკავშირებულია გრავიტაციულ ურთიერ-
ქმედებასთან.

12. რა პერსპექტივებს გვისახავს გრავიტაციული ურთიერ-
ქმედების ბუნების შემდგომი უფრო ღრმა შესწავლა?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი :

1. დასახელეთ ურთიერთქმედების ის სახეობა, რომელსაც სამყაროს ყოველი სხეული განიცდის.

2. რით არის გამოწვეული სხეულთა ვარდნა დედამიწაზე?

3. რის საშუალებით გადაეცემა სხეულთა გრავიტაციული ურთიერთქმედება?

4. რატომ არის სხეულთა თავისუფალი ვარდნა თანაბარაჩქარებული?

5. დედამიწის ზედაპირზე მდებარე სხეულის მასა ტოლია 10 კგ, დედამიწისა კი $6 \cdot 10^{24}$ კგ. გამოთვალეთ გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალის სიდიდე, თუ დედამიწისა და სხეულის ცენტრებს შორის მანძილი უდრის 6400 კმ.

6. განსაზღვრეთ დედამიწის მასა, თუ იგი თავისი ცენტრიდან $6,4 \cdot 10^8$ სმ დაშორებულ 1 გ მასის მქონე სხეულზე მოქმედებს 980 დნ ძალით.

პას. $\approx 6 \cdot 10^{27}$ გ.

7. მთვარის მასა შეადგენს დედამიწის მასის 0,012, ხოლო მისი რადიუსი ოთხჯერ ნაკლებია დედამიწის რადიუსზე. გამოთვალეთ, რა ძალით მიიზიდავს იგი მის ზედაპირზე მდებარე 10 კგ მასის მქონე სხეულს.

მუშაობა და ენერგია

§ 27. მემანიაქური მუშაობა

მუშაობის ცნების შინაარსის გარკვევის თავისებურებათა მიხედვით წინასწარი არსებული ლიტერატურის მიმოხილვის დროს (§ 7) მითითებული შენიშვნები იყო, რომ ავტორთა ერთი ნაწილი მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის გაშუქების საჭიროების აუცილებლობას არ გრძნობს, ხოლო ზოგიერთი გარკვეული მეთოდოლოგიური მოსაზრებებიდან გამომდინარე შეგნებულად უვლის მას გვერდს, რაც არ არის გამართლებული. ცნობილი საბჭოთა ფიზიკოს-მეთოდისტი პროფ. პ. ზნამენსკი მიუთითებს: „მოსწავლეთა ცოდნაში ფორმალიზმი წარმოსდგება სწორედ იქიდან, რომ ხშირად მოსწავლეებს თვისებრივი მხარის გაულრმაველად დოგმატურად ეძლევათ რაოდენობრივი და მოკიდებულებანი“ [74, გვ. 22]. ავტორთა მეორე ჯგუფი, პირიქით, აუცილებელ საჭიროებად მიიჩნევს მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის გარკვევას. ამ კატეგორიის ავტორთა რიცხვს მიეკუთვნებიან ელიოტი და უილკოკსი [150], ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსი რიჩარდ ფეინმანი [140], აშშ მასაჩუსეტის შტატის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში ცნობილი „ფიზიკის“ [140] შემქმნელი მრავალრიცხოვანი ავტორთა კოლექტივი და ბევრი სხვა ფიზიკოსი.

სათანადო ანალიზით ნაჩვენები იყო აგრეთვე, რომ, მიუხედავად დიდი მონდომებისა, ავტორთა უმრავლესობა ვერ ახერხებს მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის დამაკმაყოფილებლად გაშუქებას. მუშაობის ცნება მოძრაობის ერთ მხარეს, მოძრაობის სხვა ფორმაში გარდაქმნის პროცესს გამოხატავს, ზემონაგულისხმევი ავტორები კი არ ცნობენ მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტს, ამიტომ მათთვის მიუწყდომელი რჩება მუშაობის ცნების ნამდვილი შინაარსის გარკვევის შესაძლებლობა.

ჩვენ ვეყრდნობოდით მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტსა და მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონს, ამასთან გაეითვალისწინეთ კიევის უნივერსიტეტის თეორიული მექანიკის კათედრის გამგის პროფ. ნაუშოვის მოსაზრება და მე-7 პარაგრაფში ეახვენეთ, რომ ყველა ის მოვლენა, როცა ფიზიკაში მექანიკური მუშაობის ცნება გამოიყენება, ეს არის გზის მოცემულ უბანზე მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნის პროცესი. ამ გარემოებიდან გამომდინარე, მექანიკური მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის განმარტებისათვის რეკომენდებული იყო შემდეგი ფორმულირება: მექანიკური მუშაობა ეწოდება სხეულის გადაადგი-

ლები ს გზაზე მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნის პროცესს.

თუ გავითვალისწინებთ იმ მოსაზრებებს, რომლებიც უკვე გამოიქვეა, ძალის, მუშაობის, ენერჯისა და მათთან დაკავშირებული სხვა ცნებების შესახებ, ცხადი გახდება, რომ მეცნიერული თვალსაზრისით დღემდე არსებული ინფორმაციის მიხედვით მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის ეს განსაზღვრება ყველაზე უკეთესია. მაგრამ რადგან იგი ჯერ კიდევ არ გადაქცეულა „ჩვეულებრივად“, ზოგიერთმა მეთოდისტმა „მეთოდური მოსაზრებების გამო“ იგი შეიძლება ნაადრევად მიიჩნიოს. ჯერჯერობით დავეუშვათ, რომ ეს მოსაზრება სწორია და ვნახოთ, როგორი ალტერნატივის წინაშე აღმოჩნდებით.

თავისთავად ცხადია, მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის გარკვევისათვის არ გამოდგება მისი დაკავშირება მუშისათვის ქირის გადახდასთან [150, გვ. 237—238].

განმარტება — მუშაობა ეწოდება წინააღმდეგობის გადალახვას სხეულის მოძრაობის გზაზე, — როგორც უკვე მითითებული იყო, არ არის გამართლებული იმდენად, რამდენადაც ფიზიკაში არ არის განმარტებული წინააღმდეგობის ცნება, ხოლო თუ მისი არსის გარკვევას შევედგებით, ნათელი გახდება, რომ წინააღმდეგობის გადალახვის დროს საქმე გვაქვს მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმაში გარდაქმნის პროცესთან.

რაც შეეხება IX კლასის ამჟამად მოქმედ სახელმძღვანელოში გამოთქმულ მოსაზრებას „...მექანიკური მუშაობა წარმოადგენს სხეულის მოძრაობის პროცესს, რომელიც სხეულზე მოდებული ძალის მოქმედებით ხდება“, თუ ძალის ცნების თვისებრივ მხარეს სწორად გავიზიარებთ, მუშაობის ისევე იმ განმარტებამდე მივალთ, რომელიც პროფ. ნაუმოვისა და ჩვენს მიერ არის რეკომენდებული.

ამგვარად, არჩევანის წინაშე ედგევართ: ან „მიუჩვეველ ლხინს მიჩვეული ქირი ვარჩიოთ“ და მუშაობის არასრულფასოვანი, მაგრამ „ჩვეულებრივი“ განმარტება დაეტოვოთ ძალაში, ან გადაეწყვიტოთ, რომ ლხინის მიჩვევა, რაგინდ უცხო არ უნდა იყოს იგი არცთუ ძალიან ძნელი იქნება და მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარე ახლებურად ისე განვმარტოთ, რომელიც ყველაზე მეტად შესაბამეა მეცნიერებაში დღეისათვის დაგროვილ ინფორმაციას.

თეორიული ანალიზისა და გარკვეული პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე ჩვენ მეორე არჩევანის მომხრე ვართ, მით უმეტეს, რომ იგი მოსწავლეთაგან არ მოითხოვს „ერენფესტის პარადოქსის“ [147, გვ. 187] მსგავს უჩვეულო წარმოდგენებს, რომელთადაც დაკავშირებულია „ფარდობითობის თეორიის ელემენტების“ სწავლება და რომელიც გათვალისწინებულია სამუშაო სკოლის ფიზიკის ახალი სასწავლო პროგრამის პროექტით [120, გვ. 57]. რაც შეეხება „საბოლოო“ დიაგნოზს ახალი განსაზღვრების სიცოცხლისუნარიანობის შესახებ, ამის წინასწარი გადაწყვეტა არ შეიძლება, ეს მომავლის საქმეა.

მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის სწორად გაშუქებას არსებითი მნიშვნელობა აქვს როგორც თვით ამ ცნების შინაარსის სწორად გაგებისა და შეთვისებისათვის, ისე ძალის შესახებ სწორი შეხედულების შემდგომი გაღრმავებულ განმტკიცებისათვის. იგი აგრეთვე განამტკიცებს იმ შეხედულებას, რომ სამყაროში მოძრაობის შექმნა ან მოსპობა კი არ ხდება, არამედ საქმე გვაქვს მოძრაობის ფორმათა განუწყვეტელ ურთიერთგარდაქმნასთან, ამავე დროს ნიადაგს უშზადებს ენერჯის საკითხების მეცნიერული თვალსაზრისით გამართლებულ სწავლებას.

ამ თემას შეესაწავლით შემდეგი ძირითადი საკითხების მიხედვით: 1. მექანიკური მუშაობის ცნების შინაარსი; 2. მუშაობის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა; 3. მუშაობის ერთეულები.

სწავლების პროცესის მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა შეიძლება ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

მექანიკური მუშაობის ცნების შინაარსი მუშაობის ასაგებად მშენებლობის ადგილზე საჭიროა მივზიდოთ აგური, კირი, ცემენტი, კრამიტი, სილა, ფიცარი და სხვა მასალა. საკვები პროდუქტების, ტანსაცმლის, მანქანა-იარაღების დამზადებისათვის საჭიროა აგრეთვე სათანადო მასალების გადატანა ერთი ადგილიდან მეორეზე. ყველა ამ პროცესს მექანიკური მუშაობის შესრულება, ანუ, მოკლედ, მუშაობა ეწოდება. ჩვენ უკვე ფიზიკის მთელი რიგი კანონები შევისწავლეთ, ახლა ვეცადოთ, მიღებული ცოდნის საფუძველზე შევისწავლოთ ის პროცესი, რომელსაც მუშაობის დროს აქვს ადგილი, და სადაც ჩვენი ცოდნა საკმარისი არ აღმოჩნდება, შევავსოთ ახალი კანონების შესწავლით.

რკინიგზის ლიანდაგზე მატარებლის შემადგენლობის ადგილიდან დაძვრისათვის, მოძრაობის შეუქმნადობის პრინციპიდან გამომდინარე, საჭიროა მოძრაობის რაიმე ფორმა გარდაექმნათ შემადგენლობის მექანიკურ მოძრაობად.

როცა მემანქანე ორთქლძაველის ან ელმავლის ძრავას ჩართავს, იგი სწორედ ასე იქცევა. პირველ შემთხვევაში საწვავის წვის პროცესში მიღებულ სითბურ მოძრაობას, მეორე შემთხვევაში კი ელექტრომაგნიტურ მოძრაობას გარდაქმნის მატარებლის მექანიკურ მოძრაობად. ამ პროცესს მექანიკურ მუშაობას უწოდებენ. იგი შეიძლება შემდეგნაირად განიმარტოს: მექანიკური მუშაობა ეწოდება სხეულის გადაადგილების გზაზე მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნის პროცესს.

როგორც ვიცით, მატარებლის შემადგენლობაზე რომ არ მოქმედებდეს დედამიწის მიზიდულობის, ხახუნისა და წინააღმდეგობის სხვა ძალები, იგი ძრავისაგან ერთხელ მიღებული სიჩქარით განაგრძობდა თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას.

რადგან მატარებლის შემადგენლობა განიცდის ხახუნის წინააღმდეგობას, მისი მექანიკური მოძრაობა მალე გარდაიქმნება ჰაერის ფენების, ბორბლებისა და რელსების შინაგან სითბურ მოძრაობად. მატარებლის შემადგენლობის მექანიკური მოძრაობის შენარჩუნებისათვის საჭიროა ძრავის საშუალებით განუწყვეტლივ ხდებოდეს მოძრაობის რომელიმე ფორმის გარდაქმნა მის მექანიკურ მოძრაობად.

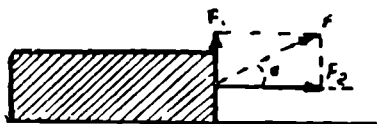
მოდრაობის ფორმათა გარდაქმნის კიდევ უფრო რთულ პროცესებთან გვაქვს საქმე, როცა მუშაობას ასრულებს ადამიანი, ცხენი და სხვა ცოცხალი ორგანიზმი. მოძრაობის ამ ფორმათა გარდაქმნის უფრო დეტალური შესწავლა ამჟამად ჩვენს მიზანს არ შეადგენს. ჩვენი შემდგომი ამოცანა მდგომარეობს იმ ფორმულის დადგენაში, რომელიც საშუალებას მოგვცემს სხვადასხვა შემთხვევაში გამოვიანგარიშოთ შესრულებული მუშაობის რაოდენობა.

1. რას ეწოდება მექანიკური მოძრაობა?

მუშაობის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა

მექანიკური მუშაობის სიდიდე, ე. ი. ძრავის ქმედების გზით გარდაქმნილი მოძრაობის სიდიდე მით უფრო მეტია, რაც უფრო დიდია ქმედების (ძალის) სიდიდე და ის გზა,

რომლის გასწვრივად სრულდება მოძრაობა. აქედან გამომდინარე, მუშაობის სიდიდის გამოსაანგარიშებლად დადგენილია შემდეგი წესი: მუშაობის სიდიდე იზომება გავლილი გზისა და გზის გასწვრივ მოქმედი ძალის სიდიდის ნამრავლით.



ნახ. 24

თუ შემოვიტანთ სათანადო აღნიშვნებს: A იყოს შესრულებული მუშაობის ანუ გარდაქმნილი მოძრაობის სიდიდე, F — გზის გასწვრივ ტვირთზე ქმედების (ძალის) სიდიდე და S — გზის სიგ-

რძე, რომელზეც ხდება ტვირთის გადაადგილება, მაშინ ეს წესი ფორმულით ასე ჩაიწერება:

$$A = F \cdot S \cdot (1)$$

როცა ძრავის ქმედება (ძალა) გადაადგილების მიმართულებასთან რაიმე α კუთხეს ადგენს (ნახ. 24), მაშინ F_1 -ის მიმართულებით გადაადგილება და, მასასადამე, მექანიკური მუშაობა არ სრულდება. მექანიკური მუშაობა წარმოებს F_2 -ის მიმართულებით, რომელიც ტვირთის გადაადგილებას ემთხვევა, ამიტომ ამ შემთხვევაში შესრულებული მუშაობის ანუ გარდაქმნილი მოძრაობის სიდიდე გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$A = F_2 \cdot S \text{ ან } A = F \cdot S \cos \alpha$$

თუ $\alpha = 0^\circ$, რადგან $\cos 0^\circ = 1$, ეს იმას ნიშნავს, რომ F ემთხვევა F_2 და მივიღებთ $A = F \cdot S$.

როცა $\alpha = 90^\circ$, რადგან $\cos 90^\circ = 0$, $A = 0$, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ დასახული გზის გასწვრივ სხეული არ გადაადგილდება, მუშაობა არ სრულდება.

2. როგორ გამოვიანგარიშებთ შესრულებული მუშაობის სიდიდეს სხვადასხვა შემთხვევაში?

მუშაობის ერთეულები მუშაობის ერთეულების მისაღებად საჭიროა 1-ლ ფორმულაში შევიტანოთ ძალისა და გზის ჩვენთვის უკვე ცნობილი ერთეულები.

3. მონახეთ მუშაობის CGS ერთეული, რომელსაც ერგი ეწოდება¹.

ერგი შეიძლება ასე განიმარტოს: ერგი არის ის მუშაობა, რომელსაც ერთი დინი ძალა ასრულებს ერთ სანტიმეტრ გზაზე.

4. მონახეთ მუშაობის SI ერთეული, რომელსაც ჯოული ეწოდება².

ჯოული ასე განიმარტება: ჯოული არის ის მუშაობა, რომელსაც ერთი ნიუტონი ძალა ასრულებს ერთ მეტრ გზაზე.

5. მონახეთ, როგორი თანაფარდობა არსებობს ჯოულსა და ერგს შორის³.

ამოცანები:

1. ახსენით, რატომ არის აუცილებელი ორთქლმავლის განუწყვეტელი ქმედება მატარებლის თანაბარი მოძრაობის შესანარჩუნებლად?

2. აღწერეთ, როგორ გარდაქმნებს განიცდის ორთქლმავლის საეცხლურში მიღებული სითბური მოძრაობა მატარებლის პორიზონტულ გზაზე თანაბარი მოძრაობის დროს და როგორ გარდაქმნებს — თანაბარჩქარებულ მოძრაობის დროს.

3. აღწერეთ, როგორ გარდაქმნებს განიცდის გემის საეცხლურში ქვანახშირის დაწვის შედეგად მიღებული სითბური მოძრაობა გემის თანაბარი და თანაბარჩქარებულ მოძრაობის დროს და მიუთითეთ, რატომ არის აუცილებელი გემზე ძრავის განუწყვეტელი ქმედება გემის თანაბარი მოძრაობის შესანარჩუნებლად.

4. მატარებლის, გემის, ავტომობილის პორიზონტულად მოძრაობისას თანაბარიდან თანაბარჩქარებულ მოძრაობაზე გადასვლის დროს უფრო მეტი საწვავი იხარჩება. ახსენით ეს მოვლენა.

¹ ერგი = დნ . სმ.

² ჯოული = ნ . მ.

³ ჯოული = $10^5 \text{ ნ} \times 10^2 = 10^7$ ერგი.

5. სადგურიდან გამავალი ორთქლმავალი 80 000 ნ ჭალით ეწევა ეაგონებს და ანიჭებს მათ 0,1 მ/წმ² აჩქარებას. გამოთვალეთ, რა სიჩქარე ექნება მატარებელს 3 წუთის შემდეგ და რას უდრის ამ დროის განმავლობაში შესრულებული მუშაობა.

6. მატარებელი, რომლის წონაა 1 800 ტ, სადგურიდან გადის 0,2 მ/წმ² აჩქარებით, ხახუნის კოეფიციენტი ტოლია 0,003. გამოთვალეთ, რა მუშაობას შესრულებს ორთქლმავალი 0,15 კმ გზის გავლის დროს.

7. 1,6 ტ წონის ლიფტი იწყებს მოძრაობას ზევით 1 მ/წმ² აჩქარებით. გამოთვალეთ, პირველ 2 წამში ლიფტის ძრავის მიერ შესრულებული მუშაობა. ამოცანა ამოხსენით ჯერ CGS, ხოლო შემდეგ SI ერთეულთა სისტემის გამოყენებით.

8. განსაზღვრეთ ის წინააღმდეგობა, რომელსაც გადალახავს სარანდი დაზვის საკრისი რანდვის დროს, თუ დაზვის ძრავა ასრულებს 1200 ჯ მუშაობას და საკრისის გადაადგილებას აწარმოებს 120 მმ მანძილზე.

§ 28. ენერგია

როგორც უკვე იყო მითითებული, ენერგეტიზმის აპოლოგეტები წინასწარი გ. გელში, ვ. ოსტვალდი და სხვ. ენერჯის თვისებრივი მხარის მიწინააღმდეგეები კმალავით, რაოდენობრივ მხარეზე დაყრდნობით აბნეუდნენ ჯერ კიდევ ძველ საბერძნეთში ნათლად და მკაფიოდ წამოჭრილი საკითხის არსს მოძრაობის „მიზეზის“ შესახებ და ყველაფერს აკეთებდნენ იმისათვის, რომ შეექმნათ შთაბეჭდილება, თითქოს მუშაობის შესრულება, მოძრაობის შექმნა შეუძლია მატერიისაგან დამოუკიდებელ რაღაც არსებას, „ენერჯია — სუბსტანციას“. რამდენადაც ენერჯის თვისებრივი მხარის შესახებ შეხედულებანი ენერგეტიზმის გავლენით ვითარდებოდა, მან თავისებური მისტიკური კვალი დააჩინა ამ ცნების შინაარსის გაგების საქმეს. სწორედ ამიტომ ამბობს ბრაიტმენი, რომ „ენერჯის მატარებელი არის ღმერთი, ხოლო ფიზიკოსების მიერ აღწერილი ენერჯია ღმერთის ნებაა მოქმედებაში“ [55]. რასაკვირველია, ასეთი „მტკიცება“ მეცნიერებაში სერიოზულად ვერ ჩაითვლება, მაგრამ მთელი სერიოზულობით უნდა გაეითვალისწინოთ თანამედროვე ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსის ფინმანისა და მისი თანაავტორების ლეიტონისა და სენდისის მეტად საგულისხმო აღიარება: „მნიშვნელოვანია გვახსოვდეს, რომ დღევანდელი დღის ფიზიკისათვის არ არის ცნობილი, რა არის ენერჯია“ [140, გვ. 73].

ამუ მასაჩუსეტის შტატის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში მრავალრიცხოვან ავტორთა ჯგუფის მიერ შექმნილი „ფიზიკაში“ აღიარებულია, რომ ფიზიკაში დღემდე არსებული ინფორმაციის მიხედვით, „...ენერჯის ცნების ზუსტი განმარტების მოცემა ძნელია“ [141, გვ. 505]. (ცხადია, აქ იგულისხმება ის ფიზიკა, რომელიც არ ცნობს მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტს). ავტორები არ განმარტავენ ენერჯის ცნების რაობას, იწყებენ ამ ცნების გამოყენებით მუშაობის ცნების განმარტებას, რაც, რასაკვირველია, ვერ ჩაითვლება გამართლებულად.

თუ „დღევანდელი დღის ფიზიკისათვის არ არის ცნობილი, რა არის ენერჯია“ — არ არის ცნობილი ენერჯის ცნების თვისებრივი მხარე, ე. ი. ის, თუ მუდამ მოძრაობასა და ცვალებადობაში მყოფი მატერიალური საწყაროს რომელი მხარის ასახაბადაა შემოტანილი ენერჯის ცნება, ამაში ფიზიკა ენერგეტიზმს უნდა „უმაღლოდეს“.

არსებული მეცნიერული ინფორმაციის სათანადო ანალიზის საფუძველზე ჩვენ უკვე არაერთხელ (§ 5, 6, 7, 8) ვაჩვენეთ, რომ ისე როგორც ძალისა და მუშაობის, ენერჯის ცნების თვისებრივი მხარის გაგება-სწავლება შეუძლებელია, თუ არ ვაღიარებთ მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის არსებობის ფაქტი, რაც იმით არის გაპირობებული, რომ აღნიშნული ცნებანი თვისებრივად სხვას არაფერს გამოხატავს, თუ არა მოძრაობის ფორმათა ურთიერთგარდაქმნის სხვადასხვა მხარეს.

ა. იანცოვი [152, გვ. 34, 35] ენერჯის შესახებ საშუალო სკოლაში ახლანდელი სწავლების ნაკლად იმ გარემოებას მიიჩნევს, რომ ენერჯიაზე მოსწავლეებს რჩებათ სუბსტანციური შთაბეჭდილება. ენერჯის თვისებრივი მხარის არსებულ განმარტებებზე უკმაყოფილებას გამოთქვამს აგრეთვე პროფ. ი. სოკოლოვი [127, გვ. 403—5], ენერჯის სწავლების ნაკლოვანებათა გამოსწორების გზების შესახებ ორივე ფიზიკოსი-მეთოდისტი ძირითადად ერთსა და იმავე თვალსაზრისზე დგას. ისინი თვლიან, რომ ენერჯის სწავლება უნდა გარდაიქმნას მეცნიერულ-მატერიალისტურ მოქცევებაზე დაყრდნობით. როგორც ზემოთ ითქვა, ნამდვილი მეცნიერული აზრით ენერჯის ცნება მხოლოდ იმას გამოხატავს, რომ მატერიის მოძრაობის ამა თუ იმ ფორმას ვარკვეულ პირობებში უნარი აქვს თვარდაიქმნას მატერიის მოძრაობის სხვა ფორმა; ამიტომ ენერჯის ცნების გაიზიარების მხარის მეცნიერული თვალსაზრისით გამართლებული სწავლება მოითხოვს იგი დაეკავშიროს მატერიის მოძრაობის ფორმების ურთიერთგარდაქმნასთან და სწავლების პროცესში პირველ რიგში გაეარკვიოს ამ ცნების თვისებრივი მხარე, ხოლო ენერჯის ცნება განმარტოთ ამ ცნებაში ნაგულისხმევი მოვლენის ძირითადი ნიშნის მიხედვით. ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, გამოვალთ მუშაობის შესწავლის დროს მოსწავლეთა მიერ უკვე მიღებული ცოდნიდან და ენერჯის ცნების შინაარსს გვაეცნობიერებთ იმ საკითხის ვარკვევასთან დაკავშირებით, თუ როგორ ასრულებენ ძრავები მუშაობას, ე. ი. ვაეარკვევთ იმ ვარემოებას, თუ რის ხარჯზე ანიკებენ ძრავები ტვირთს სიჩქარეს და საიდან წარმოიკმნება ტვირთის მოძრაობის გზაზე წინააღმდეგობის დაძლევის პროცესში მიღებული მოძრაობა. ამ საკითხის ვარკვევის დროს სასარგებლოა ხაზი ვაეუსვათ იმ ვარემოებას, რომ ძრავები კი არ კმნიან მოძრაობას, არამედ მხოლოდ და მხოლოდ ვარდაკმნიან მოძრაობის ერთ ფორმას მოძრაობის მეორე ფორმადა.

პროგრამის მიხედვით, პოტენციური და კინეტიკური ენერჯის ცნების შემოტანამდე გათვალისწინებულია ენერჯის ზოგადი ცნების შემოტანა. თუ ამ თანამიმდევრობას დავეთანხმებით, სწავლების დიდაქტიკური პრინციპების შესაბამისად ენერჯის ზოგადი ცნება უნდა შევიტანოთ ენერჯის კერძო სახეების განზოგადების საფუძველზე. ენერჯის კონკრეტული სახეების განმარტება, თავის მხრივ, როგორც აღნიშნული იყო, უნდა მოხდეს მატერიის მოძრაობის ფორმების ურთიერთგარდაქმნასთან უშუალო კავშირში. სწავლების ამ ეტაპზე მოსწავლეთათვის ყველაზე უკეთაა ცნობილი სითბური მოძრაობის ვარდაკმნა მექანიკურ მოძრაობად ის პირველ რიგში სწორედ სითბური მოძრაობის მექანიკურ მოძრაობად ვარდაკმნის მაგალითზე უნდა შემოვიტანოთ სითბური ენერჯის ცნება, შემდეგ — ელექტრომაგნიტური მოძრაობის მექანიკურ მოძრაობად ვარდაკმნის მაგალითზე — ელექტრომაგნიტური ენერჯის ცნება და, ბოლოს, მიეცეთ ენერჯის ზოგადი განმარტება. მექანიკურ და ვარაეიტაციულ ენერჯიებზე აქ არ შეეჩერდებით, რადგან ეს საკითხები შედარებით უფრო დეტალურად განხილული იქნება მომდევნო პარაგრაფებში.

როგორც უკვე მინიშნებული იყო, ამ თემის შესწავლა შეიძლება გაიყოს სამ ძირითად საკითხად: 1. სიტბური ენერჯია; 2. ელექტრომაგნიტური ენერჯია; 3. ენერჯიის ცნება. ამ მოსაზრებათა გათვალისწინებით, თემის გაშუქებასა და სწავლების პროცესის მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა შეიძლება ქვემოთ-მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

სიტბური ენერჯია

XIX საუკუნეში ტექნიკაში ორთქლის ძრავის ფართო გავრცელების გამო წამოიჭრა საკითხი იმის თაობაზე, თუ როგორ, რის ხარჯზე ასრულებს ორთქლის ძრავა მუშაობას, ე. ი. როგორ მოჰყავს გადასატანი ტვირთი მექანიკურ მოძრაობაში და როგორ ძლევს წინააღმდეგობას ტვირთის მოძრაობის გზაზე? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას დიდად შეუწყობ ხელი თბოტექნიკის განვითარებამ. მეცნიერთა ხანგრძლივი კვლევის შემდეგ დადგინდა, რომ სიტბო რაღაც სასწაულმოქმედი სიტბობადი კი არ არის, არამედ მატერიის მოძრაობის ერთ-ერთი ფორმაა. ამ აღმოჩენასთან ერთად დამტკიცდა აგრეთვე, რომ მატერიის მოძრაობის მექანიკური და სიტბური ფორმები გარკვეულ პირობებში ერთმანეთში გარდაიქმნებიან. კერძოდ, ორთქლმავლის, ავტომანქანის, მოტოციკლის, ტრაქტორის, თვითმფრინავის, გემისა და სხვა სიტბური მანქანების ძრავების საშუალებით სიტბური მოძრაობა გარდაიქმნება ტვირთისა და წინააღმდეგობის გარემოს მოძრაობად.

სიტბური ძრავები კი არ ქმნიან მოძრაობას, არამედ მხოლოდ და მხოლოდ საწვავის წვის შედეგად მიღებულ სიტბურ მოძრაობას გარდაქმნიან მოძრაობის სხვა სახედ. სიტბური ძრავების მოქმედების დროს მუშაობის შესრულების წყარო არის არა სიტბური ძრავა, არამედ საწვავის წვის შედეგად მიღებული სიტბური მოძრაობა. სიტბური ძრავა აგებულია იმ პრინციპზე, რომ სიტბურ მოძრაობას უნარი აქვს გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად. ს ი თ ბ უ რ ი მ ო ძ რ ა ო ბ ი ს უ ნ ა რ ს — გ ა რ დ ა ი ქ მ ნ ა ს მ ო ძ რ ა ო ბ ი ს ს ხ ვ ა ფ ო რ მ ა დ, ს ი თ ბ უ რ ი ე ნ ე რ გ ი ა ე წ ო დ ე ბ ა.

1. რა პრინციპზეა აგებული სიტბური ძრავები?
2. რას ეწოდება სიტბური ენერჯია?

რას მოჰყავს მოძრაობაში ტრამვაი, ტროლეიბუსი, ელმავალი? ხშირად ამ კითხვაზე ასე უპასუხებენ: ტრამვაი, ტროლეიბუსი, ელმავალი მოძრაობაში მოჰყავს მათზე მოთავსებულ ელექტროძრავებსო. ეს პასუხი რომ სრულფასოვანი არ არის, მაშინვე ნათელი გახდება, როგორც კი გავიხსენებთ შემდეგს: თუ ელექტროძრავებს ელექტროდენს არ მივაწვდით, ისინი ვერ აამოძრავებენ იმ ვაგონ-

ნებს, რომლებიც მათთანაა დაკავშირებული. მაშასადამე, ელექტრო-
ძრავებს, ისე როგორც სითბურ ძრავებს, არ შეუძლიათ შექმნან
მოდრაობა.

მოდრაობის შეუქმნადობის კანონი იმაზე მიუთითებს, რომ
მოდრაობის შექმნა არ შეიძლება. შესაძლებელია მხოლოდ მოძრა-
ობის გარდაქმნა ერთი სახიდან მეორეში და მისი გადაცემა ერთი
სხეულიდან მეორეზე.

ელექტროძრავების დანიშნულება არის არა მოძრაობის შექ-
მნა, არამედ დენის წყაროდან მიღებული ელექტრომაგნიტური მოძ-
რაობის გარდაქმნა სატრანსპორტო საშუალებების ან დაზვების მე-
ქანიკურ მოძრაობად.

ელექტროძრავები აგებულია იმ პრინციპზე, რომ ელექტრო-
მაგნიტურ მოძრაობას გარკვეულ პირობებში უნარი აქვს გარდა-
იქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად. ელექტრომაგნიტური
მოდრაობის უნარს — გარდაიქმნას მოძრაობის
სხვა ფორმად, ელექტრომაგნიტური ენერგია
ეწოდება.

3. რა პრინციპზეა აგებული ელექტროძრავები?

4. რას ეწოდება ელექტრომაგნიტური ენერგია?

ენერჯიის ცნება სითბური და ელექტრომაგნიტური მოძრაო-
ბების მსგავსად მოძრაობის სხვა ფორმებსაც
აქეთ უნარი გარდაიქმნან ერთი ფორმიდან მეორეში. მაგალითად,
ძრავებამორთული მატარებლის შემადგენლობის მექანიკური მოძ-
რაობა თანდათანობით გარდაიქმნება ჰაერი ფენების, რელსებისა
და ბორბლების სითბურ მოძრაობად. ასევე თოფიდან გასროლილი
ტყვიის მექანიკური მოძრაობა ჰაერში მოძრაობის დროს თანდათან
გარდაიქმნება ჰაერის შემადგენელი მოლეკულებისა და ატომების
სითბურ მოძრაობად, ხოლო კედელზე დაჯახების დროს გარდაიქ-
მნება ამ უკანასკნელის შემადგენელი ნაწილების შინაგან მოძრაო-
ბად და ა. შ.

მოდრაობის ყველა ფორმისათვის დამახასიათებელ თვისებას—
აღებული პირობების მიხედვით გარდაიქმნას მოძრაობის მეორე
ფორმად, ზოგადად ენერგია ეწოდება. იგი შეიძლება ასე განიშარ-
ტოს: ენერგია ეწოდება გარკვეულ პირობებში
მოდრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარ-
დაქმნის უნარს.

5. რა საერთო თვისება აქვს მოძრაობის ყოველ ფორმას?

6. რას ეწოდება ენერგია?

ენერგიის ცნების შინაარსის შესახებ არსებულ აზრთა სხვადასხვა-
წინასწარი ობიექტური ანალიზით, რომელთა შესახებ ლაპარაკი იყო მეხუთე პა-
რაგრაფში, ფიზიკისა და მექანიკის კურსებში სხვადასხვანაირადაა
განმარტებული კინეტიკური ენერგიის რაობა. ავტორთა ერთი ჯგუ-
ფი საჭიროდ არ თვლის გააშუქოს კინეტიკური ენერგიის თვისებრივი მხარე
და უბრალოდ მიუთითებს, რომ გამოსახულებას $\frac{mv^2}{2}$ მექანიკაში უწოდებენ კი-

ნეტიკურ ენერგიას. თუ გავიხსენებთ ფეინმანის უდავოდ მართებულ შენიშვნას — „მექანიკა მათემატიკა არ არისო“, ცხადი გახდება, რომ კინეტიკური ენერ-
გიის ზემოთ მოტანილი განმარტება ფიზიკას ვერ დააკმაყოფილებს. სამყა-
რის შემეცნებისათვის, რასაც ფიზიკას ერთ-ერთ ძირითად მიზნად უსახავენ ორივე, ფეინმანი და მრავალი სხვა გამოჩენილი ფიზიკოსი, სა-
ჭიროა პასუხი გავცეთ კითხვაზე: რა არის ის, რასაც კინეტიკური ენერგია ეწო-
დება და რაც იზომება გამოსახულებით $\frac{mv^2}{2}$ ან, უფრო პირდაპირ რომ ვთქვათ,

საჭიროა პასუხი გავცეს კითხვას: კინეტიკური ენერგია მოძრავი მატერიალური
სამყაროს რა მხარეს, რომელ თვისებას გამოხატავს?

ავტორთა მეორე ჯგუფი ლ. ელიოტი და უ. უილკოქსი [150, გვ. 242] —
ცდილობს უპასუხოს ამ კითხვას და კინეტიკურ ენერგიას განმარტავს როგორც
„მოძრავი სხეულის უნარს შეასრულოს მუშაობა“. მაგრამ, რადგან მათ მოცემუ-
ლი არა აქვთ მუშაობის ცნების თვისებრივი მხარის სრულფასოვანი განსაზღვ-
რება, კინეტიკური ენერგიის ეს განმარტებაც ვერ აღწევს დასახულ მიზანს.

მესამე ჯგუფის ავტორთა რიცხვს მივაკუთვნებთ იმათ, ვინც კინეტიკური
ენერგიის არსის განმარტებას უკავშირებს მატერიის მოძრაობის ფორმებს. ასეთ
ავტორთა რიცხვს ეკუთვნის პროფ. ლ. ნაუმოვი. კინეტიკური ენერგიის არსის
გაგების საკითხში ნაუმოვის ნაკლად მხოლოდ იმას მივიჩნევთ, რომ იგი მკვეთ-
რად არ ანსხვავებს ერთმანეთისაგან ამ ცნების რაოდენობრივ და თვისებრივ
მხარეს [106, გვ. 160—166]. ამ ნაკლის გამოსწორების გზით ვეცდებით და-
ვადგინოთ კინეტიკური ენერგიის თვისებრივი მხარის განმარტება და ვაჩვენოთ,
რაოდენობრივ მხარესთან ერთად როგორ შეიძლება მისი სწავლა IX კლასში.

ტერმინი „კინეტიკური“ ბერძნულ *κίνησις*-დან მოდის. იგი ქართულად მოძ-
რაობას ნიშნავს. აქედან გამომდინარე, ზოგიერთი ფიზიკოსი კინეტიკურ ენერ-
გიას განმარტავს როგორც „მოძრაობის ენერგიას“. მოძრაობის „მიზნების პრობ-
ლემის“ ისტორიის განხილვის დროს ჩვენ ვნახეთ, რომ ენერგია — გარკვეული
პირობების მიხედვით მოძრაობის ერთი ფორმიდან მეორე ფორმად გარდაქმნის
უნარი — შეიძლება მაჩინდეს მხოლოდ მოძრაობას (მოძრაობის სხვადასხვა ფორ-
მას) და სხვას არაფერს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ კინეტიკური ენერგიის, რო-
გორც მოძრაობის ენერგიის, განმარტება არ შეიცავს ზუსტ ინფორმაციას. კინე-
ტიკური ენერგია — ეს არის არა საერთოდ მოძრაობის, არამედ მექანიკური
მოძრაობის უნარი გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმე-
ბად და საჭიროა ამ ცნების განმარტებაში ამაზე პირდაპირ მივუთითოთ.

კინეტიკური ენერგიის ცნების შინაარსის გააშუქების დროს შედარებით ად-
ვილად შეიძლება გავაცნობიეროთ ამ ცნების შინაარსი და ამით მეცნიერული
თვალსაზრისით გამართლებული გზით წარემართოთ კინეტიკური ენერგიის სწავ-
ლება, მაგრამ ეს შესაძლებლობა სათანადოდ არ არის გამოყენებული IX კლასის

სახელმძღვანელოში. მასში ეხედებით ასეთ მსჯელობას: „როდესაც გარკვეულ სიმაღლეზე ჰორიზონტალურად სწრაფად მოძრავ კურსს გზაზე დაუხედება რამე წინააღმდეგობა (მაგალითად, თვითმფრინავი), ის ამ წინააღმდეგობას დაძლევის, თვითმფრინავს გახერტის, ე. ი. მუშაობას შეაჩერებს. ამ დროს კურსის პოტენციური ენერჯია შეიძლება უცვლელი დარჩეს. კურსის მიერ მუშაობა სრულდება მხოლოდ იმ ენერჯიის ხარჯზე, რომელიც გაპირობებულია მისი სიჩქარით; ამასთანავე ეს სიჩქარე მცირდება.

სიჩქარის გამო სხეულს შეუძლია ზევით მოძრაობა, რომლის დროსაც ხდება სიმძიმის ძალის დაძლევა, ე. ი. მუშაობის შესრულება.

ამგვარად, ყოველ მოძრავ სხეულს ენერჯია გააჩნია“ [28].

ასეთი მსჯელობიდან მოსწავლე ვერავითარ შემთხვევაში ვერ დაინახავს, რომ კურსის მექანიკური მოძრაობა „თვითმფრინავის გახერტის“ დროს ასრულებს მუშაობას და კი არ იკარგება, არამედ სითბურ მოძრაობად გარდაიქმნება. მოძრაობის ფორმათა ცვლის პროცესი კიდევ უფრო ძნელად დასაანახია მეორე მაგალიტზე, სადაც ლაპარაკია „სიმძიმის ძალის“ დაძლევაზე. ამგვარად, გაურკვეველი რჩება კინეტიკური ენერჯიის თვისებრივი მხარე. კინეტიკური ენერჯიის შეცნირულად გამართლებული სწავლება მოითხოვს ამ ცნების შინაარსის გაცნობიერებას ისეთი მაგალიტების გაანალიზებით, რომლებშიც ყველაზე უკეთ ჩანს მექანიკური მოძრაობის გარდაქმნა მოძრაობის სხვა ფორმად.

ამ თემის შესწავლა შეიძლება გავყოთ ორ ძირითად საკითხად: 1. კინეტიკური ენერჯიის ცნების შინაარსი და 2. კინეტიკური ენერჯიის სილიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა.

სწავლების პროცესის ეტაპობრივი მართვა შეიქლება ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

მდინარის v სიჩქარით მოძრავ m მასას, რომელიც ეჭახება ჰიდროელექტროსადგურის ტურბინის ფრთებს, ელექტროდენის გენერატორის ღუზა მოჰყავს მოძრაობაში, რის შედეგადაც სრულდება მუშაობა, კერძოდ, წყლის მექანიკური მოძრაობა გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ მოძრაობად.

ანალოგიურ პროცესთან გვაქვს საქმე ქარის ელექტროსადგურის მუშაობის დროსაც. აქ ჰაერის ფენების მექანიკური მოძრაობა გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ მოძრაობად.

ჰაერში ბურთის, ბადროს, ბირთვის, ყუმბარის ან ნებისმიერი სხვა სხეულის ერთი ადგილიდან მეორეზე გადატყორცნის დროს მათი მექანიკური მოძრაობა ძლევს ჰაერის წინააღმდეგობას და, როგორც ამბობენ, ასრულებს მუშაობას, ე. ი. თანდათან გარდაიქმნება ჰაერის მოლეკულების სითბურ მოძრაობად (დღედაღიწის მიზიდულობას მხედველობაში არ ვიღებთ).

m მასის მქონე v სიჩქარით მოძრავ ნებისმიერ სხეულს შეუძლია აგრეთვე გარკვეულ პირობებში თავისი მოძრაობა გადასცეს და ამოძრაოს სხვა სხეული. ფიზიკაში ასეთ პროცესებსაც მუშაობის შესრულება ეწოდება.

სხეულის მექანიკური მოძრაობის ამ თვისებას — შეასრულოს მუშაობა, ე. ი. გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად, ეწოდება მექანიკური ანუ კინეტიკური ენერგია. იგი შეიძლება ასე განიმარტოს:

მექანიკური მოძრაობის უნარს — შეასრულოს მუშაობა, ე. ი. გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად, ეწოდება კინეტიკური ენერგია.

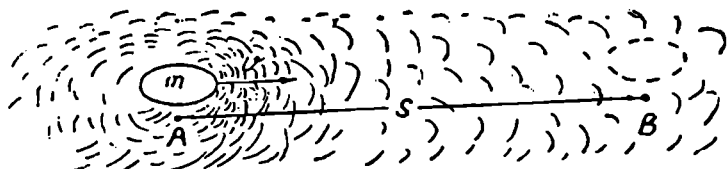
1. დასახელებით ისეთი მაგალითები, სადაც სხეულის მექანიკური მოძრაობის გარდაქმნის შედეგად სრულდება მუშაობა.

2. რას ეწოდება კინეტიკური ენერგია?

კინეტიკური ენერგიის სხეულის კინეტიკური ენერგიის სიდიდეს სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა იზომება იმ მუშაობით, რომლის შესრულებას მას შეუძლია.

გამოეთვალათ მუშაობა, რომელსაც ასრულებს v სიჩქარით ვასროლილი m მასის მქონე სხეული.

ვთქვათ, სხეული t დროის განმავლობაში მოძრაობს წრფივ გზაზე (ნახ. 25), მუდმივი ძალით ძლევს ჰაერის ფენების წინააღმდეგობას და მისი მექანიკური მოძრაობა მთლიანად გარდაიქმნება სითბურ მოძრაობად (სხვა მოვლენებს მხედველობაში არ ვიღებთ).



ნახ. 25

როგორც ვიცით, ამ შემთხვევაში შესრულებული მუშაობა ფორმულით ასე გამოისახება:

$$A = F \cdot S \quad (1)$$

კინეტიკური ენერგიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა მიღებულია ჩაიწეროს არა ამ სახით, არამედ სხვანაირად. საძიებელი ფორმულის მისაღებად F და S -ის სათანადო მნიშვნელობების შეტანით საჭიროა გარდაიქმნათ ეს ფორმულა.

მოქმედი ძალის სიდიდეს შეიძლება გამოვსახოთ როგორც

$$F = ma \quad (2), \text{ ხოლო გველილი გზის სიდიდეს როგორც } S = \frac{at^2}{2} \quad (3).$$

მეორე ფორმულის დაწერის უფლებას გვაძლევს ნიუტონის მეო-

რე კანონი. რაც შეეხება მესამე ტოლობას, მის სამართლიანობაში დავრწმუნდებით შემდეგი მსჯელობის საფუძველზე: დავუშვათ B წერტილში გაჩერებული სხეული A-საყენ ამოძრავდა a აჩქარებით, მაშინ იგი იმავე t დროის განმავლობაში გაივლის S გზას, რაც მესამე ფორმულით არის გამოსახული.

პირველ ფორმულაში $F=ma$ და $S = \frac{at^2}{2}$ მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ:

$$A = ma \cdot \frac{at^2}{2} = \frac{m(at)^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \quad (at=v)$$

სწორედ ეს არის ჩვენი საძიებელი ფორმულა. კინეტიკური ენერჯიის სიდიდის აღსანიშნავად მიღებულია არა A, არამედ სიმბოლო E^k . მაშ, საბოლოოდ შეიძლება დაწეროთ:

$$E^k = \frac{mv^2}{2}$$

იგი სიტყვიერად ასე შეიძლება გამოითქვას: კინეტიკური ენერჯიის სიდიდე იზომება სხეულის მასისა და მისი სიჩქარის კვადრატის ნამრავლის ნახევრით.

3. როგორ მსჯელობათა და გარდაქმნების შედეგად შეიძლება მივიღოთ კინეტიკური ენერჯიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა?

როგორც ვხედავთ, ამ ფორმულაში მასა პირველ ხარისხშია, სიჩქარე კი კვადრატში, ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰიდროელექტროსადგურში ვარდნილი წყლის მიერ შესრულებული მუშაობა, ვარდნილი წყლის მასის 2-ჯერ, 3-ჯერ და ა. შ. გაზრდით მხოლოდ 2-ჯერ, 3-ჯერ და ა. შ. გაიზრდება, ხოლო სიჩქარის 2-ჯერ, 3-ჯერ და ა. შ. გაზრდით შესრულებული მუშაობა 4-ჯერ, 9-ჯერ, 16-ჯერ და ა. შ. გაიზრდება.

იგივე ითქმის ნებისმიერი სხეულის კინეტიკური ენერჯიის სიჩქარესა და მასაზე დამოკიდებულების შესახებ.

4. კინეტიკური ენერჯია და მუშაობა ერთ და იმავე ერთეულებში იზომება, რატომ?

5. რატომ არ გამოდგება სხეულის მოძრაობის რაოდენობა (იმპულსი) კინეტიკური ენერჯიის გასაზომად?¹

¹ იმიტომ რომ $mv \neq F \cdot S$.

6. კინეტიკური ენერჯიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელ ფორმულაში მასა პირველ ხარისხშია, სიჩქარე კი კვადრატში. რაზე მიუთითებს ეს გარემოება?

7. როგორ იწერება კინეტიკური ენერჯიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა და სიტყვიერად როგორ გამოითქმის იგი?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი :

1. ბილიარდის მოძრავ ბურთულას დაჭახების შედეგად შეუძლია მოძრაობაში მოიყვანოს უძრავი ბურთულა. რა ეწოდება მოძრავი ბურთულის ამ თვისებას?

2. დიდი სიჩქარით მოძრავი ტყვიის კედელზე დაჭახების შედეგად კედელი და ტყვია თბება. მიუთითეთ, ტყვიის მექანიკური მოძრაობა მოძრაობის რომელ ფორმად გარდაიქმნა და განმარტეთ, რა ეწოდება მოძრავი ტყვიის ამ თვისებას.

3. მდინარესა და ქარს შეუძლია მოძრაობაში მოიყვანოს გენერატორის ლუზა, რის შედეგადაც მიიღება ელექტრომაგნიტური მოძრაობა. რა ეწოდება ქარისა და მდინარის ამ თვისებას?

4. პირველი, 2 m მასის მქონე სხეული მოძრაობს v სიჩქარით, ხოლო მეორე, m მასის მქონე სხეული მოძრაობს 2v სიჩქარით, რომლის კინეტიკური ენერჯიაა უფრო მეტი და რამდენჯერ?

5. რას უდრის 1000 ტ წყლის კინეტიკური ენერჯია, რომელიც 24 მ/წმ სიჩქარით ეჯახება ჰიდროელექტროსადგურის ტურბინის ფრთებს?

§ 30. სხაულის ბრავიტიაციული (კოტენციური) ენერჯია

„პოპულარულ ფიზიკაში“ პოტენციური ენერჯიისადმი მიძღვნილი პარაგრაფის დასაწყისშივე ორიანი იძლევა დაპირებას, რომ ამ პარაგრაფში მოცემული იქნება პოტენციური ენერჯიის ზუსტი, სიტყვასიტყვითი განმარტება. ავტორი იწყებს დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე M მასის მქონე სხეულის ატანისათვის საჭირო მუშაობის სიდიდის $W = Mgh$ გამოანგარიშებას. შემდეგ აყენებს კითხვას: სხეულის კინეტიკური ენერჯია არ გაზარდილა, მაშ, სად წაიდა Mgh ენერჯია? და უპასუხებს: ეს ენერჯია გარდაიქმნა პოტენციურში, რომელსაც თავის მხრივ უნარი აქვს გარდაიქმნას კინეტიკურ ენერჯიად. ამ მსჯელობიდან გამომდინარე, აქვე მოცემულია შემდეგი განსაზღვრება: „M მდგომარეობის გამო სხეულში დამარაგებულ ენერჯიას ეწოდება მისი პოტენციური ენერჯია“ [11, გვ. 108]. მომდევნო გვერდზე ავტორი სხვა გზით გამოთვლის პოტენციური ენერჯიის სიდიდეს და ასკვნის: „პოტენციური ენერჯია — ეს სიტყვასიტყვით, პოტენციურად შესაძლო ენერჯია“.

ზემოთხსენებული პოტენციური, უფრო ზუსტად, სხეულის გრავიტაციული ენერჯიის არსის, თვისებრივი მხარის გაგებისათვის საჭიროა გავიფიქროთ, რა ფიზიკურ პროცესზე მიუთითებს „პოტენციურად შესაძლო ენერჯია“. ან კიდევ, რა იგულისხმება „M მდგომარეობის გამო სხეულში დამარაგებულ ენერჯიაში“.

დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე აწეულ სხეულს, რასაკვირველია, გრავიტაციული ენერჯია არ ექნებოდა, რომ მას არ ჰქონდეს M მასა და რომ ასეთივე ბუნების მასა არ გააჩნდეს დედამიწას. სხვანაირად რომ ეთქვით, სხეულსა და დედამიწას შორის რომ არ არსებობდეს გრავიტაციული ურთიერთქმედება, h სიმაღლეზე აწეულ სხეულს არ ექნებოდა გრავიტაციული ენერჯია. ამ-

გვარად, გრავიტაციული ენერჯის რაობის გამოფერა უშუალოდ დაკავშირებულია გრავიტაციული ძალის ბუნების გარკვევასთან. გრავიტაციული ძალის არსის გარკვევა, როგორც ეციით, დაკავშირებულია მოძრაობის „მიზნის პრობლემასთან“. მაშ, იმისათვის, რომ გავშიფროთ, რა იგულისხმება ორიის „პოტენციურად შესაძლო ენერჯიაში“, უნდა გამოვიდეთ ძველთაძველი მოძრაობის „მიზნის პრობლემიდან“.

ორიის „პოპულარული ფიზიკის“ წინასიტყვაობაში ეხება მოძრაობის „მიზნის პრობლემას“, ფიზიკის მეცნიერების ერთ-ერთ მიზნად მიიჩნევს უპასუხოს კითხვას — „რას მოჰყავს სამყარო მოძრაობაში“, მაგრამ გრავიტაციული ენერჯის რაობის გარკვევას არ აკავშირებს ამ პრობლემასთან და, ეფიქრობთ, სწორედ ამიტომ მას გრავიტაციული ენერჯის თვისებრივი რაობა შეუცნობელი რჩება მოძრაობის „მიზნის პრობლემის“ მიღმა.

„ფეინმანისეულ ლექციებში“ პოტენციური ენერჯისადმი მიძღვნილ პარაგრაფში [140, გვ. 73] ენერჯის შენახვის კანონის არსის გაგებასთან დაკავშირებით თავისებურად მოხსენიებულია მოძრაობის „მიზნის პრობლემა“, მაგრამ სიმძიმის ცენტრი გადატანილია პოტენციური ენერჯის რაოდენობრივი მხარის შეფასებაზე და მისი თვისებრივი მხარე ავტორთა ინტერესის არეს გარეთ რჩება.

ისე, როგორც ენერჯის სხვა სახეებისა საერთოდ, პოტენციური ენერჯის არსის გარკვევას პროფ. ა. ნაუმოვი უკავშირებს მატერიის მოძრაობის ფორმებს. იგი იხილავს „ძალთა ველში“ კინეტიკური ენერჯის ზრდას პოტენციური ენერჯის შემცირების ხარჯზე და წერს: „არსის მიხედვით, ენერჯის შენახვის კანონი ამბობს, რომ ნაწილაკის კინეტიკური ენერჯის გაზრდა ყოველთვის აუცილებლად უნდა წარმოებდეს მოძრაობის რომელიმე სხვა ფორმის შესაბამისი შემცირების ხარჯზე“ [106, გვ. 175].

უნივერსიტეტებისათვის განკუთვნილი ზემოთ მითითებული თეორიული მექანიკის კურსის გაცნობისას ადვილად შესამჩნევია, რომ პროფ. ა. ნაუმოვი მეცნიერების განვითარების თანამედროვე დონის შესაბამისად, როგორც სხვადასხვა სახის ძალების, აგრეთვე შესატყვისი პოტენციური ენერჯიების გაგების საკითხში ავითარებს მაქსველის, ტორიჩელის, უმოვის, სტოლეტოვის, ენგელსისა და სხვა იმ მეცნიერთა ხაზს, რომლებიც ფიქრობენ, რომ გრავიტაციული ურთიერთქმედებისა და, მაშასადამე, გრავიტაციული (პოტენციური) ენერჯის გამპირობებლად „სიციარიელის მიჩნევა აბსურდია“ (ნიუტონი) და რომ მათ მიზნად უნდა მივიჩნიოთ მატერიალური და არა ლეთაებრივი „აგენტი“.

ეფიქრობთ, პროფ. ა. ნაუმოვი უდავოდ სწორად იქცევა, რადგან ორი შესაძლო ალტერნატივიდან პოტენციური ენერჯიებისა და შესატყვისი ძალების გამპირობებელ ფაქტორებად მიიჩნევს არა „ლეთიური ნების გამოვლინებებს“ (პრატიმანი, კოტისი), არამედ მატერიის მოძრაობის შესაბამის ფორმებს.

პოტენციური ენერჯის სწავლების პროცესში საუბარი გვიხდება შემდეგ ფაქტორებზე: თოკზე დაკიდებულ სხეულს თუ რაიმე კუთხით გადახრით და ხელს გავუშვებთ, იგი მოძრაობას დაიწყებს; კაშხალში დაგუბებული წყალი რაბის გახსნის შემდეგ აჩქარებულად მოძრაობს; დედამიწის ზედაპირიდან რაიმე სიმაღლეზე მყოფ სხეულს თუ საყრდენს გამოვაცლით, იგი თანაბარჩქარებულად იწყებს მოძრაობას და სხვ. ამ ფაქტების მოხსენიება მოსწავლეებში ბადებს უკვე მიღებული ცოდნიდან ლოგიკურად გამომდინარე შექმდე კითხვას: ინერციის კანონის თანახმად, რატომ არ ინარჩუნებენ სხეულები ფარდობითი უძრაობის მდგომარეობას და თუ მოძრაობა შეუქმნალია, საიდან წარმოდგება

სხეულების მოძრაობა? პოტენციური ენერჯის შესახებ ამჟამად გავრცელებული სწავლებიდან გამომდინარე, ამ კითხვებზე შეიძლება შემდეგი პასუხი გავუკეთ: დედამიწის ზედაპირიდან აწეულ სხეულებს აქვს პოტენციური ენერჯის გარკვეული მარაგი; პოტენციური ენერჯის მარაგის შემცირების ხარჯზე წარმოიშობა ვარდნილი სხეულების მექანიკური მოძრაობა.

როგორც ვხედავთ, მოძრაობის წარმოშობ მისეულად ცხადდება პოტენციური ენერჯია. ჩვენ უკვე არა ერთხელ ვნახეთ, რომ მოძრაობის მიზეზად ან მოძრაობის რომელიმე ფორმა უნდა მივიჩნიოთ, ან რაღაც უხილავი „ღვთაებრივი ნება“. ამგვარად, პოტენციური ენერჯის სწავლების დროს საკითხი ეხება იმას, თუ რას ვგულისხმობთ პოტენციური ენერჯის ცნებაში და როგორი შეხედულების ფორმირებას გვინდა შევეწყუთოთ ხელი — მეცნიერულს თუ მისტიკურს.

მაქსველის, ტორიჩელის, უმოვის, სტოლცოვის, ენგელსის, ნაუმოვისა და სხვა მეცნიერთა ტენდენციების მიხედვით, ჩვენ ვთვლით, რომ გრავიტაციული (პოტენციური) ენერჯის გამპირობებელ ფაქტორად უნდა მივიჩნიოთ მატერიის მოძრაობის გრავიტაციული ფორმა, რომელსაც გარკვეულ პირობებში უნარი აქვს გარდაიქმნას მოძრაობის მექანიკურ და სხვა ფორმებად.

არასწორად მიგვაჩნია, როცა ცალკეული მეთოდისტები თვლიან, თითქოს გრავიტაციული მოძრაობის ცნების შემოტანა სკოლაში უხერხული იყოს იმის გამო, რომ მასზე მოსწავლეებს უშუალო დაკვირვება არ შეუძლიათ. ამ თვალსაზრისის უსაფუძვლობა მაშინვე ნათელი გახდება, თუ გრავიტაციული მოძრაობის გაცნობის შესაძლებლობას შევადარებთ მოლეკულური მოძრაობის, ელექტრული დენის ან ატომის აგებულების სწავლებას. რადგან მოლეკულისა და მისი მოძრაობის უშუალოდ დანახვა შეუძლებელია, მოლეკულური მოძრაობის გასაცნობიერებლად ვიყენებთ ბროუნის მოძრაობას, სადაც ვეყრდნობით შემდეგ ლოგიკურ მსჯელობას: სითხეში შეტივტივებული ნივთიერების მცირე ნაწილაკები ინერციის კანონის თანახმად ან უძრავად უნდა იყვნენ, ან უნდა მოძრაობდნენ თანაბრად და სწორხაზოვნად, მაგრამ სინამდვილეში მიკროსკოპით დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ მოტივტივე ნაწილაკები განუწყვეტლივ იცვლიან მოძრაობის სიჩქარეს და მიმართულებას; ამ ცვლილების მიზეზად იმ გარემოებას ვთვლით, რომ სითხის მოლეკულები იმყოფებიან განუწყვეტელ ქაოსურ მოძრაობაში, ეჩახებოან სითხეში ჩაძირულ ნაწილაკებს და იწყვენ მათ უწყსრიგო მოძრაობას. როგორც ვხედავთ, მოლეკულური მოძრაობის არსებობის ფაქტის გაცნობა არაპირდაპირი გზით ხდება და, გარდა ამისა, დაკვირვებისათვის გამოყენებულია მიკროსკოპი, რომლითაც შეიძლება მხოლოდ ინდივიდუალური დაკვირვება. ელექტრული დენი რომ ელექტრული ველის გავლენით ელექტრული მუხტების მიმართული მოძრაობაა, ამ ფაქტის გაცნობიერებაც როგორც ლითონებში, ისე გაზებსა და სითხეებში, არაპირდაპირი გზით ხდება, რადგან არ შეიძლება ელექტრული მუხტების თვალთ დანახვა, ცდის დროს კი გამოყენებულია საქმოდრთული საექსპერიმენტო ტექნიკა, რომლის დემონსტრირება მნიშვნელოვან დროს მოითხოვს. ატომის გარსისა და ბირთვის აგებულების გაცნობა კიდევ უფრო მეტადაა გაშუალებული, რთულ ლოგიკურ მსჯელობებზეა დაყრდნობილი და ძნელ ექსპერიმენტთანაა დაკავშირებული.

ისე როგორც სითბური, ელექტრული და ბირთვული მოძრაობის უშუალოდ თვალთ დანახვა არ შეიძლება, არ შეიძლება უშუალოდ დაინახოთ აგრეთვე გრავიტაციული მოძრაობაც, მაგრამ გაშუალებული გზით მოძრაობის ამ ფორმის არსებობის ფაქტი ბევრად უფრო ადვილად შეიძლება გავაცნოთ მოსწავლეებს, ვიდრე მოძრაობის სითბური, ელექტრული და ბირთვული ფორმების არსებობა. გრავიტაციული მოძრაობის არსებობის ფაქტის გასაცნობად საკმარის

სია ჩაეატაროთ შემდეგი მარტივი ცდა, რომელსაც თან ახლავს ძალიან მარტივი ლოგიკური მსჯელობა. შტატივზე ძაფით ჩამოკვიდებთ რაიმე სხეულს, ძაფს გადავიკრით, უძრავად მყოფი სხეული დაიწყებს მოძრაობას. მიღებულ შედეგს შემდეგნაირად ავხსნით: სხეული ინერციით ვერ ინარჩუნებს უძრაობის მდგომარეობას იმიტომ, რომ მოძრაობის რომელიღაც ფორმა გარდაიქმნება სხეულის მექანიკურ მოძრაობად. შემდეგ მივუთითებთ, რომ მატერიის მოძრაობის ამ ფორმას ეწოდება გრავიტაციული მოძრაობა, და შეიძლება მივცეთ გრავიტაციული მოძრაობის შემდეგი განმარტება: მოძრაობის იმ სახეს, რომელიც სხეულთა თავისუფალი ვარდნის დროს გარდაიქმნება მექანიკურ მოძრაობად, გრავიტაციული მოძრაობა ეწოდება. ხოლო გრავიტაციული (პოტენციური) ენერჯიის შესახებ მივცემთ შესაბამის განმარტებას: გრავიტაციული მოძრაობის თვისებას — გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად, ეწოდება გრავიტაციული ენერჯია.

ის, ვინც მატერიისა და მისი მოძრაობის ფორმებისადმი ანტიპათიურად არ არის განწყობილი, ადვილად შენიშნავს, რომ ამჟამად პროგრამით გათვალისწინებულ და სახელმძღვანელოში გაუქმებულ ზემოაღნიშნულ საკითხებთან შედარებით აქ მოტანილი გრავიტაციული მოძრაობისა და შესაბამისად გრავიტაციული ენერჯიის გაცნობა მოსწავლეებისათვის ბევრად უფრო ადვილია, რადგან ლოგიკურად უყრდნობა ძალიან მარტივ, ნათელ და გასაგებ მსჯელობას, ექსპერიმენტულად კი მიკროსკოპების, ვილსონის კამერისა და სხვა რთული ხელსაწყოების მაგივრად დაყრდნობილია სრულიად მარტივ ცდაზე, რომლის მოწყობა ყველგან და ყოველთვის შეიძლება.

შესასწავლი მასალა შეიძლება გაიყოს ორ ძირითად საკითხად: 1. გრავიტაციული (პოტენციური) ენერჯიის ცნება და 2. გრავიტაციული ენერჯიის სიდიდის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა.

სწავლების პროცესი შეიძლება წარიმართოს ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

საგნები, რომლებიც იატაკიდან რაიმე სიმპ-
გრავიტაციული (პოტენ-
ციური) ენერჯიის ცნება
ლღეზე ხელთ გვიპყრია, ხელის გაშვების შე-
მდეგ ვერ ინარჩუნებენ უძრაობას და იწყებენ
თანაბარაჩქარებულ ვარდნას.

1. სხეულები, რომელთაც საყრდენი არა აქვთ, რატომ ვერ ინარჩუნებენ უძრაობის მდგომარეობას?¹

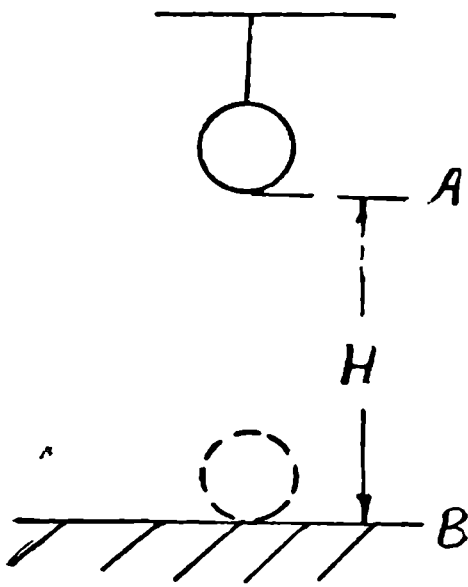
ძაფზე დაკიდებული ბურთულა (ნახ. 26) უძრაობის მდგომარეობაშია, ძაფის გადაჭრის შემდეგ იგი მოძრაობას იწყებს თანაბარაჩქარებულად. იბადება კითხვა, თუ მოძრაობა შეუქმნაღია, საიდან წარმოიშობა ბურთულას მექანიკური მოძრაობა?

ძაფის გადაჭრის შემდეგ ბურთულის მექანიკურ მოძრაობად გარდაიქმნება ის მოძრაობა, რომელსაც გრავიტაციული ველი შე-

¹ სხეულები, რომელთაც საყრდენი არა აქვთ, იმიტომ ვერ ინარჩუნებენ უძრაობის მდგომარეობას, რომ მათზე მოქმედებს გრავიტაციული ველი და მისი ქმედება არ არის გაწონასწორებული საყრდენის უკუქმედებით.

იცავს. მოძრაობის ამ ფორმას გრავიტაციული მოძრაობა ეწოდება. ამგვარად, მოძრაობის შეუქმნადობის კანონიდან გამომდინარე, ვარდნის დროს მექანიკური მოძრაობის წარმოშობის მიზეზად უნდა მივიჩნიოთ გრავიტაციული მოძრაობის გარდაქმნა სხეულის მექანიკურ მოძრაობად.

ელექტროსადგურის კაშხალში დაგუბებული წყალი, ვიდრე რაბები ჩაკეტილია, მუშაობას არ ასრულებს. მაგრამ, როგორც კი რაბები გაიხსნება, იწყება მუშაობის შესრულება. წყალი დიდი სიჩქარით ეჯახება ტურბინის ფრთებს. წყლიან ნაკადს ტურბინთან ერთად მოძრაობაში მოჰყავს გენერატორის ლუზა, რის შედეგადაც დაგუბებული წყლის შესაბამის გრავიტაციული მოძრაობა წყლის ფენების, ტურბინისა და ლუზის მექანიკურ მოძრაობად გარდაქმნის გზით გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ მოძრაობად.



ნახ. 26

როგორც ვხედავთ, გრავიტაციულ მოძრაობას მხოლოდ გარკვეულ პირობებში შეუძლია გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად (თუ გადაკვეთით ძაფს ან გავხსნით რაბებს და სხვ.).

გრავიტაციული მოძრაობის თვისებას — გარკვეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად, ეწოდება გრავიტაციული ენერგია. ენერგიის ამ სახეს ხშირად პოტენციურ ენერგიას უწოდებენ.

რადგან სხეულის მოძრაობის გზაზე მოძრაობის ერთი ფორმის მეორე ფორმად გარდაქმნას მუშაობა ეწოდება, გრავიტაციული ენერგია შეიძლება განიშარტოს, აგრეთვე, როგორც გრავიტაციული მოძრაობის უნარი — შეასრულოს მუშაობა.

1. სხეულთა ვარდნის დროს საიდან წარმოადგება მექანიკური მოძრაობა?
2. რას ეწოდება გრავიტაციული ენერგია?

გრავეიტაციული ენერჯის გამოსანაგარიშებელი ფორმულა

სხეულის გრავეიტაციული ენერჯის სიდიდე, ისე როგორც კინეტიკური ენერჯის სიდიდე, იზომება იმ მუშაობის რაოდენობით, რომლის შესრულებაც მას შეუძლია.

P სიმძიმის ძალის მქონე სხეულის H სიმაღლეზე ატანისათვის (ნახ. 26) ვძლევთ გრავეიტაციული ძალის წინააღმდეგობას და უნდა შევეასრულოთ მუშაობა $A = P \cdot H$ სხეული ვარდნის დროს ამავე სიდიდის მუშაობას ასრულებს. მაშ, H სიმაღლეზე აწეულ P სიმძიმის ძალის მქონე სხეულს მუშაობის შესრულების უნარი ტოლია P H-ის.

თუ სხეულის გრავეიტაციული ენერჯის სიდიდეს აღვნიშნავთ E^g , მაშინ გვექნება

$$E^g = p \cdot H \text{ ან } E^g = mgH$$

ამ ფორმულების საშუალებით გამოიანგარიშება სხეულის გრავეიტაციული ენერჯის სიდიდე.

3. გრავეიტაციული ენერჯია და მუშაობა რატომ იზომება ერთ და იმავე ერთეულებში?

4. როგორი ფორმულებით გამოიანგარიშება სხეულის გრავეიტაციული ენერჯის სიდიდე?

ა მ ო ც ა ნ ე ბ ი:

1. თოქზე ჩამოკიდებული ტვირთი, თუ თოქს გადაქვრით, დაიწყებს თანაბარჩქარებულ მოძრაობას. მიუთითეთ, მოძრაობის რომელი ფორმა გარდაიქმნება ტვირთის მექანიკურ მოძრაობად?

2. სხეული, რომლის მასა 5 კილოგრამია, დედამიწის ზედაპირიდან 12 მეტრის სიმაღლეზე იმყოფება. გამოთვალეთ ამ სხეულის პოტენციური ენერჯის სიდიდე ერგებსა და ჭოულებში დედამიწის ზედაპირის მიმართ და იმ შენობის სახურავის მიმართ, რომლის სიმაღლე 4 მ.

3. რას უდრის 1000 ტ წყლის მძვრ შესრულებული მუშაობა, რომელიც კაშხალის 30 მ სიმაღლიდან ვარდება?

4. 750 ნიუტონი წონის ადამიანს კიბეზე, რომლის სიმაღლეა 15 მ, ააქვს 25 კგ მასის მქონე ტვირთი. რას უდრის მთლიანად და სასარგებლოდ შესრულებული მუშაობა?

§ 31. ენერჯიის ბარბაქმენისა და შენახვის ძანონი

ენერჯიის შესახებ შეხედულებანი მე-5 პარაგრაფში ჩვენ ექვს ჭეუწინასწარი ფაქტს დაუყავით. ენერჯიის ცნების შინაარსის სხვადასხვა გაგებიდან შენიშვნები გამოდინარე, ენერჯიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონზეც სხვადასხვანაირი შეხედულებაა.

პირველი ჭეუფის ავტორები ვერ ამჩნევდნ საჭიროდ არ თვლიან ენერჯიის თვისებრივი მხარის გაშუქების აუცილებლობას და ენერჯიის გარდაქმნი-

სა და შენახვის კანონში გულისხმობენ იმ „სიდიდის“ გარდაქმნასა და შენახვას, რომელიც სხვადასხვა ფორმულებით გამოითვლება. ისინი ვერ გრძნობენ, რომ ამ „სიდიდის“ არსის სრული გაგებისა და, საერთოდ, ბუნების მოვლენების შემეცნებისათვის საჭიროა არა მარტო გამოანგარიშება, არამედ იმის ცოდნაც, თუ რას ვანგარიშობთ, ე. ი. იმის ვაცნობიერება, რასაც ვანგარიშობთ, ბუნების რა მხარეს გამოხატავს, რა კავშირშია იგი ბუნების სხვა მოვლენებთან.

მეორე ჯგუფის ავტორები ენერჯის ცნების შინაარსის გარკვევას მუშაობისა და ძალის ცნებებზე აყრდნობენ, მაგრამ არ აქვთ მოცემული ამ ცნებების თვისებრივი მხარეების განსაზღვრებანი; მიუხედავად იმისა, რომ ისინი ყველა სხვა ჯგუფის წარმომადგენელთან ერთად, რაოდენობრივ მხარეთა გამოანგარიშებას თანამედროვე მოთხოვნილებათა დონეზე აწარმოებენ, ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის თვისებრივი მხარე გაუცნობიერებელი რჩება.

მესამე ჯგუფის წარმომადგენლები, რომლებიც ვ. ოსტვალდის მიზაძეით სთვლიან, რომ ენერჯის ცნება პირველადია და მას არ ესაჭიროება განმარტება, ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონში შესაბამისად გულისხმობენ ისეთი „ზოგადი სუბსტანციის“ [113, გვ. 109] შენახვასა და გარდაქმნას, რომელსაც არ ესაჭიროება განმარტება, მაგრამ, ცხადია, ასეთი მიდგომა მეცნიერულად გაუცნობიერებელია, რადგან არა თუ არ შეიცავს აუცილებელ ინფორმაციას, არამედ საერთოდ უარყოფს ასეთი ინფორმაციის არსებობის შესაძლებლობასაც კი.

მეოთხე ჯგუფის წარმომადგენლები, რომლებიც თვლიან, რომ ენერჯია ეს „ღვთიური ნებაა მოქმედებაში“, ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონში გულისხმობენ „ღვთიური ნების მოქმედების“ შენახვასა და გარდაქმნას, მაგრამ ძნელი არ არის შევნიშნოთ, რომ ასეთი „მტკიცებანი“, რა სასარგებლოც არ უნდა იყოს იგი თეოლოგიისათვის, ფიზიკის მეცნიერებისათვის არაერთარ ღირებულებას არ შეიცავს.

მეხუთე ჯგუფის წარმომადგენლებს, რომლებიც აღიარებენ, რომ „დღევანდელი დღის ფიზიკისათვის უცნობია, რა არის ენერჯია“ [140, გვ. 73], ცხადია, ჭერჭერობით გაუცნობიერებელი აქვთ ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის თვისებრივი მხარის არსი. მაგრამ ზემოხსენებული აღიარება იმის საწინდარია, რომ ისინი მომავალში შეეცდებიან ისევე სრულყოფილად აწარმოონ კვლევა ამ ცნებების თვისებრივ მხარეთა შესახებ, როგორცაღაც უკვე დღეისათვის აწარმოებენ რაოდენობრივი მხარეების მიმართ.

შექვესე ჯგუფის იმ ფრთის წარმომადგენლების თვალსაზრისის მიხედვით, რომლებიც ენერჯიას მიიჩნევენ როგორც მატერიის მოძრაობის ფორმის თვისებას (ა. მირიანაშვილი და სხვ.), ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონში უნდა ვიგულისხმოთ მატერიის მოძრაობის ნავულისხმევი თვისების გარდაქმნა და შენახვა. ხოლო ამ ჯგუფის მეორე ფრთის წარმომადგენლები, რომლებიც ენერჯიას განმარტავენ როგორც მოძრაობის გარდაქმნის ზომას (ა. ნაუმოვი, ა. არხანგელსკი და სხვ.), გამოდიან მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან და ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონში გულისხმობენ მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის შედეგად მათ რაოდენობრივ (მათი „ზომის“) შენახვას.

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ზოგიერთ სახელმძღვანელოში თანმიმდევრულად არ არის გატარებული ავტორთა თვალსაზრისი. მაგალითად, „პოპულარული ფიზიკის“ ავტორი, ცნობილი ამერიკელი ფიზიკოსი ორიი ენერჯის ცნების შინაარსის განმარტების მხრივ ჩვენ მოვაქციეთ ისეთ ავტორთა რიცხვში, რომლებიც ვერ ამჩნევენ ან საჭიროდ არ თვლიან განმარტებას ამ ცნების თვისებრივი მხარე, მაგრამ ორიი მე-ნ პარაგრაფს, რომელსაც ეწოდება „ენერ-

ჯიის შენახვის კანონი, უმძლვარებს ეპიგრაფს „არაფრისაგან არ იქმნება რა-
ნიმე“ [111, გვ. 110], რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მას აინტერესებს ამ კანონის
თვისებრივი მხარე. სამწუხაროდ, თვით პარაგრაფში ორივე არაფერს ამბობს
ამ კანონისთვისებრივ მხარეზე, ეპიგრაფი კი, ცხადია, არ შეიცავს საკმარის ინ-
ფორმაციას ამ საკითხის შესახებ.

მეცნიერების განვითარების თანამედროვე დონისათვის ყველაზე უფრო გა-
მართლებულია განემარტოთ ენერგია როგორც მოძრაობის ფორმის უნარი —
ჯარკეულ პირობებში გარდაიქმნას მოძრაობის სხვა ფორმად. ამ შეხედულების
თანმიმდევრული გატარების შექმნევაში ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის
კანონის არსი უნდა გაეიფოთ შემდეგნაირად: როცა მატერიის მოძრაობის ერთი
ფორმა მოძრაობის მეორე ფორმად გარდაიქმნება, ახლად მიღებულ ექვივალენტურ
მოძრაობის ფორმას კვლავ აქვს მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნა-
რი ანუ ენერგია.

ენერგიის შენახვა აუცილებლად გულისხმობს მოძრაობის რაოდენობრივ
შენახვადაც, რადგან მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის დროს მოძრაობა რაო-
დენობრივად თუ არ შეინახა, ცხადია, მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის
უნარიც რაოდენობრივი თვალსაზრისით შეიცვლება (მოიკლებს ან მოიმატებს).

რამდენადაც ენერგიის რაოდენობრივი შენახვა მოძრაობის რაოდენობრივ
შენახვას გულისხმობს, იხადება კითხვა: როგორ შეიძლება დაუადგინოთ, რომ
მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის დროს მოძრაობის საერთო რაოდენობა არ
რცელდება?

ფიზიკა ამ კითხვაზე უპასუხებს სითბოს მექანიკური და მუშაობის თერმი-
ული ექვივალენტის ცნებების გამოყენებით, კერძოდ, სითბოს მექანიკური ექვი-
ვალენტი, რომელიც პირველად ჯ. ჯოულმა გაზომა, გვეუბნება, რომ 426,83 კგმ
კინეტიკური ენერგიის მქონე მექანიკური მოძრაობა მისი სრულ სითბურ მოძ-
რაობად გარდაქმნის დროს გვაძლევს 1 კკალორია (15°) სითბური ენერგიის შესა-
ბამის სითბურ მოძრაობას, ხოლო შებრუნებით გარდაქმნის დროს 1 კკალორია
(15°) კვლავ მოგვცემს ზუსტად 426,83 კგმ კინეტიკური ენერგიის შესატყვის მე-
ქანიკურ მოძრაობას. ამგვარად, მექანიკური და სითბური მოძრაობანი ურთი-
ერთგარდაქმნის დროს არ განიცდიან არცთვისებრივ და არც რაოდენობრივ
ცვლილებებს. ანალოგიური მდგომარეობაა მოძრაობის ნებისმიერ ფორმათა ურ-
თიერთგარდაქმნის დროს, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ენერგია ანუ გარ-
კეულ პირობებში მოძრაობის ერთი ფორმის მოძრაო-
ბის მეორე ფორმად გარდაქმნის უნარი, მოძრაობათა ურ-
თიერთგარდაქმნის დროს ინახება როგორცთვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის ამ ზოგადი გაგებიდან გამომდინარე,
ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში ანალოგიურად შეიძლება განისაზღვროს ამ
კანონის არსი. კერძოდ, კინეტიკური და გრავიტაციული ენერგიის შემთხვევაში
რგი ასეთ სახეს მიიღებს: მექანიკურ და გრავიტაციულ მოძრაო-
ბათა ურთიერთგარდაქმნის დროს მათი ენერგია (მოძრა-
ობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნარი) ინახება როგორც
თვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

მექანიკური და სითბური ენერგიებისათვის ეს კანონი ასე ჩამოყალიბდება:
მექანიკურ და სითბურ მოძრაობათა ურთიერთგარდაქ-
მნის დროს მათი ენერგია (მოძრაობის სხვა ფორმად გარ-
დაქმნის უნარი) ინახება როგორცთვისებრივად, ისე რა-
ოდენობრივად.

და ა. შ.

ფიზიკის პროგრამის მიხედვით IX კლასში ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის რაოდენობრივი დასაბუთება თეორიულად გათვალისწინებულია მხოლოდ კინეტიკური და გრავიტაციული ენერჯიების ურთიერთგარდაქმნის შემთხვევაზე. მოსწავლეებს ჯერ მივაწვდით სათანადო ცოდნას ამ საკითხის შესახებ, შემდეგ გავახსენებთ მექანიკური და სითბური ენერჯიების შესახებ VII კლასში შესწავლილ მათემატიკურ და ფიზიკურ ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის ზოგად ფორმულირებას.

ამგვარად, ამ პარაგრაფში შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად საკითხებად: 1. გრავიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერჯის თვისებრივი შენახვა; 2. გრავიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნის შედეგად ენერჯის რაოდენობრივი შენახვა; 3. ენერჯის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის დაფორმლება.

სწავლების პროცესი მიზანდასახულად და ეტაპობრივად შეიძლება წარმართოს ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

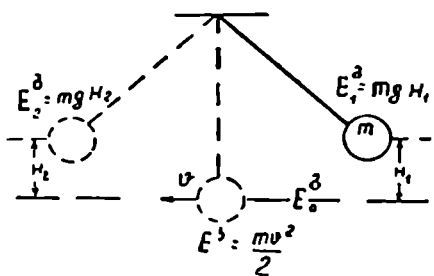
გრავიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერჯის თვისებრივი შენახვა

დედამიწის ზედაპირიდან H_1 სიმაღლეზე მდებარე m მასის მქონე სხეულს თუ ხელს გავუშვებთ, იგი დაიწყებს რხევას (ნახ. 27). კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიების ცნების გამოყენებით ეს მოვლენა ასე ხასიათდება: H_1 მდებარეობაში სხეულს აქვს

$E_1^p = mgH_1$ გრავიტაციული ენერჯია; ვერტიკალურ მდებარეობაში გავლის დროს $H_1=0$ და, მაშასადამე, $E_1^k = 0$, მაგრამ სხეულს

აქვს მაქსიმალური v სიჩქარე და შესაბამის $E_2^k = \frac{mv^2}{2}$ კინეტიკური

ენერჯია; H_2 სიმაღლეზე ასვლის მომენტში სხეულის სიჩქარე $v=0$ და ე. ი. $E_2^k = 0$, მაგრამ მისი $E_2^p = mgH_2$ გრავიტაციული ენერჯია მაქსიმალურია.



ნახ. 27

თუ შევძელით ჰაერისა და საკიდის ხახუნის წინააღმდეგობის აბსოლუტურად გამორიცხვა, გრავიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნის პროცესი დაუსრულებლად გაგრძელდება.

რომ გავერკვეთ, რა იგულისხმება პოტენციური და კინეტიკური ენერჯიების

ურთიერთგარდაქმნაში, უნდა გავიაზროთ მოძრაობის რომელი ფო-

რმების ურთიერთგარდაქმნასთან გვაქვს საქმე და რა არის თვით გრავიტაციული და კინეტიკური ენერგიები.

რამდენადაც პირობის თანახმად ჩვენს ცდაში ჰაერისა და საკიდის ხახუნის წინააღმდეგობა გამორიცხულია, სხეულის რხევის დროს საქმე გვაქვს მხოლოდ გრავიტაციული და მექანიკური მოძრაობის ურთიერთგარდაქმნასთან.

გრავიტაციული ენერგიის კინეტიკურ ენერგიად გარდაქმნა იმას ნიშნავს, რომ გრავიტაციული მოძრაობის გარდაქმნის შედეგად მიღებულ მექანიკურ მოძრაობას კვლავ აქვს მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნარი ანუ კინეტიკური ენერგია.

ანალოგიურად, კინეტიკური ენერგიის გრავიტაციულ ენერგიად გარდაქმნაში იგულისხმება, რომ მექანიკური მოძრაობის გარდაქმნის შედეგად მიღებულ გრავიტაციულ მოძრაობას კვლავ აქვს მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნარი ანუ გრავიტაციული ენერგია.

1. მოძრაობათა როგორ გარდაქმნებთან გვაქვს საქმე სხეულის რხევის დროს (ნახ. 27)?
2. რას ნიშნავს გრავიტაციული ენერგიის გარდაქმნა კინეტიკურ ენერგიად?
3. რა იგულისხმება გრავიტაციული ენერგიის კინეტიკურ ენერგიად გარდაქმნაში?

გრავიტაციული და კინეტიკური ენერგიის ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერგიის რაოდენობრივი შენახვა

უნდა დავამტკიცოთ, რომ გრავიტაციული და კინეტიკური მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერგია რაოდენობრივად არ იცვლება, ე. ი. უ. დ. $E_{\dot{\xi}} = E_{\dot{\eta}} = E_{\dot{\zeta}}$ ჯერ დავამტკიცოთ, რომ $E_{\dot{\xi}} = E_{\dot{\eta}}$ ე. ი.

$$mgH_1 = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

v არის სიჩქარე, რომელიც სხეულმა შეიძინა H_1 სიმაღლეზე და აჩქარებით ვარდნის დროს. როგორც ვიცით, მისი სიდიდე ასე გამოიხატება $v = \sqrt{2gH_1}$. პირველ ფორმულაში v-ს ამ მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ:

$$mgH_1 = \frac{m(\sqrt{2gH_1})^2}{2} = \frac{m2gH_1}{2} = mgH_1$$

მაშ, $E_1^2 = E_1^1$ (2) ე. ი. H_1 სიმაღლეზე ვარდნის დროს პოტენციალური ენერგია მთლიანად გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად. მაგრამ რაოდენობრივად უცვლელი რჩება.

4. როგორ დაამტკიცებთ, რომ $E_2^2 = E_2^1$?

ახლა დავამტკიცოთ, რომ $E_2^1 = E_2^2$ ე. ი. $\frac{mv^2}{2} = mgH_2$ (3).

ზევით ასროლილი სხეულის მოძრაობის კანონებიდან ვიცით, რომ v სიჩქარით ასროლილი სხეულის მიერ მიღწეული სიმაღლე

$$H_2 = \frac{v^2}{2g}$$

მესამე ფორმულაში H_2 -ის ამ მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ:

$$\frac{mv^2}{2} = mg \frac{v^2}{2g} = \frac{mv^2}{2}$$

მაშ, $E_2^1 = E_2^2$ (4) ე. ი. H_2 სიმაღლეზე ახლოს დროს სხეულის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება გრავიტაციულ ენერგიად, რაოდენობრივად კი უცვლელი რჩება.

5. როგორ დაამტკიცებთ, რომ $E_3^1 = E_3^2$?

მესამე და მეოთხე ტოლობების შედარება გვიჩვენებს, რომ

$$E_3^2 = E_2^1 = E_3^1 \quad (5) \text{ რ. უ. დ.}$$

თუ გარემოს წინააღმდეგობას არ მივიღებთ მხედველობაში, ენერგიის ანალოგიურ გარდაქმნებთან გვექნება საქმე მაქსველის ქანქარას მოძრაობისა და მთელ რიგ სხვა შემთხვევებში.

6. მე-5 ტოლობით გამოხატული კანონი სიტყვიერად როგორ შეიძლება გამოითქვას¹.

ამ პარაგრაფის პირველი და მეორე ძირითადი საკითხების გაშუქების დროს მიღებულ შედეგებს თუ გავაერთიანებთ, მივიღებთ

¹ პოტენციური და კინეტიკური მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერგიის სიდიდე რაოდენობრივად არ იცვლება.

გრავეიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნისა და შენახვის კანონს:

გრავეიტაციულ და მექანიკურ მოძრაობათა ურთიერთგარდაქმნის დროს მათი ენერჯია ინახება როგორც თვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

7. როგორ გამოითქმება გრავეიტაციული და კინეტიკური ენერჯის ურთიერთგარდაქმნისა და შენახვის კანონი?

ენერჯიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონი მექანიკური და გრავეიტაციული ენერჯიების მსგავსად, ენერჯიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონი ძალაშია ნებისმიერ ენერჯიათა ურთიერთგარდაქმნის დროსაც.

სითბოს მექანიკური ექვივალენტი, რომელიც ცდით პირველად ჯოულმა დაადგინა, მიუთითებს, რომ 427 კგმ კინეტიკური ენერჯიის მქონე მექანიკური მოძრაობა მისი სრულ სითბურ მოძრაობად გარდაქმნის დროს გვაძლევს 1 კკალორია სითბური ენერჯიის შესაბამის სითბურ მოძრაობას. მისი ფიზიკური შინაარსიდან აგრეთვე გამომდინარეობს, რომ შებრუნებული პროცესის დროს 1 კკალორია მოგვეცემს ზუსტად 427 კგმ კინეტიკური ენერჯიის შესაბამის მექანიკურ მოძრაობას და ა. შ., რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მოძრაობათა ამ ფორმების ურთიერთგარდაქმნის დროს ენერჯია ინახება როგორც თვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

8. რაზე მიუთითებს სითბოს მექანიკური ექვივალენტა?

ელექტრომაგნიტური მოძრაობის სითბურ, მექანიკურ და მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის დროს ჩატარებული ცდები და გამოანგარიშებანი აგრეთვე გვიჩვენებენ, რომ მოძრაობის ნებისმიერ ფორმათა ურთიერთგარდაქმნის შედეგად, მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნარი ანუ ენერჯია ინახება როგორც თვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

აღწერილი მაგალითებიდან გამომდინარე, ენერჯიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონი ზოგადი სახით შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს:

მოძრაობის ფორმათა ურთიერთგარდაქმნის დროს გარკვეულ პირობებში მოძრაობის სხვა ფორმად გარდაქმნის უნარი ანუ ენერჯია ინახება როგორც თვისებრივად, ისე რაოდენობრივად.

9. როგორ გამოითქმის ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის ზოგადი კანონი?

ამოცანები:

1. ბურთულა, რომლის მასა 100 გრამია, მიგორავს პარიზონტულ სიბრტეზე 5 მ/წმ სიჩქარით. შეუძლია თუ არა ამ ბურთულას აგორდეს აღმართზე, რომლის სიმაღლე არის 2,5 მ? ხახუნს მხედველობაში ნუ მივიღებთ.

2. სხეული, რომლის მასა არის 100 გ, ასროლილია ვერტიკალურად ზევით 40 მ/წმ სიჩქარით. განვსაზღვროთ სხეულის კინეტიკური ენერგია მოძრაობის დაწყებისას და პოტენციური ენერგია უდიდეს სიმაღლეზე. შევადაროთ მიღებული სიდიდეები. განვსაზღვროთ პოტენციური და კინეტიკური ენერგიის ჯამი მოძრაობის დაწყებიდან 3 წმ შემდეგ. ეს ჯამი შევადაროთ კინეტიკურ ენერგიას მოძრაობის დასაწყისში, გავაკეთოთ დასკვნა.

3. თუ სხეულის მასა, რომლის შესახებ მე-2 ამოცანაში არის ლაპარაკი, უდრის 0,5 კგ, მაშინ რის ტოლი იქნება კინეტიკური ენერგია ასროლის დასაწყისში? განვსაზღვროთ ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში სხეულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგია და ამ ენერგიათა ჯამი, შევადაროთ სხეულის კინეტიკურ ენერგიას ასროლის დასაწყისში. გამოვიტანოთ დასკვნა. გამოთვლების დროს ჩავთვალოთ, რომ $g = 10$ მ/წმ².

გ 32. ძრავას დანიშნულება და მარადიული ძრავას აბების შეუძლებლობა

წინასწარი XIII საუკუნიდან დაწყებული, მარადიული ძრავის შექმნის მომშენიშვნები ხიბლავი იდეა მრავალი გამომგონებლის ყურადღებას იზიდავს.

როგორც ე. კირპიჩოვი აღნიშნავს, მექანიკის კანონების აღმოჩენის შემდეგ მექანიკის კანონებიდან გამომდინარე მტკიცებებმა მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობის შესახებ „არავითარი გავლენა არ მოახდინა“ მარადიული ძრავის გამომგონებლებზე. ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის საყოველთაო აღიარების შემდეგ მოსალოდნელი იყო, რომ პერპეტუუმ მობილეს აგების შეუძლებლობის დასაბუთება ყველასათვის გასაგები იქნებოდა. მაგრამ ეს ასე არ მოხდა. მიუხედავად იმისა, რომ ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის აღმოჩენიდან საუკუნეზე მეტი დრო გავიდა, მარადიული ძრავის გამომგონებელთათვის მაინც გაუგებარი რჩება ამ კანონიდან გამომდინარე მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობის მტკიცების მეცნიერული აზრი.

ე. ზელიკოვიჩი სტატიაში „მარადიული ძრავის... გამომგონებელ ამბანაგებს“ დიდი სინანულით აცხადებს, რომ მარადიული ძრავის გამომგონებლები განაგრძობენ არსებობას XX საუკუნის მეორე ნახევარშიც. როგორც ავტორი აღნიშნავს, მარადიული ძრავის გამომგონებლები დღესაც „ადგენენ უაზრო პროექტებს ნახაზებითა და აღწერილობებით, რომლებსაც გზავნიან უზრუნველების რედაქციებში, სამინისტროებში, მეცნიერებათა აკადემიებში... [14, გვ. 11].

მარადიული ძრავის „პროექტის“ ზოგიერთი ავტორი კარგად იცნობს როგორც ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონის ფორმულირებას, ისე ამ კანონიდან გამომდინარე იმ დებულებას, რომ ვერავითარი ძრავა ვერ იმუშავებს გარედან ენერგიის მიუწოდებლად; მიუხედავად ამისა, ისინი მაინც მთელი შეუპოვრობით განაგრძობენ ამ დებულების საწინააღმდეგო ძიებას, ცდილობენ

შექმნას მარადიული ძრავა, კიდევ მეტი, როგორც ზემოხსენებული სტატიის ავტორი აღნიშნავს, მარადიული ძრავის პროექტის ზოგიერთი ავტორი „როდესაც ერთგან უარს მიიღებს, საჩივარს გზავნის სხვაგან“.

ე. ზელიკოვიჩი ცდილობს მარადიული ძრავის თანამედროვე გამოგონებლებს დაუსაბუთოს, რატომ არ შეიძლება ასეთი ძრავის აგება. იგი წერს: „თქვენ და საუკრადლებოდ, ამხანაგო გამოგონებლებო, მაგნეტიზმი, ისევე როგორც დედამიწის მიზიდულობა, ძალაა და არა ენერჯია. ძალას შექანიკაში უწოდებენ ზოგიერთ საწყისს, რომელსაც შეუძლია სხეულები გამოიყვანოს უძრავი მდგომარეობიდან და შეეცალოს მათი თანაბარსწორხაზოვანი მოძრაობა. ძალა ამგვარად მოქმედებს სხეულზე და „მუშაობს“. მის მუშაობაზე იხარჯება ენერჯია. თუ თქვენ მიაყენეთ საწონს ხელის ძალა და ასწიეთ იგი, თქვენ ამ მუშაობაზე დახარჯეთ ენერჯიის რაღაც რაოდენობა.“

მტკიცედ დაიმხსოვრეთ: თუ არ არის ენერჯია, არ იქნება მუშაობაც, ვერ გიშველით ვერც ბერკეტები, ვერც ტვირთები, მაგნეტები, ზამბარები, საფარები... ენერჯიის გარეშე არ შეიძლება მტკრის ნაწილაკი კი. ვერაუთარი ფანდებით თქვენ ამას ვერ აიძღვინთ, ამხანაგო გამოგონებლებო“ [14, გვ. 14].

ამ რჩევა-დარიგებიდან, ცხადია, კემპარიტების გაგება არ შეიძლება, რადგან რგი მთელ რიგ შეუძლოებს შეიცავს. მაგალითად, ავტორის მოსაზრება — „მაგნეტიზმი, ისევე როგორც დედამიწის მიზიდულობა, ძალაა და არა ენერჯია“ — არ არის სწორი, რადგან თანამედროვე ფიზიკაში განიხილავენ როგორც მაგნეტიზმს, ისე დედამიწის მიზიდულობის ძალასაც და ენერჯიასაც (პოტენციური ენერჯია). მომდევნო წინადადებაში სრულიად გაუმართლებლად ძალა და ენერჯია ვაკებულება როგორც მოძრაობის წარმომქმნელი რაღაც არსებანი. ე. ზელიკოვიჩის ეს შეუძლოები ძირითადად გაპირობებულია ობიექტური ფაქტორებით. როგორც არა ერთხელ ითქვა, ძალის, მუშაობის, ენერჯიისა და მათთან დაკავშირებული ცნებების თვისებრივ მხარეთა გარკვევაში სერიოზული ხარვეზებია. ამავე მიზეზებით აიხსნება ისიც, რომ საუკუნეების განმავლობაში მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობის შესახებ ამ ცნებებზე დაყრდნობილ დასაბუთებათა ნამდვილი აზრი ბევრისათვის მიუწვდომელი რჩება. არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ ის მეტად კუროზული ფაქტი, რომ მოსწავლეები მარადიული ძრავის აგებაზე ფიქრსა და შრომას სწორედ მას შემდეგ იწყებენ, როცა ფიზიკის წიგნებში ეცნობიან მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობის დასაბუთებას. ძალის, მუშაობისა და ენერჯიის ცნებების შინაარსი — თვისებრივი მხარე თუ სწორად არ გაირკვა, ამ ცნებაზე დაყრდნობით შეუძლებელი იქნება რაიმე კემპარიტი დებულების დამტკიცება, ხოლო თუ ამ ცნების შინაარსს სწორად გავარკვევთ, მაშინ მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობის შესახებ პრობლემის დაყენებაც და მისი პასუხიც ნათელი გახდება.

ძალის, მუშაობისა და ენერჯიის შინაარსის გარკვევის პროცესში ენახეთ, რომ ეს ცნებები მოძრაობის გადაცემა-გარდაქმნის სხვადასხვა მხარეს გამოხატავენ. აღნიშნული იყო ისიც, რომ მოძრაობის წარმოშობის საკითხში ძველთაგანვე ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო შეხედულება არსებობს: ერთი — მისტიკური, რომელიც საბოლოო ანგარიშით მოძრაობის წარმოშობის მიზეზად ღმერთს ასახელებს, მეორე კი — მეცნიერულ-მატერიალისტური, რომელიც გამოიღოს მოძრაობის შეუქმნადობისა და მოუსპობადობის კანონიდან. მოძრაობის შეუქმნადობის თვალსაზრისიდან გამომდინარე, ადვილია როგორც მოზარდთათვის. ისე მოზრდელთათვის ცხადი გახვალთ, რომ მარადიული ძრავის აგება შეუძლებელია. ჩვენ ვნახეთ, რომ ძრავის მიერ მუშაობის შესრულება ნიშნავს რაიმე მსხველრისათვის ან მისი შემადგენელი ნაწილებისათვის მოძრაობის მინიჭებას:

მოდრაობის შექმნა, როგორც ყოველდღიური დაკვირება გვიჩვენებს. არ შეიძლება თავისთავად, იგი შეიძლება მხოლოდ გადაეცეს ერთი სხეულიდან მეორეს, ძრავა კი ისეთი ხელსაწყოა, რომელიც მოძრაობის რომელიმე, თვალისათვის ხილულ ან უხილავ, ფორმას გარდაქმნის მოცემულ მოქმედებაში ჩვენთვის საჭირო მოძრაობის ფორმად. თუ მოძრაობა შეუქმნადია და ბუნებაში მიმდინარეობს მხოლოდ მოძრაობის ერთი ფორმის გარდაქმნა მეორედ, თუ ძრავები ისეთი ხელსაწყოებია, რომელთაც შეუძლიათ მხოლოდ და მხოლოდ მოძრაობის ერთი ფორმის გარდაქმნა მეორედ, ცხადია, არ შეიძლება შეექმნათ ისეთი ძრავა, რომელიც არ გამოიყენებდა მოძრაობის რომელიმე ფორმას და თავისთავად შექმნიდა მოძრაობის მექანიკურ ან რაიმე სხვა ფორმას. ადვილი შესამჩნევია, რომ მოძრაობის შეუქმნადობის კანონზე დაყრდნობით მარადიული ძრავისა და მარად მოძრავი ხელსაწყოს — პერპეტუუმ მობილეს აგების შეუძლებლობის ნაწილად ადვილია. საჭიროა მხოლოდ საკითხი დაეიყვანოთ მოძრაობის შეუქმნადობის კანონამდე, რომლის არსის მიწოდება შეიძლება როგორც ზემოთ მოცემული სწავლების, აგრეთვე პრაქტიკიდან მიღებული გამოცდილების საფუძველზე. ამ მოსაზრების სისწორეში გვიარწმუნებს არა მარტო თეორიული ანალიზი, არამედ ექსპერიმენტული შემოწმებებიც.

ამ პარაგრაფში შესასწავლი მასალა შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად საკითხებად: 1. ძრავის დანიშნულება და მისი მოქმედების ძირითადი პრინციპი; 2. პერპეტუუმ მობილეს აგების შეუძლებლობა; 3. მარადიული ძრავის აგების შეუძლებლობა.

სწავლების მიზანდასახული ეტაპობრივი მართვა შეიძლება ქვემოთ მოცემული დაპროგრამებული მასალის მიხედვით.

ძრავის დანიშნულება და მისი მოქმედების ძირითადი პრინციპი

ავტომანქანა, მატარებელი, გემი, თვითმფრინავი, ელექტროსადგურის გენერატორი, ჩარხის მუშა ნაწილები და სხვა ხელსაწყოები სწავდასწავა ტიპის ძრავებს მოჰყავს მოძრაობაში. მუშაობის დროს ძრავები ხარჯავენ დიდი რაოდენობით სითბურ, ელექტრომაგნიტურ ან სხვა სახის ენერგიას. ენერგიის მოპოვება დიდ შრომასა და ხარჯებს მოითხოვს, ამიტომ ზოგიერთი გამომგონებელი, რომელსაც კარგად არ ესმის ძრავების მუშაობის პრინციპი, უნაყოფოდ ცდილობს შექმნას ისეთი ძრავა, რომელიც ენერგიის გამოუყენებლად მუდამ იმოდრავებს და შეასრულებს ჩვენთვის სასურველ მუშაობას. ასეთ ძრავას მარადიულ ძრავას უწოდებენ.

რომ შეცდომა არ დაუშვათ და უნაყოფოდ არ ვხარჯოთ ჩვენი შემოქმედებითი ენერგია, საჭიროა კარგად გავერკვეთ ძრავის დანიშნულებასა და მისი მოქმედების ძირითად პრინციპში.

ყველასათვის კარგად არის ცნობილი, რომ ავტომანქანის ან თვითმფრინავის ძრავაში საწვავის მიწოდება თუ არ ხდება, ისინი ადგილიდან ვერ დაიძრებიან.

1. რატომ არ შეუძლია ძრავას „შექმნას“ მოძრაობა?¹

ძრავის დანიშნულებაა არა მოძრაობის შექმნა, არამედ მოძრაობის რომელიმე ფორმის გარდაქმნა ჩვენთვის საჭირო მექანიკურ ან სხვა სახის მოძრაობად.

2. შიდაწვის ძრავა მოძრაობის რომელ ფორმას გარდაქმნის მანქანის მექანიკურ მოძრაობად?²

3. დასახელეთ სხვა ძრავები, რომლებიც სითბურ მოძრაობას გარდაქმნიან მექანიკურ მოძრაობად.³

4. ელექტროძრავაში მოძრაობის რომელი ფორმა გარდაიქმნება მექანიკურ მოძრაობად?⁴

სითბურ, ელექტრომაგნიტურ და მოძრაობის სხვა ფორმებს გარკვეულ პირობებში აქვთ უნარი ანუ ენერგია გარდაიქმნან მოძრაობის სხვა ფორმად. ამ ძირითად პრინციპზეა აგებული ძრავის მოქმედება.

5. რაში მდგომარეობს ძრავის დანიშნულება?

6. რა ძირითად პრინციპზეა აგებული ძრავის მოქმედება?

ენახოთ, რატომ არ შეიძლება აიგოს ე. წ. პერპეტუუმ მობილეს ვერპეტუუმ მობილე, ე. ა. ისეთი ხელსაწყოების შეუქმნებლობა, რომელიც ერთხელ მინიჭებული მოძრაობის შემდეგ დაუსრულებლად განაგრძობს მოძრაობას.

სადგარზე დაყენებული ველოსიპედის ან მოტოციკლის ბორბალს თუ ბიძგივით დავაბრუნებთ, მალე შევნიშნავთ, რომ ბრუნვის სიჩქარე თანდათან დაიწყებს შემცირებას და ბოლოს იგი გაჩერდება.

7. რატომ ჩერდება ბორბალი? მოძრაობის როგორ ფორმად გარდაიქმნება ბორბლის მექანიკური მოძრაობა?

ბორბლისათვის ჩვენ მიერ ბიძგივით მინიჭებული მოძრაობა თანდათან გარდაიქმნება ჰაერის ფენებისა და საკისარების სითბურ მოძრაობად და როცა გარდაქმნის ეს პროცესი დამთავრდება, ბორბალი გაჩერდება.

¹ როგორც ვიცი, მოძრაობა შეუქმნადია, შესაძლებელია მხოლოდ მოძრაობის გადაცემა ან გარდაქმნა, საწვავის გარეშე ძრავას არ აქვს არც გადასაცემა და არც ვარდასაქმნელი მოძრაობა.

² სითბურს.

³ რეაქტიული ძრავა, ორთქლის მანქანა, ორთქლის ტურბინა.

⁴ ელექტრომაგნიტური.

8. შეიძლება თუ არა შევამციროთ და ბოლოს აბსოლუტურად გამოვირიცხოთ ჰაერისა და საყისარების ხახუნის წინააღმდეგობა?

ზემოთ მითითებულ ან სპეციალურად დამზადებულ ბორბალს თუ ზარხუტს ქვემოთ მოვათავებთ და იქიდან ჰაერს ამოვტუმბავთ, ხოლო ბრუნვის დერს ყველაზე კარგი კონსტრუქციის საყისარებით ავაწყობთ და საუკეთესო საცხით გავვზობავთ, ხახუნის წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად შემცირდება, მაგრამ მისი აბსოლუტურად გამორიცხვა შეუძლებელია.

იმის მიხედვით, თუ ზემოთ მითითებული საშუალებებით რამდენად უკეთ შევძლებთ ხახუნის წინააღმდეგობის შემცირებას, ბორბალი ერთხელ მინიჭებული მოძრაობით მით უფრო დიდ ხანს შეძლებს განაგრძოს ბრუნვა, მაგრამ ხახუნის გამო მისი მექანიკური მოძრაობა თანდათან გარდაიქმნება სითბურ მოძრაობად და იგი გარკვეული დროის გავლის შემდეგ გაჩერდება. რადგან აბსოლუტურად ხახუნის გამორიცხვა შეუძლებელია, არ შეიძლება აიგოს პერპეტუუმ მობილე, ე. ი. ისეთი ხელსაწყო, რომელიც მარადიულად იმოძრაეებს.

პერპეტუუმ მობილეს აგების ზოგიერთი მსურველი ზემოთ მითითებულ ბორბალზე ამატებს ცვალებადი მხარის მქონე ბერკეტებს, მოძრავ ბურთულებსა და სხვა სახის მოწყობილობებს. ბორბალზე ყოველგვარი მოძრავი მოწყობილობის დამატება ნიშნავს ხახუნის გაზრდას, რაც იმის მომასწავებელია, რომ ხელსაწყოსათვის ერთხელ მინიჭებული მექანიკური მოძრაობა უფრო სწრაფად გარდაიქმნება სითბურ მოძრაობად და უფრო მალეც გაჩერდება.

9. რატომ არის შეუძლებელი პერპეტუუმ მობილეს აგება?

მარადიული ძრავის ცნებაში ისეთი ძრავა იგულისხმება, რომელიც ერთხელ მინიჭებული მოძრაობით არა მარტო თვითონ იმოძრაეებს მუდამ, არამედ მუდამ შეძლებს აგრეთვე შეასრულოს მუშაობა, ე. ი. მოძრაობაში მოიყვანოს სხვა სხეულები ან მათი ნაწილები.

10. რა იგულისხმება მარადიული ძრავის ცნებაში?

რადგან მოძრაობა შეუქმნადია, ძრავა, რომელსაც ჩვენ რაიმე გზით ერთხელ მივანიჭებთ მოძრაობას, მაშინვე გაჩერდება, როგორც კი ამ მოძრაობით შეასრულებს მუშაობას, ე. ი. ჩვენ მიერ მინიჭებულ მოძრაობას გარდაქმნის ჩვენთვის საჭირო სხვა სახის მოძრაობად. ამიტომ მარადიული ძრავის აგება შეუძლებელია.

11. რატომ არის შეუძლებელი მარადიული ძრავის აგება?

როგორც აღნიშნული იყო, ძრავის დანიშნულებაა არა მოძრაობის შექმნა, არამედ მოძრაობის რომელიმე ფორმის გარდაქმნა აღებულ მომენტში ჩვენთვის საჭირო ფორმად. ძრავები ამ ამოცანას მით უფრო კარგად ასრულებენ, რაც უფრო დიდია მათი მარჯი ქმედების კოეფიციენტი.

ტექნიკის შემდგომი პროგრესი ერთ-ერთ ძირითად მიზნად ისახავს ძრავების მქკ (მარჯი ქმედების კოეფიციენტის) რაც შეიძლება მეტად გაზრდას. მქკ 1%-ით გაზრდითაც კი მთელი ქვეყნის მასშტაბით მილიონობით მანეთის ეკონომია მიიღება. სწორედ ამიტომაც გამოგონებელთა და რაციონალიზატორთა მთელი ყურადღება მიპყრობილი არა მარადიული ძრავის აგების მცდარი იდეისადმი, არამედ ჩვეულებრივი ძრავების მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდასა და მოქმედების პრინციპით მათი მსგავსი ახალი ძრავების გამოგონებისაკენ.

12. რა არის ტექნიკის შემდგომი პროგრესის ერთ-ერთი ძირითადი მიზანი?

13. მთელი ქვეყნის მასშტაბით რა მოგება შეუძლია მოგვეცეს მქკ 1%-ითაც კი გაზრდამ?

14. ძრავების დარგში საით არის მიპყრობილი გამოგონებელთა და რაციონალიზატორთა მთელი ყურადღება?

КИБЕРНЕТИКА И ОПТИМАЛЬНОЕ ТОЛКОВАНИЕ И ПРЕПОДАВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОНЯТИЙ ФИЗИКИ

Резюме

Кибернетика — наука об общих закономерностях оптимального управления сложными процессами. Для изучения и оптимизации процессов управления в живых организмах, машинах и их объединениях, кибернетика применяет методы моделирования, теории информации, математическую статистику, математическую логику и т. д. Эти методы способствуют более точному исследованию оптимального управления сложными процессами.

Процесс обучения и воспитания — это сложнейший процесс. Необходимость оптимизации управления этим процессом принимает особенно острый характер на нынешнем этапе развития науки и техники, который характеризуется очень быстрым ростом темпа, вследствие чего накапливается огромное количество научной литературы. Исходя из этого, перед

педагогикой еще активнее ставится проблема — как из существующей научной литературы выбрать материал, имеющий максимальную информационную ценность, и в ограниченный срок обучения и воспитания сообщить учащимся тот необходимый запас знаний, который оптимально обеспечит дальнейший прогресс науки, техники и культуры. Решение этой проблемы требует дальнейшего повышения научного уровня преподавания. Необходимо отыскать такую структуру учебного предмета и такие методы обучения (разумеется с учетом возрастных особенностей учащихся), которые дадут возможность при минимальной затрате времени и энергии сообщить учащимся то полужителное знание, которое в этом предмете достигнуто на данном этапе познания.

Дальнейшее повышение научного уровня преподавания физики существенно зависит от правильного толкования и преподавания содержания понятий этой науки. Анализ курсов физики, механики, а также монографических трудов известных ученых показывает, что такие основные понятия физики как сила, работа, энергия и связанные с ними некоторые вопросы толкуются у разных авторов по-разному.

В «Физике» Эллиота и Уилкокса качественная сторона понятия силы определяется следующим образом: «сила — это толчок или тяга. Но точно: силой называется то, что вызывает или прекращает движение, изменяет направление движения или форму тела» [150, стр. 50].

Для понимания сущности понятия силы из первого определения необходимо выяснить, что такое «толчок» или «тяга»; но в системе научных понятий физики «толчок» и «тяга» не определяются, следовательно, в этом определении один непонятный термин заменен другим, что, конечно, нельзя считать удовлетворительным.

Во втором, более точном, как считают авторы, определении сила определяется как причина движения. Но по поводу причины движения, начиная с древнегреческих мыслителей [43 стр. 151] и до наших дней существует два противоположных и взаимоисключающих толкования. Об этом в указанной книге ничего не говорится, следовательно, остается непонятным, что же подразумевают авторы под причиной движения — само ли движение или «перводвигатель»?

Переходя к толкованию качественной стороны понятий работы, мощности и энергии, Эллиот и Уилкоксы пишут: «мало найдется слов, значение которых так запутано и разноречно, как работа, мощность и энергия» [150, стр. 237]. Далее, они совершенно правильно указывают, что «такая путаница в понятиях нетерпима не только в науке, но и в любой другой области».

Для выяснения качественной стороны понятия работы Эллиот и Уилкоккс ссылаются на оплату труда при выполнении работы [150 стр. 238]. Однако это не даст им возможность сказать что-нибудь новое, и качественное определение работы остается на уровне, справедливо раскритикованным самими же авторами.

В другом американском школьном учебнике физики, созданном большим коллективом авторов в Массачусетском технологическом институте, при выяснении качественной стороны понятия силы упоминается вопрос о причине движения [14], стр. 408], но авторы до конца не осознают сущность проблемы «причины движения», и толкуют силу как мускульную тягу или толчок. Для выяснения сущности силы приводятся примеры о толкании и тяге человеком лодки. На наш взгляд было бы лучше рассмотреть, скажем, процесс, происходящий в цилиндре двигателя внутреннего сгорания или паровой машины, где лучше раскрывается качественная сторона понятий «толчка» и «тяги», так как очевидно, что в данном случае толчок и тяга есть не что иное, как процесс превращения теплового движения в механическое. Признавая вслед за этим существование и других форм движения и их взаимопревращение при действии силы или выполнении работы, нетрудно заметить, что сила, работа и энергия являются различными сторонами взаимопревращения форм движения материи.

Не идя по этому пути, который более всего соответствует современному этапу развития науки и техники, авторы вышеуказанных книг вынуждены признать, что «хотя с различными видами энергии в повседневной жизни мы встречаемся на каждом шагу, дать точное определение понятия энергии трудно [14], стр. 505]. Анализ этой книги показывает, что «трудность» определения понятия энергии остается для авторов непреодолимой.

Приступая без предварительного определения энергии к определению понятия работы (через понятие энергии), авторы пишут: «На данном этапе рассуждений будем считать, что энергия — это то главное, что определяет понятие работы» [14], стр. 505]. Такой метод определения понятий не оправдан с точки зрения теории познания и противоречит элементарным требованиям логики и диалектики, тем более, что подразумевавшееся обещание о дальнейшем определении качественной стороны понятия энергии не выполняется, и в последующих параграфах дано описание лишь количественной стороны различных видов энергии.

Видный американский ученый, ученик знаменитого физика Энрико Ферми Джей Орпир в четвертом параграфе своей «Популярной физики» своеобразно толкует утверждение Аристотеля о том, что «по своей природе каждый человек стре-

мится к познанию». Орир главной целью физики считает «познание секретов природы» [111, стр. 29]. причем одним из них он называет причину движения. Для ответа на вопрос о том, что приводит в движение Вселенную и ее части (этот вопрос ставит перед физикой Орир), необходимо в первую очередь выяснить в чем сущность понятий силы, работы, энергии; однако при освещении этих вопросов Орир оставляет в стороне качественную сторону понятий, рассматривая их лишь количественно.

В совершенно ином духе написаны знаменитые «Фейнмановские лекции по физике». Лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман безусловно правильно указывает, что в отличие от математики физика имеет дело с «запутанными» и «нечистыми» предметами, и что на данном этапе развития науки физики добиваются не абсолютной истины, а «все большей и большей точности приближений» [140, стр. 212].

Второй закон Ньютона большинство физиков принимает за полное определение понятия силы, выпуская при этом из вида качественную сторону этого понятия, а Фейнман пишет: «истинное же содержание законов Ньютона таково: предполагается, что сила обладает независимыми свойствами в дополнение к закону F-та, но характерные независимые свойства сил не описал полностью ни Ньютон, ни кто-нибудь еще» [140, стр. 210].

Очень интересно также следующее утверждение Фейнмана и его соавторов Лейтона и Сэндса по поводу качественной стороны понятия энергии. «Важно помнить, — читаем в Фейнмановских лекциях, — что физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия» [140, стр. 73].

Поскольку не было возможности отдельно рассматривать взгляды всех авторов на качественную сторону понятия силы, работы и энергии, то в данном труде авторы по их взглядам делятся на группы (по определению силы — на 8 гр., работы — на 5 и энергии — на 6).

Существование недостатков и несовместимых разногласий в деле толкования этих понятий приписывается в основном причинам трех категорий — методологическим, гносеологическим и субъективным. Также показано, что для выяснения качественных сторон рассматриваемых понятий, т. е. для выяснения того, какие стороны действительности отражаются этими понятиями, необходимо признать факт существования различных форм движения и их взаимопревращения.

Вопрос о выяснении качественных сторон понятий силы, работы и энергии тесно увязывается с проблемой «причины движения»; указано, что:

сила — это проявление относительно данного тела какой-нибудь формы движения, вызывающей ускорение или деформацию;

работа — это процесс превращения одной формы движения в другую на пути движения тела;

энергия — способность данной формы движения в определенных условиях превращаться в другую форму движения.

Далее, в труде даются соответствующие указания о направлении, количественной стороне и объемах этих понятий. Стремление проф. А. Наумова, М. Архангельского и др. советских ученых связать толкование понятий силы, работы и энергии с формами движения расценивается как единственно правильный путь, дающий возможность выйти из того тупика, о котором говорят Фейнман, Лейтон, Сэнди, Эллот, Уилкоккс и другие ученые.

Построение учебного курса физики на основе рассмотренных форм движения материи и различных видов материи позволит отыскать такую структуру учебного курса, которая будет способствовать оптимальному и компактному изложению уже достигнутого положительного знания.

Некоторые авторы, методисты и преподаватели физики средних школ считают, что полноценное знание качественной стороны физических понятий учащиеся (в связи с возрастной особенностью) должны приобретать не в школе, а в вузе; а преподаватели вузов, полагая, что качественная сторона понятий в достаточной мере рассматривается в школе, должным образом не освещают эти вопросы.

Опираясь на труды видных психологов Р. Натадзе, Л. Выгодского, Ж. Пяже и других можно с уверенностью утверждать, и это показано в данном труде, что учащиеся IX классов с точки зрения развития психики имеют полную возможность для усвоения качественных сторон вышеуказанных понятий физики.

Среди всех существующих методов обучения мы отдаем предпочтение программированному обучению. Исходя из основных соображений кибернетики, этот метод определяется следующим образом: программированным называется обучение, происходящее на основе обратной связи, в соответствии с планом, в котором подробно указываются все детали целенаправленного поэтапного управления процессом обучения и воспитания.

В труде дан в программированном виде материал из курса физики для IX класса, включающий рассмотрение силы, работы, энергии, а также некоторых связанных с ними понятий. Программирование произведено в соответствии с учением о формировании понятий и знаний советских психологов Р. Натадзе, А. Леонтьева, А. Смирнова, Н. Менчинской, П. Гальперина, Н. Тализиной, Э. Калмыковой и др.

Программированный по предлагаемому методу материал по курсу кинематикки для IX класса в 1965—66 учебном году прошел экспериментальную проверку в семи школах Грузинской ССР. Для оценки качества учебного материала информация была собрана по следующим показателям: 1. Мнение учителей, 2. Мнение учащихся, 3. Сравнение результатов успеваемости экспериментальных и контрольных классов, 4. Обсуждение на заседаниях разных научно-методических объединений, 5. Личное мнение отдельных специалистов.

Собранная информация убеждает, что кибернетический подход к проблемам толкования и преподавания содержания понятий весьма эффективен и способствует их оптимизации.

ლიტერატურა

1. აქალიანი ს. ფიზიკის ცნების საზრისიანობის ოპერაციონალური კრეტერიუმის შესახებ, ფილოსოფიის ინსტიტუტის შრომები, XI, თბილისი, 1962.
2. არცხაშვილი ს. ფიზიკა, თბილისი, 1953.
3. ბაქრაძე კ. დიალექტიკური მატერიალიზმის შემეცნების თეორია, დიალექტიკური მატერიალიზმის საკითხები, თბილისი, 1955.
4. ბაქრაძე კ. ლოგიკა, თბილისი, 1955.
5. ბეალაძე ი. ფსიქოლოგია და კიბერნეტიკა, თბილისი, 1965.
6. ბოჭორიშვილი ა. ფსიქოლოგიზმი და ანტიფსიქოლოგიზმი: ფსიქოლოგიაში, თბილისი, 1965.
7. გალპერინი პ. დაპროგრამებული სწავლება და სწავლების მეთოდების ძირეული სრულყოფის ამოცანები, „სკოლა და ცხოვრება“, 1965, № 7.
8. გეგუჩაძე ვ. ათეისტური აღზრდა ქიმიის სასკოლო კურსში, თბილისი, 1957.
9. გორდაძე გ. ზოგადი ფიზიკა, თბილისი, 1960.
10. ენგელსი ფ. ანტი-დიურიზმი, თბილისი, 1952.
11. ენგელსი ფ. ბუნების დიალექტიკა, თბილისი, 1950.
12. ვეკუა ნ. თეორიული მექანიკა, თბილისი, 1954.
13. ვინერი ნ. კიბერნეტიკა და საზოგადოება, თბილისი, 1961.
14. ზელიკოვიჩი ე. მარადიული ძრავას... გამომგონებელ ამხანაგებს. „მეცნიერება და ტექნიკა“, 1957, № 3.
15. იოფე ა. ფიზიკის კურსი, ნაწ. I, თბილისი, 1933.
16. კობახიძე ვ. ლოგიკური აზროვნების განვითარება ფიზიკის სწავლების პროცესში, ფიზიკის სწავლების საკითხები სკოლაში, კრებული V, თბილისი, 1962.
17. ლენინი ვ. ი. თხზულებანი, ტ. 14, თბილისი, 1950.
18. ლორთქიფანიძე ლ. სწავლების პროცესები, ორგანიზაცია და მეთოდები, თბილისი, 1954.
19. მირიანაშვილი მ. ზოგადი ფიზიკის კურსი, ნაწილი I, თბილისი, 1954.
20. მირიანაშვილი მ. თანამედროვე ბუნებისმეტყველების ზოგადი ფილოსოფიური საკითხები, „საქართველოს კომუნისტი“, 1959, № 12.
21. მიქაძე აბ. ლომონოსოვი როგორც გამოჩენილი ფიზიკოსი და მისი მწველა სამშალაო სკოლაში, თბილისი, 1952.
22. მირცხულაძე ი. ზოგადი ფიზიკის სახელმძღვანელო, თბილისი, 1960.
23. ნადირაშვილი მ. განზოგადების განვითარება სასკოლო ასაკის ბავშვებში, თბილისი, 1963.
24. ნათაძე რ. მესხიერება, თბილისი, 1963.

25. ნათაძე რ. ცნების შემუშავების გენეზისისათვის, ნაწ. I, 1939 წ., საღოქტროო დისერტაცია, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკა.
26. ნათაძე რ. ცნების დაუფლება დაწყებითი სკოლის ფარგალში. პედაგოგიკური ფსიქოლოგია, ნაწ. I, თბილისი, 1962.
27. ნათაძე რ. ცნების დაუფლება საშუალო სკოლის საფეხურზე 12-დან 17 წლამდე. პედაგოგიკური ფსიქოლოგია, ნაწ. II, 1965.
28. პერიშკინი ფიზიკის კურსი, ნაწ. I, თბილისი, 1965.
29. პერიშკინი ა. ფიზიკის კურსი, ნაწ. II, თბილისი, 1965.
30. პლანკი მ. თეორიული ფიზიკის შესავალი, ტ. I, ზოგადი ფიზიკა, თბილისი, 1934.
31. რამიშვილი დ. მეტყველების განსხვავებულ სახეთა ფსიქოლოგიური ბუნებისათვის, თბილისი, 1963.
32. ტყეშელაშვილი მ. იუმორისტული მოთხრობები და პამფლეტები, თბილისი, 1965.
33. უზნაძე დ. ზოგადი ფსიქოლოგია, თბილისი, 1940.
34. ფრანგიშვილი ა. სწავლების ფსიქოლოგიური ბუნებისათვის, პედაგოგიკური ფსიქოლოგია, თბილისი, 1962.
35. ქათამაძე ვ., ასლანიდი გ., ჩიჩუა გ., ციტაიშვილი რ., ყიფშიძე ნ., რამიშვილი გ., გაფრინდაშვილი ი. ფიზიკის კურსი, ნაწ. I, თბილისი, 1961.
36. ცინცაძე გ. აუცილებლობისა და შემთხვევითობის შესახებ, თბილისი, 1964.
37. წერეთელი ს. ლოგიკური კავშირის დიალექტიკური ბუნების შესახებ, თბილისი, 1956.
38. ხვოსელი თ. თანამედროვე ფიზიკა, თბილისი, 1938.
39. ჯაფარიძე ვლ. ფიზიკის კურსი, თბილისი, 1964.
40. Андреев И. Д. Основы теории познания, М., 1959.
41. Арбагов Ю. А. Иден-товар философов, «Вопросы философии», 1954, № 1.
42. Аристотель. Метафизика, Соцэкгиз, 1934.
43. Аристотель. Физика, Сссэкгиз, 1937.
44. Архангельский М. М. Курс физики, механика, М., 1961.
45. Арцыбашев С. А. О понятии массы и веса в начальном курсе физики, «Физика в школе», 1951, № 1.
46. Берг А. П. Кибернетика-наука об оптимальном управлении, М., 1964.
47. Бериташвили И. С. О структурных и функциональных основах психической деятельности, Материалы симпозиума структурные и функциональные основы психической деятельности, М., 1963.
48. Богоявленский Д. Н., Менчинская Н. А. Психология усвоения знания в школе, М., 1959.
49. Борн М. Физика в жизни моего поколения, М., 1963.
50. Борн М. Эйнштейновская теория относительности, М., 1964.
51. Брунер Дж. Процесс обучения, М., 1962.
52. Будтов Н. Е. К вопросу о массе, «Вопросы философии», 1954, № 2.
53. Бутов А. М., Швидковский Е. Г. О законе взаимосвязи массы и энергии, «Успехи физических наук», т. XLVIII, вып. 2, 1952.

54. Вавилов С. И. Философские проблемы современной физики и задачи советских физиков в борьбе за передовую науку. Философские вопросы современной физики, М., 1952.
55. Виселобокоев А. Против современного энергетизма — равновидности физического идеализма. «Большевик», 1952, № 6.
56. Воздвиженский Б. В. Об изложении понятия массы, «Физика в школе», 1951, № 12.
57. Выгодский Л. С. Мышление и речь. Избранные психологические исследования, М., 1956.
58. Галагани Д. Д. Очерки по методике преподавания механики, «Физика в школе», 1947, № 4.
59. Галагани Д. Д. Понятие энергии в курсе физики семилетней школы, М.-Л., 1947.
60. Галагани Д. Д. Понятие массы и веса в начальном курсе физики, «Физика в школе», 1950, № 5.
61. Галилей Г. Диалог о двух системах мира, М.-Л., 1948.
62. Гальперин С. И. Физиологические особенности детей, М., 1965.
63. Гальперин П. М., Запорожец А. В., Эльконин Д. Б. Проблемы формирования знаний и умений у школьников и новые методы обучения в школе. «Вопросы психологии», 1963, № 5.
64. Гальперин П. М., Галызина Н. Ф., Решетова З. А., Герцуни Г. В. Программированное обучение, М., 1965.
65. Герц Г. Г. Приципы механики, изложенные в новой связи, М., 1959.
66. Даламбер Ж. Динамика, М., 1950.
67. Де-Бройль Луи. Революция в физике, М., 1965.
68. Джордж Ф. Мозг как вычислительная машина, М., 1963.
69. Диалектика-теория познания, под общей редакцией Б. М. Кедрова, М., 1964.
70. Дурянов Л. А. Марксистско-ленинское учение о материи, «Физика в школе», 1953, № 5.
71. Зельдович М. Б., Новиков И. Д. Релятивистская астрофизика. Успехи физических наук, 1964, т. LXXXIV, вып. 3.
72. Земский В. А. Определение физических величин в учебниках средней школы, «Физика в школе», 1955, № 3.
73. Знаменский П. А. Курс физики в средней школе, «Физика в школе» 1947, № 1.
74. Знаменский П. А. Методика преподавания физики, М., 1954.
75. Иващенко Д., Соколов А. Классическая теория поля, М.-Л., 1949.
76. Иванов С. И. К вопросу о перегрузке учащихся, «Физика в школе», 1959, № 5.
77. История педагогики, под редакцией Н. А. Константинова, Е. Н. Медынского, М. Ф. Шабаевой, М., 1955.
78. Ительсон Л. Б. Математические и кибернетические методы в педагогике, М., 1964.
79. Калашников А. Г. О преподавании физики в связи с новыми задачами школы, «Физика в школе», 1953, № 2.

80. Калмыкова З. Эффективность применения знаний по физике в зависимости от условий их усвоения, Применение знаний в учебной практике школьников, под ред. Менчинской Н. А., М., 1960.
81. Каиров И. А. Идеино-политическое воспитание учащихся, М., 1947.
82. Кашири Н. В. Курс физики, т. I, М., 1961.
83. Кондаков Н. И. Логика, М., 1954.
84. Коник Г. К. Логика развития понятия «сила» в физике, «Вопросы философии», 1962, № 8.
85. Костюк Г. С., Менчинская Н. А., Смирнов А. А. Актуальные задачи школы и проблемы психологии обучения, «Вопросы психологии», 1963, № 5.
86. Кравец Т. П. Эволюция учения об энергии Успехи физических наук, т. XXXVI, вып. 3, 1948.
87. Кудрявцев В. Б. Курс физики, М., 1960.
88. Кудрявцев П. С. История физики, т. IМ., 1956.
89. Кузнецов И. В. Против идеалистических извращений понятий массы и энергии, Успехи физических наук, т. XLVIII, вып. 2, 1952.
90. Лагранж Ж. Аналитическая механика, т. I, М.-Л., 1950.
91. Ланда Л. Н. Алгоритмизация в обучении, М., 1966.
92. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика, М., 1958.
93. Ландау Л. Д., Китэйгородский А. И. Физика для всех, М., 1965.
94. Левитов Н. Д. Детская и педагогическая психология, М., 1964.
95. Леонтьев А. И., Гальперин П. Я. Теория усвоения знаний и программированное обучение, «Советская педагогика», 1964, № 19.
96. Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии, М., 1933.
97. Максвелл Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля, М., 1954.
98. Мах Э. Механика, С.-Петербург, 1909.
99. Мах Э. Популярно-научные очерки, С.-П., 1909.
100. Менчинская Н. А. Психология усвоения понятий, Известия АПН РСФСР, 1950, вып. 28.
101. Методика преподавания физики в школе, под ред. Б. М. Яровского, М., 1958.
102. Мишуткин Н. Ф. О новом учебнике физики для VIII класса, «Физика в школе», 1955, № 2.
103. Морозов А. И. Масса как мера количества материи, «Вопросы философии», 1954, № 2.
104. Мощанский В. А. Из опыта вступительных экзаменов в Горьковский сельскохозяйственный институт, «Физика в школе», 1958, № 2.
105. Наталдзе Р. Г. Об овладении конкретными естественно-научными понятиями в школе, Материалы совещания по психологии (1—6 июля 1955) М., 1957.
106. Наумов А. Л. Теоретическая механика, ч. I, К., 1957.

107. Николан Е. Л. Теоретическая механика, т. I, М., 1958.
108. Новик И. Кибернетика, философские и социалогические проблемы. М., 1963.
109. Ньютон И. Математические начала натуральной философии, Собрание трудов академика А. Н. Крылова, т. VII, изд. АН СССР, 1936.
110. Овчинников Н. Ф. Понятия массы и энергии в современной физике и их философское значение, Философские вопросы современной физики, М., 1952.
111. Оррир Дж. Популярная физика, М., 1964.
112. Оствальд В. Энергетический империализм. С.-Петербург, 1913.
113. Оствальд В. Natur-философия, М., 1909.
114. Пайерле Р. Е. Законы природы, М., 1959.
115. Планк М. Принцип сохранения энергии, М.-Л., 1938.
116. Поль Р. В. Механика, акустика и учение о теплоте, М., 1957.
117. Применение технических средств и программированного обучения в средней специальной и высшей школе, под общей ред. В. М. Таранова, М., 1965.
118. Проблемы гравитации, Тезисы докладов Второй советской гравитационной конференции (Тбилиси, 20—28 апреля 1965)
119. Проблемы логики научного познания, Отчет, ред. И. В. Таванец, М., 1964.
120. Проект программы средней школы. Астрономия, физика М., 1965.
121. Пяже Ж., Индельдер Б. Генезис элементарных логических структур, М., 1963.
122. Путилов К. А. Курс физики, т. I, М., 1952.
123. Россел Ж. Общая физика, М., 1964.
124. Рязанов Г. А., Изманлов С. В., О понятии количество материи, «Вопросы философии», 1955, № 2.
125. Сахаров А. И., Блудов М. И. Физика, М., 1960.
126. Селезнев Ю. А. Основы элементарной физики, М., 1964.
127. Соколов И. Н. Методика преподавания физики в средней школе, М., 1951.
128. Соколов А., Иваненко Д. Квантовая теория поля, М.-Л., 1952.
129. Спасский Б. И., История физики, М., 1956.
130. Стрелков С. П. Механика, М., 1956.
131. Суворов Н. П. Понятие о массе и его формирование в курсе физики средней школы, «Физика в школе», 1951, № 3.
132. Суворов С. Г. К вопросу о законе взаимосвязи массы и энергии, Успехи физических наук, т. XLVIII, вып. 2, 1952.
133. Талызина Н. Ф. К проблеме формирования умственных действий, «Вопросы психологии», 1961, № 4.
134. Талызина Н. Ф. Пути освоения начальных научных понятий, Доклады Академика педагогических наук», 1960, № 4.
135. Терехова О. П. К вопросу о формировании научных физических понятий, «Вопросы психологии», 1962, № 2.
136. Третьяков Н. П. О некоторых вопросах методики преподавания механики, «Физика в школе», 1948, № 2.

137. Третьяков Н. П., Перышкин А. В. Физика, М., 1954.
138. Умов Н. А. Избранные сочинения, М.-Л., 1950.
139. Умов Н. А. Собрание сочинений, т. III, 1916.
140. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике, I, М., 1965.
141. Физика, Перевод с английского, под ред. А. С. Ахматова, М., 1965.
142. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики, т. I, М.-Л., 1952.
143. Хайкин С. Э. Физические основы механики, М., 1962.
144. Хачапуридзе Б. И. Образование фиксированной установки воздействием невоспринимаемых раздражителей, Труды Тбилисского государственного университета, 1965, т. 79.
145. Хендль А. Основные законы физики, М., 1959.
146. Чавчавадзе В. В., Сергеевко Н. Д., Гачечиладзе Р. Г. К вопросу о механизме запоминания в биологических системах. Труды второго Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1965.
147. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, М., 1965.
148. Эйнштейн А. Сущность теории относительности, М., 1955.
149. Эйнштейн А., Инфельд, Эволюция физики, М.-Л., 1948.
150. Эллиот Л., Уилкокс У. Физика, М., 1963.
151. Юськович В. Ф. Обучение и воспитание учащихся на основе курса физики средней школы, М., 1963.
152. Янцов А. И. Преподавание физики в VI и VII классах школы рабочей молодежи, М., 1954.
153. Krauder N. Automatic Learning by Means of programming. Lumsdane A., Colaser R., editors. Teaching Machines and programmed Learning, NEA, 1960.
154. Skinner B. F. The Science of Learning and the Art of Teaching Lumsdane A., Colaser R., editors. Teaching Machines and Programmed Learning, NEA, 1960.
155. Frank H. Kybernetische Grundlagen der Pädagogik, Caden-Baden, 1961.

ს ა რ ჩ ა ვ ი

შესავალი	5
ნაწილი I. ცნების სწავლების ზოგიერთი მეთოდოლოგიური და ზოგადმეთოდური საკითხი	11
თავი I. სწავლების ზოგიერთი კიბერნეტიკული საკითხი	13
§ 1. სწავლების კიბერნეტიკული ბუნება	13
§ 2. დაპროგრამება, როგორც სწავლების ოპტიმალური მართვის საწარმო მეთოდი	
თავი II. ცნების გაგებასა და სწავლებასთან დაკავშირებული ზოგიერთი ფილოსოფიური საკითხი	25
§ 3. შეშფოების პროცესის რაობისა და მისი მიზნების შესახებ	25
§ 4. ცნების შინაარსის, მოცულობის, რაოდენობრივი და მიმართულებრივი მხარის შესახებ	
§ 5. ფიზიკის ზოგიერთი ცნების შინაარსის გაშუქების ნაკლოვანებათა შესახებ	
თავი III. მოძრაობის მიზნის პრობლემა და ძალის მუშაობის და ენერჯის ცნების შინაარსი	47
§ 6. ძალის ცნების შინაარსი	47
§ 7. მუშაობის ცნების შინაარსი	53
§ 8. ენერჯის ცნების შინაარსი	55
თავი IV. ცნების სწავლების ფსიქოლოგიური და პედაგოგიური საკითხები	71
§ 9. ფსიქოლოგია ცნების დაუფლების ინტელექტუალური შესაძლებლობის განვითარების შესახებ	71
§ 10. პედაგოგიური ფსიქოლოგია მოსწავლეში ცნების ფორმირების კანონზომიერებათა შესახებ	76
§ 11. ფიზიკის ცნების სწავლებასთან დაკავშირებული პედაგოგიური ამოცანები	79
ნაწილი II. IX კლასის ფიზიკის კურსში ზოგიერთი ცნების შინაარსის სწავლების მეთოდი და პროგრამული სწავლების შუაშეწინათქმა	85
§ 12. დაპროგრამებული კერძო მეთოდური ლიტერატურა ფიზიკაში	87
§ 13. შესავალი საუბარი	92
თავი I. კინემატიკის ზოგიერთი ცნება	101
§ 14. კინემატიკის საგანი	101
§ 15. ფარდობითი მოძრაობა. ათვლის სისტემა	102
§ 16. მატერიალური წერტილი. ტრაექტორია. გადატანითი მოძრაობა	105
	213

§ 17. წრფივი აასაბარი მოძრაობის სინქარე	112
§ 18. წრფივი თანაბარცვალებადი მოძრაობის აჩქარება	119
თ ა ვ ი II. დინამიკის ძირითადი ცნებანი	124
§ 19. დინამიკის საგანი	124
§ 20. მოძრაობის პირველი კანონი	126
§ 21. მ ა ს ა	132
§ 22. მოძრაობის რაოდენობა	137
§ 23. მოძრაობის მეორე კანონი — ძალა და მისი სიდიდის გამო- საანგარიშო ფორმულა	137
§ 24. მოძრაობის მესამე კანონი	148
§ 25. მოძრაობის რაოდენობის შენახვის კანონი	157
§ 26. სხეულთა გრაფიტაციული ურთიერძიქმელება, მსოფლიო მიზი- დულობის კანონი	162
თ ა ვ ი III. მუშაობა და ენერგია	171
§ 27. მექანიკური მუშაობა	171
§ 28. ე ნ ე რ გ ი ა	176
§ 29. კინეტიკური ენერგია	180
§ 30. სხეულის გრაფიტაციული (პოტენციური) ენერგია	184
§ 31. ენერგიის გარდაქმნისა და შენახვის კანონი	189
§ 32. ძრავას დანიშნულება და მათადიული ძრავას აგების შეუძლე- ბლობა	196
რ.ეზიუმე	201
ლიტერატურა	206

დაიბეჭდა საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს დადგენილებით

რედაქტორი მ. ნოდია

გამომცემლობის რედაქტორი ნ. კონდრატიენკო
მხატვარი თ. სამსონაძე

ტექნორედაქტორი ე. ბოკერია

კორექტორი ნ. ცხვირაეაშვილი

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29.9.1966; ქალაქის ზომა 60×95^{1/16};

ნაბეჭდი თაბახი 13,50; სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 13,00;

უე 02408; ტირაჟი 3000; შეკვეთა 791;

ფასი 1 მან. 24 კაპ.

გამომცემლობა „მეცნიერება“, თბილისი, 60, კუტუზოვის ქ., 15
Издательство «Мецниереба», Тбилиси, 60, ул. Кутузова, 15

გამომცემლობა „მეცნიერების“ სტამბა, თბილისი, 60, კუტუზოვის ქ., 15
Типография Издательства «Мецниереба», Тбилиси, 60, ул. Кутузова, 15