U. Grinfelds
T. Romanovskis
E. Šilters

MODEĻI MATEMĀTIKAS UN FIZIKAS MĀCĪŠANĀ

U. Grinfelds
T. Romanovskis
E. Šilters

MODEĻI MATEMĀTIKAS UN FIZIKAS MĀCĪŠANĀ

RĪGA «ZVAIGZNE» 1983

В книге рассмотрены некоторые вопросы методики математики и физики, связанные с развитием у учащихся материалистического мировоззрения. Охарактеризована структура личности и анализируется связь математики и физики с практикой, понятия математической и физической моделей. Показана роль личности учителя в дело воспитания у школьников материалистического мировоззрения. В книге рассмотрены эксперименты Пиаже анализа психологии мышления и их некоторые модификации, которые легко смогут быть повторены в школе.

Книга предназначена для учителей математики и физики средней школы, и также для студентов педагогических специальностей.

Recenzenti: A. Vilks un G. Kube

G $\frac{4306010000-207}{M802(11)-83}$ 145.83

IEVADS

Šajā darbā, kas adresēts skolotājiem un studentiem, kuri izraudzījušies pedagoga profesiju, aplūkotas dažas matemātikas un fizikas metodoloģijas problēmas, pakārtojot tās audzināšanas centrālajam uzdevumam — skolēnu materiālistiskā pasaules uzskata veidošanai. Noteicošā loma šī uzdevuma sekmīgā atrisināšanā nav ne mācību grāmatai, ne demonstrējumiem, ne «izsmalcinātiem» metodiskajiem paņēmieniem, bet gan skolotāja personībai, viņa attieksmei pret lietām un parādībām, pret visu to, ko viņš māca skolēniem. Pie tam nevis pasīvai, malā stāvoša cilvēka sevī slēptai attieksmei, bet aktīvi izteiktai un aizstāvētai pārliecībai, jo «es mācu» — tas nozīmē arī, ka «es skaidroju skolēniem savu pasaules uzskatu sava priekšmeta struktūras ietvaros».

Materiālā pasaule eksistē neatkarīgi no mums. Katrs cilvēks kā personība dzīvo un darbojas šajā materiālajā pasaulē. Personība izpaužas rīcībā, kuru nosaka cilvēka «es» attiecības ar dabu un sabiedrību. Filozofijas kategorijās runājot, tas arī ir pasaules uzskats.

Pasaules uzskats nerodas pats no sevis. To veido pieredze un izglītība. Matemātika un fizika kā mācību priekšmeti paver pedagogam bagātīgas apmācības iespējas skolēnu pasaules uzskata veidošanā. Šo mācību priekšmetu skaidrā bezkompromisa loģika un tiešā saskare ar praksi ļauj konkrētajā saskatīt vispārīgo un likumsakarīgo, izvērtēt materiālās pasaules realitāti tās dažādajās izpausmēs.

Skolēns, kas mācījies pilnu vidusskolas kursu, ir apguvis vai centies apgūt vairākus simtus atšķirīgu matemātikas un fizikas jēdzienu, saskāries ar parādību un norišu bagātīgu kaleidoskopu. Daudz kas no mācītā nav ne acīmredzams, ne ikdienas dzīvē pārbaudāms. Turklāt vēl skolas matemātikas un fizikas kursu teorētiskais raksturs, plašā un daudzpusīgā matemātikas aparāta iekļaušana fizikas kursā prasa no skolēna noteiktu abstraktās domāšanas kultūru, taču tā ne katram skolēnam ir atbilstošā līmenī attīstīta. Intensīvās mācību programmas un

apmācības frontālais raksturs savukārt ne vienmēr ļauj pedagogam «iestrādāt» vēlamos akcentus. Tapēc ir ļoti svarīgi atrast un apmācībā iekļaut tādu pieeju, kas skolēnu izziņas darbību ievirzītu noteiktā gultnē un skaidri norādītu galvenos vadmotīvus matemātikas un fizikas attīstībā, šo zinātņu kontaktā ar praksi. Pēc autoru domām, šāda vienojoša pieeja ir cieši saistīta ar modeļa jēdzienu matemātikā un fizikā, ar modelēšanas metodi. Šie jautājumi aplūkoti 2. nodaļā.

1. nodaļai ir ievada raksturs. Tajā īsi noskaidrots pamatkategoriju «personība» un «pasaules uzskats» saturs. Izklāstot šos jautājumus, autori uzskata par nepieciešamu uzsvērt skolotāja personības nozīmi audzināšanā un apmācībā, jo šim aspektam dažkārt netiek veltīta vajadzīgā uzmanība.

Ar 3. nodaļas saturu, kurā aplūkotas domāšanas attīstības psiholoģijas problēmas, pēc autoru domām, būtu lietderīgi iepazīties visiem skolotājiem, arī tiem, kuri sevi uzskata par tīriem praktiķiem. No visa bagātīgā (dažkārt pat pretrunīgā) psiholoģijas teorijas klāsta autori izraudzījās Šveices psihologa Ž. Piažē izstrādāto pieeju domāšanas attīstības pētījumiem. Tas nebūt nenozīmē, ka autori pilnīgi un absolūti piekrīt visiem Ž. Piažē secinājumiem. Taču Ž. Piažē darbi ir vērtīgi galvenokārt ar savu praktisko ievirzi un lielo izdomu teorētiskos pieņēmumus pamatot ļoti vienkāršos eksperimentos. Daļai no Ž. Piažē eksperimentiem, kas modificētā veidā tika organizēti arī mūsu republikas skolās, grāmatā dots pietiekami detalizēts apraksts, tādējādi katrs skolotājs pēc vēlēšanās var tos atkārtot savā skolā.

1. nodaļu un 2. nodaļas pirmos piecus paragrāfus ir sarakstījuši U. Grinfelds un E. Šilters, 2. nodaļas 6. paragrāfu un 3. nodaļu — T. Romanovskis.

1. nodaļa

PERSONĪBA UN PASAULES UZSKATS. ZINĀTNISKUMA PRINCIPS

Šajā nodaļā īsi aplūkots jautājums par personības struktūru un pasaules uzskata lomu tajā. Diskutēts arī jautājums par problēmveida apmācību un par vienu no didaktikas pamatprincipiem — zinātniskuma principu mācību vielas izklāstā, kā arī par dažiem zinātniskuma principa aspektiem skolotāja praktiskajā darbā. Nodaļas nobeigumā izteikts autoru viedoklis par to, kādi profesionālo zināšanu aspekti varētu būt noteicošie skolotāja personības attīstībā.

1.1. PERSONĪBAS STRUKTŪRA

Vārdu kopa «pasaules uzskats» latviešu valodā un atbilstošās vārdu kopas (vai vārdi) daudzās citās valodās (piemēram, krievu val. «мировоззрение», vācu val. «Weltanschaung», angļu val. «world outlook») pasvītro, ka domāti ir cilvēka priekšstati par pasauli kā vienu veselu, nedalāmu objektu. Pasaules uzskatam ir dominējoša loma uzskatu sistēmā, tas nosaka personības domāšanas ievirzi un arī personības sociālās īpašības. Runājot par pasaules uzskatu, vienmēr domājam kādu cilvēku vai cilvēku grupu — šī pasaules uzskata paudēju. Tāpēc jēdziena «pasaules uzskats» saturu var atklāt tikai ciešā saistībā ar personības jēdzienu.

Vispusīgi un harmoniski attīstītas personības veidošana mūsu valsts izglītības sistēmas visās pakāpēs ir viens no mācību un audzināšanas darba galvenajiem uzdevumiem. Ar jēdzienu «personība» saprot jebkuru atsevišķu cilvēku ar viņam piemītošajām individuālajām sociālajām un bioloģiskajām īpašībām, individuālo pieredzi un psihes īpatnībām.

Saskaņā ar materiālistisko filozofiju personību galvenokārt nosaka nevis biologiskās (iedzimtās) īpašības, bet gan sociālās īpašības. Personība vienlaikus ir gan «atsevišķība» no sabiedrības, gan arī daudzpusīgas un nesaraujamas saites ar to. Tādējādi, raksturojot personību, priekšplānā izvirzās tās komponentes, kuras visvairāk pakļautas audzināšanas ietekmei.

Personības sociālo īpašību grupā svarīga loma ir personības domāšanas ievirzei — uzskatu, ideālu, pārliecību, interešu kopumam, kas ir vadošais un noteicošais cilvēka sabiedriskajā darbībā. Personības sociālās īpašības nosaka cilvēka tikumisko rīcību, viņa attieksmi pret sabiedrību, un tāpēc personības tikumiskā audzināšana ir viena no komunistiskās audzināšanas svarīgākajām sastāvdaļām. Komunistiskās tikumības pamats savukārt ir zinātniskais pasaules uzskats.

Tikumiskās audzināšanas jautājumiem skolā tiek veltīta liela uzmanība. Tie iekļauti gan visas skolas audzināšanas darba plānā, gan arī katra skolotāja darba uzdevumos un tādējādi tiek risināti visu mācību priekšmetu stundās. Taču katrā mācību priekšmetā tikumiskās audzināšanas problēmas risina ar specifiskām metodēm un paņēmieniem, kas izriet no attiecīgā priekšmeta satura un būtības. Šāda rīcība ir visefektīvākais audzināšanas paņēmiens.

Matemātikas un fizikas stundās parasti nav pieņemts organizēt speciālas pārrunas par tikumisko audzināšanu un morāles tēmām. Šī iemesla dēļ matemātikas un fizikas skolotājiem bieži jāuzklausa nepelnīti pārmetumi par tikumiskās audzināšanas jautājumu ignorēšanu un nevēlēšanos ar tiem nodarboties. Atbildot uz šiem pārmetumiem, jāsaka, ka audzināt var ļoti daudzveidīgi un ka tāds audzināšanas stils, kam raksturīga neapšaubāmi pareizu pamācību pārbagātība, nebūt nav tas efektīvākais. Diemžēl izvairīties no šablonisma audzināšanas darbā nav nemaz tik viegli un ne vienmēr ņemam vērā, ka audzinoša nozīme ir arī lietišķai, taisnīgai rīcībai, precīzam darba novērtējumam, konsekventi ievērotām prasībām. Arī matemātikas un fizikas kursu saturs dod plašas iespējas sarunām par morāles principiem. Sevišķi daudz spilgtu piemēru, kas ilustrē darba mīlestību, mērķtiecību, principialitāti, patriotismu, atrodam šo zinātņu vēsturē. Audzinoša nozīme ir arī zinātnisko rezultātu un zinātniskā darba estētiskajiem elementiem — harmonijai, simetrijai, «skaistiem» risinājumiem, racionāliem spriedumiem, matemātisko spriedumu pārsteidzošajai precizitātei, ekono-

miskumam utt. Matemātikas un fizikas skolotājs var audzēkņus ietekmēt ar savas zinātniskās pārliecības spēku, prasmi izraisīt un vadīt brīvas diskusijas. Taču arī tads skolotājs, kurš «tikai» stingri māca savu priekšmetu bez deklaratīvas audzinošas piedevas, bieži sasniedz lielāku efektu nekā dažs labs viņa kolēģis, kurš nemitīgi «pamāca» savus audzēkņus.

Personības sociālās īpašības veidojas ne tikai bērnībā un jaunībā ģimenes un skolas ietekmē, bet gan visā cilvēka dzīves laikā. Analizējot personības sociālās īpašības, jāņem vērā ļoti sarežģītais emocionālās regulēšanas mehānisms. Šīs regulēšanas rezultātus ne vienmēr iespējams paredzēt (cilvēks var izvēlēties noteiktu rīcības veidu, labi apzinoties, ka tas ir nepareizs). Pedagogs nekad nedrīkstētu aizmirst senu patiesību, proti, personības audzināšana un veidošana notiek ne tikai mācību iestādē, bet gan katrā laika momentā un katrā vietā, kur cilvēks atrodas.

Personības individuālā pieredze sastāv no konkrētajām zināšanām, no cilvēka prasmēm, iemaņām noteiktā specialitātē, no spējas konkrēti darboties noteiktā jomā. Individuālā pieredze un zināšanas arī tiek uzkrātas visā dzīves laikā, taču te noteicošā loma ir apmācībai skolā, profesijas apguvei citās mācību iestādēs, radošam un pilnvērtīgam darbam savā specialitātē. Piebildīsim, ka personības individuālā pieredze (zināšanu kopums), protams, ietekmē arī sociālās īpašības, taču šī ietekme nav tik liela, kā to dažkārt iedomājamies. Uzskats, ka, piemēram, pārdevēji ir negodīgi, turpretī matemātiķi un fiziķi vienmēr ir godīgi un apveltīti ar augstām morālajām īpašībām, ir vērtējams kā naivi maldi, kas pauž sašutumu par dažu negodīgu cilvēku rīcību vai nepareizi izprastu lepošanos ar savu profesiju.

Apmācības un audzināšanas praktiskajā darbā liela nozīme, protams, ir cilvēka psihes īpašībām (sajūtām, uztverei, intuīcijai, uzmanībai, atmiņai, domāšanai, iztēlei, jūtām, gribai, spējām, intelektam u. c.). Šīs īpašības attīstās pieredzes apgūšanas gaitā, un katra pedagoga uzdevums ir pilnveidot savu audzēkņu vērību, attapību, uzmanību, šo procesu vadot un ievirzot vēlamajā gultnē. Psihisko īpašību attīstīšana nav tieši saistīta ar pasaules uzskata veidošanu, taču tai tomēr ir ļoti svarīga loma katra pedagoga darbā, tādēļ dažas rekomendācijas, kas saistītas ar zinātniskās domāšanas attīstību, aplūkotas 3. nodaļā.

1.2. PROBLĒMVEIDA APMĀCĪBA

Vērtējot cilvēka garīgās attīstības pētījumus, diemžēl jākonstatē, ka psiholoģija šodien nevar pietiekami skaidri un galvenais — pedagoga skatījumā konstruktīvi atbildēt uz jautājumu, kā jāsaprot cilvēka garīgā attīstība, kāds ir tās «mehānisms», kā un kādā virzienā vadīt šo attīstību[1]. Diskusijas par šiem jautājumiem laiku pa laikam atjaunojas un atspoguļojas arī pedagoģiskajā literatūrā un presē. Tā, piemēram, XIX gs. plašā diskusijā par jautājumu, vai, mācot skolā, galvenokārt ir jāattīsta domāšana vai arī lielāka vērība jāpievērš formālo zināšanu apguvei, piedalījās daudzi ievērojami tā laika zinātnieki. Polemika faktiski par to pašu tematu notika arī padomju presē 60. gadu beigās un 70. gadu sākumā. Pašreiz pedagogu aprindās aktuāls ir jautājums par t. s. problēmveida apmācību kā svarīgu ieroci radošās domāšanas attīstībā.

Ja netiek pieļauta matemātikas un fizikas mācīšana galēji formalizētu «recepšu» līmenī, tad problēmveida apmācību skolas matemātikas un fizikas kursā nav vajadzības speciāli akcentēt. Mācot matemātiku un fiziku, gandrīz katrs jautājums jāformulē kā uzdevums, problēma, attiecīgi motivējot šīs problēmas nozīmi un vietu kursa struktūrā. Turklāt tas jādara neatkarīgi no situācijas, vai problēmu risina skolēni vai pats skolotājs. Jo vairāk problēmu tiks formulētas un atrisinātas matemātikas un fizikas stundās (protams, skolēnu vecumam piemērotā līmenī), jo augstāks būs šo atziņu prestižs. Galu galā neviens eksperts nespēs precīzi novērtēt, kura konkrētā problēma nostiprinās skolēnu apziņā pārliecību, ka matemātika un fizika «kaut ko var un prot». Šī pārliecība var rasties, vienīgi risinot problēmas, nevis iekaļot formālus spriedumus un shēmas.

Tomēr, atzīstot problēmveida apmācības progresīvo raksturu, nedrīkst aizmirst, ka jebkuri pārspīlējumi šīs metodes ieviešanā var nodarīt lielu ļaunumu. Ja formulētās problēmas ir pārāk sarežģītas, to risinājums pārsniedz skolēnu sagatavotības un intelektuālās attīstības līmeni, tad apmācības rezultāti var būt vēl sliktāki, nekā lietojot parasto, tradicionālo metodiku. Sliktā kvalitātē realizētas

---

[1] Teiktais nenozīmē, ka pētījumos par domāšanas attīstību valdītu stagnācija. Daudz interesantu un praktiski svarīgu secinājumu par minētajām problēmām var atrast L. Vigotska, A. Ļeontjeva, Ž. Piažē, Dž. Brunera u. c. psihologu darbos.

problēmveida apmācības sekas ir arēji spožas, bet savā būtībā paviršas un seklas zināšanas.

Orientējoties uz problēmveida apmācību, skolotājam vajadzētu ņemt vērā šādus trīs apsvērumus.

Pirmkārt, radošā domāšana un tās augstākā forma — neatrisinātu problēmu saskatīšana, formulēšana un atrisināšana ir viena no cilvēka intelektuālās darbības visaugstākajām formām. Zinātnes un tehnikas attīstības vēsture rāda, ka uz radošu atklāsmi šī vārda labākajā nozīmē ir spējīgi tikai talantīgi cilvēki, kas apveltīti ar lielām darba spējām. Piemēri, kas saistīti ar Arhimēda izsaucienu «Heirēka!» vai ar «Ņūtona ābolu», ir jau tiktāl kļuvuši par leģendu, ka diezin vai vairs var noderēt par cilvēka radošās domāšanas paraugiem. Tas nozīmē, ka, neizvirzot problēmveida apmācības metodei augstu prasību līmeni, pietiekami neattīstot arī skolēnu darba spējas, prasmi veikt «melno» darbu un novest uzsākto problēmas risinājumu līdz galam, mācīšanas mērķis tiek sasniegts tikai daļēji.

Otrkārt, izdarot cilvēku spēju pārbaudi ar metodēm, kuras šodien ir mūsu rīcībā, diezgan neapstrīdami konstatēts, ka radoši domājošo cilvēku procents dažādās vecuma grupās ir praktiski nemainīgs. Šo faktu apstiprina gan ārzemēs plaši pazīstamo testu I. Q.[1] rezultāti, gan arī pedagogu praktiķu vērojumi, nosakot radoši domājošo skolēnu skaitu, piemēram, matemātikā un fizikā. Tādējādi, realizējot problēmveida apmācību vispārizglītojošā skolā, skolotājam jāsaprot, ka lielais vairums problēmu jārisina pašam pedagogam vai arī ar kolektīvās domāšanas metodi. Pie tam jāievēro pedagoģiskais takts, lai daļā skolēnu nerastos mazvērtības sajūta.

Treškārt, daudzi novērojumi, zinātnieku un radošās inteliģences darba pētījumi apstiprina, ka vienas problēmas veiksmīga atrisināšana ne vienmēr palīdz formulēt un atrisināt citas neizzinātas problēmas (ja vien tās nav saistītas vai līdzīgas). Citiem vārdiem, «treniņš» šajā jomā vēl negarantē drošus panākumus. Kā zināmu apstiprinājumu teiktajam var minēt visai populāro Einšteina dialogu ar žurnālistu: uz žurnālista jautājumu, vai Einšteinam esot piezīmju grāmatiņa, kurā atzīmēt savas ģeniālās domas, sekojusi atbilde, ka labas un vērtīgas idejas nākot prātā ļoti reti un tādēļ tās varot atcerēties arī bez pierakstīšanas.

---

[1] Šo testu autori ir amerikāņu psihologi; tests I. Q. (Intelligence Quotient) paredzēts «intelektuāla koeficienta» noteikšanai.

1.3. PASAULES UZSKATS. ZINĀTNISKUMA PRINCIPS APMĀCĪBĀ

Viens no komunistiskās audzināšanas pamatuzdevumiem ir veidot mūsu sabiedrības ideāliem atbilstošu personību, kuras struktūrā ietilpst pasaules uzskats, pārliecība un ideāli. Šīs struktūras noteicošā sastāvdaļa ir pasaules uzskats — viena no personības virzības formām, kuru nosaka zinātnisko jēdzienu un priekšstatu sistēma par pasauli. Materiālistiskais pasaules uzskats — tā ir mūsdienu zinātnes attīstības līmenim atbilstoša personības informētība par dabu un sabiedrību. Pasaules uzskats plašākā nozīmē — tā ir indivīda izturēšanās atslēga, viņa aktivitāte, virzītājspēks. Pasaules uzskats saistīts ar cilvēka — personības pārliecību un ideāliem, kuri savukārt ir personības aktīvo centienu visaugstākais mērķis.

No sacītā viennozīmīgi izriet, ka pasaules uzskats nav šķirams no zinātniskās domāšanas. Zinātniskās domāšanas pamatelementu apgūšana — tas ir pirmais un absolūti nepieciešamais nosacījums dialektiski materiālistiskā pasaules uzskata veidošanā un tātad arī jebkurā apmācības sistēmā mūsu valstī.

Zinātniskuma princips ir viens no tiem didaktikas pamatprincipiem, kura īstenošana skolas matemātikas un fizikas kursā pēdējā desmitgadē izraisījusi visvairāk strīdu un pārmetumu mācību grāmatu autoriem par pārspīlēti «augsto», skolēnu vecumā grūti uztveramo zinātniskumu vielas izklāstā. Kā piemērus sliktā nozīmē var nosaukt dažas ģeometrijas mācību grāmatas, arī fizikas mācību grāmatu 9. klasei. Neuzskaitīsim visus cēloņus, kuru dēļ atsevišķas mācību grāmatas ir «pārāk zinātniskas». Par vienu no faktoriem, kas veicinājis šādas situācijas izveidošanos, var uzskatīt divu svarīgu reformu sakrišanu: vienlaikus notika pāreja uz vispārējo vidējo izglītību un pāreja uz jaunām programmām matemātikā un fizikā. Vērtīgas atziņas par skolas matemātikas kursa zinātnisko līmeni atrodamas akadēmiķa L. Pontrjagina publikācijās.[1]

Īsi par dažiem zinātniskuma principa aspektiem matemātikas un fizikas mācīšanā.

---

[1] *Понтрягин Л.* О математике и качестве ее преподавания. — Коммунист, 1980, № 14, с. 99—111.

Vispirms atzīmēsim, ka zinātniskuma princips apvieno sevī vairākas pamattēzes:

1) mācību priekšmeta saturam katrā tās posma jābūt saskaņotam ar mūsdienu zinātnes faktiem un atziņām;

2) mācīšanas metodēm jābūt maksimāli tuvinātām (ievērojot skolas specifiku) attiecīgās zinātnes metodēm;

3) zinātniskuma līmenim katrā apmācības posmā jābūt saskaņotam ar skolēnu intelektuālās attīstības un garīgo spēju līmeni.

No šīm tēzēm izriet svarīgs praktisks secinājums — mācību materiāls (tā saturs, forma, metodes) jāplāno tā, lai nevienā darba posmā nebūtu pretrunu ar zinātnes faktiem un metodoloģiju un lai šādas pretrunas nerastos arī turpmākajā apmācības gaitā, pārejot uz attiecīgo problēmu apskatu augstākā līmenī. Tikko teiktais it īpaši jāievēro, mācot matemātiku un fiziku, jo šajos mācību priekšmetos viens un tas pats jautājumu loks bieži jāaplūko vairākkārt, paceļoties arvien augstākā abstrakcijas pakāpē un vispārinot iepriekšējos apmācības posmos iegūtās zināšanas.

Runājot konkrēti par matemātiku, zinātniskuma principu šaurākā nozīmē saista galvenokārt ar šādiem diviem jautājumiem:

1) vai matemātiskie aprēķini nav kļūdaini (vai rezultāts ir pareizs?) un 2) vai loģiskie spriedumi ir korekti (vai rezultāts iegūts pareizi?).

Skolās mācību darbā bieži vien zinātniskuma principu vēl šaurākā nozīmē attiecina uz matemātiskās valodas un simbolikas «pareizu» lietošanu. Uzskata, ka matemātikā absolūta zinātniskā stingrība ir sasniegta tikai tad, ja attiecīgās teorijas tiek izklāstītas aksiomātiskā formā vai, vēl vairāk — pilnīgi formalizētā valodā, kas nekādi nesaistās ar īstenību.

Kas tad īsti nosaka nepieciešamo matemātiskās stingrības pakāpi skolas kursā? Teorētiski — tā ir «ieprogrammēta» mācību grāmatās, postulēta priekšmeta programmā, precizēta un konkretizēta metodiskajos norādījumos. Praktiski — galvenais noteicējs šajā jautājumā ir matemātikas skolotājs. Tiesa, skolotājs nevar rīkoties pilnīgi brīvi, jo viņš ir saistīts ar attiecīgo mācību grāmatu, un tomēr tieši skolotājs ir tas «vienpersoniskais soģis, kurš pasludina galīgo lēmumu»: vai skolēna ieteiktais risinājuma pamatojums ir atzīstams par pietiekami stingru. Matemātiskās stingrības etalonu skolotājs «izvēlas», skaidrojot jauno vielu, demonstrējot risinājumu paraugus,

interpretējot matemātiskos faktus un metodes[1]. Skolotājs arī seko, lai minētajā etalonā ietvertās prasības tiktu ievērotas. Tādējādi zinātniskuma principa ievērošana ir objektīva prasība, bet tā realizācija ir subjektīva. Nav tāda absolūta un viennozīmīga zinātniskuma kritērija, kurš noteiktā veidā formalizētas spriedumu shēmas un pierakstu paraugus atzītu par vienīgi pareizajiem. Tas, kas šķiet zinātniski pamatots skolēna izpratnē, profesionāla matemātiķa uztverē faktiski ir ļoti «tālu no pilnības». Katram cilvēkam nenoliedzami ir savs subjektīvais viedoklis par to, kas uzskatāms par stingri neapgāžami pamatotu, ticamu.

Viss iepriekš sacītais par zinātniskuma principu ir attiecināms arī uz skolas fizikas kursu. Tomēr atzīmēsim, ka, realizējot zinātniskuma principu fizikas mācīšanā, pirmajā vietā izvirzāma prasība ievērot V. I. Ļeņina tēzi: «... no dzīvā vērojuma uz abstrakto domāšanu un no tās uz praksi — tāds ir patiesības izziņas, objektīvās realitātes izziņas dialektikas ceļš.»[2] Tas nozīmē, ka jebkuras fizikālās problēmas iztirzājums jāsāk ar skaidru un viennozīmīgu faktu konstatēšanu un pēc tam vienmēr jāpārbauda teorētiski iegūto atziņu atbilstība novērojumam. Tikai tad, ja iegūts šāds apstiprinājums, fizikālo norišu izskaidrojumu var atzīt par zinātnisku. Arī visiem matemātikas pielietojumiem fizikā jābūt korekti pamatotiem un visiem spriedumiem loģiski nevainojamiem. Taču zinātniskums fizikā nebūt nenozīmē, ka fizikālie risinājumi vienmēr jāaizstāj ar matemātiskiem «izvedumiem», kā to nereti mēdz darīt dažu mācību grāmatu autori, pedagogi un viņu ietekmē arī skolēni. Jebkurai fizikālai norisei principā ir jābūt «saprotamai bez matemātikas» tajos jēdzienos un priekšstatos, ko lieto fizika, bet «nepazīst» matemātika. Matemātikas uzdevums fizikā ir citāds — tā ekonomē domāšanu un «kodē» fizikāli noskaidroto ērtā un kompaktā formā.

Noslēdzot šo paragrāfu, uzsvērsim vēl vienu aspektu, kuram, pēc autoru domām, bieži vien ir noteicēja loma, realizējot zinātniskuma principu apmācībā. Zinātniskuma princips jebkura priekšmeta mācīšanā kategoriski aizliedz jebkādu nezinātniskumu, taču neprasa, lai pedagoga stās-

---

[1] Piebildīsim, ka jaunākajās klasēs matemātiskās stingrības jautājumus skolēni parasti saista tikai ar skolotāja noteikto reglamentu («Skolotāj, vai arī šogad prasīsiet, lai, pārnesot saskaitāmo uz vienādojuma otru pusi, tiktu mainīta zīme?»).

[2] *Ļeņins V. I.* Raksti, 38. sēj., 153. lpp.

tījums vienmēr būtu pedantiski zinātnisks. Tādējādi savā ikdienas darbā skolotājam jāievēro šāds princips: vielas izklāsts, klasē izteiktas atziņas, motivācijas un interpretācijas, lietotās metodes nedrīkst būt nezinātniskas. (Šīs idejas autors J. Mencis ir vairāku matemātikas mācību grāmatu autors.) Citiem vārdiem, katrs spriedums, kas nav zinātnisks, noteikti ir nezinātnisks. Starp zinātnisko un nezinātnisko ir «neitrālā josla», kuru pedagogs drīkst izmantot, lietojot nepilno indukciju, analoģijas un salīdzinājumus, savas domas pamatošanai drīkst izraudzīties atbilstošu zīmējumu, kas aizstātu formālo pierādījumu ar «ticamiem» spriedumiem, piemēriem no citām zinātnēm un apkārtējās pasaules. Pedagoģiskā veiksme, «māksla» būt labam sava priekšmeta izskaidrotājam gandrīz simtprocentīgi ir atkarīga no skolotāja prasmes strādāt minētajā neitrālajā joslā. Tieši tādā gadījumā apmācībai būs nepārtraukts raksturs, un pāreja no «nezināšanas» uz «zināšanu» skolēnam sagādās mazāku intelektuālo piepūli.

1.4. SKOLOTĀJS

Viss ievadā un šajā nodaļā teiktais tieši vai netieši attiecas arī uz skolotāja personību un tās lomu skolēnu zinātniskā pasaules uzskata veidošanā.

Par pašizglītību. Skolotāji bieži vien izsaka vēlēšanos saņemt plašāku metodiskās literatūras klāstu un materiālus par audzināšanas problēmām. Nenoliedzami, ka šādas literatūras izdošana ir absolūti nepieciešama, taču mūsu republikas vadošie speciālisti līdz šim ir bijuši visai kūtri rakstītāji. Arī pietiekami konkrētu un rosinošu referātu par šiem tematiem semināros dzirdēts visai maz. Taču jāatzīst, ka nekādi speciāli pasākumi šajā jomā nevar aizstāt skolotāja pašizglītību savā priekšmetā — metodikā, didaktikā, filozofiskajās problēmās, vispār — jebkādu jautājumu lokā «ap šo priekšmetu». Kā zināms, ir tādi brīži, kad skolotājam jāizsaka savs viedoklis noteiktā jautājumā, turklāt tas jādara tūlīt, nekavējoties, pie tam bez iespējas ielūkoties metodiskās rekomendācijās vai rokasgrāmatā par audzināšanas problēmām. Pat tad, ja tāda iespēja būtu, diezin vai skolotājs varētu atrast piemērotu atbildi, kā rīkoties tieši šajā konkrētajā gadījumā.

Pašizglītība, zinātniskās un metodiskās kvalifikācijas paaugstināšana ir arī viens no svarīgākajiem priekšnosacījumiem skolotāja autoritātes nostiprināšanā. Kaut arī skolotāja autoritāte ir atkarīga no ļoti daudziem

faktoriem, tomēr noteicošais apstāklis ir augsta līmeņa un plaša spektra profesionālisms savā specialitātē. Ar pilnīgi idealām īpašībām apveltīts cilvēks eksistē tikai kā teorētisks «modelis», un būtu naivi domāt, ka skolēni neredz trūkumus, kas piemīt pedagogam — personībai. Taču galvenais kritērijs, pēc kura skolēni vērtē skolotāja personību, ir viņa attieksme pret saviem pienākumiem, prasme veikt savu darbu. Šo domu ļoti labi izteicis A. Dripe aprakstā «Par manas profesijas šodienu»[1], pastāstot par kādu skolotāju, kurš nebūt nav bijis «ideals» cilvēks.

«... Taču viņa autoritāte bija stabila kā klints, par spīti minētajiem trūkumiem. Šis skolotājs mīlēja savu priekšmetu, virtuozi to pārzināja, nebaidījās atzīt kļūdas, saprata humoru un bija taisnīgs. Viņš nemīlēja tukšu pļāpāt, bet darīja lietišķi un nesvārstīdamies to, kas viņam bija jādara, — mācīja mums matemātiku. Nekad neesmu bijis sajūsmā par šo disciplīnu, bet viena gada laikā biju spiests iemācīties vairāk nekā iepriekšējos kopā (agrākais matemātiķis neiemācīja nekā) un, neskatoties uz antipātijām pret matemātiku, sajutu lielu cieņu pret šo cilvēku... Būtiskais bija viņa attieksmē pret darbu, viņa viengabalainībā, viņa erudīcijā un cilvēcībā.»

Par novatorismu apmācībā. Gandrīz nevienas citas nozares speciālistam nav jāuzklausa tik daudz padomu, ieteikumu un norādījumu par darba organizēšanu un metodēm kā skolotājam. Pēdējā desmitgadē būtiski ir mainījies mācību programmu un mācību grāmatu saturs. Ik gadus skolotāji saņem jaunus metodiskos norādījumus — ko un kā mācīt (arī norādes par neobligāto mācību materiālu). Literatūrā aprakstītie ieteikumi un pētījumu rezultāti dažkārt visai pretrunīgi traktē vienu un to pašu problēmu vai jautājumu. Ne visu kabineta apstākļos labi iecerētō iespējams tieši tā realizēt skolā. Protams, fizikas un matemātikas pamatu izpratne ar laiku mainās un pilnveidojas arī skolas kursā, tomēr vienas paaudzes laikā šīs neizbēgamās izmaiņas, ko diktē sabiedrības, zinātnes un skolas attīstība, nav nemaz tik lielas, kā tas dažkārt tiek deklarēts. Pedagoģijas un metodikas attīstībai vairāk raksturīga lēna un ilgstoša uzskatu un metožu evolūcija, nevis straujas izmaiņas. Tāpēc, uzmanīgi sekojot visām jaunajām gan savā priekšmetā, gan arī pedagoģijā un metodikā, skolotājiem tomēr vajadzētu saglabāt «veselīgu konservatīvismu» un prasmi patiešām derīgo,

---

[1] *Dripe A.* Kolonijas audzinātāja piezīmes: Apraksti. — R.: Liesma, 1975. — 256 lpp.

praksē pārbaudīto un apstiprināto atšķirt no pseidonovatorisma. No pēdējo divdesmit gadu pieredzes atzīmējami vairāki piemēri, kuros plaši reklamēti ieteikumi un iniciatīvas tomēr nav devuši gaidīto efektu, jo tie izvirzīti, nevis pamatojoties uz rūpīgu un precīzu pedagoģisko eksperimentu rezultātiem, bet gan dažādu citu apsvērumu dēļ.

Par mācību grāmatu. Skolēna un skolotāja «darba rīks» apmācības procesā ir mācību grāmata. Pēdējā laikā diezgan bieži un ne bez pamata ir izskanējuši pārmetumi par mācību grāmatu kvalitāti. Labi saprotama ir skolotāju vēlēšanās kādreiz saņemt arī «ideālu» mācību grāmatu, kurai nebūtu vajadzīgi ne palīgmateriāli, ne skaidrojumi skolotājiem (!). Nenoliedzami, ka katrs autors vai autoru kolektīvs raksta grāmatu cerībā, ka tā būs vismaz tuva «ideālajam» variantam. Diemžēl pēc grāmatas iznākšanas jau drīz vien atklājas, ka tajā ir daudz nepilnību un trūkumu. Nepieciešams ilgs laiks, lai mācību grāmatas atkārtotajos izdevumos visus šos negludumus «pieslīpētu» un galvenos akcentus saliktu tieši tajās vietās, kur tiem vajadzētu būt pēc autoru ieceres. Vienīgais cilvēks, kas konkrētas paaudzes skolēniem var sniegt būtisku palīdzību, mācoties pēc šīs grāmatas, ir skolotājs. Turklāt jāpiebilst, ka iespējami vairāki varianti, kādā secībā apgūt mācību vielu, lai netiktu pārkāptas programmas prasības. Vēlams, lai pedagogs katru jautājumu izklāstītu saviem vārdiem, savā interpretācijā. Tad skolēnam pēc mācību stundas radīsies problēma saskaņot divus nedaudz atšķirīgus izteikumus par vienu un to pašu jēdzienu vai parādību. Tas arī ir viens no paņēmieniem, kā aktivizēt skolēnu domāšanu un attīstīt problēmveida apmācību. Mācīšanas procesā katrs skolotājs faktiski kļūst par mācību grāmatas līdzautoru, par šajā grāmatā ne visai skaidri izteikto ideju «rezonatoru». Tieši pedagoga ziņā paliek jautājums, kuras idejas uzsvērt un kuras atstāt otrajā plānā, atzīstot tās par mazāk svarīgām. No šī viedokļa skolotājs pielīdzināms celtniekam, kuram no noteikta materiāla un pēc noteikta projekta jāuzbūvē celtne un kurš tomēr katrai celtnei, kas būvējama pēc tipveida projekta, var piešķirt savu individualitāti.

Vēlreiz akcentējot ievadā izteikto domu «es mācu» — tātad «es skaidroju skolēniem savu pasaules uzskatu sava priekšmeta ietvaros», pievienosim tai izcilā pedagoga V. Suhomļinska atziņu, proti, audzina, apmāca nevis programmas, mācību grāmatas, nevis metode, bet gan skolotāja personība un tikai personība.

2. nodaļa

MATEMĀTIKAS UN FIZIKAS METODOLOĢIJAS PAMATI

Mācīšanas un audzināšanas uzdevumi, kas saistīti ar zinātniskā pasaules uzskata veidošanu, jārisina visos skolas kursa mācību priekšmetos. Taču matemātikas un fizikas skolotāju aprindās nereti valda uzskats, ka galvenokārt ar pasaules uzskata veidošanu un komunistisko audzināšanu jānodarbojas humanitāro priekšmetu skolotājiem, bet ar marksistiski ļeņiniskās filozofijas pamatprincipiem un metodēm skolēni iepazīstināmi sabiedrības mācības stundās. Šādu uzskatu var izskaidrot nevis kā nevēlēšanos nodarboties ar filozofijas problēmām, bet drīzāk kā nepamatotas «bailes» izrādīties nekompetentiem attiecīgajā sfērā. Faktiski šāda «atturība» ir nepamatota, jo matemātikai un fizikai vienmēr ir bijušas nesaraujamas saites ar filozofiju. Par šo jautājumu ir izteikušies daudzi ievērojami zinātnieki. Īsi un kodolīgi minēto domu formulējis matemātikas vēsturnieks D. Morduhajs-Boltovskis, apgalvojot, ka «matemātiku un filozofiju var uzskatīt par dvīņiem, kas dzimuši vienā laikā un savā bērnībā gulējuši vienā gultā». (Šī doma vēl jo vairāk ir attiecināma uz fiziku.) Teikto apstiprina arī tas, ka daudzi fizikas un matemātikas jēdzieni, piemēram, «matērija», «kustība», «telpa», «laiks», «simetrija», «diskrēts», «nepārtraukts», «struktūra» vienlaikus ir arī filozofijas jēdzieni. Gan matemātikā, gan arī fizikā izmanto tādus filozofijas jēdzienus kā «kvantitāte», «kvalitāte», «forma», «saturs», «pretruna» u. c. Jāpiebilst vēl, ka tās pētīšanas metodes, kas izstrādātas matemātikā, ir universālas — šodien nav zināms neviens matērijas kustības veids, nav pazīstama neviena parādība, kuru nevarētu pētīt arī matemātiski. Ne mazāk citās dabaszinātņu nozarēs tiek izmantotas arī fizikālās pētījumu metodes. Tādējādi, mācot matemātiku un fiziku, mēs, pat pilnīgi negribot, vienlaikus mācām arī filozofiju, un problēma faktiski reducējas uz «akcentu salikšanu pareizajās vietās». Tātad iemācīt pietiekami kva-

litatīvi un plaši matemātikas un fizikas pamatjautājumus un metodes nozīmē veidot arī zinātnisko pasaules uzskatu.

Šajā nodaļā autori centušies vismaz daļēji atbildēt uz jautājumiem «kas ir matemātika?», «kā šodien raksturojami matemātikas kontakti ar citām zinātnēm, tehniku, ekonomiku?» un uz analogiem jautājumiem par fiziku. Tā kā neliela apjoma darba nav iespējams izsmeļoši raksturot mūsdienu matemātikas un fizikas metožu kopumu, šo zinātņu daudzšķautņainos sakarus ar praksi, tad galvenā uzmanība veltīta tieši tām problēmām, kas skar skolas kursu. Viens no tādiem jautājumiem ir saistīts ar modeļa un modelēšanas jēdzieniem, kurus pēdējā laikā izmanto ne tikai izziņas procesā, bet arī vielas izklāstā un metodikā, uzsverot saites starp matemātiku un fiziku kā mācību priekšmetiem.

2.1. MATEMĀTIKAS PRIEKŠMETS

Ieskats vēsturē. Pārskatot vēsturi no momenta, kad sākts runāt par matemātiku kā par zinātni, jebkurā tās attīstības posmā var konstatēt divas tendences. Matemātika ir radusies un sākumā attīstījusies kā praktiska zinātne. No vienas puses, tā apraksta un pēta reālās pasaules objektus, šo objektu telpiskās formas un kvantitatīvās attiecības. No otras puses, ar daudzu praktisku uzdevumu atrisināšanu tā pamazām atklāj, ka iegūto rezultātu nozīme un pielietojamības diapazons ievērojami paplašinās, ja minētās kvantitatīvās attiecības un telpiskās formas tiek maksimāli nodalītas no konkrētā materiālā satura un pētītas «tīrā» veidā. Tātad galvenā tendence ir pāriet no vienkāršu, praksē tieši «noskatītu» jēdzienu (tādu kā «garums», «laukums», «tilpums», «daudzums», «figūra», «ķermenis») apskata uz kvantitatīvu aprakstu skaitļu valodā, no vienkāršāko matemātisko darbību izmantošanas uz arvien abstraktākiem jēdzieniem, attieksmēm, operācijām un to izpēti.

Līdz pagājušā gadsimta vidum abas minētās tendences matemātika attīstījās diezgan samērīgi, dažkārt viena otru nedaudz apsteidzot. Sākot ar pagājušā gadsimta beigu posmu, sevišķi strauji sāk attīstīties matemātikas abstrakti-teorētiskais atzarojums. Protams, šajā laika posmā ievērojami palielinājās arī praktiskās izmantošanas apjoms, matemātikas saites ar praksi ne tikai nezuda, bet kļuva plašākas, taču tās it kā pārvietojās otraja plānā.

Radās un strauji attīstījās tādas abstraktas matemātikas nozares kā kopu teorija, abstrakta algebra, daudzdimensiju telpu teorija, topoloģija u. c., kuru rezultātiem ne vienmēr varēja viegli saskatīt «realo» adekvātu. Matemātikas praktisko pielietojumu diapazonu un efektivitāti šajā laikā stipri ierobežoja samērā niecīgās tehniskās iespējas skaitļošanā: teorētiskie pētījumi bija apsteiguši tā laika tehniskās iespējas. Arvien biežāk izveidojās situācijas, kurās bija skaidrs, kā izmantot matemātiskās metodes, taču lielā skaitļošanas apjoma dēļ tās nebija iespējams realizēt, lai iegūtu rezultātu.

Kā zināms, stāvoklis krasi mainījās 50. gados. Tika izgudroti elektroniskie skaitļotāji, radās reāla iespēja informācijas apstrādi un skaitļošanu ne tikai «mehanizēt», bet arī «automatizēt». Sākās straujš praktiskās matemātikas uzplaukums, pat zināma veida «bums». Šajā laikā zinātnieki izteica daudzus pareģojumus par «domājošām» kibernētiskajām ierīcēm: tās drīzi vien ne tikai sasniegšot cilvēka intelekta līmeni, bet pat pārspēšot to; ar matemātisko metožu ieviešanu un skaitļošanas tehnikas izmantošanu varēšot ne tikai automatizēt tulkošanu no vienas valodas citā valodā, uzstādīt diagnozes medicīnā, bet arī optimāli un precīzi plānot un vadīt atsevišķas rūpnīcas, nozares, visu tautsaimniecību, gūstot ievērojamu ekonomisko efektu. No matemātikas daļēji nošķīrās t. s. lietišķā matemātika, radās un strauji attīstījās vairākas jaunas matemātikas nozares — programmēšana, matemātiskā lingvistika, informācijas teorija, automātu teorija u. c. Sākās citu zinātņu matematizācija. Savukārt citas zinātnes, ekonomika un tehnika, novērtējot matemātisko metožu iespējas, sāka «piegādāt» arvien vairāk neatrisinātu problēmu. Tā rezultātā 50. gadu beigās un 60. gados lietišķajā matemātikā bija vērojams zinātniskās informācijas pieaugums. Pēdējā desmitgadē lietišķās matemātikas attīstības temps vairs nav tik straujš. Matemātika ir iegājusi mierīgākas attīstības gultnē, notiek uzkrātās zinātniskās informācijas sakārtošana vienotā sistēmā, tās metodiskā apstrāde.

Formulēsim dažus secinājumus, kas saistīti ar matemātiskās mācīšanas mērķiem un uzdevumiem.

Par citu zinātņu matematizāciju. Neraugoties uz matemātisko metožu plašo «iespiešanos» citās jomās, tomēr būtu aplami uzskatīt, ka tikai matematizācija var būt izšķirošu panākumu atslēga citās zinātnēs un pacelt tās kvalitatīvi augstākā pakāpē. Ne tikai populārzinātniskajā literatūrā, bet dažkārt arī speciālajos izdevumos varam

lasīt, ka matemātiskā modeļa izstrādāšana — lai kādai realitātei tas tiktu veidots — jau pati par sevi ir zinātnisks sasniegums. Diemžēl ne vienmēr šim panākumam ir paliekoša vērtība. Daudzu procesu un parādību izpētei pedagoģijā, psiholoģijā, medicīnā, socioloģijā un ekonomikā matemātisko modeļu veidošanas iespējas šodien vēl ir visai ierobežotas. Daļa no minētajās zinātnēs veidotajiem matemātiskajiem modeļiem faktiski tikai rada zinātniskuma ilūziju un dod maz praktiska labuma. Dažos gadījumos aplūkojamie procesi ir tik sarežģīti, ka ar šodienas matemātikas metodēm nav pat iespējams izveidot to aprakstus. No šāda viedokļa vislabākajās pozīcijās ir fizika, jo matemātikas pielietošana fizikā vienmēr ir bijusi un droši vien arī turpmāk būs abpusēji izdevīga.

Par matemātikas praktisko nozīmi. Nepieciešams pasvītrot matemātikas arvien pieaugošo praktisko nozīmi sabiedrības attīstībā un mūsu dzīvē. Runa ir ne tik daudz par zinātnes atklājumiem, bet gan par jau izzinātu un izpētītu objektu un procesu precīza kvantitatīva raksturojuma izmantošanu cilvēka darbības dažādās jomās. Daudzi matemātiskie modeļi šodien kļuvuši par ikdienā lietojamu darba «rīku». Informācijas savākšana un apstrāde, precīzs aprēķins un analīze, prognozes, optimālu variantu noteikšana, daudzu sarežģītu sistēmu vadība — tas viss nav iespējams bez matemātisko metožu tiešas izmantošanas, ekspluatējot labi «atstrādātus» standartmodeļus. Šajā darbā jau šodien ir iesaistīti miljoniem cilvēku, un neizsīkstošais pieprasījums pēc speciālistiem liecina, ka to skaits arvien vēl jāpalielina.

Par proporcijām starp teorētisko un praktisko aspektu skolas matemātikas kursā. Aplūkosim jautājumu par to, vai pieeja skolas matemātikas kursam ir tīri formāla (iemācīt tikai nepieciešamos algoritmus un rēķināšanas iemaņas) vai arī uz matemātiku jāraugās kā uz mācību priekšmetu, kurā bez praktiskajām rēķināšanas iemaņām skolēniem jāiemācās domāt korekti definētu jēdzienu kategorijās, stingri sekojot loģiskās domāšanas likumiem. Droši vien katram matemātikas skolotājam ir bijis jāatbild uz jautājumu «Kāpēc jāmācās šī teorēma (likums, pierādījums utt.), ja studēt neesmu domājis un pēc skolas beigšanas strādāšu par...?» Apslēptā formā tādā jautājumā vienmēr izskan arī vārdos neizteikta pārliecība, ka, izņemot prasmi veikt vienkāršākos skaitliskos aprēķinus, pārējās matemātiskās zināšanas ir liekas. Diemžēl šādu viedokli netieši atbalstījušas arī vairākas nepār-

domātas publikacijas avīzēs un žurnālos, kurās runāts par skolēnu pārslodzes problēmām.

Skaidrs, ka visiem skolēniem jaiegūst stabilas zināšanas un praktiskās iemaņas skaitļošanā, kas ir visu matemātikas praktisko rezultātu pirmsākums un pamats. Konkrēti šeit jāmin prasmes veikt aritmētiskās darbības ar skaitļiem, aprēķinus ar aptuveniem lielumiem, iemaņas garumu, ļeņķu, laukumu, tilpumu noteikšanā un vienkāršāko tehnisko līdzekļu izmantošana aprēķinos. Šie praktiskie apmācības uzdevumi jāuzskata par vissvarīgākajiem, un, ja vien iespējams, to izpildē vajadzētu sasniegt zināmu profesionālismu un augstu zināšanu noturīgumu.

Pamatojoties uz rēķināšanas iemaņām, skolēniem obligāti jāapgūst arī izteiksmju algebriskās pārveidošanas metodes, jo algebrisko pārveidojumu tehnika ir īpaši svarīgs posms matemātiskās apmācības ķēdē. Bez prasmēm brīvi rīkoties ar simboliem skolas algebras kursa ietvaros tālākā matemātikas apgūšana un saturīga pielietošana praktiski nav iespējama. Jāpiebilst, ka tieši pēdējā laikā arvien vairāk pieaug matemātikas kā zinātnes un tehnikas vienotas valodas loma. Tas nozīmē, ka matemātikas pamatjēdzienu, valodas elementu un simbolikas apgūšana atbilstoši mācību grāmatās atspoguļotajam šodienas matemātikas līmenim kļūst par absolūti nepieciešamu prasību ļoti plašam cilvēku lokam.

Matemātikas skolotāja darbā vairāk izteikts var būt praktiskais aspekts. Samērā daudz ir tādu skolotāju, kuri par matemātisko zināšanu stūrakmeni uzskata prasmi risināt uzdevumus, atbilstoši šim uzskatam organizē mācību darbu un sasniedz labus rezultātus.

Skaitļošanas tehnika skolā. Pēdējā desmitgadē notikušas ievērojamas pārmaiņas arī skaitļošanas tehnikas ražošanā. Pāreja uz lielajām integrālajām shēmām izraisījusi elektroniskās skaitļošanas tehnikas ražošanas strauju pieaugumu, tādējādi palielinot arī iespējas tehnikas praktiskajā izmantošanā. Elektroniskā skaitļošanas tehnika šodien arvien neatlaidīgāk klauvē pie skolas durvīm, taču pagaidām šīs durvis veras vaļā diezgan lēni, kaut gan matemātikas programma paredz jau vidusskolā iepazīstināt skolēnus ar elektroniskajiem skaitļotājiem (mikrokalkulatoriem.) Diemžēl pagaidām vēl nav pilnīgi izstrādāta šīs tehnikas lietošanas «oficiālā» metodika skolas apstākļos, taču tam nevajadzētu būt par šķērsli skolotāju aktīviem meklējumiem un eksperimentiem šajā jomā. Praktiski šis jautājums ir cieši saistīts ar pašizglītību un kvalifikācijas celšanu.

2.2. MATEMĀTISKĀS STRUKTŪRAS

Matemātiskās struktūras definīcija. Katram vēsturiskajam periodam ir raksturīga sava valoda, nianses un akcenti matemātikas izpratnē. Pēdējā laika uz jautājumu «kas ir matemātika?» arvien biežāk tiek dota atbilde «matemātika ir zinātne, kas pēta visdažādākās matematiskās struktūras» (tam, protams, seko jēdziena «matemātiskā struktūra» izskaidrojums). Aplūkosim šo pieeju detalizētāk, jo tā ir ērta, raksturojot skolas matemātikas kursa saturu, mācīšanas mērķus un uzdevumus.

Matemātiskās struktūras trīs komponentes ir šādas:

1) matemātisku objektu kopa;
2) šajā kopā definēta pamatattieksmju sistēma;
3) šajā kopā definēta pamatdarbību sistēma.

Tā, piemēram, skolas ģeometrijas kursā varam runāt par matemātisku struktūru «vektoru algebra». Objektu kopa šajā gadījumā ir vektori (vērsti nogriežņi), pamatattieksmes ir «būt vienādiem», «būt kolineāriem», bet pamatdarbības — vektoru saskaitīšana, vektora reizināšana ar reālu skaitli. (Kā redzams, šīs struktūras aprakstā tiek izmantota vēl cita struktūra «reālie skaitļi».) Visā skolas kursā no 1. klases līdz 11. klasei tiek izmantota struktūra «naturālie skaitļi». Tās elementi ir naturālie skaitļi, pamatattieksmes raksturo ar vārdiem «vienāds», «lielāks», bet pamatdarbības ir saskaitīšana, reizināšana. Šo struktūru pakāpeniski paplašinot, proti, papildinot to ar jauniem elementiem, attiecīgi mainot pamatattieksmju un pamatdarbību saturu, skolas kursā nonāk līdz struktūrai «reālie skaitļi».

Aksiomātiskā pieeja. Raksturojot matemātisku struktūru, iespējams arī tāds variants, ka elementi (objekti), no kuriem šī struktūra ir veidota, nemaz netiek nosaukti, bet tiek norādītas (formulētas) tikai attieksmes, kādas starp tiem var pastāvēt, un šo attieksmju īpašības. Šādā gadījumā matemātiskajai struktūrai ir iespējamas vairākas realizācijas. Katra no tām rodas, izvēloties noteiktu elementu sistēmu, kurā norādītās attieksmes tiešām pastāv. Raksturīgs piemērs ir viena no skolas matemātikas kursa struktūrām «planimetrija». Šīs struktūras objektus — figūras — veido divējādi pamatelementi — «punkti» un «taisnes», kuri netiek definēti. Tiek uzskaitītas tikai attieksmes, kādas starp šiem pamatelementiem var pastāvēt, un postulētas šo attieksmju pamatīpašības.

Kas ir matemātika? Pēc matemātiskās struktūras jēdziena noskaidrošanas atbildēt uz jautājumu «kas ir

matemātika?» var pavisam «vienkārši». — «Matemātika ir zinātne, kas pēta visdažādākās matemātiskās struktūras.» Neliela tautoloģijas pieskaņa tomēr netraucē izmantot šo definīciju jautājumos, kas saistīti ar matemātikas mācīšanu. Tā, piemēram, uz jautājumu «ko nozīmē apgūt matemātiku?» varam atbildēt «apgūt matemātiku, tas nozīmē apgūt svarīgākās matemātiskās struktūras». No šāda viedokļa vidusskolas absolventa un profesionāla matemātiķa zināšanas atšķiras tikai kvantitatīvi.

Lai analizētu matemātikas kontaktus ar praksi, matemātisko struktūru terminoloģija nav sevišķi ērta. Taču, ja runājam par dabaszinātnēm, piemēram, fiziku, tad vadošās līnijas šo kontaktu mehānismā var paskaidrot šādi.

Fizika pēta reālus objektus, un tāpēc pētījumi vienmēr sākas ar novērojumu. Eksperimentā fiziķi atklāj objektus (piemēram, elementārdaļiņas), konstatē to eksistenci un noskaidro arī «attieksmes» starp minētajiem objektiem (kādi ir objekti, kādā veidā tie iedarbojas cits ar citu un kāds ir mijiedarbības rezultāts?). Fizikas kontakts ar matemātiku sākas tad, kad eksperimentālu novērojumu rezultātā ir uzkrāti fakti, konstatēta «fizikālā struktūra» un tiek izvirzīta problēma: «Eksperimentā konstatēta... struktūra. Vai matemātikā nav atrodamas kādas pēc savas uzbūves līdzīgas abstraktas struktūras?». Atkarībā no atbildes tālākajā sadarbībā paveras divas iespējas. Ja matemātikā atrodas struktūra, kas fiziķi apmierina, tad uz šīs struktūras bāzes tiek veidots fizikālās parādības matemātiskais modelis, tālāk — «fizikālā teorija». Ja turpretī matemātikā piemērotas struktūras nav, tad fiziķa jautājums vienlaikus ir arī «pasūtījums» attiecīgas struktūras izstrādāšanai. Šāds fizikas un matemātikas sadarbības apraksts, protams, ir visai vienkāršots.

Secinājumi un piezīmes. 1. Kaut arī skaidrojums «matemātika ir zinātne, kas pēta visdažādākās matemātiskās struktūras», satur tautoloģijas elementu, tas tomēr ir visai ērts, izdarot skolas matemātikas kursa «inventarizāciju». Katram matemātikas pasniedzējam būtu ieteicams matemātisko struktūru kategorijās pārskatīt visu to, kas viņam jāmāca. Ar šādu uzskaitījumu vieglāk analizēt priekšmeta programmu, sagrupējot to loģiski saistītos blokos, izraudzīties optimālu vielas izklāsta metodiku, izstrādāt saturīgus pārskatus par izņemto vielu apmācības beigu posmā.

2. Matemātikas saskarē ar citām zinātnēm vienmēr jāievēro, ka pēc vajadzīgās struktūras izvēles tās lietošanā nedrīkst būt nekādas atkāpes no šīs struktūras objektu,

attieksmju un darbību lietošanas likumiem. Matemātika atbild par rezultātu pareizību tikmēr, kamēr visi nosacījumi un priekšraksti tiek punktuāli ievēroti (likumu neievērošana, jēdzienu patvaļīga interpretācija gandrīz vienmēr noved pie aplamiem rezultātiem).

Tikko teiktais attiecas arī uz matemātikas mācīšanu, ja kādas struktūras aprakstā tiek izmantotas citas struktūras. Skolotājs labi pazīst tās kļūdas skolēnu spriedumos, kuru faktiskais cēlonis ir jēdzienu un attieksmju vai darbību pielietojamības apgabala patvaļīga paplašināšana «inerces» dēļ (piemēram, dalīšana ar vektoru, attieksmes «>» pārnešana uz vektoru kopu u. tml.). Tamlīdzīgu kļūdu varbūtība ievērojami samazinās, ja skolotājs vielas izklāstā speciāli akcentē attiecīgās struktūras definīciju un atšķirības salīdzinājumā ar citām struktūrām.

3. Īpaši vēl jārunā par aksiomātiskās pieejas izmantošanu matemātikas mācīšanā.

Atzīmēsim, ka aksiomātiski veidotas teorijas izprašana daudziem skolēniem sagādā lielas grūtības, it sevišķi 6. un 7. klasē. Uz minētā vecuma skolēnu dabisku un ļoti būtisku jautājumu: «Kas tas ir?» tiek sniegta šāda atbilde: «... ir jebkuri objekti, kuriem piemīt ... attieksmes ar ... īpašībām.» Skolēnam ar konkrētu priekšmetisko domāšanu tāda atbilde liekas grūti uztverama, dažkārt pat nesaprotama. Tādā gadījumā dabiska būtu prasība minēt vismaz vienu piemēru ar konkrētiem objektiem, kā arī pretjautājumus par šādu objektu eksistenci. Tā kā ģeometrijā aksiomātiski tiek raksturotas arī pamatattieksmes, tad jautājuma izpratne kļūst vēl sarežģītāka. Kā raksturīgu piemēru šādā nozīmē var minēt attāluma definīciju 6. klases ģeometrijas kursā (šajā definīcijā nav atbildēts uz jautājumu «kas tas ir?», bet ir pateikts tikai «kādas īpašības tam ir».

Pat cilvēkam ar labām priekšzināšanām matemātikā uztvert aksiomatizētu teoriju parasti ir grūtāk nekā «tradicionāli» izklāstītu mācību materiālu. Apgūstot aksiomatizētas teorijas, ir nepieciešama augsta matemātiskā kultūra un ļoti disciplinēta domāšana ar specifisku ievirzi, liela neatlaidība. Šī iemesla dēļ arī augstskolu matemātikas kursos aksiomātiskā pieeja tiek izmantota reti — tehniskajās augstskolās praktiski nemaz, vienīgi matemātikas un lietišķās matemātikas specialitātei universitātē ir daži speckursi ar aksiomātisko pieeju. Jautājumā par skolas ģeometrijas kursu vēl jāpiebilst, ka ģeometrija ir viena no nedaudzām matemātikas nozarēm, kurā aksiomātiskajai pieejai nav citas pieņemamākas alternatīvas. Tomēr

tendence skolas ģeometrijas kursu, sākot jau ar 6. klasi, gandrīz pilnīgi novirzīt pa aksiomātikas ceļu ir nosodāma.

2.3. MODEĻI UN MODELĒŠANA

Oriģināls, modelis, simboliskais modelis. Sakarā ar to, ka elektronisko skaitļotāju, lietišķās matemātikas un matemātisko metožu pielietojumu diapazons ir ievērojami paplašinājies, daudzu zinātņu leksikā plaši ieviešas modeļa un modelēšanas jēdzieni. Šos jēdzienus un ar tiem saistīto specifisko semantiku daudz izmanto ne tikai, runājot par izziņas procesu, bet arī apmācībā. Tā kā minētie jēdzieni arvien biežāk tiek iekļauti daudzu zinātņu metodoloģijā, tad aplūkosim tos sīkāk.

Dabas zinātnēs modeļi ir visai efektīva teorētisko uzskatu un priekšstatu izteiksmes forma, bet modelēšana jeb modeļu sastādīšana, izpēte, ar modeli iegūto rezultātu pārbaude un interpretācija — viena no visrezultatīvākajām izziņas metodēm.

Izmantot modelēšanas metodi nozīmē vienlaikus ar kādu sistēmu — oriģinālu — aplūkot arī tās modeli — kādu citu sistēmu, kas ir oriģināla attēls noteiktā attēlojumā. Šis attēlojums parasti ir tikai daļēji definēts, proti, ne visas oriģināla struktūras un raksturīgās iezīmes ir atspoguļotas modelī. Tādējādi modelis vienmēr ir oriģināla vienkāršots attēlojums, pie tam vienkāršojums var būt vai nu apzināts, vai arī neapzināts (ja, piemēram, teorētiskie priekšstati par sistēmu ir nepilnīgi). Apzināti vienkāršojot modeli, no tā tiek izslēgti daži elementi un saites; kuru nozīme pēc kāda kritērija ir novērtēta kā otršķirīga.

Modelēšanas pamatā ir mēģinājums iegūt vienkāršotu modeli, kura īpašības un «izturēšanos» varētu efektīvi pētīt ar mūsu rīcībā esošajiem tehniskajiem līdzekļiem un metodēm, pie tam svarīgi, lai modelis tomēr būtu pietiekami «līdzīgs» oriģinālam un lai modeļa pētījumos iegūtos rezultātus varētu «pārnest atpakaļ» uz oriģinālu (interpretēt oriģinālā). Inverso pāreju no modeļa uz oriģinālu sauc par modeļa interpretāciju. Interpretācijas procedūra parasti nav pilnīgi viennozīmīga, jo, kā jau teicām, modelējošais attēlojums var būt tikai daļēji definēts.

Oriģinālam un modelim, kā arī viena un tā paša oriģināla dažādiem modeļiem var būt atšķirīgas realizācijas. Modeļa realizācija ir raksturojums, «no kāda mate-

riāla un kā modelis pagatavots». Viena no modelēšanas metodes priekšrocībām ir iespēja izveidot modeļus ar vienkāršu un praktisku, «ērtu» realizāciju. Modeļa realizācijas veiksmīga izvēle dod iespēju izpētīt modeli ar daudz vienkāršākiem (lētākiem) līdzekļiem nekā oriģinālu, saglabājot tomēr modelī oriģināla struktūras un funkcionēšanas raksturīgākās iezīmes.

Pēc realizācijas veida visus modeļus var iedalīt divās grupās: reālos modeļos un simboliskos modeļos.

Reālie modeļi ir, piemēram, ūdens aizsprosta laboratorijas modelis mērogā 1:1000, lidmodelis, akvārijs kā ūdenskrātuves ekoloģisks modelis u. tml. Lietojot šos modeļus, dažkārt samērā neskaidrs un grūti atrisināms ir jautājums par modeļa atbilstību oriģinālam (vai tās parādības un procesi, kurus novērojam modelī, piemēram, akvārijā, realizējas arī oriģinālā — konkrētā ūdenskrātuvē dabā).

Atšķirībā no reālā modeļa simboliskais modelis ir oriģināla sistēmas apraksts, kas veidots no noteiktiem simboliem un darbībām (operācijām) ar tiem. Šī apraksta rezultātā iegūst modeli, kas ir noteiktā alfabētā (simbolos) un gramatikā (operācijās) uzrakstīti «vārdi» un «teikumi» («teksts»), kurus ar noteikta «koda» palīdzību interpretē kā oriģināla elementu un to savstarpējo saišu attēlus. Tā kā simboliskie modeļi nav saistīti ar ierobežojumiem, kurus nosaka modeļa fiziskā realizācija, tad to pielietošanas iespējas ir daudz lielākas salīdzinājumā ar reālajiem modeļiem.

Daudzos kvantitatīva rakstura pētījumos sevišķi efektīvi ir matemātiskie modeļi. Simbolisko modeli sauc par matemātisko modeli, ja tā elementi ir matemātiski lielumi (visbiežāk — laika funkcijas), bet modeļa struktūra ir veidota no matemātiskām sakarībām starp šiem mainīgajiem, izmantojot matemātiskās operācijas.

Pedagogiem savā darbā diezgan bieži ir jāizmanto t. s. konceptuālie modeļi. Konceptuālais modelis ir kādas teorijas izklāsta formalizēts un sistematizēts variants, kurā akcentēta noteikta koncepciju sistēma. Konceptuālā modeļa jēdzienu bieži izmanto fizikā. Faktiski skolas matemātikas un fizikas kursa izklāsta jebkurš variants, arī mācību grāmata ir attiecīgās mācību vielas konceptuālais modelis.

Sistēmas. Matemātiskie modeļi. Tagad sīkāk aplūkosim matemātiskā modeļa jēdzienu. Šajā nolūkā vispirms raksturosim objektus, kuriem šo modeli paredzēts veidot. Nosauksim tos par sistēmām un, nedaudz vienkāršojot pieeju,

uzskatīsim, ka sistēma ir pilnīgi noteikta (raksturota), ja zinam

1) elementus, no kuriem sistēma sastāv (sistēmas elementus);

2) objektus, kas sistēmā neietilpst (ārējo vidi), bet ir saistīti ar sistēmas elementiem un ietekmē to «funkcionēšanu»;

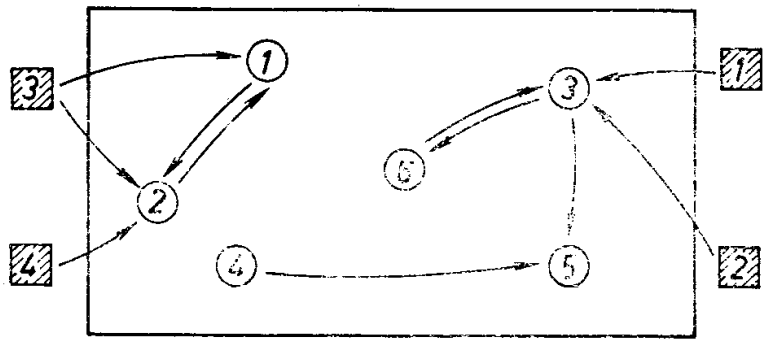
3) saites, kas pastāv starp sistēmas elementiem;

4) saites, kas pastāv starp sistēmas elementiem un ārējās vides objektiem.

Ja sistēmas elementus sanumurē un attēlo kā aplīšus, kuros ierakstīts elementa numurs, ārējās vides objektus sanumurē un attēlo kā kvadrātiņus, bet saites parāda ar bultiņām, tad sistēmas grafiskais attēls ir noteikta veida grafs (1. att.).

Šāda definīcija pilnīgi saskan ar mūsu priekšstatiem, piemēram, par Saules sistēmu (elementi ir planētas, saites — gravitācijas mijiedarbība), par PSRS vienoto energosistēmu (elementi ir elektrostacijas un patērētāji, saites — elektropārvades tīkls). Varam aplūkot arī tādas sistēmas kā LPSR rūpniecība, LPSR izglītības sistēma, Talsu rajona agrorūpnieciskais komplekss, Jēkabpils 1. vidusskola, *n* materiālu punktu sistēma, lādētu daļiņu sistēma u. tml. Sistēmas robežas ir atkarīgas no tā, kādu problēmu un kādā mērogā gribam risināt. Sistēma «Jēkabpils 1. vidusskola» ir tikai viens elements plašākā sistēmā «LPSR izglītības sistēma», pie tam šī vidusskola pati kā sistēma sastāv no daudziem elementiem un funkcionē noteiktā «vidē».

Pirms kādas sistēmas matemātiskā modeļa veidošanas obligāti jāsastāda šīs sistēmas iespējami pilnīgs apraksts, jāveic visu galveno faktoru un saišu maksimāli precīza



1. att. Sistēmas grafiskais attēls. (Sistēma sastāv no 6 elementiem, ārējā vide — no 4 elementiem (objektiem); svītrlīnija nosacīti parāda sistēmas robežas.

uzskaite. Ja šāds apraksts nav sastādīts (vai arī ja to nevar izdarīt kādu iemeslu dēļ), tad no modeļa sastādīšanas faktiski ir jāatsakās (šajā gadījumā matemātisko metožu tieša pielietošana maz palīdz uzdevuma atrisināšanā). Sistēmas apraksta sastādīšana ir vienkārša operācija tikai tādām sistēmām, kurās ir maz elementu. Precīza apraksta sastādīšana sistēmām ar lielu elementu skaitu un bagātu saišu kopu reizēm ir visai grūts uzdevums. Teiktais it īpaši attiecas uz dažām ekonomiskām sistēmām, starp citu, arī uz izglītības sistēmām, pie tam gan ekonomisko, gan izglītības sistēmu aprakstos grūtības sagādā arī tas apstāklis, ka dažkārt nav precīzi noteikts atsevišķu svarīgu faktoru un rādītāju saturs. Tā, piemēram, skolas darba kvalitātes raksturojumā noteikti būtu jāietilpst rādītājam «skolēnu zināšanas», taču šāds rādītājs viennozīmīgi nav nosakāms, turklāt tā mērīšanas procesā ir daudz neskaidrību un nenoteiktības. Arī ekonomikā ir vairāki lielumi, kuri ne vienmēr tiek precīzi «definēti».

Tikai pēc sistēmas apraksta sastādīšanas var atbildēt uz jautājumu, vai šo sistēmu vispār ir lietderīgi pētīt ar matemātiskās modelēšanas metodi. Apstiprinošas atbildes gadījumā sākas matemātiskā modeļa veidošana, kurā ir divi etapi.

Pirmajā etapā pēc iepazīšanās ar detalizētu sistēmas aprakstu tiek sastādīta cita sistēma, kas ir dotās sistēmas vienkāršojums. Pēdējo iegūst, atmetot dotajā sistēmā tos elementus un saites, kuras ir nebūtiskas vai arī kuras sistēmas funkcionēšanu ietekmē maz. Tā, piemēram, 1. zīmējumā attēlotajā sistēmā redzams, ka elementi 4 un 5 neietekmē sistēmas pārējos elementus, un tāpēc šos divus elementus no sistēmas var izslēgt (pārnest uz ārējo vidi). Iespējams, ka pēc kāda zināma kritērija mazsvarīgas ir arī dažas saites starp šīs sistēmas elementiem. Sistēmas vienkāršošana, protams, nav viennozīmīgi noteikta; viss ir atkarīgs no tā, kādiem mērķiem modelis tiek veidots, cik plaša ir informācija par sistēmas īpatnībām un darbību. Pāreja no dotās sistēmas uz tās vienkāršotu variantu ir šī paragrāfa sākumā minētais daļēji definētais attēlojums.

Otrajā etapā katrs vienkāršotās sistēmas elements un katra saite aprakstāma matemātisku terminu un sakarību veidā. Ja sistēma mainās, tad apraksts satur laika funkcijas un vienādojumus vai nevienādības, kas saista šīs funkcijas. Fizikas uzdevumos ļoti bieži iegūst diferenciālvienādojumus vai to sistēmas, ekonomikas sistēmu

matemātiskajam modelim var būt arī algebrisks raksturs.

Darbs ar matemātisko modeli. Kādas parādības vai norises matemātiskā modeļa sastādīšana ir visai ilgstošs un darbietilpīgs process, kas bieži vien nav veicams viennozīmīgi un kura rezultātu grūti prognozēt. Taču sistēmas matemātiskā modeļa sastādīšana nebūt nav galīgais mērķis un ar to sistēmas pētīšana nebeidzas, bet faktiski tikai sākas. Sistēmas pētīšanu, izmantojot matemātisko modelēšanu, nevar pilnīgi formalizēt, tomēr parasti tajā ir saskatāmi šādi galvenie posmi. (Aiz vertikālās svītras dotas īsas norādes.)

Matemātiskās modelēšanas galvenie posmi

Sistēmas apraksts. Pētījumu mērķa formulējums	Veic nozares speciālisti
Sistēmas analīze un vienkāršošana Matemātiskā modeļa sastādīšana	Veic nozares speciālisti un matemātiķi, nepieciešamības gadījumos konsultējoties ar citu nozaru speciālistiem. Dažos gadījumos jāizdara eksperimenti, lai iegūtu vajadzīgo papildinformāciju
Modeļa izpēte, tā atrisināšanas algoritma un attiecīgo matemātisko metožu izvēle. Analītiska vai skaitliska atrisinājuma iegūšana. Skaitliskais eksperiments	Šajos divos posmos galvenie izpildītāji ir matemātiķi
Rezultātu analīze un interpretācija modelī un sistēmā. Modeļa «labuma» novērtēšana	Veic nozares speciālisti un matemātiķi
Modeļa koriģēšana. Modeļa praktiskā ekspluatācija. Prognozes.	Veic nozares speciālisti

Skaitliskais eksperiments. Elektronisko skaitļotāju ieviešana ir palielinājusi vēl vienas izziņas metodes efektivitāti. Minēto metodi sauc par skaitlisko eksperimentu, kuru plaši lieto daudzos kvantitatīva rakstura pētījumos. Bieži vien matemātiskā modeļa vienādojumus nevar atrisināt analītiski vai nu tāpēc, ka šie analītiskie atrisinājumi un to iegūšanas metodika ir pārāk sarežģīti, vai arī tāpēc, ka

trūkst zināšanu par attiecīgo vienādojumu analītisku atrisinājumu. Šādās situācijās modeļa atbilstību oriģinālam kontrolē (noskaidro) skaitliski, sastādot atbilstošās tuvinātās atrisināšanas programmas un realizējot tās ar elektronisko skaitļotaju. Salīdzinot aprēķinu rezultātus ar skaitļiem, kas iegūti, novērojot oriģinālu vai izdarot ar to eksperimentus, var izdarīt secinājumus par modeļa atbilstību oriģinālam un rast ierosinājumu par iespējamiem modeļa uzlabošanas virzieniem. Tādā veidā modelis tiek pakāpeniski uzlabots un pilnveidots. Skaitlisko eksperimentu izmanto arī tad, ja modelēšana nav viennozīmīgi skaidra (trūkst informācijas vai teorētisko zināšanu). Šādos gadījumos, skaitliski pārbaudot vairākus hipotētiskus modeļus, no tiem izvēlas visatbilstošāko.

Matemātiskā modelēšana skolas matemātikas kursā. Pārskatot skolas matemātikas kursu, redzams, ka reālu parādību un procesu matemātiskie modeļi tajā aplūkoti samērā maz (protams, plašākā aspektā viss skolas kursā iekļautais materiāls, ir savdabīgs reālās īstenības modelis). Mācību grāmatās atrodami vairāki uzdevumi ar fizikālu saturu, taču to atrisināšanai modelis nav nepieciešams, jo jāveic ir tikai skaitliski aprēķini pēc gatavām formulām. Turpretī 9.—11. klases kursā ekonomiska satura uzdevumu ir pavisam maz, ja neskaita dažus triviālus aprēķinu uzdevumus. Tas liecina, ka matemātiskās modelēšanas metode šobrīd vēl netiek pieskaitīta pie matemātiskās apmācības pamatuzdevumiem.

Taču tas nenozīmē, ka skolas matemātikas kursā vispār nav aplūkotas problēmas, kas saistītas ar modelēšanas uzdevumiem un modelēšanas metodi. Būtībā katra teksta uzdevuma atrisināšana vienlaikus uzskatāma par matemātiskā modeļa sastādīšanu: sistēmas apraksts ir uzdevuma teksts, bet skolēna uzdevums ir sastādīt šai sistēmai matemātisko modeli, «atrisināt» to un izpētīt. Šajā nolūkā skolēniem jāapgūst modelēšanas metodes svarīgākās komponentes un zinātniskās domāšanas stils: 1) drīkst izmantot tikai to, kas ir zināms (dots, agrāk pierādīts, noskaidrots); 2) bez rūpīgas pārbaudes un pamatojuma nedrīkst izdarīt nekādus pieņēmumus par objektu īpašībām, lai arī cik neapšaubāmas un ticamas tās liktos; 3) uzdevuma risinājums jāiesāk ar precīzu dotā un zināmā uzskaiti un pakāpeniski jāpāriet uz visu uzdevuma nosacījumu iekļaušanu matemātiskajā modelī. Vēl jāpiebilst, ka kalkulatoru izmantošana ļauj skolā veikt arī skaitliskos eksperimentus un vairāk risināt praktiska satura

uzdevumus, kuru skaitļošanas apjoms ir samērā plašs. Tādējādi skolotājam ir visas iespējas apzināti uzsvērt matemātiskās modelēšanas aspektus matemātisko metožu sistēmā. Cerams, ka skolas matemātikas kurss tuvākajā desmitgadē tiks pakāpeniski vienkāršots un tajā vairāk tiks akcentēts tieši praktiskās izmantošanas aspekts.

Skolas fizikas kursā matemātiskās modelēšanas metode pielietota daudz saturīgak, jo fizikai raksturīga bagātīga reālo sistēmu bāze — fizikālās parādības un procesi. Tādējādi jau skolas matemātikas un fizikas kursu saturā ir ieprogrammēta «darba dalīšana» zinātniskās domāšanas veidošanā. Matemātikā skolēni iepazīstināmi ar matemātiskajām pamatstruktūrām un matemātiskās modelēšanas metodes elementiem, bet fizikā modelēšanas metode jāattīsta tālāk un jānostiprina. Tā ir galvenā starppriekšmetu saikne starp skolas fizikas un matemātikas kursiem, un šajā jomā ir iespējama skolotāju radoša sadarbība.

Noslēguma piezīmes par matemātikas priekšmetu. Par lietišķo matemātiku, matemātisko modelēšanu, par konkrētiem matemātiskajiem modeļiem un skaitlisko eksperimentu daudz vērtīgu atziņu lasītājs var gūt no šādām grāmatām (tās izmantojamas arī matemātikas pulciņu un skolēnu zinātniskās biedrības darbā, jo materiāla izklāsts tajās ir vienkāršs, aprakstošs).

1. *Моисеев Н. Н.* Математика ставит эксперимент. — М.: 1979. — 224 с.
2. *Тихонов А. Н., Костомаров Д. П.* Рассказы о прикладной математике. — М.: 1979. — 208 с.
3. *Бароян О. В.* Блики на портрете. — М.: 1980. — 160 с. (Эврика).

Pēdējā no minētajām grāmatām aizraujošā formā pastāstīts par gripas epidēmijas modeļa sastādīšanu, analizēta pārsteidzošā precizitāte, ar kādu pēc šī modeļa var prognozēt slimības izplatīšanos un tās norisi. Minēsim tikai vienu piemēru, kurā formulēts mediķu viedoklis par matemātiku un matemātisko modeli.

«... Matemātika ļauj cilvēkam aplūkot parādību kā vienu veselu, paskatīties uz to it kā no augšas. Atspoguļojot problēmu matemātiskajā modelī (lai cik arī sarežģīta šī problēma būtu), tā atbrīvojas no mazsvarīgo detaļu čaulas. Un caur detaļu sablīvējumu kā pēc burvju nūjiņas mājiena kļūst redzams galvenais, svarīgākais — problēmas būtība.» (Tulk. U. Grinfelds.)

Noslēguma akcentēsim galveno, kas skolēnam būtu jāņem līdzi no skolas matemātikas kursa savā pasaules uzskatā:

— tā ir pārliecība, ka, līdzīgi mākslai, arī matemātika ir viens no pasaules izzināšanas veidiem; ka matemātiskie «tēli» — matemātiskās struktūras, matemātiskie modeļi — specifiskā formā atspoguļo reālo īstenību, akcentējot lietu un parādību vai procesu mijiedarbību, kopsakaru un atkarību;
— tā ir matemātiskās domāšanas metode, kurai raksturīgi lietišķi, precīzi, loģiski nevainojami spriedumi, visu to faktoru punktuāla ievērošana, kas var ietekmēt aplūkojamo parādību;
— tā ir apzināti kritiska pieeja — neticēt šķietamajam, katru hipotēzi un pieņēmumu konsekventi un rūpīgi pārbaudīt;
— tā ir spēja novērtēt un priecāties par loģiska un ekonomiska sprieduma skaistumu, to īpatnējo eleganci, kas piemīt oriģinālam, precīzam un pabeigtam pētījumam vai risinājumam.

2.4. VISPĀRĪGAS PROBLĒMAS, KAS SAISTĪTAS AR FIZIKAS MĀCĪŠANU

Fizika ir eksperimentāla zinātne. Fizikas teorijas mūsdienās ir izteikti kvantitatīvas; dažkārt tās ir arī pat aksiomātiskas. Tas nozīmē, ka, pasniedzot fiziku skolā, rodas problēmas, kas līdzīgas tām problēmām, kuras ir saistītas ar matemātikas mācīšanu. Piemēram, tie ir jautājumi par eksperimentālā un teorētiskā materiāla attiecībām mācību grāmatās, par klasiskās un modernās fizikas izklāsta proporcijām, par to, kādai ir jābūt fizikas kursa struktūrai, mācību vielas optimālajam izkārtojumam u. tml.

Skolas fizikas kursa satura un metodikas problēmas šobrīd vēl nekādi nevar uzskatīt par atrisinātām. Par to liecina kaut vai tas, ka par fizikas pasniegšanas jautājumiem visu veidu skolās joprojām visā pasaulē notiek diskusijas fizikas didaktikas un metodikas jautājumiem veltītajos žurnālos. Savu akcentu visam uzliek arī mūsu gadsimta specifika — zinātne strauji kļūst par ražīgu spēku, par faktoru, kas nosaka gan tehnoloģiju, gan kultūru, paplašinās arī starpzinātņu saites. Fizikas mācību process ne vienmēr spēj šīm straujajām izmaiņām sekot.

Detalizētāk pakavēsimies tikai pie dažām šobrīd diskutējamām fizikas mācīšanas metodikas problēmām.

2.4.1. VĒSTURISKAIS PRINCIPS FIZIKAS MĀCĪŠANĀ

Runājot par vispārīgajiem fizikas mācīšanas principiem, pietiekami skaidri var ieskicēt tikai tos, kurus vairāk vai mazāk pārliecinoši ir apstiprinājusi prakse. Tad izrādās, ka viens no pamatotākajiem mācīšanas paņēmieniem ir atkārtot fizikas kā zinātnes vēsturisko attīstības gaitu. Tas attiecināms gan uz atsevišķām fizikas nozarēm, gan uz visu fizikas kursu kopumā.

Lai arī kā tiktu modernizēta fizikas mācīšana, priekšmeta metodikas vadlīnijas tomēr nosaka vēstures iezīmētā shēma. Šajā shēmā fizikas attīstības galvenie etapi ir šādi.

1. Empīrisko faktu uzkrāšana un sistematizācija.
2. Kvalitatīvu likumsakarību noskaidrošana.
3. Hipotēžu izvirzīšana un to pārbaudīšana.
4. Teorijas pamatprincipu un pamatmodeļu izstrādāšana. Teorijas lietojamības robežu noskaidrošana.
5. Teorijas aksiomātisko principu izstrādāšana. Teorijas iekļaušana vispārīgajā fizikālās pasaules ainā. Fizikas filozofiskie aspekti.

Nav grūti pārliecināties, ka mūsu valstī vispārizglītojošās skolas fizikas kurss un tā mācīšanas metodikas galvenie principi visumā atbilst šai shēmai, un var uzskatīt, ka fizikas mācīšanas mērķis ir sasniegts, ja skolēna pasaules uztverē vērojamas šīs shēmas trešā un ceturtā etapa iezīmes. Protams, ir iespējami dažādi izpratnes un zināšanu līmeņi, kurus nosaka mācību procesa mērķi un uzdevumi skolas kursā. Tā, piemēram, arī atsevišķs likums — Oma likums, kas «izstaigājis» apziņā šo ceļu, papildina skolēna pasaules uzskatu, iekļaujoties viņa priekšstatos par materiālo pasauli.

Vēsturiskās attīstības gaitā katra fizikālā teorija ir gājusi līkloču ceļus. Mācīšanas procesā parasti to it kā aizmirst. Piemēram, aizmirst, ka sen noskaidrotajā Oma likumā joprojām vēl ir apslēpti aspekti, kuri nav izzināti vai kuri konkrētā mācību procesa līmenī neizraisa interesi (zemas temperatūras, supravadītspējas stāvoklis, vielas ekstremālie stāvokļi fāzu pāreju tuvumā u. tml.).

Jebkura teorija attīstās, ievērojot pieredzi, jaunu eksperimentu rezultātus, kā arī pastāvīgi kritiski novērtējot jau izsenis zināmo. Priekšmeta mācīšanā tas rada problēmas. No vienas puses, jau izveidotie un nostabilizējušies metodikas principi paredz, lai, mācot fizikas teorētiskos pamatus, tie noteiktu laiku tiktu saglabāti nemainīgi, pēc iespējas tiktu vienkāršoti (bet ne vulgarizēti), atsijājot

visu to problemātisko, kas ved ārpus pastāvošās mācību programmas. No otras puses, šāda pieeja, mācot fiziku, nozīmē zinātnes pamatu «iesaldēšanu». Tā rezultātā pienācīgi netiek akcentēta materiālistiskā pasaules uzskata veidošanās dinamika. Tas, protams, nebūt neveicina skolēnu aktīvās domāšanas attīstību. Šī ar priekšmeta mācīšanas metodiku saistītā dialektiskā pretruna vienmēr jāpatur prātā.

2.4.2. 20. GADSIMTA PROBLEMĀTIKA FIZIKAS KURSĀ

20. gadsimta fizikas sasniegumu iekļaušana skolu mācību programmās ir īpaša problēma. Vēl joprojām nav izstrādāti veiksmīgi tās risinājumi, un pētījumi šajā jomā arvien turpinās. Taču skaidrs, ka, lai šo problēmu sekmīgi atrisinātu, vispirms ir jāatbild uz jautājumu, kādā apjomā un dziļumā modernās fizikas sasniegumiem jābūt atspoguļotiem fizikas pamatkursā. Pašlaik apmēram astoņdesmit līdz deviņdesmit procentus no vispārizglītojošās skolas fizikas kursa būtiskā satura aizņem 19. gs. fizika. Šie fizikas jautājumi tad arī ir tas pamats, uz kura balstās, veidojot skolēna materiālistisko pasaules uzskatu. Bora atoma modelis, atsevišķas fragmentāras ziņas par kvantu mehāniku, relatīvistisko fiziku vai elementārdaļiņām, mūsdienu elektroniku vai vielas uzbūves teorijām neko būtisku klasiskajā fizikas mācīšanas shēmā pagaidām nemaina. Tā galvenokārt ir tikai informācija, kuru skolēns tikpat labi varētu iegūt, skatoties televīzijas pārraides vai lasot populārzinātnisko literatūru. Iegaumējot šo 20. gs. fizikas sasniegumu fragmentus, skolēns nespēj izdarīt patstāvīgus secinājumus vai prognozēt fizikālo parādību norisi, kā, piemēram, viņš to var izdarīt uzdevumā par automobiļa kustību ceļa līkumā, atbildot uz jautājumu — kas notiktu, ja pēkšņi izzustu berze starp riteņiem un ceļu vai tml.

Taču vienlaikus neapšaubāms ir tas, ka aktīva mūsu sabiedrības locekļa materiālistiskajā pasaules uzskatā 20. gs. fizikas sasniegumiem nevar būt tikai fragmentāras un pasīvas informācijas loma. Nevar izprast materiālo pasauli un mūsdienu cilvēka visai komplicētās attiecības ar dabu un tehniku, nezinot, piemēram, ar enerģētiku, informāciju, ekoloģiju, kosmosu saistītās problēmas un to pašreizējos risinājumu virzienus. Taču tieši šīs problēmas visciešāk ir saistītas ar 20. gs. fiziku, un, kur gan citur, ja ne fizikas stundās, par tām būtu jārunā.

Neraugoties uz to, tomēr ir pamats domāt, ka attiecībā uz vidējo izglītību pašreiz ir jāuzskata par pareizu šāda pamattēze — jo labāk ir apgūta klasiskā fizika (mehānika, akustika, siltums, elektromagnētisms u. tml.), jo lielāks ir sagaidāmais mācību procesa kopīgais efekts, jo produktīvāka būs jaunā cilvēka summārā atdeve sabiedrībai pēc skolas beigšanas. Tādējādi vispārizglītojošās skolas fizikas kursa modernizāciju uz klasiskās fizikas rēķina nevar uzskatīt par pareizu. Protams, nav pieļaujama šīs tēzes absolutizēšana. Kvantu fizikas, tāpat kā vielas uzbūves teorijas elementiem ir jābūt fizikas mācību procesa svarīgai sastāvdaļai. Tātad, veidojot fizikālās pasaules modeli skolas kursā, akcenti liekami uz klasisko fiziku. Noturīgu un aktīvu priekšstatu veidošana par kvantu fizikas jautājumiem ir speciālās izglītības kompetence. Bez tam taču ir saprotams, ka radīt skaidrus priekšstatus par kvantu fiziku ir iespējams tikai tad, ja pietiekami dziļi apgūti klasiskās fizikas pamati.

2.4.3. FIZIKAS KĀ ZINĀTNES VALODA

Kaut arī uzskatām modernās fizikas konkrēto sasniegumu īpatsvara būtisku palielināšanu fizikas kursā par problemātisku, tomēr tūdaļ izvirzām obligātu nosacījumu — *mācīt klasisko fiziku 20. gs. fizikas valodā.* Mūsu gadsimts ir atstājis savu noteicošo ietekmi uz visām fizikas koncepcijām, arī uz tām, kuras tradīcijas dēļ turpinām saukt par klasiskām to senās izcelsmes dēļ, un, protams, arī uz fizikas kā eksaktas zinātnes valodu.

Kas ir raksturīgs šodienas fizikas valodai? Pirmkārt, tas, ka fizikas valoda ir kļuvusi izteikti racionāla. Par to nav grūti pārliecināties, salīdzinot kaut vai senāk un mūsdienās izdotu fizikas mācību grāmatu saturu. Būtībā, ja vien vēlas, šo valodu var pat formalizēt tāpat kā matemātikas valodu. Protams, mācot fizikas pamatkursu, nav vajadzības to darīt. Taču tādi matemātikas valodas termini kā *struktūra, modelis, lauks, kopa* un citi ir stabili iesakņojušies arī fizikas leksikonā, un tie jālieto. Otrkārt, daudzas dialektiskā materiālisma kategorijas ir arī fizikas pamatkategorijas. Par tām fizikas kursā ir jādod skaidrs priekšstats. Svarīgākās no šīm kategorijām, protams, ir *laika, telpas* un *matērijas* kategorijas. Treškārt, fizikai kā zinātnei ir raksturīgas specifiskas pamatatziņas, kas savas plašās lietošanas dēļ tagad jau tiek uzskatītas par fizikas valodas neatņemamām sastāvdaļām. Pirmajā

vietā te jāmin, bez šaubām, nezūdamības likumi, kas «reglamentē» matērijas kustību. Piemēram, *enerģijas, impulsa, impulsa momenta, elektriskā lādiņa nezūdamības likumi* pastāv bez izņēmuma visos kustības gadījumos. Šie nezūdamības likumi konkrētos piemēros jāinterpretē visās skolas fizikas kursa iedaļās.

Tikpat svarīgi ir aprakstoši noskaidrot pastāvošos *matērijas mijiedarbības veidus, superpozīcijas un tuvdarbības principus,* kas saistīti ar *fizikālā lauka jēdzienu.* Ne mazāk svarīga ir *fizikālo modeļu valoda* un *modeļu interpretācijas.* Tieši fizikālie modeļi veido reālās fizikālās pasaules attēlu visās (arī klasiskajās) teorijās.

Skolēnu materiālistiskais pasaules uzskats kā visu šo pamatkategoriju sistēma, mācot fiziku, jāveido induktīvi, sākot ar konkrētiem priekšmetiem un pakāpeniski veidojot abstraktus jēdzienus, kā arī iemācot to, ka fizika ir zinātne ne tikai par lietām un parādībām vien, bet tās galvenais uzdevums tomēr ir noskaidrot parādību kopsakaru un to attiecības.

2.5. FIZIKAS PRIEKŠMETS

2.5.1. KĀ DEFINĒT FIZIKU? PRIEKŠMETA MOTIVĀCIJA

Fizikas priekšmeta pasniegšanu var sākt tikai ar tā aprakstošu definīciju, jo jēdzienu «fizika» viennozīmīgi definēt nav iespējams.

Kā tad atbildēt uz šķietami elementāro jautājumu — kas ir fizika? Kā parasti šādos gadījumos, noskaidrosim, ko par fiziku domā paši fiziķi. Minēsim dažus piemērus, no kuriem noskaidrojas, ka vārdam «fizika» mūsdienu izpratnē pastāv dažādas vairāk vai mazāk atbilstošas interpretācijas.

«Fiziķis cenšas izprast visvienkāršākās sistēmas dabā. Tādas zinātnes kā ģeoloģija, meteoroloģija vai fizikālā okeanogrāfija tiecas vispārīgos vilcienos aprakstīt sarežģītu sistēmu izturēšanos. Turpretī fizika sākumā pēta pašu vienkāršāko, bet pēc iespējas pamatīgi . . .»[1]

«Mums nav stingras definīcijas, kas ir fizika, un mēs nevaram precīzi pateikt, kādi jautājumi ir attiecināmi uz

[1] *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. — М.: Мир, 1975, с. 624.

fiziku, bet kādi — ne... Viens no fizikas uzdevumiem ir apkārtējās pasaules «likumu» noskaidrošana.»[1]

«Tas, ko mēs saucam par fiziku, aptver tās dabaszinātnes, kuras veido savus jēdzienus, pamatojoties uz mērījumiem, turklāt fizikas priekšstatus un apgalvojumus var formulēt matemātiski... Vairums fizikālo pētījumu ir veltīti dažādu fizikas nozaru attīstībai, katras šīs nozares priekšmets ir lielāka vai mazāka skaita novērojumu teorētiskais vispārinājums, katrā no tām likumi un jēdzieni iespēju robežās saglabā savu ciešo saikni ar novērojumiem. Tieši šis zinātnes novads — fizika ar savu pastāvīgi pieaugošo specializāciju pēdējos gadsimtos ir revolucionarizējusi gandrīz visas cilvēka darbības jomas un beidzot radījusi iespēju atbrīvot viņu no smagā fiziskā darba važām.»[2]

Šie citāti, domājams, pietiekami dažādi raksturo fizikas priekšmetu. Katrs jauns fizikas kurss, katra jauna grāmata par fiziku atklāj arvien jaunas fizikai raksturīgas šķautnes. Un, tikai iedziļinoties fizikas kursa konkrētajā saturā, rodas iespēja precizēt fizikas kompetences robežas. Tātad ir iespējama tikai aprakstoša fizikas priekšmeta definīcija, turklāt jebkurā gadījumā tā nebūs izsmeloša.

Ja runājam par fizikas mācīšanas metodiku, tad jāuzsver, ka šajā aspektā pedagogam jārisina divi visai grūti uzdevumi.

1. Fizikas kursa (vai atsevišķas lielākas kursa daļas) sākumā, pamatojoties tikai uz skolēnu intuitīvajiem priekšstatiem, jānoskaidro, kas ir fizika (vai tās attiecīgā daļa), ar ko fizika nodarbojas un kādas metodes tā izmanto.

2. Visas fizikas stundas jāorganizē tā, lai kursa noslēgumā skolēnam būtu skaidrs un nesadrumstalots priekšstats par materiālās pasaules fizikālo ainu, par fizikas jēdzienu un metožu sistēmu, par fizikas vietu un nozīmi citu dabaszinātņu vidū un tās izmantošanu tehnikā.

Pirmā uzdevuma realizēšanā grūtības galvenokārt izraisa tas, ka ievadstundās skolotājs var izmantot tikai savu audzēkņu visai nelielo pieredzi, kas iegūta apkārtējās pasaules vērojumos ikdienā. Faktiski šeit jārisina dilemma, ar kuru sastopas visi pedagogi (parasti gan darba sākumā), — tiek uzskatīts par tradicionāli vispārpieņemtu samērā sīki paskaidrot, ko mācīs un kāpēc šo

---

[1] *Орир Дж.* Популярная физика. — М.: Мир, 1969, с. 558.

[2] *Эйнштейн А.* Рассуждения об основах теоретической физики. Собрание научных трудов. Т. 4. — М.: Наука, 1967, с. 229—238.

priekšmetu mācīs, taču skolēnu priekšzināšanas ir minimālas un viņi nav spējīgi mēķtiecīgi uztvert un analizēt pedagoga skaidrojumu. Tāpēc ļoti bieži skolotāja stāstījums par zinātnes priekšmetu, tā metodēm un nozīmi neatrod dzirdīgas ausis un tiek uztverts kā vispārīga un bezsaturīga «parunāšana», laika veltīga izšķiešana.

Pedagoģijā tad mēdz sacīt, ka priekšmeta motivācija nav pietiekama. Vienīgā metodiska rakstura rekomendācija te varētu būt šāda: fizikas priekšmets ir jādemonstrē piemēros un jo daudzveidīgāks būs šo piemēru — parādību un faktu klāsts, kurā katra atsevišķa situācija izvirza jautājumu «kāpēc?», jo, iespējams, noturīgāku zinātkāri tas izraisīs klausītājos. Tādējādi tiks radīti priekšnoteikumi fizikas kā zināšanu sistēmas mācīšanai.

Tālāk pedagoga darbībai izvirzās otrs uzdevums, par ko jau runājām.

Šajā grāmatā neanalizēsim konkrētus metodiskus paņēmienus, kā mācīt konkrētu fizikas kursa programmā paredzēto mācību vielu. Šie jautājumi iztirzāti speciālās metodikas mācību grāmatās. Paturot redzes lokā tikai galveno uzdevumu — veidot skolēnu materiālistisko pasaules uzskatu, turpmāk ieskicēsim dažas, pēc autoru domām, lietderīgas metodiska rakstura atziņas, kuras tajā vai citā variantā pedagogam var būt vadmotīvs šī uzdevuma realizēšanā. Šīm atziņām kopīgs ir tas, ka fizikas kā zinātnes saturu tās analizē šādu divu attiecību aspektā: fizika → tās pētījumu objekti un fizika → tās darba metodes.

2.5.2. FIZIKĀLO PĒTIJUMU OBJEKTI

Ar vārdu «objekts» ikdienā parasti saprotam priekšmetu, ķermeņi, vielu. Fizikā šī jēdziena saturs būtiski paplašinās. Pirmkārt, jau tādēļ, ka materiālajā pasaulē, kuras likumsakarības šī zinātne pēta, pastāv ne tikai vielas to neierobežotajā dažādībā, bet arī lauki, kurus mūsu maņu orgāni visbiežāk tieši neuztver, bet kuri sevi netieši izpauž ik uz soļa, piemēram, kā smaguma spēks, radioviļņi u. tml. Otrkārt, fiziķi vienmēr ir pētījuši ne tikai ķermeņus, vielas un to uzbūvi, bet arī kustību, pie tam visdažādākajās tās izpausmes formās, piemēram, ķermeņu pārvietošanos, siltumu, dažādu reakciju norises u. c. Kustība — tas nozīmē procesu, attīstību, mijiedarbību.

Dialektiskā materiālisma filozofijā matērija un kustība nav aplūkojamas izolēti. Tādēļ arī fizikā kā zinātnē un jo vairāk, fiziku mācot, matērija un kustība jāakcentē

vienlīdz nozīmīgi. Līdzīgi kā matemātika pēta matemātiskās struktūras, fizika pēta fizikālās struktūras, ietverot šajā vispārinātajā jēdzienā fizikālo objektu un tā kustību. Fizikālā pasaules aina tad ir priekšstats par *fizikālajām struktūrām* to kopsakarībā zinātnes attīstības mūsdienu līmenī.

Nav iespējams uzskaitīt visas fizikālās struktūras, kas šodien ir fizikas pētījumu lokā, jo vairāk tādēļ, ka robežas starp tām atšķirībā no matemātiskajām struktūrām nav stingri definējamas. Atzīmēsim tikai dažus piemērus, ar kuriem jāsastopas arī fizikas mācīšanā skolas fizikas un astronomijas kursos.

1. Debess ķermeņi. Visums. Galaktikas. Saule. Planētas. Debess ķermeņu kustība un evolūcija. Gravitācijas mijiedarbība.

2. Zemes atmosfēra, jūru un okeānu straumes. Zemes dziļu aktivitāte. Klimats uz Zemes. Cilvēka darbība un apkārtējās vides aizsardzība.

3. Enerģijas avoti uz Zemes. Enerģijas iegūšana, pārvēršana un pārvadīšana.

4. Vielas. Vielu stāvokļi, vielu pārvērtības, materiāli.

5. Ķīmisko elementu atomi, atomu kodoli. Kodolenerģija. Elementārdaļiņas.

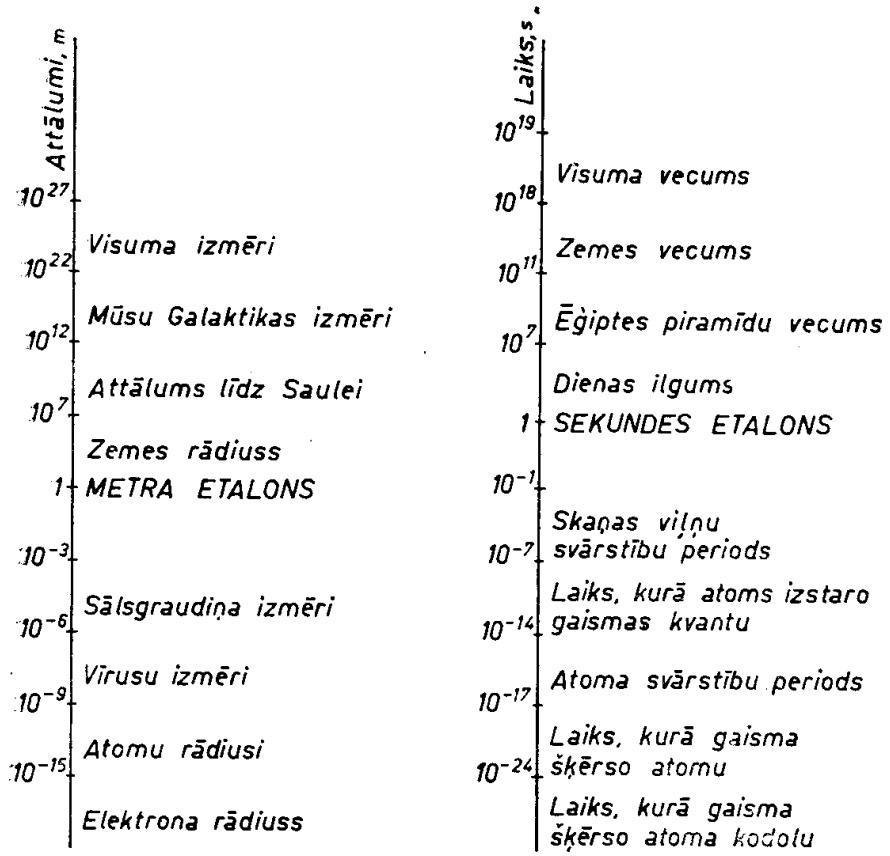
6. Siltums. Siltuma starojums. Siltuma dzinēji.

7. Elektromagnētiskais lauks. Gaisma. Radioviļņi. Informācijas pārraidīšana. Lāzeri. Fotogrāfija. Holografija.

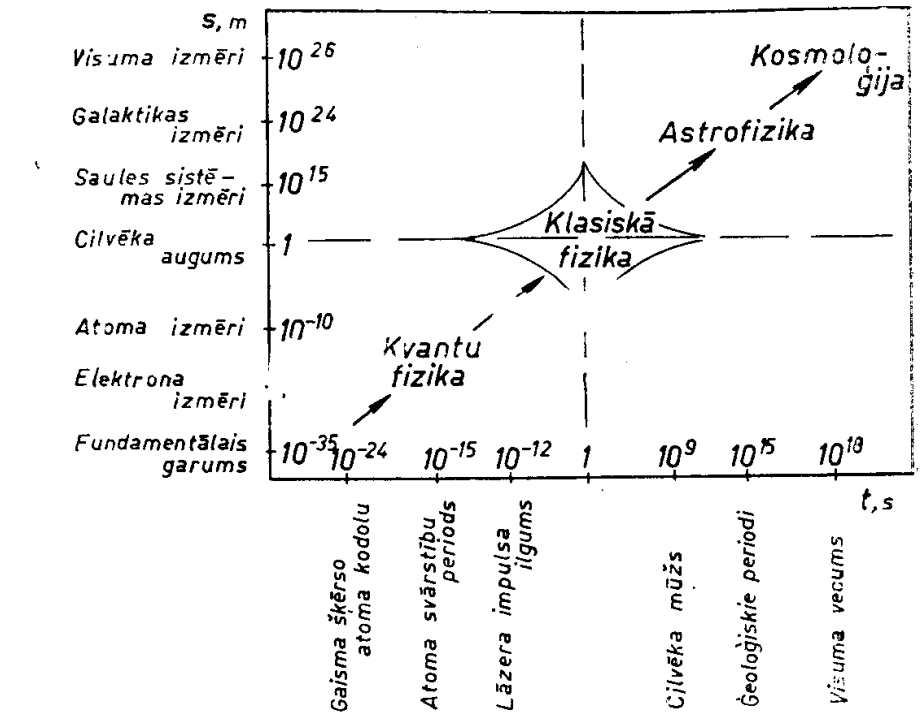
Kā redzams no šī visai nepilnīgā fizikālo struktūru uzskaitījuma, gandrīz katru no minēto vispārīgo struktūru fragmentiem var sastapt skolas fizikas un arī pat citu mācību priekšmetu skolas kursā. Taču šie fragmenti ir izvietoti dažādās iedaļās, bieži vien pat ir loģiski nesaistīti savā starpā. Lielā mērā šādu situāciju noteicis skolas fizikas kursa tradicionālais iedalījums, kas veidojies vēsturiski, un tradicionālā mācīšanas metodika. Taču tas nebūt neveicina vienotas fizikālās pasaules ainas veidošanos skolēnu priekšstatos. To pedagogam vajadzētu ņemt vērā un, fiziku mācot, izmantot katru iespēju sistemātiski atgriezties pie «izņemtās vielas», veidojot skolēna pasaules uzskatā pašu būtiskāko — lietu un parādību vispārējā sakara izpratni. Šajā nolūkā ieteicams izmantot arī netradicionālus kursa atkārtošanas paņēmienus, kā, piemēram, dažādus fizikālo objektu, kustību klasificēšanas variantus, kas dod iespēju salīdzināt, vērtēt un ieraudzīt labi pazīstamas lietas un parādības citā rakursā.

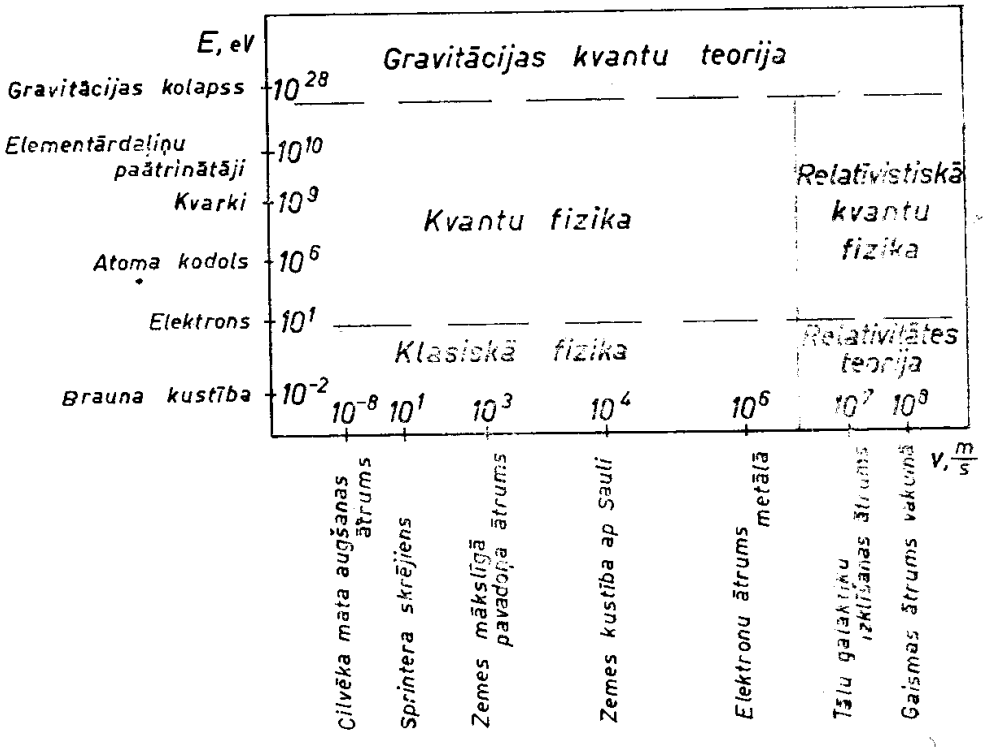
2.5.3 FIZIKĀLO OBJEKTU KLASIFIKĀCIJA

Klasifikācija ir jebkuras zinātnes attīstības pirmais posms. Klasificēšanas paņēmiens ir atzīstams arī mācīšanas metodikā. Pastāv dažādas iespējas, kā klasificēt materiālās pasaules objektus, un jebkura no šīm iespējām palīdz noskaidrot fizikas darbības areālu un līdz ar to orientēties pētāmajās struktūrās. Pirmajā vietā, bez šaubām, ir fizikālo objektu klasifikācija telpas un laika skalās. Un, lai gan telpas un laika kategoriju abstraktais saturs, kā arī šo kategoriju lietošanas īpatnības fizikā mācīšanas procesā atklājas daudz vēlāk, katram no mums ir savs intuitīvs priekšstats par to, kas ir telpa un laiks, un tas dažādu fizikālu objektu klasifikācijai ir pilnīgi pietiekami. Ilustrācijai kā piemēru izmantosim divas šādas orientējošas klasifikācijas skalas no Dž. B. Meriona grāmatas «Физика и физический мир».[1]



[1] *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. — М.: Мир, 1975, с. 550.





2. att. Fizikas darbības areāls.

Jāuzsver, ka fizikas interešu lokā ir viss novērojumiem pieejamais telpas un laika skalu intervāls. Šobrīd nav nevienas citas eksaktās zinātnes kā vien fizika, kura spētu aptvert objektus tik plašā lineāro izmēru diapazonā, kuri atšķiras par 43 lieluma kārtām (!), un notikumus, kuru laika intervālu kārtas atšķiras tikpat reižu.

Telpas mērogu skalas raksturīgākais robežkritērijs, kas nosacīti šķir mikropasauli ar tās struktūrām no tā, ko parasti attiecinām uz makropasauli, ir atoma lineārie izmēri — apmēram 10^{-10} m. Tā arī ir skolas fizikas kursa satura robeža. Samērā plašs ir tas attālumu intervāls, kuru varam uzskatīt par pieejamu cilvēka tiešajai pieredzei, lai mācīšanas procesā izmantotu uzskatāmības principu: mēs izšķiram apmēram 10^{-5} m lielus attālumus, kas atbilst normālas acs izšķiršanas spējai, līdz pat kosmiskajiem attālumiem, kuros vēl var ieraudzīt 16. lieluma zvaigznes.

Laika uztveri tāpat ierobežo tie laika intervāli, kuros cilvēks spēj uztvert atšķirīgus notikumus (no sekundes daļām un, ja ievērojam cilvēka vēsturisko un antropoloģisko pieredzi, līdz dažiem miljoniem gadu). Fizika tajā pašā laikā aptver daudz plašāku laika intervālu, kas pieejams fizikālām mēriekārtām vai atbilst reāliem procesiem mikropasaulē. Saskaroties ar fiziku pirmo reizi, neaptverami šķiet tādi piemēri kā Visuma vecums (10^{10} gadi) vai laiks, kurā gaisma šķērso ūdeņraža atoma kodolu (10^{-24} s) u. tml.

Līdzīga fizikālo pētījumu objektu sakārtošana ir iespējama arī citās raksturīgās fizikālo lielumu skalās, piemēram, ātrumu skalā $\left(\text{ātrumu intervāls no } v=0 \text{ līdz } v=c=3\cdot 10^{8}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$; nosacītu enerģiju vai masu skalā (enerģiju intervāls no supernovas uzliesmojuma enerģijas — 10^{41} J līdz ķīmiskās saites enerģijai molekulā — 10^{-19} J) u. tml. Izvēloties šīs skalas par koordinātu asīm un iztēlē veidojot nosacītu telpu, fizikas darbības areāls kļūst pārskatāmāks (2. att.).

2.5.4. FIZIKĀLO PĒTĪJUMU LĪDZEKĻI UN METODES

Etaloni. Pasauli mēs izzinām tieši vai netieši, salīdzinot zināmo ar nezināmo. Jebkurš novērojums vai eksperiments būtībā ir salīdzināšana. Lai salīdzināšana būtu

iespējama, fizika izmanto *etalonus*. Ar etaloniem iepazīstamies jau pašos pirmajos fizikas laboratorijas vai praktikuma darbos. Taču bieži vien vēlāk, mācot fizikālās teorijas, etalonu principiālo nozīmi aizmirst uzsvērt.

Svarīgākie etaloni ir garuma etalons attālumu mērīšanai, hronometri laika mērīšanai, masas, sprieguma, strāvas stipruma, temperatūras un citu fizikālo lielumu etaloni. Etalonu var izraudzīties patvaļīgi, jo to lieto par vienību dotajā vienību sistēmā. Etalons ir nemainīgs un reāls, to var izgatavot ar noteiktu precizitāti un pēc vajadzības var veikt ar to atkārtotus mērījumus.

Matemātiskais aparāts. Jebkura mērījuma rezultātā iegūst *fizikālo lielumu skaitliskās vērtības*. Tad veido fizikas jēdzienus, kas ir fizikas valodas pamatelementi jeb vārdu krājums, kuru lietojot fiziķis apraksta objektīvi eksistējošo apkārtējo pasauli (ķermenim ir tilpums, vielai — blīvums, laukam — intensitāte, elektronam — lādiņš, gaismai — spiediens, skaņai — tonis u. tml.). Fizikālo jēdzienu kopums pats par sevi vēl neveido fizikālo pasaules ainu. Fizikas valodas struktūrā noteicošā loma — frāzes loma ir fizikālajām likumsakarībām. Šīs valodas frāzes ir raksturīgas tikai fizikai, un tās ir jāiegaumē — jāiemācās. Taču visu dabaszinātņu valodu vienojošais elements — bāze ir matemātiskās struktūras (sk. 21. lpp.) vai, kā mēdz sacīt, *matemātiskais aparāts*. Bez šī aparāta un atbilstošām iemaņām to pareizi lietot kvantitatīvo zinātņu izpratne nav domājama.

Matemātiskajām struktūrām fizikā ir tikai apkalpojošas funkcijas. Izmantojot matemātiskās struktūras, tiek veidots pētāmās parādības vai procesa modelis.

Pētījumu metodes. Jebkurš fizikāls pētījums, arī tas, kas tiek veikts fizikas stundā, sākas ar novērojumu, reālu eksperimentu vai domu eksperimentu, tā rezultātu analīzi.

Jau minēts, ka novērot nozīmē salīdzināt. Eksperiments ir mērķtiecīgs novērojums, kurā veido situācijas, lai šī salīdzināšana kļūtu iespējama. Atbilde uz jebkuru jautājumu «kāpēc», kurš rodas salīdzināšanas rezultātā, ir jāiegūst, mainot un modificējot salīdzināšanas situācijas. Katram eksperimentam jābūt atkārtojamam, jo nepieciešami «droši» (invarianta nozīmē) salīdzināšanas rezultāti. Salīdzināšana dod atbildi uz jautājumiem «lielāks vai mazāks?», «vienāds?» un savā augstākajā līmenī noslēdzas ar atbildi uz jautājumu «cik?».

Kad salīdzināšana ir veikta, sākas fizikāla jēdziena veidošana. Pēc būtības jēdzienus definē ar eksperimentālu algoritmu, kuru lietojot iegūst jēdzienam atbilstošā fizi-

kālā lielāma skaitliskās vērtības. Jēdzienu saistīšana likumsakarībās un pētīšana notiek fizikālajā modelī (sk. 59. lpp.). Modeļu analīzē jau vajadzīgas adekvāta matemātiska aparāta lietošanas iemaņas. Pie tam jāuzsver, ka fizika nerada «savu» īpašu matemātiku. Matemātikā pazīstamās struktūras vai nu ir lietojamas, vai arī nav lietojamas dotajā situācijā. Kā radīt modeli? Vadmotīvs te ir hipotēze.

Hipotēzes. Hipotēze fizikā ir darbības pieņēmums šī vārda šaurākajā nozīmē. Pedagogs izvirza fizikālas hipotēzes katrā fizikas stundā. Hipotēzes izvirzīšana stundā — tā ir problēmsituācijas radīšana. Aktīva fizikas un arī jebkuras citas dabaszinātnes apgūšana un mācīšanās vispār ir nemitīgs hipotēžu izvirzīšanas un to pierādīšanas vai noliegšanas process, un zinātniskais pasaules uzskats, tā veidošana nav domājama bez šī darba ar hipotēzēm.

Hipotēzes kā zinātniski pieņēmumi, kurus «konfrontē» ar pastāvošajām teorijām un pārbauda praksē, var arī nekļūt par zinātniskām teorijām. Tāda, piemēram, izrādījās hipotēze par pasaules ēteru, kura tika noraidīta, jo tā nerada eksperimentālu apstiprinājumu. Turpretī Planka hipotēze par akcijas kvantu un Einšteina pieņēmums par enerģijas kvantu fizikas vēsturē ir pazīstamas kā revolucionāras hipotēzes, kas noveda pie pastāvošo tradīciju un uzskatu būtiskas pārvērtēšanas. Hipotēzes par gravitoniem, gravitācijas viļņiem vai par iespēju apvienot visas dabā pastāvošās mijiedarbības vienā aptverošā mijiedarbībā ir hipotēzes, kas nodarbina fiziķu prātus šodien.

Hipotēzēm ir stimula nozīme pasaules fizikālās ainas izzināšanā. Zinātne bez hipotēzēm nav dialektiska zinātne. Tikai šauram empīrismam vai ortodoksālām kvazizinātniskām konstrukcijām nav vajadzīgas hipotēzes.

Pastāv kritēriji, kurus lietojot var atšķirt ticamas hipotēzes no neticamām, zinātniskas hipotēzes no nezinātniskām. Protams, ir grūti nospraust precīzas robežas, taču fizikālās pasaules ainā arī hipotēzei ir jābūt maksimāli saskaņotai ar pastāvošo, pārbaudīto faktu kopu, tā nedrīkst izjaukt atbilstību un noraidīt to, ko jau apstiprinājusi prakse. Jauna hipotēze gan var dot šīs prakses apstiprināto faktu citu interpretāciju. Zinātniskai hipotēzei ir jāparedz arī principiāla metode, kā šo hipotēzi varētu pārbaudīt. Šo pārbaudi var ierobežot tikai laiks vai arī pašreizējais eksperimentālo iespēju līmenis. Kad hipotēze ir pierādīta, tā kļūst par pamatu fizikālai teorijai.

Teorija. Fizikālas teorijas pamatā ir tie fizikālie modeļi, kuru ietvaros tiek sakārtoti un izskaidroti gūtie fakti. Fizikālai teorijai ir ne tikai jāizskaidro esošais faktu materiāls, tai jāprognozē arī tas, kādi varētu būt jebkura jauna eksperimenta rezultāti un to norise konkrētos apstākļos. Katra fizikāla teorija ir ierobežota kaut vai tajā nozīmē, ka tās pareizību nevar pierādīt absolūti — no tā, ka teorija izskaidro jebkurus jau esošos novērojumus, nebūt neizriet, ka arī jauns novērojums vai eksperiments tajā iekļausies. Turpretī teoriju noliegt var viens pats izšķirošs eksperiments. Tad vajadzīga jauna hipotēze, kas maina teorijas pamatpieņēmumus un pamatmodeļus.

Laba fizikāla teorija pamatojas uz nedaudziem vispārīgiem pieņēmumiem un modeļiem. Tā, piemēram, klasiskā elektronu teorija, kurai ir plašas skaidrojošās funkcijas skolas kursā, būtībā pamatojas tikai uz pieņēmumu, ka eksistē elektriskie lādiņi, kas kustas vakuumā, un ka lādiņu kustība ir pakļauta Ņūtona dinamikas likumiem. Labai fizikālai teorijai vienmēr jābūt «organizētai» tā, lai, nemainot tās galvenos principus, pastāvētu teorijas pilnveidošanas iespējas. Iepriekšminētajā piemērā nomainot klasiskās mehānikas kustības likumus ar kvantu mehānikas kustības likumiem, rodas iespēja būtiski paplašināt elektronu teorijas lietojamības apgabalu.

Teorijai ir jābūt arī precīzai, t. i., saskaņā ar to iegūtajām fizikālo lielumu skaitliskajām vērtībām jāatbilst mūsdienu eksperimentu tehnikai pieejamajam mērījumu diapazonam.

Laba teorija, — un tas ir svarīgi tieši mācību procesā —, pieļauj daudzas alternatīvas izskaidrošanas metodes — tā ir uzskatāma, bagāta ar dažādiem viena un tā paša modeļa variantiem un tajā pašā laikā tā ir viennozīmīga. Katra fizikālā teorija bez tam vēl apmierina dažus heiristiskos principus, kas norāda tās īsto vietu un lietojamības apgabalu visu citu fizikālo teoriju kopā. Vienu no šiem būtiskajiem principiem tagad pieņemts saukt par Bora atbilstības principu, kuru šajā gadījumā var saprast pat burtiski. Katrai «jaunai» teorijai nav jānoliedz «vecā» teorija, bet tajā jāiekļaujas, to vispārinot. Arī mācību procesā šis atbilstības princips būtu jāievēro, veidojot vienotu un nepretrunīgu priekšstatu par materiālo pasauli.

2.5.5. TELPA UN LAIKS FIZIKĀ

Intuitīvie priekšstati. Tagad aplūkosim fizikālos priekšstatus par telpu un laiku, tām kategorijām, kuras lieto, formulējot materiālistiskā pasaules uzskata pamatatziņas

par kustību, jo kustība, kā zināms, notiek telpā un to aplūko laikā. Jautājumiem par telpas un laika jēdzienu fizikālo un filozofisko izpratni, saturu, attīstību ir veltītas daudzas grāmatas. Šajā darbā akcentēsim tikai to, kam, pēc autoru domām, jāpievērš uzmanība vispārizglītojošās skolas fizikas kursā.

Viens no telpas un laika mūsdienu fizikālās teorijas pamatlicējiem, poļu fiziķis Hermans Minkovskis ir teicis, ka neviens vēl nekad nav ieraudzījis vietu telpā savādāk kā noteiktā laikā un laiku citādi kā noteiktā vietā. Šajā gandrīz vai par aforismu kļuvušajā domā uzsvērts būtiskākais — šo abu jēdzienu ciešā saistība un empīriskā izcelšanās.

Mācot klasisko mehāniku, par telpu un laiku īpaši tikpat kā nerunā un šo jēdzienu saturu neanalizē. Vieta telpā un kustība laikā tiek izteikta ar kinemātikas vienādojumiem, pašu jēdzienu skaidrojumu atstājot otrajā plānā. Gan skolotājs, kas māca, gan skolēns, kas mācās, «iztiek» ar tiem intuitīvajiem priekšstatiem par laiku un telpu, kurus sniedz cilvēka ikdienas pieredze un praktiskā darbība reālajā telpā un laikā.

Intuitīvais priekšstats par laiku un telpu ir pilnīgi pietiekams, ja aprobežojamies ar priekšmetu un parādību pētīšanu cilvēka tiešo novērojumu zonā. Ļoti mazi un ļoti lieli attālumi vai laika intervāli, relatīvistiski un kosmoloģiski procesi tiešam novērojumam nav pieejami. Taču, līdzko sākam šīs problēmas aplūkot fizikas kursā, vairs nevaram pamatoties tikai uz intuitīvajiem priekšstatiem par telpu un laiku, un tāpēc, veidojot materiālistisko pasaules uzskatu, šo divu pamatkategoriju būtības analizēšana vismaz praktisku piemēru līmenī kļūst absolūti nepieciešama. Aplūkosim šo jautājumu detalizētāk.

Empīriskais priekšstats par telpu. Telpas un laika jēdzienu saturu nevar paskaidrot ar definīciju, jo tās ir pamatkategorijas, kuru pakārtošana jau zināmajam vairs nav iespējama. Tas nozīmē, ka nepieciešams eksperiments. Priekšstatu par fizikālo telpu veido, izmantojot garuma etalonu un reglamentējot rīcību ar to. Telpas jēdziena saturā ietilpst tikai «tas», ko var izmērīt un eksperimentāli pārbaudīt.

Galvenajās līnijās ieskicēsim tos spriedumus un domu eksperimentus, pamatojoties uz kuriem veidojas priekšstats par fizikālo telpu mehānikā, kā arī to pakāpenisko abstrakciju virkni, kas gala rezultātā noskaidro abstraktā jēdziena «telpa» saturu.

Primārais novērojums dabā un arī fizikā ir apkārtējās pasaules objektu, piemēram, cietu ķermeņu savstarpējā

novietojuma noteikšana. Šāds novērojums būtībā ir relatīvs, jo dabu izzina, tikai salīdzinot. Brīvi izraudzīts atskaites ķermenis ļauj «atzīmēt» citu ķermeņu novietojumu attiecībā pret atskaites punktu.

Jāuzsver, ka atskaites sākumpunkts ir kāda ķermeņa materiāls punkts. Fotons, piemēram, nav materiāls punkts. Tādēļ gaismas kvants nevar būt atskaites ķermenis. Kustību attiecībā pret fotonu fizikā neaplūko. Lai varētu izdarīt novērojumus, otrs obligāts priekšnoteikums ir garuma etalona nepieciešamība. Atskaites punkts un garuma etalons kopā veido atskaites sistēmu telpā. Cilvēka praktiskās darbības gadsimtiem ilgā pieredze liecina, ka viennozīmīgai materiāla punkta stāvokļa noteikšanai ir nepieciešami trīs neatkarīgi mērījumi, trīs eksperimentā iegūti reāli skaitļi, kurus sauc par punkta koordinātām. Tā kā punkta koordinātas viennozīmīgi nosaka tā stāvokli, tad trīs skaitļi (x, y, z) ir telpas elements. Visu iespējamo koordinātu trijnieku (x, y, z) kopa veido to, ko sauc par fizikālo telpu. Attēlojot koordinātas uz skaitļu taisnēm, veido abstrakto koordinātu sistēmas jēdzienu. Līdz ar to mūsu rīcībā jau ir adekvāts fizikālās telpas matemātiskais modelis — telpa R^3. Tad saka, ka mūsu reālā telpa, kurā norisinās visas fizikālās parādības, ir trīsdimensiju telpa.

Kā redzams, fizikālās telpas visas galvenās īpašības ir secināmas no eksperimenta. Arī tas, ka fizikālās telpas punktu koordinātas un darbības ar tām pakļaujas Eiklīda ģeometrijas sakarībām, ir primārs empīrisks fakts. Matemātiskais modelis — Eiklīda trīsdimensiju telpas ģeometrija — ir adekvāts fizikālajai pasaulei. Par to pārliecināmies tālākajos novērojumos.

Telpa un relatīvistiskā fizika. Vēlreiz jāuzsver, ka fizikālais priekšstats par telpu ir veidojies kā klasiskās mehānikas koncepcija, un kā tādu to šobrīd arī lieto. Materiālais atskaites punkts un etaloni, kurus uzskata par absolūti cietiem, nedeformējamiem ķermeņiem, veido telpas bāzi — koordinātu sistēmu un taisnleņķa koordinātu tīklu.

Klasiskais priekšstats par telpu nemainās arī relatīvistiskajā un kvantu fizikā. Tāpēc dažkārt dzirdētais apgalvojums, ka Einšteina relativitātes teorija būtiski izmaina šo priekšstatu, nav īsti korekts. Relativitātes teorija nenoliedz klasiskos empīriskos priekšstatus par telpu un laiku. Gluži otrādi, šī teorija tos konsekventi ievēro un atbilstoši relativitātes un tuvdarbības principiem tā tikai viennozīmīgi saskaņo attālumu un laika intervālu mērīšanas rezultātus dažādās atskaites sistēmās, ja tās

kustas viena attiecībā pret otru. Proti, ja divu inerciālu atskaites sistēmu relatīvās kustības ātrums v ir salīdzināms ar informācijas pārraides signāla — elektromagnētiska viļņa galīgo ātrumu c, jo signāla nosebošanās par tā pārraides laiku ir obligāti jāievēro. Tikai pēc signāla saņemšanas mērīšanas vietā rezultātu salīdzināšana kļūst par noverojamu faktu — notikumu. Tā rodas labi pazīstamie relatīvistiskie efekti, kas saistīti ar garumu un laika intervālu salīdzināšanu dažādās inerciālās atskaites sistēmās. Ja atskaites sistēmu relatīvais ātrums ir mazs ($v \ll c$), tad informācijas apmaiņa starp tuvām atskaites sistēmām notiek praktiski momentāni un tādēļ tās var uzskatīt par gandrīz nekustīgām. Tas piešķir attālumu un laika intervālu salīdzināšanai zināmu absolūtismu, kas raksturīgs Ņūtona mehānikai, lai gan kinemātiskie efekti būtībā eksistē vienmēr. Domājams, ka telpas klasisko un relatīvistisko «attiecību» noskaidrošana šādā principiālā līmenī ir pilnīgi pietiekama vidusskolas fizikas kursā, un kvantitatīvo sakarību apgūšana nav nepieciešama.

Telpa un kvantu fizika. Kvantu fizikā pats būtiskākais, ar fizikālo telpu saistītais empīriskais fenomens acīmredzot ir tas, ka elementārobjektiem vai to sistēmām nav iespējams noteikt viennozīmīgus ģeometriskos parametrus (izmērus, formu u. c.). Tas ir viens no iemesliem, kāpēc praktiski visu kvantu fiziku vidusskolas kursā pārstāv tikai «pusklasiskais» un absolūti determinētais, bet tagad jau fizikas vēsturei piederošais Bora atoma modelis. Protams, korpuskulu-viļņu duālisma dziļāko cēloņu atklāšana nav vidusskolas fizikas kursa uzdevums. Tomēr viens no šīs problēmas tīri empīriskajiem aspektiem ir uzskatāmi izklāstāms arī klasiskajos telpas jēdziena priekšstatos. Paskaidrosim to ar šādu piemēru.

Izmērīt elementārdaļiņas rādiusu jeb «ieraudzīt» elektrona orbītu Bora atomā nozīmētu veikt kādu konkrētu eksperimentu. Taču garuma etaions ir makroskopiska ierīce un mērīšana vienmēr ir saistīta ar ierīces un objekta savstarpēju mijiedarbību. Mērīšanas rezultāts ir viennozīmīgs tikai tad, ja šo mijiedarbību var precīzi kontrolēt, vai arī tad, ja kļūdas robežās ir iespējams uzskatīt, ka objekta—ierīces mijiedarbība būtiski neizmaina objekta stāvokli. Mikropasaulē neviens no šiem nosacījumiem nav spēkā un tādēļ arī elektrona trajektorijas parametrus atomā nav iespējams noteikt. Jēdziens par elektrona vietu telpā, norādot, piemēram, elektrona smaguma centru vai šī punkta kustības trajektoriju, zaudē savu primāro ģeometrisko jēgu. Protams, šāds secinājums nebūt

neapšauba daļiņas — elektrona eksistenci, jo ir citi eksperimenti, kas to apstiprina. Šajā gadījumā tas nozīmē tikai to, ka priekšstats par trajektoriju neatbilst fizikālajai situācijai — elektrona kustībai atomā.

Absolūtais laiks. Pieredze rāda, ka laika izjūta mums rodas tad, ja pastāv iespēja salīdzināt dažādu norišu un procesu ritējumus. Laika «glabātājs» ir hronometrs — etalons. Hronometra gaita ir reāls fizikāls process, kuru izvēlas citu procesu savstarpējai salīdzināšanai. Fizikālajos pētījumos un, protams, arī ikdienas dzīvē, kad jāsalīdzina daudzu un dažādu norišu ritējumi dažādās vietās telpā, pati galvenā prasība, kas jāievēro, lietojot hronometrus, ir to sinhronizēšana — hronometru gaitas saskaņošana. Pieņēmums, ka hronometrus var sinhronizēt neatkarīgi no to savstarpējā novietojuma un kustības, ir pieņēmums par absolūto laiku. Tas nozīmē, ka visiem un visās vietās telpā laiks rit vienādi. Šis, būtībā patvaļīgais pieņēmums ir Ņūtona mehānikas aksioma, kura saskan ar novērojumiem, ja hronometru savstarpējās kustības ātrums ir ievērojami mazāks par to sinhronizēšanai izmantotā gaismas signāla izplatīšanās ātrumu.

Laika relativitāte. Divu savstarpēji nekustīgu hronometru sinhronizēšana nerada grūtības. To vienmēr darām arī ikdienā. Tādēļ priekšstats par absolūto laiku ir ērta, cilvēka praktiskajai darbībai atbilstoša aksioma. Taču, ja mēģina sinhronizēt divus hronometrus, kuru savstarpējās kustības ātrums ir liels, tad pēc kāda laika sprīža tie vairs neiet sinhroni. Tas nozīmē, ka abu hronometru reģistrētie laika intervāli starp vieniem un tiem pašiem diviem objektīviem notikumiem nav vienādi. Laiks ir relatīvs, un laika sprīdis starp notikumiem tos neraksturo invarianti neatkarīgi no atskaites sistēmas izvēles. Atteikties no tā, ka laiks ir absolūts, «veselajam saprātam» ir visgrūtāk, jo nepieciešams zināms abstraktās domāšanas treniņš, lai to varētu izdarīt. Vēl jāievēro arī tas, ka laika relativitāti nevar viegli pārbaudīt tiešā novērojumā. Tas arī ir viens no iemesliem, kāpēc mūsdienu kosmoloģisko priekšstatu par Visuma uzbūvi un attīstību laikā, kā arī superātru procesu fizikas mācīšana galvenokārt ir augstskolas fizikas kursa uzdevums.

2.5.6. MATĒRIJA — VIELAS, LAUKI, KVANTI

Par matērijas definīciju. Nevienā, pat vispilnīgākajā fizikas kursā nav atrodama iedaļa ar nosaukumu «Matērijas definīcija». Tā nav nejaušība. Matērijas jēdziena vis-

pārīgā filozofiskā satura atklāšana arī nav fizikas tiešais uzdevums. Fizikā ar vārdu matērija parasti saprot visu to, kas fiziķus interesē kā pētījumu objekts. Objekti un to fizikālie modeļi vienmēr ir konkrēti. Tie ir ķermeņi, kuru tilpumu, masu vai temperatūru var noteikt ar eksaktām metodēm, elektromagnētiskie viļņi, kas telpā pārnes enerģiju, impulsu un informāciju, elementārdaļiņas, par kuru eksistenci liecina to mijiedarbība ar vielu — pēdas jeb treki dažādās reģistrējošās iekārtās, atomi, kas veido cietas, šķidras, gāzveida vielas, utt. Citiem vārdiem, atbildot uz jautājumu «kas ir matērija», mēs paskaidrojam, ko šodien ar šo jēdzienu saprot un ka materiālā pasaule sevi izpauž novērojumos.

Teiktais nebūt nenozīmē, ka autori aicina uz šauri empīrisku pieeju matērijas jēdziena izpratnē. Jāuzsver tikai tas, ka, tāpat kā zinātnē, arī mācīšanas procesā racionālākais izziņas ceļš ir virzība no konkrētā uz vispārināto, abstrakto un ka filozofiskās problēmas ir lietderīgāk analizēt tikai tad, kad jau ir apgūta konkrētā fizika.

Vielas. Klasiskajā fizikā ir pazīstami divi atšķirīgi priekšstati par matēriju: matērija kā viela un matērija kā lauks. Matērija kā viela tās daudzajās pastāvēšanas formās ikdienā katram labi pazīstama. Arī cilvēka praktiskā darbība parasti sākas ar dažādu vielu īpašību iepazīšanu. Vielas var viegli un uzskatāmi klasificēt gan pēc ķermeņu dažādajām ģeometriskajām formām un tilpuma, elastības, inerces, vadītspējas, daudzām citām īpašībām. Veidojot priekšstatus par vielām, tādējādi ir iespējams izmantot dažādus praktiskus piemērus un analoģijas. Citiem vārdiem, šajā jomā parasti nekādas didaktiskās grūtības fizikas mācīšanā nerodas.

Mēģinot saskatīt visām vielām kā ķermeņiem raksturīgās kopīgās iezīmes, secinām, ka tās pirmām kārtām ir saistītas ar mūsu priekšstatiem par ķermeņu lokālo ierobežotību telpā. Tur, kur atrodas viens ķermenis, vienlaikus nevar atrasties cits ķermenis. Katram ķermenim ir vairāk vai mazāk izteikta robeža, kas to atdala no pārējiem ķermeņiem. Proti, ķermenim ir sava individuāla vieta telpā. Tāda īpašība piemīt Dēmokrita atomiem, tā raksturīga arī Ņūtona absolūti cietajiem ķermeņiem, gāzēm un šķidrumiem. Mācība par atomiem ar saviem skaidrajiem ģeometriskajiem un telpiskajiem priekšstatiem ir viena no svarīgākajām hipotēzēm par matērijas uzbūvi: apkārtējā pasaule sastāv no diskrētiem «ķieģelīšiem», katram no tiem ir savas individuālas īpašības un eksistē pazīmes, pēc kurām tos var atšķirt no citiem «ķieģelīšiem».

«Klasiskie» lauki. Otrs pēc būtības tikpat sens priekšstats par to, kas ir ap mums, ir priekšstats par matēriju lauka formā. Gadsimtu gaitā ir mainījusies tikai terminoloģija, ar kuru šo priekšstatu formulē. Atcerēsimies kaut vai Aristoteļa fiziku un pasaules ēteru kā visus ķermeņus ietverošu vidi. Matērijai kā laukam raksturīga iezīme ir tās nepārtrauktība un superpozīcija — pārklāšanās telpā. Nepārtrauktība ir saskatāma arī vielā, ja abstrahējamies no vielas atomārās uzbūves, taču superpozīciju ir samērā grūti modelēt ar uzskatāmām analoģijām. Superpozīcijas princips nozīmē, ka dažādi lauki var brīvi pastāvēt «cits citā». Proti, visiem laukiem vienlaikus pieder visa telpa. Tā, piemēram, vienā un tajā pašā apgabalā pastāv daudzu lādiņu elektriskie lauki, divu avotu gaismas viļņi pārklājas u. tml.

Bez superpozīcijas un nepārtrauktības matērijai kā laukam ir vēl viena būtiska iezīme — tuvdarbība. Telpā lauks ir mijiedarbības un informācijas nesējs. Mijiedarbības izplatīšanās ātrums ir galīgs. Proti, fizikālais lauks «pārraida» mijiedarbību pakāpeniski — no punkta uz punktu. Tādas pārraides rezultātā veidojas, piemēram, vilnis. Tieši tuvdarbības dēļ lauks var pastāvēt brīva viļņa veidā — nesaistīti ar savu avotu. Lauku izstarojošais avots jau var būt «izslēgts», bet avota radītais vilnis var vēl joprojām turpināt pastāvēt. Brīvu elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ar gaismas ātrumu c tukšā telpā ir tiešs tuvdarbības principa eksperimentāls apstiprinājums. Tagad uzskata, ka arī gravitācijas lauka izmaiņas izplatās telpā ar tādu pašu ātrumu.

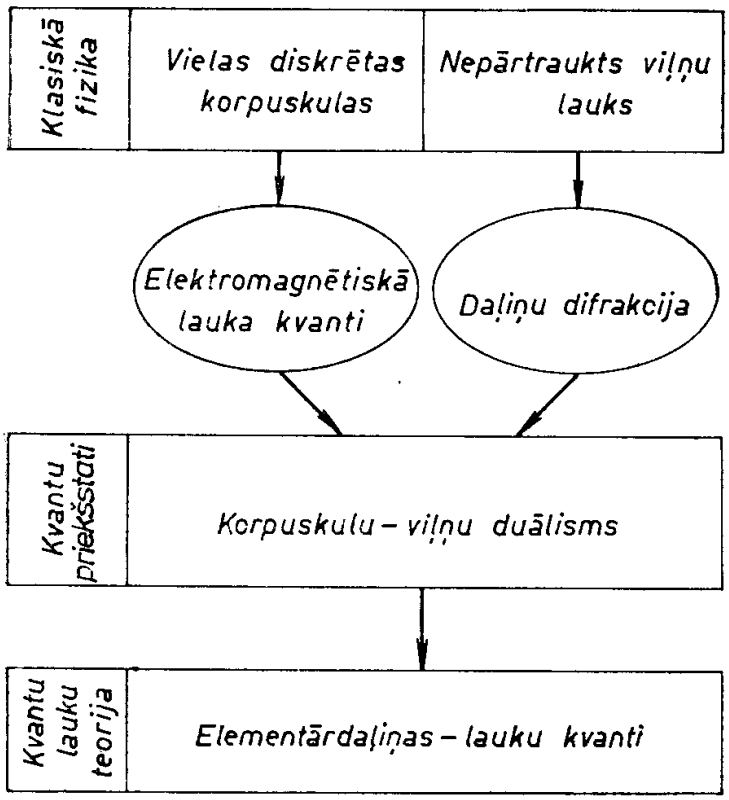
Lauka koncepcijas vēsturiskā attīstība. Matērijas kā lauka koncepcija šodienas izpratnē ir 19. gs. otrās puses Faradeja—Maksvela eletromagnētisma teorijas attīstības loģisks rezultāts. Interesanti atzīmēt, ka, lai gan jau kopš 19. gs. sešdesmitajiem gadiem elektromagnētiskais lauks Maksvela diferenciālvienādojumu atrisinājumu formā «uz papīra» jau pastāvēja, bija nepieciešami vairāki gadu desmiti, līdz fiziķi «riskēja» to uzskatīt par patstāvīgu matērijas formu. Šajā nolūkā bija nepieciešams apstiprināt, ka pastāv brīvi elektromagnētiskie viļņi un ka elektromagnētiskajam laukam piemīt enerģija. Kā zināms, pagājušā gadsimta beigās H. Herca eksperimenti to pārliecinoši pierādīja. A. Einšteina speciālajā relativitātes teorijā (1905. gadā) jau pasaules ēters kā elektromagnētiskos spēkus pārraidoša vide vairs nav nepieciešams. Elektromagnētisko mijiedarbību mehāniskie modeļi (ar

zobrātiem, pārnesumiem un šķidrumu plūsmām) tagad ir atrodami tikai fizikas vēstures grāmatās.

Lauka koncepcijas tālākā attīstība ir saistīta ar kvantu fiziku un M. Planka pētījumiem siltuma līdzsvara starojuma teorijā. 1905. gadā A. Einšteins izteica vēl vienu apgalvojumu, proti, ka elektromagnētiskajam starojumam ir diskrēta struktūra. Fotoelektriskās parādības, rentgenstarojuma izkliedes novērojumi un citi eksperimenti to apstiprināja. Elektromagnētisko lauku kvantē un tā fotoni ir šī lauka enerģijas minimālās porcijas.

Korpuskulu-viļņu duālisms. Atoma teorijas attīstība un elektronu difrakcijas novērojumi kristāliskajās vielās apstiprināja, ka elektrona kustībai ir raksturīgas arī viļņu izplatīšanās īpatnības.

Tādējādi klasiskā alternatīva: matērija pastāv vai nu kā viela, vai kā lauks, noteiktās situācijās izrādījās nekonsekventa. Nepārtrauktajam laukam ir diskrētas — vielai un tās korpuskulām raksturīgas īpašības, bet vielas korpuskulām savukārt piemīt viļņu īpašības. Šī situācija fizikā ir pazīstama kā *korpuskulu-viļņu duālisms,* uz kuru lielā mērā pamatojas tālākā mūsdienu kvantu fizikas koncepciju attīstība. Attēlosim nosacītā shēmā šīs attīstības galvenos etapus.



Matērijas korpuskulu-viļņu duālisma interpretācija, bez šaubām, ir viena no galvenajām didaktiskajām problēmām, kas rodas, mācot kvantu fizikas pamatus. Un, lai gan vidusskolas fizikas kurss pagaidām «apiet» šo jautājumu, nav šaubu, ka kvantu fizikas pamatu īpatsvara palielināšana skolu programmās radīs nepieciešamību risināt arī šo problēmu. Atzīmēsim vienu no metodiskām iespējām matērijas korpuskulu-viļņu duālisma interpretēšanā — fizikālo modeļu izmantošanu.

Fizikā pastāv vairāki kustības modeļi. Modeļa izvēli nenosaka pats fizikālais objekts vien. Noteicošā ir fizikālā situācija — mijiedarbības, kas jāievēro, tās sistēmas relatīvie izmēri, kurā objekta kustību aplūko, kā arī novērotāja redzes punkts. Atkarībā no visiem šiem robežnosacījumiem jāizvēlas parādības vai procesa modelis, kas tad arī lielā mērā veido mūsu priekšstatus par konkrēto objektu dotajā situācijā. Šo apgalvojumu ilustrē daudzi labi zināmi piemēri. Saule, kuras gravitācijas iedarbībā kustas planētas, arī Zeme, Ņūtona un Keplera likumos ir tikai materiāls punkts. Materiālam punktam ir trajektorija, un tā kustību apraksta korpuskulu kustības likumi. Turpretī astrofiziķim, kuru interesē Saules iekšējās enerģijas avoti un kurš «redz Sauli tuvplānā», tā nav materiāls punkts. Astrofiziķim Saules modelis atšķirībā no priekšstata par materiālu punktu ir bagātāks ar daudzām citām detaļām.

Līdzīgi tas ir arī situācijās, kurās jāsastopas ar korpuskulu-viļņu duālismu. Tā, piemēram, elektronu, kas kustas kineskopa vakuumcaurulē un veido attēlu uz televizora ekrāna, var modelēt kā masas punktu, kuram ir elektriskais lādiņš. Šajā situācijā elektrons ir vielas daļiņa, kas kustas pa trajektoriju. Elektrons mikrostruktūrā — cietvielas kristālrežģī jau ir elektrons «tuvplānā». Masas punkta modelis uzdevumā, kurā mūs jau interesē elektrona un tā apkārtnes mijiedarbības detaļas, izrādās nepietiekams. Bet šo klasisko modeli var papildināt, izmantojot otru — tikpat klasisku kustības modeli: vilni, kas adekvātāk atbilst dotajiem nosacījumiem. Šajā gadījumā sakām: elektronam ir viļņa īpašības. Tas arī ir duālisms. No teiktā jāsecina, ka duālisms, protams, nepiemīt pašam elektronam. Matērijas struktūrai kā tādai duālisms nav raksturīgs. Duālisms parādās tikai matērijas kustības aprakstā, kas atšķirīgās fizikālās situācijās var būt atšķirīgs.

Par «trešo valodu» fizikā. Var jautāt, kāpēc gan fiziķi nelieto vēl kādu trešo — ne korpuskulu un ne viļņu, bet

tieši mikropasaulei adekvātāku fizikālo modeļu un priekšstatu «valodu». Jādomā, ka šadas trešas valodas nemaz nav. Nav tādēļ, ka visu par dabu un tātad arī par mikropasauli uzzinām, lietojot tikai makropasaules etalonus. Un vēl — visu fizikālo mērierīču sniegta informācija vienmēr ir «izlasama» un tātad arī interpretējama tikai klasiskajos priekšstatos.

Jāpiebilst gan, ka šāda koncepcija nav vispārpieņemta un pastāv arī alternatīvu iespēju meklējumi. Arī A. Einšteinam bija būtiski iebildumi pret duālismu kustības interpretācijā, lai gan viņš to pieņēma kā pagaidām faktiski eksistējošu. Tikai nākotne un eksperimenti rādīs, vai radīsies iespēja izvairīties no duālisma koncepcijas.

Kvantu lauki. Materiālās pasaules aina nebūtu pilnīga, ja neminētu kvantu laukus kā korpuskulu-viļņu duālisma modeļu tālāku attīstību mūsdienās. Matērija mikrolīmenī ir elementārdaļiņas to daudzveidīgajās savstarpējās pārvērtībās un mijiedarbībās. Pašreiz šo elementārdaļiņu, par kuru detaļām eksperiments vēl maz ko var pateikt, ir pārsteidzoši daudz. Ja ietveram visas pazīstamās modifikācijas, tad daļiņu skaits sniedzas daudzos desmitos. Vienas elementārdaļiņas var pastāvēt brīvi, tās sevi izpauž kā patstāvīgi eksistējoši un tātad novērojami individuāli objekti vai veido saliktas struktūras — atomus, atomu kodolus. Citas elementārdaļiņas saskaņā ar pastāvošajām koncepcijām turpretī ir tikai svadabīga saistviela šo salikto struktūru radīšanā. Atsevišķu elementārdaļiņu grupas ir kādu konkrētu matērijas fundamentālo īpašību — dažādu lādiņu, spinu, simetriju nesēji u. tml. Tiktāl it kā nav pateikts nekas jauns salīdzinājumā ar skaidro Dēmokrita atomisma ideju. Un tomēr elementārdaļiņu fizikā pats priekšstats par diskrēto atšķiras no šī jēdziena klasiskās izpratnes.

Diskrēts — tas nenozīmē tikai korpuskulārs (norobežots trīsdimensiju koordinātu telpā). Elementārdaļiņu trajektorijas tieši nenovēro. Tātad nav arī nekāda pamata tās uzskatīt par ķermeņiem, kuru izmēri, forma un citi ar telpu saistītie parametri ir viennozīmīgi noteikti. Laukiem raksturīgā nepārtrauktība telpā un, it sevišķi, viļņu lauku kustības īpašības (interference, difrakcija) ir gan katras atsevišķas elementārdaļiņas, gan arī daļiņu kopumu īpašības, jo šīs īpašības konstatē eksperimentā. Tā rodas priekšstats — modelis par kvantu lauku, kas, būdams vilnis telpā, ir «salikts» no diskrētiem enerģijas, impulsa, impulsa momenta, masas, lādiņu un citu fizikālo lielumu kvantiem.

Interpretēt matēriju kā fizikālu kategoriju ir metodiski sarežģīts daudzpakāpju uzdevums. Literatūra par šo jautājumu pārsvarā ir ar filozofisku ievirzi, tiešs demonstrējuma eksperiments nav iespējams, kā arī nepieciešama attīstīta abstraktās fizikālās domāšanas kultūra. Šajā situācijā skolotāja rīcībā galvenokārt ir tikai fizikālo modeļu koncepcija un iespēja lietot pamatojumam dažādas analoģijas, akcentējot modeļu nosacīto un relatīvo raksturu: proti, modelis veidojas tāds, kādu to nosaka eksperiments un novērojums. Elementārdaļiņas — fotonus vai elektronus mēs «redzam» tikai mijiedarbībā ar citām līdzīgām elementārdaļiņām, un mijiedarbība nosaka visas to īpašības.

2.5.7. KONCEPTUĀLIE MODEĻI FIZIKĀ. NEZŪDAMĪBAS LIKUMI

Nezūdamības likumu koncepcija fizikā. Fizikālo parādību un procesu pētīšanā nezūdamības likumiem ir noteicoša nozīme. Enerģijas un impulsa, impulsa momenta, dažādu elementārdaļiņu, kvantu skaitļu — spina, izotopiskā spina, šarma, dīvainības, simetriju un citi nezūdamības likumi veido mūsdienu teoriju un visu galveno fizikālo koncepciju pamatu. Tie vienmēr ir bijuši un arī tagad ir fizikālās domas attīstības vadmotīvs.

Fizika, pirmkārt, ir mācība par kustību. Tādēļ arī visi galvenie fizikālo sistēmu (masas punktu, lādiņu, Bora atomu, elektromagnētisko viļņu) un procesu (daļiņu sadursmju, izkliedes, svārstību) modeļi ir dinamiski. Sistēmas stāvokli noteicošo fizikālo lielumu skaitliskās vērtības un daudzie faktori, kas ietekmē kustību, ir mainīgi laikā. Tomēr šajā dinamisko norišu daudzšķautņainībā vienmēr «izdodas» saskatīt arī to, kas sistēmas evolūcijas laikā ir konstants, nemainīgs. Nemainība ir visvienkāršākā likumsakarība, un tās pastāvēšanai fizikā ir pat primāras tiesības. Amerikāņu fiziķis R. Feinmans par fizikālo likumu dabu, piemēram, sacījis, ka fiziķiem nezūdamības likums nozīmē to, ka eksistē skaitlis, kas nemainās atkarībā no tā, kad to aprēķina — tūlīt vai vēlāk, kad jau notikušas daudzas un dažādas izmaiņas.

Fizikas vēsture pazīst piemērus, kad nemainīgais «parametrs» dažkārt ilgu laiku paliek apslēpts, ir nomaskēts ar konkrēto fizikālo procesu daudzajām detaļām un izpaužas netieši, līdz tā eksistenci apstiprina «izšķirošais» eksperiments. Tad tiek atklāts nezūdamības likums un fizikas valoda kļūst bagātāka ar vēl vienu «invariantu» — ar

frāzi, teikumu, kura pareizību vairs neapšauba. Turpmāk nezūdamības likums jau ir apriors īstenības kritērijs: ja nezūdamības likums, šķiet, nav spēkā, tad fiziķim tas nozīmē tikai to, ka process īstenībā nenorisinās atbilstoši sākotnējai hipotēzei. «Kļūdu» tad meklē vai nu hipotēzē, pamatojoties uz kuru tika veidots fizikālā procesa modelis, vai arī eksperimenta nosacījumos, kuros nav pamanīta kāda būtiska detaļa.

Nezūdamības likumiem ir heiristisks spēks. Tos nevar pierādīt kā teorēmas vai izrisināt no iepriekš zināmiem nosacījumiem. Šādā nozīmē jebkurš nezūdamības likums kā secinājums no daudziem eksperimentāliem faktiem vienmēr ir jāpakļauj atkārtotai eksperimentālai pārbaudei un precizēšanai. Paplašinoties mūsu priekšstatiem par dabu, jaunu pētījumu apgabalu atklāšana un eksperimentālās tehnikas attīstība vienmēr paver jaunas iespējas nezūdamības likumu atkārtotai pārbaudei jaunā «izšķirošā eksperimentā». Tad var izrādīties, ka vieni nezūdamības likumi šo pārbaudi iztur un to darbības sfēra paplašinās, citi turpretī iegūst ierobežotāku raksturu.

Nezūdamības likumu uzskaitījums. Nav iespējams uzskaitīt visus dabā iespējamos nezūdamības likumus, jo fizikālie priekšstati par pasauli nemitīgi attīstās. Tāpēc fiziķi ir sevišķi piesardzīgi, interpretējot to nezūdamības likumu robežas, kuri būtiski skar elementārdaļiņu pasauli un Visumu. Taču vienlaikus var nosaukt galvenos nezūdamības likumus, kuru ietekmes sfēra šodien netiek ierobežota. Tie ir, pirmkārt, mehānikas svarīgākie likumi: enerģijas nezūdamības likums, impulsa un impulsa momenta nezūdamības likums; un, otrkārt, ar četrām dabā pastāvošajām mijiedarbībām saistītie elementārdaļiņu lādiņu nezūdamības likumi.

Starp lādiņu nezūdamības likumiem pazīstamākais ir elektriskā lādiņa nezūdamības likums.

Turpretī masas nezūdamības likums, kuru 18. gs. formulēja M. Lomonosovs un A. Lavuazjē un kuru pamatoja ķīmisko reakciju norises, savu darbības sfēru šodien ir ierobežojis. Tas kļuvis lokāls un tuvināti ir spēkā tikai tad, ja masu mijiedarbības rezultātā nemainās daļiņu iekšējā struktūra.

Specifiskie elementārdaļiņu mijiedarbības «regulējošie» nezūdamības likumi (piemēram, dīvainība, šarms u. c.), par kuru saturu un nozīmi sīkāk nerunāsim, vēl nebūt nav izturējuši laika pārbaudi. Elementārdaļiņu fizikas attīstība parādīs, kuri no tiem kļūs fundamentāli arī

nākamajām paaudzēm un kuri ir tikai teorētiķu un eksperimentētāju hipotēzes.

Nezūdamības likumi un fizikas pamatjēdzienu definīcijas. Starp daudzajiem un dažādajiem nezūdamības likumu pielietošanas aspektiem viens ir sevišķi jāuzsver. Proti, nezūdamības likumam parasti ir arī fizikālo lielumu definētāja funkcija. Ar šo likumu tiek paskaidrota «nezūdošā» fizikālā lieluma būtība un arī tas, kā šī lieluma izmaiņu var eksperimentāli noteikt, ja notiek vairāku sistēmu savstarpējā mijiedarbība. Tā, piemēram, fundamentālie enerģijas un elektriskā lādiņa nezūdamības likumi paskaidro, ko saprot ar vārdiem «sistēmas pilnā enerģija» vai «sistēmas elektriskais lādiņš», jo nav iespējams pakārtot pilnās enerģijas vai lādiņa jēdzienu kādam plašākam, vēl vispārīgākam jēdzienam. No mehāniskās enerģijas nezūdamības likuma tiek secināts, ka vienīgā iespēja noskaidrot, kā mainās enerģija E, ir izmērīt sistēmai pielikto spēku darbu A. No lādiņa nezūdamības likuma izriet, ka par lādiņa q nezūdamību uzzinām, sekojot tā izmaiņai laikā un izmērot lādiņu plūsmu — elektrisko stāvu I. Pēc tam fizikālo lielumu valodā varam uzrakstīt vienādojumus: $\frac{dE}{dt}=A$ vai $\frac{dq}{dt}=I$.

Kāpēc pastāv nezūdamības likumi? Mūsdienu fizikas koncepciju ietvaros nezūdamības likumu pastāvēšanas dziļākos cēloņus saskata telpas un laika simetrijas īpašībās. Protams, telpas un laika simetrijas īpašības savukārt ir atkarīgas no tā, kā telpā ir izvietoti ķermeņi, to masa un lādiņi, kā mijiedarbojas lauki u. tml. Taču simetrijas īpašības ir tas vispārīgais, kas formāli ļauj noteikt, kādi fizikālie lielumi, ar kuriem aprakstā matērijas kustību, konkrētajā procesā saglabājas un kādi fizikālie lielumi ir relatīvi.

Tā, piemēram, parādīt, ka noslēgtas sistēmas pilnā impulsa nezūdamība ir sekas no tā, ka noteiktos apstākļos pastāv telpas translācijas (paralēlā pārvietojuma) simetrija, proti, ja telpas punkti, kurus nosaka rādiusvektori $\vec{r}$ un $\vec{r}+\vec{a}$, ir ekvivalenti, tad impulss $\vec{p}=\text{const}$, kur $\vec{a}$ — pārvietojuma vektors, kas fizikālo sistēmu savieto ar sevi. Citiem vārdiem, ja, pārvietojot visus sistēmas punktus par konstantu vektoru $\vec{a}$, iegūstam identisku fizikālo sistēmu, tad sistēmas pilnais impulss saglabājas. Ja turpretī telpa ir «nehomogēna», piemēram, telpā pastāv nehomo-

gēns lauks, tad tās atšķirīgi punkti nav ekvivalenti un sistēmas impulss $\vec{p}$ nesaglabājas.

Analoģiski impulsa momenta $\vec{M}$ nezūdamības likums ir saistīts ar telpas simetriju attiecībā pret rotācijas transformāciju, bet enerģijas E nezūdamību nosaka iespēja «pārvietoties pa laika asi» pagātnē vai nākotnē u. tml. Šo saistību starp nezūdamības likumiem un dabā pastāvošajām simetrijām detalizētāk neanalizēsim. To ieskicējām tikai tādēļ, lai atgādinātu, ka no eksperimenta un novērojumiem secinātie fundamentālie nezūdamības likumi ir saskaņojami ar vispāratzīto uzskatu par to, ka dabā jāpastāv simetrijām un tātad šīm simetrijām arī jāatspoguļojas dabai adekvātajos fizikālās pasaules modeļos.

2.5.8. NEZŪDAMĪBAS LIKUMU DIDAKTISKIE ASPEKTI

Nezūdamības likumu vieta skolas fizikas kursā. Nezūdamības likumiem (izņēmums ir enerģijas nezūdamības likums) skolas fizikas kursā netiek ierādīta īpaša vieta. Impulsa un impulsa momenta nezūdamības likumu lietošana parasti reducējas tikai uz vienkāršāko — uz konkrētu uzdevumu risināšanu, bet elektriskā lādiņa nezūdamības likums tiek pieminēts tikai dažu elektrostatisko parādību izklāstā.

Enerģijas nezūdamības likums skolas fizikas kursā «parādās» divos aspektos — kā mehāniskās enerģijas saglabāšanās kustībā un kā pirmais termodinamikas likums. Taču netieši šis likums ir sastopams arī citās fizikas kursa nodaļās, pie tam — visdažādākajās situācijās, piemēram, iztirzājot Keplera likumus un kosmiskos robežātrumus, kvantu fizikas modeļos, elektronu teorijā u. c. Didaktiski vienotas pieejas enerģijas nezūdamības likuma izklāstā neatrodam. Tas neapšaubāmi apgrūtina nezūdamības principa kā fundamentālas materiālistiskā pasaules uzskata sastāvdaļas apgūšanu. Jādomā, ka tāpēc ne vienmēr pienācīgi tiek izmantotas ar nezūdamības likumiem saistītās iespējas materiālistiskā pasaules uzskata veidošanā skolas fizikas kursā. Šajā sakarībā var minēt dažus metodiska rakstura ieteikumus.

Pirmkārt, visā skolas fizikas kursā vēlams saskatīt un vienmēr akcentēt nezūdamības likuma lietošanu konkrētu parādību un eksperimentu rezultātu analīzē, tādējādi stimulējot nezūdamības likumu «atzīšanu» arī tur, kur par tiem netiek īpaši runāts.

Otrkārt, vienmēr var izmantot fizikas vēstures bagātīgo faktu materiālu, lai ilustrētu materiālistiskā pasaules uz-

skata attīstību. Fizikas vēstures iepazīšana ir pamācoša un lietderīga tieši tad, ja vēlamies pasvītrot nezūdamības likumu empīrisko raksturu, dažādās un daudzveidīgās to formulēšanas iespējas un vienlaikus šo likumu vispārīgo, globālo raksturu. Šīs tēmas ieteicamas pulciņu un ārpusklases nodarbībām, jo nav nepieciešama īpaša eksperimentāla bāze, nedz arī speciālas zināšanas, un tomēr šīm tēmām ir liela nozīme fizikālās domāšanas attīstīšanā.

Treškārt, vēlams izmantot nezūdamības likumu metodi (piemēram, tā saukto enerģētisko paņēmienu fizikas uzdevumu risināšanā) pēc iespējas plašākam uzdevumu diapazonam. Sevišķi vērtīgi ir kvalitatīvie spriedumi un novērtējumi šādā formā: «nezūdamības likums pieļauj...» un «nezūdamības likums aizliedz...». Saistībā ar dimensiju analīzi nezūdamības likumu ierobežojumi ļauj novērtēt un kvalitatīvi pareizi izprast ļoti daudzas parādības mehānikā, kvantu fizikā un termodinamikā.

Enerģijas nezūdamības likums un fizikas vēsture. Lai gan šī grāmata nav metodisku norādījumu krājums, tomēr kā konkrētu piemēru aplūkosim vēsturiskās metodes iespējas enerģijas nezūdamības likuma izklāstā. Tad acīmredzot jāsāk ar 17. gs. beigām, kad G. Leibnics ieviesa «dzīvā spēka» (spēka un ceļa reizinājuma) jēdzienu, parādot, ka šis lielums kustībā mainās. To ievērojot, L. Eilers konstatēja, ka «dzīvā spēka» izzušana nebūt vēl nenozīmē, ka zūd ķermeņa spēja veikt mehānisko darbu. Ap 1800. gadu jau noskaidrojās, ka dzīvo spēku (lasīt — kinētisko enerģiju) nosaka arī tas, kā ķermeņi ir izvietoti telpā (lasīt — kāda ir to potenciālā enerģija). Tad radās hipotēze, ka eksistē «spēks» (lasīt — enerģija), kas atkarībā no apstākļiem izpaužas gan kustībā, gan ķīmiskajā tieksmē, elektrībā, magnētismā, siltumā. Pie tam visas šīs formas var savstarpēji pārvērsties, viena otru aizvietot (lasīt — saglabājas to summa). R. Klauziuss uzskatīja, ka siltums ir mērāms ar mehānisko darbu. Drīz pēc tam R. Maiers eksperimentāli konstatēja, ka tad, ja vadītājā rodas siltums, strāva ir pastrādājusi darbu. Tika precizēts siltuma mehāniskais ekvivalents, līdz beidzot tikai 1853. gadā V. Tomsons izskaidroja, ka «ar vārdiem materiālas sistēmas enerģija» jāsaprot mehāniskā darba vienībās izmērīta visu to darbu summa, kuri tiek paveikti ārpus sistēmas, tai pārejot no noteikta sākumstāvokļa brīvi izraudzītā «nulles stāvoklī». Ar šo smagnējo formulējumu ir uzrakstīts enerģijas nezūdamības likums, paskaidrota enerģijas principiāla mērīšanas iespēja un līdz

ar to definēts jauns fizikāls lielums — sistēmas pilnā enerģija E.

Nedaudz gadu vēlāk (1864—1865) Dž. Maksvels savā darbā «Elektromagnētiskā lauka dinamiskā teorija» jau rakstīja: «... jebkura enerģija ir mehāniskā enerģija (saprotam tās vienīgo mainīšanās iespēju — sistēmai pastrādājot mehānisko darbu) neatkarīgi no tā, vai eksistē parastas kustības, kustības elastības vai kādā citā formā. Elektromagnētisko parādību enerģija — arī tā ir mehāniskā enerģija. Vienīgais jautājums, kur tā lokalizējas... Saskaņā ar mūsu teoriju enerģija ir telpā, kas aptver elektrizētus vai magnetizētus ķermeņus, kā arī pašos ķermeņos.» Elektromagnētiskais lauks kļūst reāls tieši tāpēc, ka tajā lokalizējas enerģija. Tādējādi enerģijas nezūdamības likuma darbības sfēra paplašinās, ietverot arī fizikālus laukus.

Būtu aplami uzskatīt, ka līdz ar nezūdamības likuma noskaidrošanu vielai un laukiem, uzrakstot šo likumu formā $E_{\text{vielas}}+E_{\text{lauka}}=\text{const}$, enerģijas jēdziens jau ir viennozīmīgi definēts. Jēdziena evolūcija turpinās 20. gadsimtā. Ar A. Einšteina relativitātes teoriju atklājas tā interpretācijas jaunas iespējas. Pazīstamā Einšteina formula $E=mc^2$ un enerģijas nezūdamības likuma koncepcija, piemēram, ļauj apgalvot, ka, sasildot ķermeni, pieaug tā inerce un tātad — masa. Kodolenerģētika šodien ir pietiekami pārliecinošs šīs tēzes eksperimentāls pierādījums. Einšteina formula un pilnās enerģijas nezūdamības likums inducē «pilnās masas» (m) nezūdamības likumu un, tā kā $m=m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$, tad klasiskais priekšstats par masu un miera masas m_0 nezūdamību atoma kodolu vai elementārdaļiņu savstarpējās reakcijās izrādās ierobežots. Tas ir aptuveni pareizs tikai tad, ja kustības ātrums $v \ll c$. Citiem vārdiem, klasiskajai kinētiskajai enerģijai $E_{\text{kin}}=\frac{m_0v^2}{2}$ jābūt daudzkārt mazākai par reakcijā piedalošos daļiņu «iekšējo» jeb miera enerģiju $E_0=m_0c^2$ un procesā ķermeņa iekšējā struktūra nemainās.

2.6. MODEĻI FIZIKAS KURSĀ

Iepriekšējās iedaļās jau norādīts, ka modeļus, it īpaši matemātiskos modeļus, plaši izmanto dabaszinātnēs, tehnikā, ekonomikā. Matemātisko modeļu veidošana fizikālajiem procesiem ir fizikas kompetencē un šajā gadījumā runā par *fizikālu modeli*. Daudzi ievērojami mūsu gadsimta

fiziķi ir veltījuši uzmanību tam, ka fizikas zināšanas būtībā tiek uzkrātas fizikālajos modeļos. Tā, piemēram, jau 1909. gadā N. Umovs rakstīja, ka visa mūsu pasaules uztvere, sākot no vissadzīviskākā, visikdienišķākā līdz visaugstākajam saturam, ir modeļu kopums, kas veido vairāk vai mazāk veiksmīgu patiesības atspoguļojumu.

Fizikālo modeļu elementi ir fizikālie lielumi: mehānikā tie ir pārvietojums, ātrums, paātrinājums, spēks un masa, termodinamikā — siltums, temperatūra; elektromagnētismā — elektriskais lādiņš, elektriskā lauka intensitāte, magnētiskā lauka indukcija; kvantu fizikā — enerģijas līmenis, stāvokļa varbūtība u. tml. Sarežģītākos modeļos organiski iekļaujas arī mūsu modeliskie priekšstati par pētāmo objektu dotajā situācijā. Klasiskajā fizikā tie ir priekšstati par materiālu punktu, ideālu gāzi vai šķidrumu, absolūti cietu ķermeni; elektromagnētismā — jēdziens par nepārtrauktu elektrisko vai magnētisko lauku, elektromagnētisko vilni. Kvantu fizika šajā aspektā ir visbagātākā. Tās modeļu elementi ir elektroni, fotoni, kodoldaļiņas, visdažādākās elementārdaļiņas un kvazidaļiņas. Nespeciālistam šajā mikropasaules modeļu elementu «sarakstā» pat grūti orientēties, un ne vienmēr ir viegli atšķirt vienu mikrostruktūras ķieģelīti no otra kaut vai pazīšanas līmenī.

2.6.1. MODEĻI — FIZIKAS ZINĀŠANU SVARĪGA SASTĀVDAĻA

Modeļu izziņas teorētisko un didaktisko vērtību nosaka tas, ka modeļi izdala būtiskāko, veido abstrakcijas, sekmē optimālu zināšanu uzkrāšanu, pārbauda hipotēzes, saista dažādus izziņas līmeņus, rāda, cik lietderīga ir dažādu modeļu vienlaikus lietošana, norāda uz modeļu lietošanas robežām, attīsta prasmes un iemaņas modeļu veidošanā un lietošanā, palīdz izprast izziņas procesu.

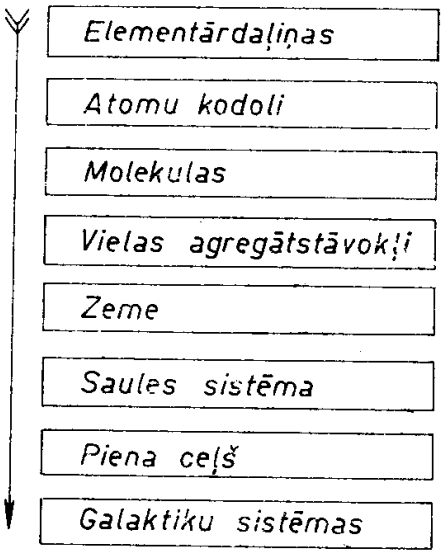
VFR fiziķis didakts H. J. Jodls ne tikai parāda šīs modeļa vērtības, bet iesaka modeļaspektu izmantot arī fizikas satura sakārtošanā (3. att.). Šī doma attīstījusies vienlaikus vairākās valstīs. VDR fiziķu kolektīvs fizikas satura sakārtošanu pēc fizikāliem modeļiem realizējis mazajā enciklopēdijā.[1]

Nav grūti pārliecināties, ka modeļi sastāda skolas fizikas kursa lielāko daļu. Tikai skolās nemēdz par to runāt,

---

[2] Atom. Struktur der Materie. — VEB Bibliographisches Institut, Leipzig, 1970. — 856 S.

ari metodiskajā literatūrā maz tiek runāts par modeļiem. Pēdējos divdesmit gados notikusi skolas fizikas kursa satura reforma daudzās pasaules valstīs. Visās šajās valstīs fizikas kursā vairāk akcentēti modeļi fizikā. Der pievērst uzmanību diviem būtiskiem jauninājumiem padomju skolas fizikas kursā. Pirmajā pakāpē (7. klasē) fizikas kurss sākas ar vielas atomāri molekulārās uzbūves modeli, bet otrajā pakāpē (11. klasē) parādījusies nodaļa «Svārstības un viļņi», t. i., akustiskās, mehāniskās un elektromagnētiskās parādības tiek apskatītas vienotā modelī, plaši lietojot analoģijas metodi.

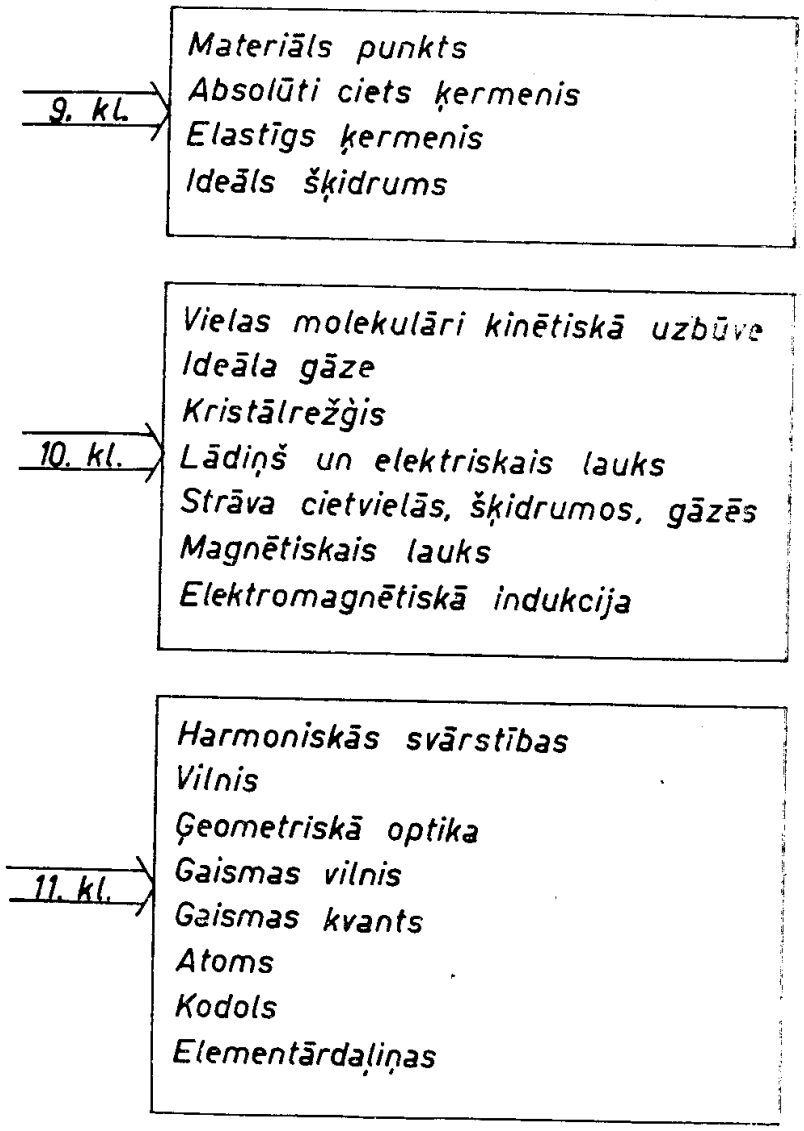


3. att. Fizikas satura sakārtošana pēc modeļiem.

Pārliecināsimies, ka modeļi tiešām sastāda lielu skolas fizikas kursa daļu. Padomju skolas fizikas kurss otrajā pakāpē no aplūkojamo modeļu viedokļa ir šāds (4. att.).

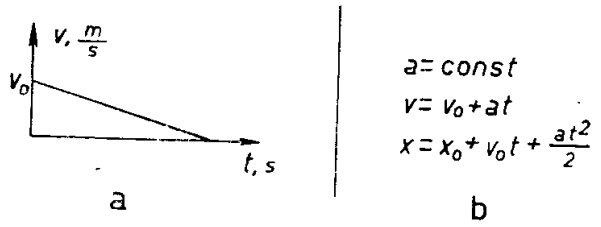
Vēl bez tam katrā fizikas nodaļā tiek aplūkoti šaurāk lietojami modeļi. Sevišķi plaši tiek izmantoti grafiskie, ģeometriskie, topoloģiskie un, protams, matemātiskie modeļi. Grafiskie modeļi visvairāk tiek lietoti termodinamikā, aplūkojot dažādus termodinamiskos procesus — izotermiskos, adiabātiskos un izohoriskos procesus. Grafiskie modeļi no matemātiskajiem modeļiem, t. i., no vienādojumiem atšķiras ar uzskatāmību, un skolēnam tos ir vienkāršāk interpretēt. Grafiskajā modelī tiek lietoti skolēnam jau pazīstami ģeometriskie tēli — taišņu krustošanās, figūras laukums utt. Apskatīsim vienmērīgi paātrinātas kustības grafisko un «tīri» matemātisko modeli. Ātruma grafikā vienmērīgi paātrināto kustību attēlo ar taisni (5. att. *a*). Šīs taisnes krustpunkts ar ātruma asi ir sākuma ātrums v_0, bet krustpunkts ar laika asi raksturo laiku, kurā ķermeņa ātrums samazinās līdz nullei (beigu ātrums $v_b=0$). Laukums zem taisnes raksturo noieto ceļu.

Apskatīsim tipisku kinemātikas uzdevumu. Aprēķināt bremzēšanas ceļu un bremzēšanas laiku automašīnai, kuras ātrums 72 km/h, ja tā bremzē ar paātrinājumu 0,5 m/s^2. Risinot šādu uzdevumu, skolēni parasti cenšas uzminēt vai atrast vajadzīgo formulu, t. i., tādu formulu,



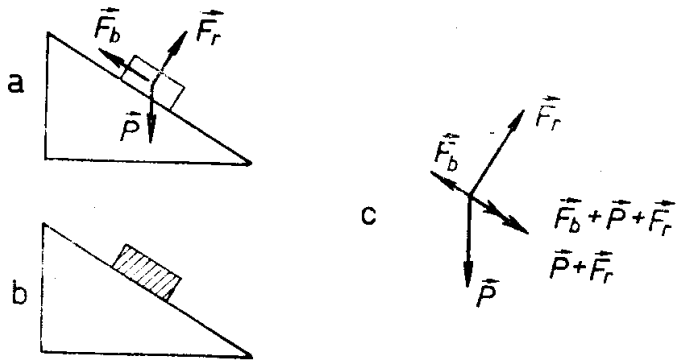
4. att. Modeļi, kurus secīgi aplūko vidusskolas fizikas kursā.

kura satur dotos lielumus un meklējamo lielumu. Šādi rīkojoties, skolēni veiksmes gadījumā iegūst formulu $s=(v^2-v_0^2)/2a$. Taču šāda uzdevuma risināšanas gaita nav fizikāla un neattīsta fizikālo domāšanu, jo iegūtā formula patiesībā ir secinājums no aplūkojamā modeļa. Lai rosinātu skolēnu domāšanu, jāprasa attēlot uzdevumu grafiskajā modelī jeb vienkārši uzzīmēt ātruma grafiku. Protams, šo etapu var apiet, bet tad jāsāk ar vienādojumu risināšanu (5. att. *b*), kas no skolēna prasa daudz augstāku abstrakcijas spēju. Pēc grafiskā modeļa vieglāk iegūt nepieciešamos vienādojumus.

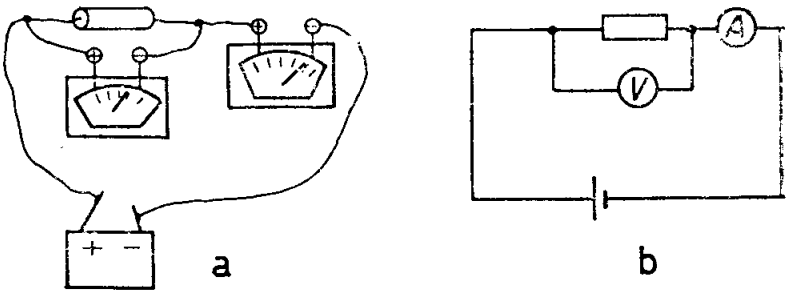


5. att. Vienmērīgi paātrinātas kustības *a* — grafiskais modelis un *b* — matemātiskais modelis (vienādojumi).

Fizikā svarīgu vietu ieņem arī vektoru modeļi, sevišķi mehānikā. Šo modeļu lietošanā bieži vien var vērot nepilnības, kas cieši saistītas ar to, ka vektoru modeļi nereti tiek uzslāņoti ģeometriskajam modelim jeb reālā modeļa shēmai. Tipisks piemērs ir uzdevums par ķermeni uz slīpās plaknes. 6. attēlā *a* parādīts, kā to dara mācību grāmatā «Fizika 9. klasei». Citās grāmatās var atrast zīmējumu, kurā berzes spēks nav pielikts ķermeņa masas centram, bet atbilstošais vektors F_b tiek zīmēts uz pašas slīpās plaknes. Šāda pretruna rodas tieši tādēļ, ka vektoru modelis tiek uzslāņots ģeometriskajam modelim. Jāatceras, ka vidusskolas un arī augstskolas fizikas kursā šos uzdevumus aplūko materiāla punkta mehānikā. Tas nozīmē, ka ķermeņa izmēri šajā uzdevumā tiek ignorēti. Tātad visi spēki tiek pielikti vienā punktā. Uzslāņojot modeļus, noteikti jānorāda, ka dotais uzdevums tiek risināts materiāla punkta modelī. Pareizi būtu lietot abus modeļus



6. att. Mācību grāmatās lietotais slīpās plaknes modelis *a* faktiski ir divu modeļu *b* un *c* uzslāņojums. Vektoru modelis, kas lietojams materiālam punktam, tiek uzklāts reālā modeļa shēmai, kurā ķermenim ir galīgi izmēri.



7. att. Strāvas stipruma un sprieguma mērīšanas
a — reāla slēguma modelis un *b* — topoloģiskais modelis.

atsevišķi (6. att. *b* un *c*). Taču uzslāņotie modeļi ir uzskatāmāki, tāpēc mācību praksē tos bieži arī izmanto.

Iztirzājot elektriskās ķēdes, visbiežāk tiek lietoti slēgumu topoloģiskie modeļi, taču fizikas mācīšanas pirmajā pakāpē var lietot reālus slēgumu modeļus — zīmējumus un paralēli tiem arī topoloģiskos modeļus. Modelisko priekšstatu attīstīšanā noteikta vērtība ir uzdevumiem, kuros pēc reāla slēguma zīmējuma jāuzzīmē topoloģiskais modelis (7. att.).

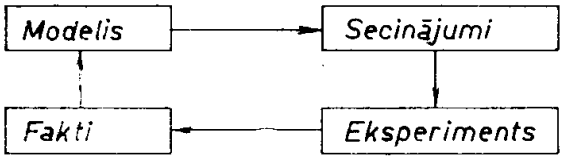
Galvenās fizikālās atziņas tiek iegūtas ar modeļu palīdzību. Fizikā ir divi izziņas veidi — eksperimentālais un teorētiskais. Eksperimentālajam izziņas veidam tiek izveidots pētāmās parādības reālais modelis, bet teorētiskajam izziņas veidam — matemātiskais modelis. Ieviešoties elektroniskajiem skaitļotājiem, attīstās jauns izziņas veids, kurš, no vienas puses, ir pieskaitāms eksperimentālajam izziņas veidam, bet, no otras puses, — teorētiskajam izziņas veidam. Runa ir par t. s. skaitlisko eksperimentu jeb skaitlisko modelēšanu. Aplūkosim, piemēram, harmoniskās svārstības. Tās var izpētīt eksperimentāli reālos modeļos — matemātiskajā svārstā, atsperes svārstā vai svārstību kontūrā. Visus šos reālos modeļus var aprakstīt ar vienu matemātisko modeli (diferenciālvienādojumu) vai algoritmisko modeli (programmu skaitļotājam). Veicot skaitlisku eksperimentu, iegūst Q (pārvietojuma vai elektriskā lādiņa) atkarību no laika.

2.6.2. MODEĻI UN ZINĀTNISKĀS DOMĀŠANAS METODE FIZIKĀ

Analizējot zinātniskos atklājumus fizikā, var konstatēt zinātniskās domāšanas ciklisko raksturu un savukārt zinātniskās domāšanas attīstības ciklā var izdalīt četrus

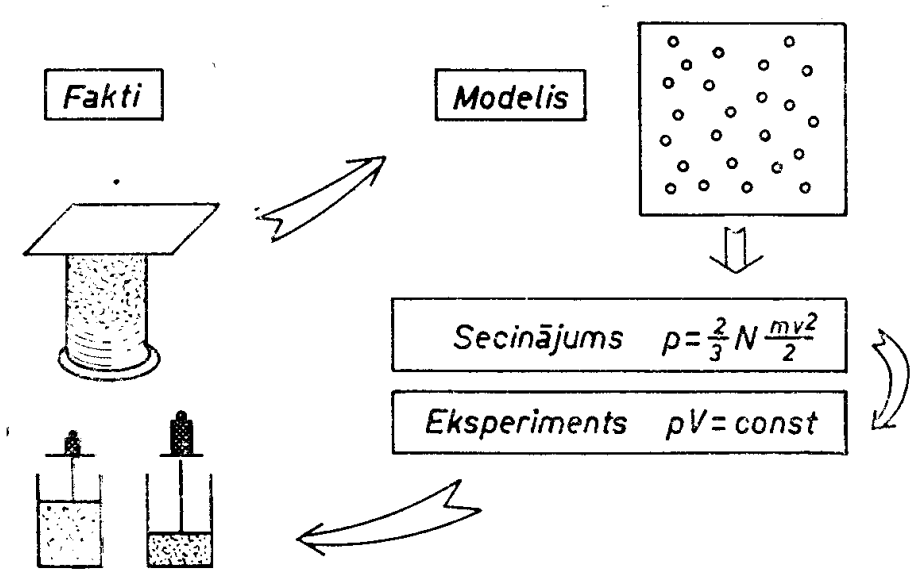
etapus. Šādu zinātniskās domāšanas metodi pirmais sāka apzināti lietot G. Galilejs. Eksperiments kā izziņas līdzeklis bija pazīstams arī pirms viņa, taču tie bija «rupji» eksperimenti. G. Galilejs pētāmo parādību interpretē, cenšas to attīrīt no blakusparādībām, vadoties pēc kādas filozofiskas koncepcijas jeb, kā tagad saka, fizikāla modeļa. G. Galilejam pieder skaisti vārdi par to, ka dabas grāmata «... ir uzrakstīta matemātikas valodā, tās burti ir trijstūri, apļi un citas ģeometriskas figūras, bez kurām cilvēks nevar saprast šīs grāmatas valodu un ir nolemts veltīgai klīšanai tumšā labirintā». Daudzos G. Galileja darbos var fiksēt četras fāzes. Pirmā fāze ir parādības uztvere jeb sajūtu pieredze (tagad saka — novērošana). Otrā fāze ir aksioma jeb, runājot mūsdienu terminoloģijā, darba hipotēze. Tas ir radošā procesa centrālais moments, kas līdzīgs mākslinieka intuīcijai. Trešā fāze ir darba hipotēzes loģiskie secinājumi. Ceturtā fāze ir pārbaude eksperimentā — zinātniskā atklājuma augstākais kritērijs. Šādai radošā procesa attīstībai pakļaujas visi būtiskākie analizētie atklājumi fizikā. Kā ilustrāciju aprakstītajai zinātniskās domāšanas metodei var aplūkot G. Galileja atklāto mehānikas pamatlikumu, kuru tagad sauc par 1. Ņūtona likumu. Daudzos gadsimtos uzkrātā pieredze rādīja, — ja iedarbības nav, tad ķermenis var atrasties tikai miera stāvoklī un, lai ķermenis kustētos ar pastāvīgu ātrumu, nepieciešama pastāvīga citu ķermeņu iedarbība. G. Galilejs pieņēma, ka ķermenis, uz kuru nedarbojas spēki, var atrasties arī vienmērīgā taisnvirziena kustībā. Šādu atziņu viņš guva, analizējot kustību pa slīpo plakni. Ķermenim kustoties pa slīpo plakni uz augšu, tā kustības ātrums samazinās. Kustoties lejup, ķermeņa kustības ātrums pieaug. Ķermenim kustoties bez berzes pa horizontālu plakni, nav cēloņu, kas mainītu tā ātrumu. Šo secinājumu tiešā veidā nevar pārbaudīt, bet var pārbaudīt loģisko secinājumu — jo mazāka berze, jo lēnāk samazinās ķermeņa ātrums. Mūsdienu eksperimentos ar kustību uz gaisa spilvena berze ir tik maza, ka kustību pēc inerces var ļoti uzskatāmi demonstrēt.

Zinātniskā izziņa ir nepārtraukts process, tādēļ, noslēdzoties vienam zinātniskās izziņas ciklam, sākas jauns cikls — esošais modelis tiek pilnveidots un papildināts vai, gluži pretēji, vienkāršots. Tā I. Ņūtons, papildinot Galileja inerces likumu ar otro un trešo likumu, izveidoja materiālā punkta dinamikas modeli kā matemātisku modeli. Jāpiebilst, ka šis Ņūtona klasiskās mehānikas modelis nav vienīgais. Ž. Lagranžs un V. Hamiltons



8 att. Faktu, abstraktā modeļa—hipotēzes, secinājumu un eksperimenta saistība zinātniskās domāšanas attīstībā.

izveidoja vēl divus līdzvērtīgus, bet matemātiski abstraktākus klasiskās mehānikas matemātiskos modeļus. Šis vēsturiskais fakts ir ļoti nozīmīgs fizikas pedagoģijā. Tas nozīmē, ka zinātnes loģika nav viennozīmīga, t. i., vienai un tai pašai parādību kopai var piekārtot vairākus modeļus. Šo modeļu pedagoģiskā vērtība var būt dažāda. Ir pilnīgi skaidrs, ka Hamiltona mehānika, kura pamatojas uz mazākās akcijas principu, nav piemērota mehānikas mācīšanai skolā. ASV fiziķis R. Feinmanis mēģināja mehānikas mācīšanai izmantot Lagranža modeli jeb, precīzāk sakot, enerģijas nezūdamības, impulsa nezūdamības un citus nezūdamības likumus. Nav izslēgts, ka var konstruēt jaunu klasiskās mehānikas modeli, kas mācīšanai skolā pedagoģiski psiholoģiskā aspektā ir efektīvāks par Ņūtona klasiskās mehānikas modeli. Augstskolās aplūko visus trīs minētos mehānikas modeļus. Ar to arī augstākā izglītība atšķiras no vidējās, proti, ka fiziķis profesionālis



9. att. Cikliskuma principa realizācija, mācot tēmu «Gāzu īpašības».

pārvalda vairākus fizikālos un tiem atbilstošos matemātiskos modeļus.

No fizikas vēstures zināms, ka mikropasaules parādību aprakstam kvantu mehānikā vienlaikus tika izveidoti divi matemātiskie modeļi — viļņu mehānika, kuru radīja E. Šrēdingers, un matricu mehānika, kuru izstrādāja V. Heizenbergs.

Radošā procesa ciklu fizikā var attēlot shēmā (8. att.).

Viens no vadošajiem padomju fiziķiem didaktiem V. Razumovskis, atzīmējot šī radošā procesa modeļa svarīgo vietu fizikas vēsturiskajā attīstībā, iesaka cikliskuma principu pārnest arī uz mācīšanu. Viņš min piemēru, kā cikliskuma principu zinātniskajā domāšanā var realizēt fizikā, mācot tēmu «Gāzu īpašības» (9. att.).

Izejas fakti. Molekulāri kinētiskās teorijas pamatā ir fakti no novērojumiem, parādībām un eksperimentiem. Gāze aizpilda visu tai iespējamo telpu. Gāze stipri izplešas, to var viegli saspiest. Gāzē notiek difūzija (to var novērot eksperimentā ar broma tvaiku).

Modelis—hipotēze. Pamatojoties uz šīm parādībām, var uzskatīt, ka gāze sastāv no elastīgām lodītēm — molekulām, kas atrodas nepārtrauktā haotiskā kustībā. Izmantojot šādu gāzes modeli, var izskaidrot gāzes spiedienu. Gāzes spiediens ir kopējais impulss, kuru molekulas atdod trauka sienas laukuma vienībai vienā laika vienībā. Zinot molekulu skaitu N, trauka tilpumu V, molekulas masu m, kā arī vidējo kustības ātrumu v, var aprēķināt gāzes spiedienu uz trauka sienām: $p=2mv\frac{N}{V}\frac{v}{6}=\frac{2}{3}\frac{mv^2}{2}\frac{N}{V}$.

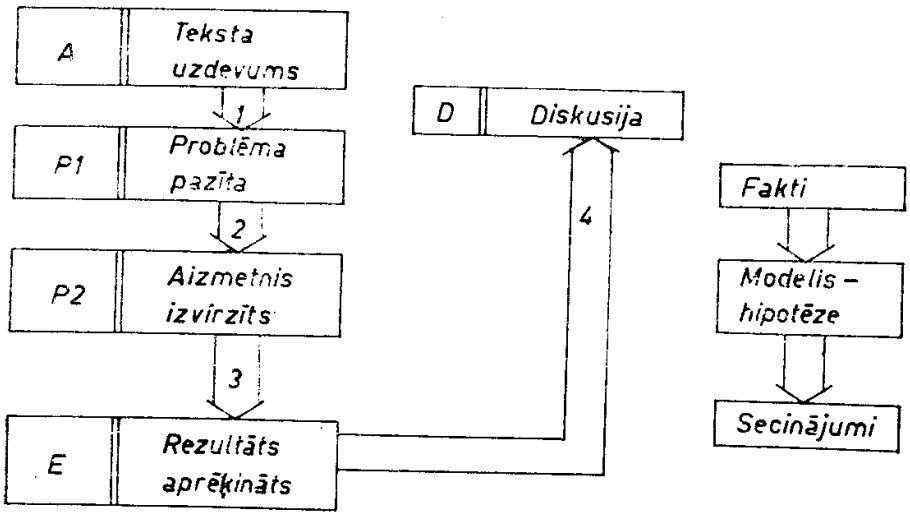
Secinājumi. No iegūtās formulas izriet, ka $pV=\frac{2}{3}N\times\times\frac{mv^2}{2}$, t. i., ja molekulu vidējā kinētiskā enerģija nemainās, tad gāzes spiediena un tilpuma reizinājums dotajai gāzes masai ir nemainīgs lielums.

Eksperiments. Teorētiski iegūto secinājumu eksperimentāli apstiprina Boila—Mariota likums.

V. Razumovskis savā grāmatā[1] apskata vairākus tādus piemērus, kuros cikliskuma principu var realizēt tēmās «Cietvielu īpašības» un «Strāva metālos un pusvadītājos».

---

[1] *Разумовский В. Г.* Развитие творческих способностей учащихся. — М.: Просвещение, 1975. — 272 с.



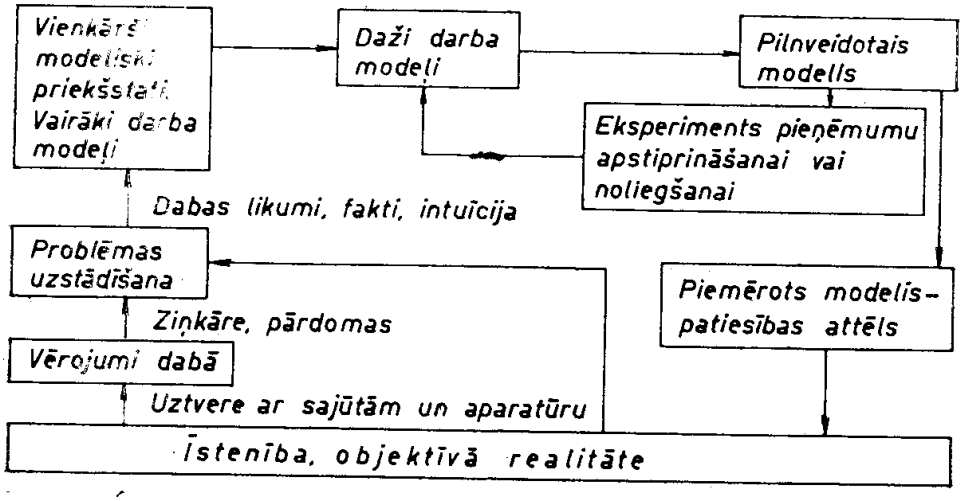
10. att. VDR fiziķu G. Kīslinga un V. Kernera ieteiktā fizikālās domāšanas shēma uzdevumu risināšanā.

Viņš norāda, ka, mācot šīs temas pēc cikliskuma principa, skolēnu zināšanas un izpratne ir daudz dziļākas nekā tad, ja tēma tiek mācīta tradicionāli.

Turpinot šo domu, varētu ieteikt cikliskuma principu apzināti mācīt lietot arī uzdevumu risināšanā. Ļoti līdzīgs tam ir princips (10. att.), kuru uzdevumu risināšanā iesaka VDR fiziķi G. Kīslings un V. Kerners savā uzdevumu krājumā.[1]

Pirmais uzdevumu risināšanas etaps ir pabeigts, kad uzdevuma teksts ir saprasts, t. i., problēma ir pazīta. Zinātniskās domāšanas metodē tas atbilst faktu uzkrāšanas stadijai. Kā norāda abi fiziķi, viņu shēmā otrais etaps ir radošais. Patstāvīgajā darbā autori iesaka izmantot formulu krājumu. Tas faktiski nozīmē, ka jāatrod matemātiskais modelis. Taču ieteiktā metode ir visai formāla. Autori gan iesaka jau pirmajā etapā zīmēt skici. Skice ir ģeometrisks modelis, vektoru modelis, topoloģisks modelis vai vēl kāds cits uzskatāms risināmā uzdevuma modelis (sk. 5. att.). Fizikālās domāšanas aspektā šī modeļa atrašana ir ne mazāk svarīga par vienādojumu (matemātiskā modeļa) atrašanu. Trešais etaps gan autoru shēmā, gan zinātniskās domāšanas ciklā sakrīt. Tas pats sakāms par ceturto etapu. Eksperiments izpaužas atbildes pārbaudē, salīdzinot atbildi ar uzdevuma nosacījumiem un ar vispārzināmām fizikālām atziņām. Šis salīdzinājums

[1] *Kiesling G., Körner W.* Anleitung zum Lösen physikalischer Aufgaben. — VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1978. — 112 S.



11. att. Zinātniskās domāšanas metodes shēma.

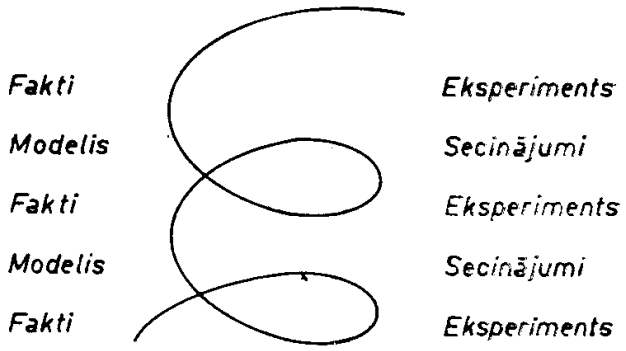
starp VDR fiziķu ieteikto uzdevumu risināšanas shēmu un radošā procesa modeli rosina uz domām, ka radošā procesa modelis ir lietojams uzdevumu risināšanā. 8. attēlā parādītais radošā procesa modelis fizikālajā izziņā ir vienkāršots. Viens no būtiskiem papildinājumiem šajā modelī ir šāds. Kādas problēmas risināšanā cilvēks izveido nevis vienu modeli, bet vairākus. Modeļu atrašanā izmanto jau zināmus modeļus, faktus, dabas likumus, intuīciju. Pamatojoties uz zināmiem dabas likumiem un matematizāciju, cilvēks modeļu skaitu samazina. No atlikušajiem modeļiem izraugās vienu, salīdzinot iegūtos secinājumus ar eksperimentu vai ar pieredzi. Šāda vispārināta shēma, kuru devis H. J. Jodls, redzama 11. attēlā.[1]

Šīs shēmas ilustrācijai aplūkosim zibeni. Pēc viena no pirmajiem zibens modeļiem zibenim ir pārdabisks raksturs, tā ir pērkondieva darbība. Modeļus, kuros nedzīvās dabas parādības atspoguļošanai izmanto elementus no dzīvās pasaules, plaši lieto bērnu grāmatas. Piemēram, O. Sekoras grāmatās dots šāds zibens modelis. «Elektrība patiesi līdzīga kurkulēniem. Kad dabā klusums, elektrība rāmi guļ. Tā ir visur: cilvēkos, zemē, zālē, akmeņos, pat vecajā zābakā. Elektrība mājo gan mākoņos, gan kokos, gan mājās, gan kalnos. Tā ir neredzama, bet sastopama vienmēr un visur. Tiklīdz vējš sadzenā mākoņus, tiklīdz tuvojas negaiss, elektrība pamostas. Kurkulēni briesmīgi dusmojas, ja negaiss iztraucē to mieru. Viņi sāk lēkāt, meklēt

[1] *Jodl H. J.* Modelle und Strukturen in der Physik. — Physik und Didaktik, München, 1973, Jg. 1, H. 3, S. 205—211.

cits citu un pulcējas vienkop. Kad kurkulēni redz, ka viņu pulks jau prāvs, tie sāk rosīties... Tagad viņi dusmās gatavojas uzbrukumam, grib kaut kam iespert. Kurkulēni ierauga šo kalnu. Tūlīt viņi tajā iespers. Trah! Pērkona grāviens. No mākoņa pašķīda zibens — liela elektriska dzirkstele — un iespēra kalna galā. No mākoņa izbrāzās arī kurkulēnu bars un reizē ar zibeni devās uz kalnu.»[1] No fizikas vēstures zināms, ka G. Rihmanis un M. Lomosovs eksperimentāli pierādīja zibens saistību ar elektriskajām parādībām. Uz šādu modeli viņus acīmredzot vedināja zibens līdzība ar elektriskās izlādes parādībām, kuras jau tolaik prata izraisīt mākslīgi. Tā radās mūsdienu modelis par ūdens pilienu uzlādēšanos gaisa strāvās un elektriski lādētu mākoņu veidošanos. Fiziķis, daudzu demonstrējumu eksperimentu autors, R. Pols ieteica eksperimentu šī modeļa apstiprināšanai. Uz plates novieto sēra pulvera un mazu dzelzs lodīšu maisījumu (mazie un lielie ūdens pilieni). Kamēr šis maisījums krīt lejup, no sāniem pūš uz to ar fēnu (vējš). Zemāk novietota plate, kas savienota ar elektroskopu un uzķer metāla lodītes. Elektroskopa rādītājs krasi novirzās. Tas liecina, ka metāla lodītes (lielie ūdens pilieni) ir uzlādējušies.

Bieži tiek runāts par zinātnes spirālveida attīstību. Sevišķi labi tā saskatāma fizikālo modeļu attīstībā (daļēji tas atspoguļots jau 8. att. un 11. att.). Spirālveida attīstība uzskatāmāk parādīta 12. attēlā. Zinātniskās domāšanas attīstību var skatīt dažādos aspektos, piemēram, kā tādu modeļu attīstību, kuri aptver aizvien plašāku parādību



12. att. Zinātniskās domāšanas spirālveida attīstība. Modeļiem katrā nākamajā pakāpē ir aizvien lielāka abstrakcijas pakāpe.

[1] *Sekora O.* Dabas bilžu grāmata. — R.: Liesma, 1972, 11. un 12. lpp.

loku. Taču var apskatīt arī modeļus, kuri apraksta vienu un to pašu parādību loku, bet dažādās abstrakcijas pakāpēs.

Aplūkosim dažus modeļus, kurus lieto augstskolā, vidusskolā, pamatskolā un pirmsskolas periodā.[1]

Līdzsvars.

Augstskolā. Dalambēra princips $\sum_i \left(F_i - m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2}\right) = 0.$

Visu spēku virtuālo pārvietojumu darbu summa ir nulle.

Vidusskolā. Spēku momentu summai attiecībā pret rotācijas asi jābūt vienādai ar nulli: $\sum_i M_i = 0.$

Pamatskolā. $F_1 l_1 = F_2 l_2$ vai $F_1/F_2 = l_2/l_1$.

Pirmsskolas periodā. «Ja es šūpolēs sēžu tālu no centra, bet tētis tuvu centram, tad šūpoles ir līdzsvarā.»

Kinētiskā enerģija.

Augstskolā. $E = p^2/(2m)$; $E = mc^2 - m_0c^2$.

Vidusskolā $E = mv^2/2$.

Pamatskolā. Jo lielāka masa, jo lielāka enerģija. Jo lielāks ātrums, jo lielāka enerģija.

Pirmsskolas periodā. «Ja bumbai iesper stiprāk, tā lido ātrāk un tālāk.»

Pretestība.

Augstskolā.

$$\int_a^b E ds = I \int_a^b \frac{\rho}{S} ds; \qquad \rho = \frac{2mv(T)}{nq^2\lambda(T)}.$$

(Šeit ρ — īpatnējā pretestība, v — elektronu vidējais ātrums, λ — vidējais noskrējiena garums, m un q elektrona masa un lādiņš, S — vada šķērsgriezuma laukums, T — temperatūra).

Vidusskolā. $R = \rho l/S$.

Pamatskolā. $U = IR$.

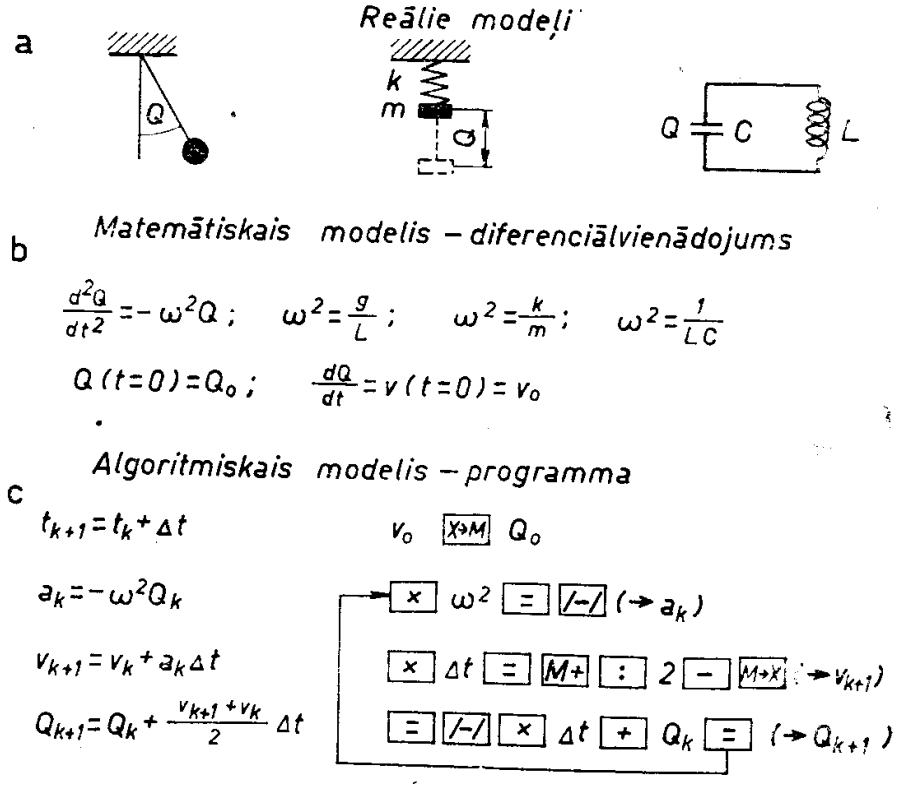
Pirmsskolas periodā. «Savienojot bateriju ar vienu spuldzīti, kā kvēlo spilgti. Pievienojot baterijai divas spuldzītes vienu aiz otras, tās kvēlo vājāk.»

No šiem trim piemēriem izriet, ka pirmos modeļus bērni izveido savas aktīvās darbības rezultātā. Pēc tam tiek veidoti dažādi uzskatāmi modeļi, bet vēlāk — simboliskie modeļi. Tātad fizikas pamatidejas var apgūt jebkurš cilvēks, tikai jāizraugās atbilstošs modeļu līmenis. Mācību

[1] *Nachtigall D.* Die Fachdidaktik als Berufswissenschaft der Lehrer. — Physik und Didaktik, München, 1975, Jg. 3, H. 1, S. 29—49.

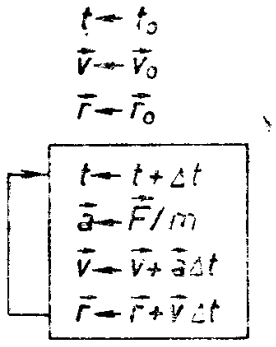
procesā nedrīkst būt robu. Pārzinot fizikālos modeļus visās abstrakcijas pakāpēs, var dot nākamajai paaudzei stingras zināšanas fizikā, pie tam ievērojot didaktikas pamatprincipu — no vienkāršākā uz sarežģītāko.

Fizikas mācīšanā modeļi ir ne tikai nepieciešamās informācijas avots. Tieši ar modeļu palīdzību tiek iegūtas jaunas zināšanas. Arī šajā ziņā ir svarīgi zināt un lietot vienas un tās pašas parādības vairākus modeļus. Modeļu izpēte fizikā šodien ir iespējama trīs veidos: eksperimentāli reālajā modelī, teorētiski matemātiskajā modelī un skaitliskā eksperimentā ar matemātisko modeli. Kā zināms, var būt arī tādi fizikāli modeļi, kurus mācību procesā un arī zinātnē nevar izpētīt eksperimentāli (eksperiments var būt bīstams, darbietilpīgs, dārgs, ar pieejamiem tehniskiem līdzekļiem nerealizējams). Šādos gadījumos jālieto analītiskās vai skaitliskās matemātiskās metodes. Taču ar analītiskajām metodēm arī ne vienmēr var iegūt rezultātu — analītisks atrisinājums var neeksistēt, vai arī mūsu matemātikas zināšanas var izrādīties nepil-



13. att. Harmoniskās brīvās svārstības var izpētīt *a* — eksperimentāli reālajos modeļos, *b* — atrisinot diferenciālvienādojumu vai *c* — skaitliskā eksperimentā ar elektronisko kabatas skaitļotāju.

nīgas uzdevuma atrisināšanai. Šajā gadījumā palieck vēl trešā iespēja — fizikāla modeļa realizēšana skaitliskā eksperimentā ar elektronisko skaitļotāju (skolās — elektroniskā kabatas skaitļotāja izmantošana). Kuru no modeļa izpētes paņēmieniem lietot fizikas mācīšanā, tas atkarīgs no skolēnu zināšanām, skolas un kabineta iespējām, no mācīšanai paredzētā laika un pedagoģiskajiem mērķiem. Kā piemēru var minēt brīvu nerimstošu harmonisko svārstību izpēti (13. att.).



14. att. Materiāla punkta kustības algoritmiskais modelis.

Matemātiskā svārsta un atsperes svārsta eksperimentālu izpēti var veikt katrā skolā. Galvenais mēraparāts ir hronometrs, ar kuru var noskaidrot svārstību perioda atkarību no svārsta garuma, masas, atsperes stinguma koeficienta. Izmantojot stroboskopisko apgaismojumu, oscilografu vai filmēšanu, var iegūt koordinātas Q atkarību no laika, kā arī noteikt funkcijas $v(t)$ un $a(t)$. Svārstību kontūru var izpētīt ar oscilografu. 11. klasē harmoniskās svārstības tiek pētītas arī matemātiskā modeļa ietvaros, kas sagādā lielas grūtības, jo diferenciālvienādojumu izpratnes un risināšanas iemaņu skolēniem nav. Tagad iespējams izpētīt svārstības arī skaitliskā eksperimentā ar elektronisko kabatas skaitļotāju. Šī modeļa izpētei nav vajadzīgas papildzināšanas matemātikā, jo izmantojamie vienādojumi skolēniem ir labi pazīstami; izpētes procesā skolēniem pašiem jāiegūst fakti un tie jāanalizē. Skaitliskiem eksperimentiem zinātnē būs aizvien lielāka loma un tāpēc nākotnē šim izziņas veidam vajadzēs ierādīt noteiktu vietu arī skolā. Jāatzīmē arī skaitlisko metožu universālais raksturs. Tā, piemēram, materiāla punkta kustību var izpētīt algoritmiskā modelī (14. att.).

Ar šo algoritmu var iegūt jebkura materiāla punkta kustības uzdevuma atrisinājumu, ja tikai ir zināma spēka atkarība no koordinātas, ātruma un laika. Lai iegūtu pietiekami labus rezultātus, laika intervālam Δt ir jābūt mazam. Taču, izmantojot elektroniskos skaitļotājus, tas nav šķērslis modeļa izpētē.

3. nodaļa

FIZIKĀLĀS DOMĀŠANAS ATTĪSTĪBAS PSIHOLOĢIJA

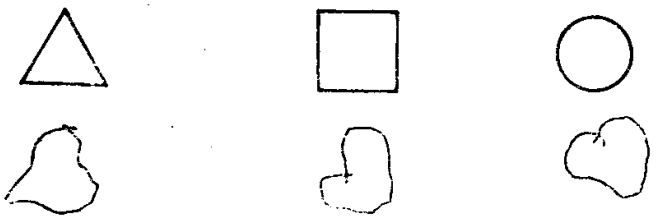
3.1. KĀ ATTĪSTĀS BĒRNU DOMĀŠANA

Bērnu fiziskā attīstīšanās un augšana ir zinātniski labi izpētīta, tās pamatlikumus zina ikviens gan pēc savas pieredzes, gan pēc radinieku un paziņu bērnu vērojumiem. Pēc piedzimšanas bērnu augums un svars pieaug eksponenciāli, pēc dažiem gadiem augšanas ātrums samazinās un, kad skolēni pabeidz vidusskolu, viņu augšana praktiski jau apstājusies. Bet kā ir ar bērna intelektuālo izaugsmi? Vai tā arī ir pakļauta kaut kādiem precīziem attīstības likumiem? Kā zināms, bērna fiziskās augšanas procesu ir grūti mainīt, piemēram, nav iespējams samazināt cilvēka augumu, nerunājot, protams, par ķirurģiskiem vai mehāniskiem paņēmieniem. Tāpat nevar arī palielināt cilvēka augumu, piemēram, līdz četru metru garumam. Taču intelektuālās attīstības likumi vēl ir maz izpētīti, tāpēc par iespējām ar mācīšanu un audzināšanu ietekmēt intelektuālo attīstību eksistē visdažādākie uzskati. Vispirms apskatīsim, kādu attīstību bērnam programmē mūsdienu skola. Skolas programma paredz, ka bērnam jāapgūst visas galvenās zināšanas, kuras cilvēce uzkrājusi savā attīstībā. Droši vien tas arī pamudināja E. Hekeli izteikt ideju, ka bērns savā attīstībā atkārto cilvēces vēsturisko attīstību. Šo domu atbalstīja arī izcilais franču fiziķis Nobela prēmijas laureāts L. Debroljī, teikdams, ka «... bērna un jauna cilvēka prāts zināmā nozīmē atkārto cilvēces prāta vēsturi». Tagad atliek tikai noskaidrot, vai cilvēces prāta vēstures atkārtošana ir mūsu rīcības princips, saskaņā ar kuru tiek sastādītas mācību programmas, vai tikai bērnu psiholoģiskās attīstības likums. Ja tas ir psiholoģiskās attīstības likums, tad, nedaudz vulgarizējot, bērnu attīstība būtu šāda: septiņu astoņu gadu vecumā bērns domātu kā Aristotelis, pusaudža gados — kā Galilejs, bet studiju gados — kā Einšteins. Un, lai cik neparasti tas liktos, daudzi piemēri šo hipotēzi arī apstiprina.

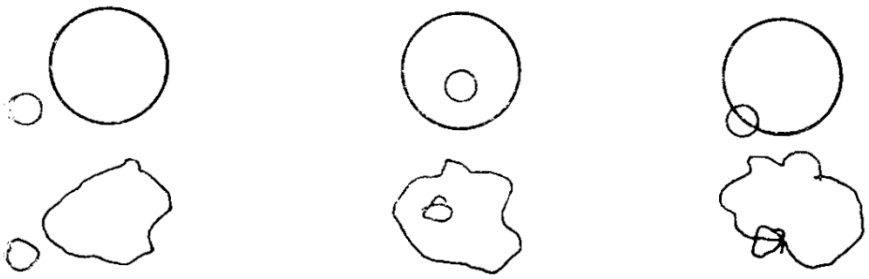
Ja septiņus gadus vecam bērnam jautā, kāpēc ar kāju pasperta bumba turpina lidojumu, tad parasti viņš atbild: «Gaiss to grūž uz priekšu»; «cilvēks iekustina gaisu un tas turpina kustināt bumbu». Līdzīgi izsviesta akmens vai šāviņa kustību skaidroja sengrieķu filozofs Aristotelis. No mūsdienu viedokļa var saprast šādu kustības interpretāciju. Bērns no savas aktīvās pieredzes un vērojumiem redz, ka kustība rodas divu ķermeņu mijiedarbībā. Lai pārvietotu rotaļlietu vai krēslu, bērns to stumj vai nes. Vērojot ķermeņa brīvu kustību, bērns meklē otru ķermeni jeb aģentu — kustības pārnesēju. Fizikas vēsturē var norādīt vēl vienu posmu, kad tika meklēts šāds kustības pārnesējs. Kad pēc Dž. Maksvela darbiem kļuva skaidrs, ka gaisma ir elektromagnētiskie viļņi, tad intensīvi tika meklēta vide (ēters), kurā šie viļņi izplatās. Šīs psiholoģiskās barjeras pārvarēšanai tika veikti speciāli eksperimenti, kas apliecināja, ka ētera nav. Pirms elektromagnētisma perioda cilvēki pazina tikai tādus viļņus, kas izplatās kādā vidē, piemēram, virsmas viļņi izplatās ūdenī, skaņa — gāzēs, šķidrumos vai cietās vielās. Tāpēc cilvēkiem tā bija dabiska psiholoģiska prasība meklēt vidi, kurā izplatās elektromagnētiskie viļņi. Otrs piemērs, kas liecina, ka mūsdienu bērnu garīgā attīstība atkārto vēsturisko izziņas virzienu, ir saistīts ar projektīvās ģeometrijas elementiem. Kā veidojas priekšstati par perspektīvu un ķermeņu telpiskā izvietojuma attēlošanu plaknē? Iepazīstoties ar viduslaiku mākslas darbiem, viegli konstatēt, ta tajos trūkst perspektīvas. Ķīnieši un japāņi, piemēram, tālumā esošas mājas, kokus, cilvēkus zīmēja tikpat lielus kā objektus priekšplānā, bet novietoja vienu virs otra. Eiropas glezniecībā perspektīva apzināti ienāk ar Leonardo da Vinči un A. Dīrera darbiem, viņi arī izstrādāja paņēmienus, kā gleznā pareizi attēlot perspektīvu. Tikai 18. gadsimtā G. Monža darbos radās atbilstošā matemātikas nozare — tēlotāja ģeometrija.

Taču ne vienmēr bērna intelektuālā attīstība atkārto cilvēces vēsturisko attīstību. Lielu interesi par fizikālās domāšanas psiholoģiju izrādīja viens no izcilākajiem visu laiku fiziķiem A. Einšteins. Viņam bieži tika jautāts un viņš pats sev arī uzdeva jautājumu, kāpēc tieši viņš atklāja relativitātes teoriju. A. Einšteins vairākkārt izteica domu, — viņa laime esot tā, ka viņš līdz zinātniskā brieduma gadiem esot saglabājis spēju brīnīties un skatīties uz pasauli ar bērna acīm. 1928. gadā A. Einšteins uzstādīja jautājumu, kas deva stimulu fizikālās domāšanas psiholoģijas eksperimentālajai izpētei. A. Einšteins vēlējās

uzzināt, vai ātruma jēdziens bērniem rodas pirms vai pēc laika mērīšanas jēdziena. Jautājums var likties dīvains, jo pat vienkāršākajā gadījumā ātrums mērāms ar ceļa un laika attiecību: $v=s/t$. Kā bērnam var būt priekšstati par ātrumu pirms viņš prot kvantitatīvi novērtēt ceļa un laika attiecību? Savukārt no ikdienas pieredzes zināms, ka bērni pirmsskolas periodā un pat pirmajā klasē diezgan brīvi operē ar ātruma jēdzienu, vērojot sporta sacīkstes. Šī ikdienas pieredze un paša domāšanas stils deva drošu pamatu A. Einšteinam izvirzīt šādu jautājumu. To eksperimentāli pētīt sāka viens no izcilākajiem XX gadsimta psihologiem Žans Piažē. Viņš Einšteina jautājumu vispārināja un formulēja šādi: «Vai bērna intelektuālā attīstība notiek vēsturiskā vai loģiskā secībā?» Vislabāk šo jautājumu un tā eksperimentālo izpēti var ilustrēt ar piemēru no ģeometrijas. Vēsturiski ģeometrija veidojusies šādā secībā: Eiklīda ģeometrija (2. gs. p. m. ē.), tēlotāja ģeometrija (16. ... 18. gs.), topoloģija (19. gs.). Turpretī loģiski ģeometrija ir sakārtota šādi: topoloģija, Eiklīda ģeometrija, tēlotāja ģeometrija. Protams, bērnu attīstības pētījumos varam interesēties tikai par šo zinātņu pamatjēdzieniem. Topoloģija aplūko tādas figūru vispārīgās īpašības, kā «būt slēgtai», un īpašības, kas raksturo divu figūru kaimiņattiecības. Piemēram, četrstūris, trijstūris un riņķis topoloģiski ir vienādas figūras, jo tās ir slēgtas. Taču minētās figūras atšķiras no leņķa, loka, burta *n*, kuras savā starpā arī ir topoloģiski vienādas, jo tās ir nenoslēgtas jeb vaļējas figūras. Divu slēgtu figūru attiecības var atšķirt, piemēram, šādās situācijās: viena figūra var atrasties otrā figūrā vai ārpus tās, figūras var arī šķelties. Eiklīda ģeometrijas pamatelementi ir taisne, leņķis, bet no projektīvās ģeometrijas vienkāršākie priekšstati saistīti ar perspektīvu un ķermeņu attēlošanu. Lai noskaidrotu, kādā secībā — loģiskajā vai vēsturiskajā — attīstās ģeometriskās domāšanas elementi agrā bērnībā,



15. att. Piažē uzdevums — uzzīmēt attēlā redzamās figūras — un tā atrisinājums 3 gadus 6 mēnešus vecas meitenes izpildījumā.



16. att. Piažē uzdevums par divām figūrām un tā atrisinājums 3,5 gadus vecas meitenes izpildījumā.

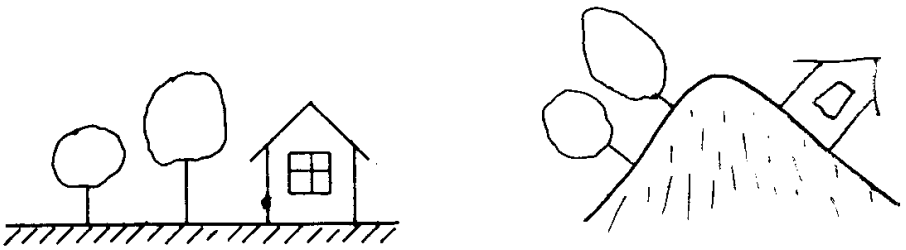
Ž. Piažē izstrādāja vienkāršus uzdevumus. Bērnam parāda četrstūra, trijstūra un riņķa zīmējumus un lūdz viņam uzzīmēt katru šo figūru vēlreiz. 15. attēlā redzams, kā šo uzdevumu atrisinājusi meitene, kurai ir 3 gadi un 6 mēneši. Ilustrācijām izraudzīti piemēri no pētījumiem mūsu republikā.

Attēlā redzams, ka šajā vecumā meitenei vēl nav priekšstatu par Eiklīda ģeometriju, bet viņa saskata šo figūru topoloģisko īpašību — slēgtību. Interesanti piebilst, ka bērni nākamo iemācās zīmēt četrstūri un pēdējo — trijstūri. Tā, piemēram, kāda meitene 5 gadu vecumā sekmīgi uzzīmēja riņķi un četrstūri, bet atteicās zīmēt trijstūri. Pēc atkārtota lūguma mēģināt tomēr uzzīmēt, meitene atbildēja: «Es nesaprotu, kā to izdarīt». Tas nozīmē, ka leņķa vispārinātais jēdziens (četrstūrī ietilpst vieglāk uztveramais taisnais leņķis) attīstās vēlāk. Pirms Eiklīda ģeometrijas priekšstatiem bērni uztver arī topoloģisko aspektu divu figūru savstarpējā novietojumā. Viņi viegli attēlo divu slēgtu figūru kopu, ja viena no tām atrodas otras iekšpusē vai ārpusē, vai arī, ja figūras šķeļas (16. att.).

Topoloģiskos priekšstatus var atrast arī pirmajos bērnu zīmējumos. Minētie piemēri uzskatāmi rāda, ka bērniem priekšstati ģeometrijā veidojas loģiskā, nevis vēsturiskā secībā.

3.2. KĀ VEIDOJAS PRIEKŠSTATI PAR FIZIKĀLU ATSKAITES SISTĒMU

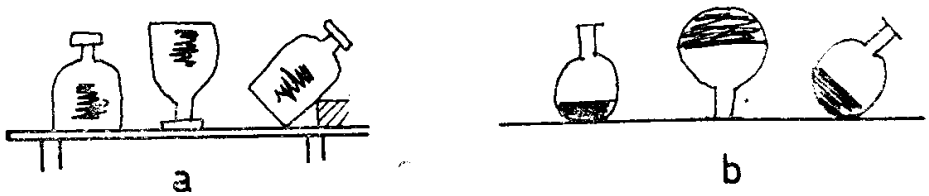
Kopš dzīves pirmajām dienām bērns sastopas ar horizontālām un vertikālām līnijām un virsmām, piemēram, grīdu, galda virsmu, ūdens virsmu dažādos traukos un ezerā, kokiem, dzīvokļa sienām, dažādiem cilvēka stāvokļiem. Piemēru šķiet tik daudz, ka priekšstatiem par



17. att. Piažē uzdevums — attēlot pļavā redzamo ainavu kalna nogāzē — un tā atrisinājums 6 gadus 2 mēnešus veca zēna izpildījumā.

atskaites sistēmu vajadzētu rasties tūlīt pēc Eiklīda ģeometrijas priekšstatu izveidošanās. Taču izrādās, ka fizikālās atskaites sistēmas jēdziens bērniem izstrādājas tikai apmēram 7—8 gadu vecumā, kad viņi sāk iet skolā. Par to pārliecina divu Piažē uzdevumu risinājumi. Bērnam uzzīmē šādu ainavu: līdzenā laukā ir divi koki un māja. Pēc tam viņam iedod zīmējuma sagatavi, kurā attēlota kalna nogāze un lūdz papildināt zīmējumu ar diviem kokiem un māju. Līdz noteiktam vecumam bērni nespēj uzzīmēt fizikāli pareizu zīmējumu (17. att.).

Interesants bērniem un pamācošs pieaugušajiem ir uzdevums par tintes pudelēm. Bērnam parāda zīmējumu, kurā redzama tintes pudele ar tajā iezīmētu tinti. Bērnam jāattēlo tinte divās citās pudelēs — sagāztā un apgāztā. Sākumā bērni dod topoloģisku atrisinājumu, viņi attēlo zīmējumā tikai to, ka «kaut kas atrodas iekš kaut kā» (18. att. *a*). Vēlāk tiek dots nefizikāls atrisinājums, kas norāda, ka aptuveni līdz 8 gadiem bērni nespēj izstrādāt atbilstošās fizikālās parādības ideālu modeli (18. att. *b*). Lai dotu korektu zīmējumu — atbildi, bērnam domās jāmodelē pudeles apgāšana un jāsecina par šķidruma kustību.

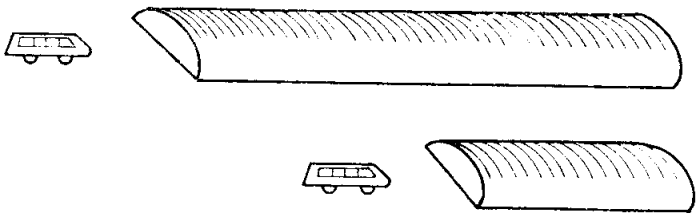


18. att. Piažē uzdevums — iezīmēt tinti sagāztajā un apgāztajā pudelē — un tā atrisinājuma *a* — 2 gadus 7 mēnešus un *b* — 7 gadus veca bērna izpildījumā.

3.3. FIZIKĀLO JĒDZIENU PSIHOLOĢISKĀ IEDALĪŠANA DIFERENCĒTOS UN NEDIFERENCĒTOS JĒDZIENOS

Ģeometrijas piemērā uzskatāmi varējām pārliecināties, ka bērniem jēdzieni veidojas loģiskajā secībā. Daudzi fizikāli jēdzieni veido savstarpēji saistītu jēdzienu grupu: laiks, pārvietojums, ātrums; spēks, pārvietojums, darbs; enerģija, laiks, akcija. Šajā uzskaitījumā pirmie divi jēdzieni nepieciešami trešā jēdziena definēšanai un tos sauc par diferencētiem jēdzieniem (viens no otra nodalīti). Savukārt jēdzienu, kuru veido diferencētie jēdzieni, sauc par nediferencētu jēdzienu. Rodas jautājums, kuri no šiem jēdzieniem (diferencētie vai nediferencētie) bērniem veidojas agrāk. A. Einšteins 1928. gadā ieteica Ž. Piažē izpētīt laika un ātruma jēdziena psiholoģisko veidošanos. Šie jēdzieni zināmā mērā veido apburtu loku klasiskajā mehānikā: ātrumu nosaka laiks, bet laika mērīšanai izmanto ātrumu. A. Einšteins bez tam norādīja, ka klasiskajā mehānikā laiks tiek uzskatīts par elementārāku un tiešāk uztveramu jēdzienu nekā ātrums, bet relativitātes teorijā laiks ir atkarīgs no ātruma. Ž. Piažē atklāja bērnos primāru ātruma intuīciju, kas nav pakārtota laika jēdzienam. Ar šo ātruma intuīciju (jēdzienu) bērni aktīvi operē jau tad, kad viņi vēl nezina sakarību $v=s/t$. Ž. Piažē šo problēmu noskaidroja vienkāršā intervijas tipa uzdevumā (19. att.).

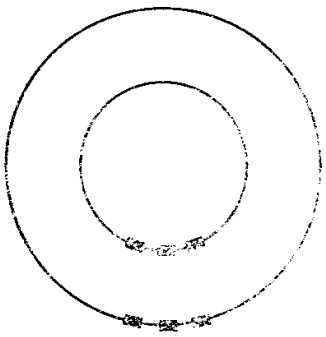
Ž. Piažē eksperimenta protokols ir šāds. «Zēns, 6 gadi. Vai viens no tuneļiem ir garāks? Jā, šis. Skaties! Abas automašīnas startē vienlaikus un finišē vienlaikus. Vai kāda brauca ātrāk? Nē. Kāpēc? Vai abas ceļā pavadīja vienādu laiku? Jā. Vai tās nobrauca vienādus ceļa gabalus?



19. att. Piažē intervijas tipa uzdevums, lai noskaidrotu, kā bērni izprot ātruma jēdzienu. Spēļu automašīnas vienlaikus startē, izbrauc cauri tuneļiem un vienlaikus parādās tuneļu izejās. Tuneļu garumi ir dažādi.

Nē, šī nobrauca garāku gabalu. Vai mašīnas vienlaikus startēja? Jā. Un, vai vienlaikus finišēja? Jā. Vai kāda bija ātrāka? Nē. Tātad abas brauca ar vienādu ātrumu. Tuneļus noņem. Vai abas brauca ar vienādu ātrumu? Nē, šī brauca ātrāk. Atkārto eksperimentu ar tuneļiem. Starte vienlaikus? Jā. Vai vienlaikus finišē? Jā. Vai abas brauca ar vienādu vai dažādu ātrumu? Ar vienādu.» Eksperimentā ar tuneļiem bērns nespēj spriest par ātrumu, viņš to reducē uz laiku. Eksperimentā bez tuneļiem bērns pareizi atbild, tas liecina, ka viņā eksistē intuīcija par ātrumu. Bērna intuitīvais priekšstats par ātrumu ir saistīts ar apsteigšanu, panākšanu, tātad ar notikumu secību un pozīciju relatīvo maiņu. Ātruma jēdziens, kas pamatojas uz telpas un laika secību saglabājas līdz 8—9 gadu vecumam. Atkārtojot šo eksperimentu mūsu republikā, tika noskaidrota jaunāku tātad mazāk attīstītu bērnu reakcija uz demonstrējumu. Divus gadus un 8 mēnešus vecs zēns, noskatījies eksperimentu ar tuneļiem un bez tuneļiem, apgalvoja, ka otrā mašīna brauca ātrāk. Viņa motivācijā «Otrā ir sacīkšu mašīna». Šo apgalvojumu zēns izteica jau pirms demonstrējuma. No sarunām ar citiem un brāli viņš zināja, ka sacīkšu mašīnas brauc visātrāk. Viņa brālis (7,5 gadi) atbildēja nepārliecinoši, bet pareizi. Padomājis viņš deva šādu paskaidrojumu. «Tad, kad otrā mašīna bija pie svītras (otrā tuneļa galā), pirmā mašīna šo vietu jau sen bija šķērsojusi». Viņš lietoja ātruma intuitīvo priekšstatu, bet bija spējīgs to lietot jaunā kvalitātē — ideālā modelī, jo tuneļa klātbūtne viņu netraucēja. Savus secinājumus viņš ieguva no modelī veiktā domu eksperimenta par redzēto parādību.

Piažē intervijas tipa uzdevumu var pilnveidot un variēt. Viens no iespējamiem pilnveidojumiem ir tāds, ka eksperimentu uzņem filmā vai videolentē. Tam ir virkne priekšrocību, jo visiem bērniem tiek radīta precīzi viena un tā pati situācija, kas reālā intervijas tipa eksperimentā praktiski nav iespējams. Otrs šī uzdevuma variants saistīts ar pārnešanu uz problēmsituācijas izveidošanu mehānikā, lai noskaidrotu leņķiskā ātruma jēdzienu. 20. attēlā parādīta situācija no mācību filmas «Kurš brauc ātrāk?». Bērnu spēļu vilcieniņi vienlaikus sāk braukt un beidz braukt. Tie brauc ar vienādu leņķisko ātrumu. Pēc dažādām



20. att. Situācija no mācību filmas «Kurš brauc ātrāk?».

skolēnu atbildēm kļūst skaidrs, ka jālieto divi ātruma jēdzieni — lineārais ātrums un leņķiskais ātrums.

Piažē uzdevums par ātrumu atstāja dziļu iespaidu uz fiziķiem profesionāļiem. Eksperimentu rezultāti parādīja, ka ātrumu saskaitīšanas relatīvistisko likumu var iegūt, neizmantojot laiku ātruma definēšanai tradicionālajā kvantitatīvajā nozīmē.

Vispārinot savus pētījumu rezultātus, Ž. Piažē izteica hipotēzi, ka intuitīvi priekšstati par nediferencētiem jēdzieniem veidojas jau tad, kad bērni vēl nespēj tos konstruēt, pamatojoties uz atbilstošajiem diferencētajiem jēdzieniem, kā to dara fizikas grāmatās. Jāpiebilst, ka tieši nediferencētie jēdzieni ir centrālie jēdzieni pēdējās divās fizikas revolūcijās — relativitātes teorijā un kvantu mehānikā. Kvantu mehānikā fundamentālā loma ir akcijas jēdzienam. Ž. Piažē ir konstatējis priekšstatus par akciju jau maziem bērniem. Relatīvi agri bērni uztver divu akciju ekvivalenci, piemēram, pārvietojot ķermeni ar stumšanu un sviešanu, kaut gan pēc pirmā paņēmiena pārvietošana notiek daudz ilgāk. Akcijas jēdziens parādās arī asprātības uzdevumā «Vai var pacelt 500 kg?». Šo uzdevumu parasti atrisina, piedāvājot pacelt 500 kg pa daļām, piemēram, pa 10 kg, bet darot to 50 reizes.

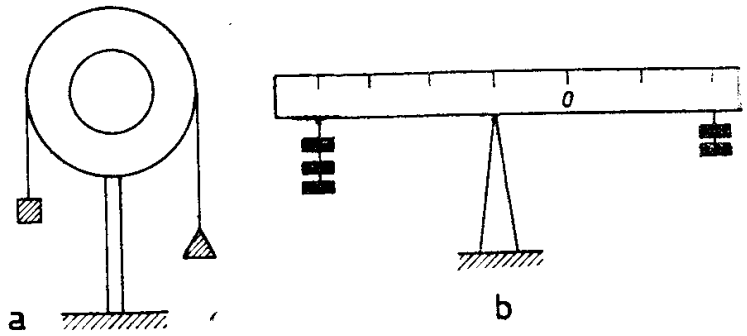
3.4. SPONTĀNĀ MODEĻU VEIDOŠANA

Galvenās atziņas fizikā skolēniem tiek veidotas tad, kad viņiem māca teorētiskos jautājumus, pamatojoties uz tradīcijām fizikas metodikā, kura bieži vien kopē izziņas vēsturi. Gan fizikas vēsturē, gan mūsdienu fizikā centrālā loma izziņas procesā ir eksperimentam. Turpretī skolas un daļēji arī augstskolas fizikas laboratorijas darbos eksperiments tiek izmantots galvenokārt teorētisko atziņu apstiprināšanai. Tāpat kā attiecībā uz jēdzienu veidošanos, no psiholoģijas viedokļa būtu interesanti zināt, kādā secībā bērna prāts veido modeļus (likumus), ja bērni eksperimentē paši. Vēl nav zināms, vai bērni modeļus veido tādā secībā, kādā tie veidojušies vēsturiski, kādā māca skolā, vai arī veido spontāni.

Lielu popularitāti spontānās mācīšanās (pašmācīšanās) noskaidrošanā guvis uzdevums par sviru. Līdzsvara likuma atklāšanu ar 2.—4. klašu skolēniem pētījusi padomju didakte Z. Kalmikova, ar pusaudžiem — Ž. Piažē skolnieks F. Kublis, bet ar 7.—11. klašu skolēniem — mūsu republikā skolotājs J. Rozenblats. Z. Kalmikova

konstatējusi, ka spontānās mācīšanās cikla (30 eksperimenti) rezultātā skolēnu formulētos likumus pēc vispārīguma var sadalīt 7 līmeņos jeb pakāpēs. Tie, kas sasniedz septīto līmeni, formulē likumu abstrakti: «Svira ir līdzsvarā, ja spēki ir apgriezti proporcionāli pleciem.» Arī sestajā līmenī skolēni dod abstraktu līdzsvara formulējumu: «Līdzsvars ir tad, ja, dalot centimetrus ar centimetriem un gramus ar gramiem, iegūst vienādus skaitļus.» Piektajā un ceturtajā līmenī skolēnu formulējums ir konkrēts: «Vajag 20 cm izdalīt ar 5 cm, tad iznāk 4. Ja četrus atsvarus izdala ar vienu atsvaru, arī ir 4. Abi lielumi ir vienādi, tātad ir līdzsvars.» Trešo, otro un pirmo līmeni autore sauc par palīglīmeņiem. Šajos līmeņos formulējumi var būt gan abstrakti, gan konkrēti, taču tie satur tikai daļu no līdzsvara likuma. Piemēram, trešajā līmenī skolēni atbild šādi: «Ja spēki un pleci vienādi, tad ir līdzsvars», bet otrajā līmenī — «Ja ir 5 cm un 5 cm un pa diviem atsvariem katrā plecā, tad ir līdzsvars». Līdzīgus rezultātus ieguva arī F. Kublis. Viņa lietotā iekārta parādīta 21. attēlā *a*. Z. Kalmikova pamīšus lietoja eksperimentālu un skaitlisku uzdevumu. F. Kublis strādāja tradicionālajā Piažē interviju stilā, pakāpeniski uzdodot arvien sarežģītākus uzdevumus.

Pētījumu rezultātā F. Kublis konstatēja šādus līmeņus: 1. Mazie bērni sāk ar triviālu līdzsvara stāvokli, uz viena un tā paša diska nostiprina vienādus atsvarus. 2. Eksperimenta dalībnieks kvalitatīvi noskaidro, ka atsvars darbojas stiprāk, ja tas novietots uz diska, kuram lielāks rādiuss. 3. Eksperimenta dalībnieks ieskicē apgrieztās proporcionalitātes likumu, bet vairāk nespēj. 4. Tiek meklētas likumsakarības, no kurām izriet secinājums: «Līdzsvars iestājas tad, kad atsvara un rādiusa summa kreisajā pusē



21. att. *a* — F. Kubļa un *b* — skolotāja J. Rozenblata lietotās iekārtas fizikālās domāšanas procesa pētīšanai uzdevumā «Svira».

ir vienāda ar atsvara un rādiusa summu labajā pusē.» Tiek izteikta arī doma, ka katru nākamo līdzsvara stāvokli iespējams panākt, pārvietojot atsvarus par vienību uz augšu vai uz leju. 5. Tiek dots konkrēts spēka momenta jēdziens kā rādiusa un atsvara reizinājums.

Visi skolēni (arī tie, kuri zinājuši spēka momenta jēdzienu) uzdevumu sāk risināt spontāni, pēc tam pāriet uz loģiskiem spriedumiem. Tas nozīmē, ka skolēns faktiski seko izziņas ciklam: fakti — modelis — secinājums — pārbaude eksperimentā — fakti — modelis... Skolā visbiežāk tiek formulēts likums (vispārīgais modelis) un piemēros pārbaudīta tā pareizība.

Pēc interviju metodes var diezgan kvalitatīvi iepazīt konkrēta bērna domāšanu, taču šī metode ir ļoti darbietilpīga. Tāpēc pēdējā laikā cenšas izstrādāt grupveida aptaujas metodes. LVU Eksperimentālās fizikas katedrā ir izstrādāta demonstrējumu eksperimenta metode. Lai noskaidrotu fizikālās domāšanas līmeni, skolēniem ar 21. attēlā *b* redzamo iekārtu demonstrēja piecus līdzsvara

	m_1, g	m_2, g	l_1, cm	l_2, cm	Piezīmes
1.	100	100	49	49	Vienādi spēki un pleci
2.	200	300	56	42	Svira balstās 7 cm attālumā no ģeometriskā centra
3.	400	100	28	70	Svira balstās 21 cm attālumā no ģeometriskā centra
4.	300	0	19,6	79,4	Svira balstās 29,4 cm attālumā no ģeometriskā centra
5.	300	?	33	65	Svira balstās 16 cm attālumā no ģeometriskā centra

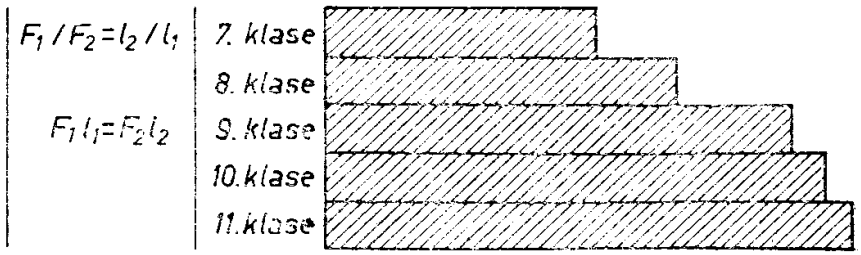
gadījumus, kuri parādīti tabulā. Skolēniem tika dots šāds uzdevums. Īsi raksturot novērotā demonstrējumu eksperimenta atziņas un noteikt nezināmā atsvara masu, ja mērlineāla kreisajā pusē pakārto atsvaru masa 300 g un paša mērlineāla masa 200 g, bet attiecīgos spēku plecus var nolasīt uz lineāla.

Skolēnu atbildes varēja sakārtot pēc 5 punktu sistēmas. 1. Pazīts līdzsvars. Tiek operēts ar masu vienādību. 2. Kvalitatīvi fiksēts, — jo īsāks plecs, jo lielāks atsvars. Sastādīta nepareiza attiecība. 3. Dota pareiza proporcija. Pazīts spēka moments. 4. Dota korekta kvalitatīva

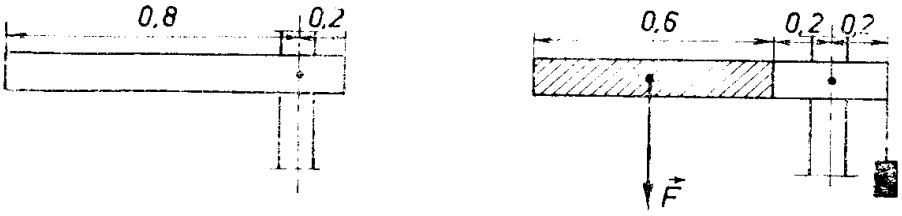
risinājuma ievirze. Pareizi uzrakstīta spēku momentu summa. Nespēj atrisināt kvantitatīvi. 5. Dots pareizs kvalitatīvs un kvantitatīvs risinājums.

Pedagoģiskajā eksperimentā piedalījās 220 skolēni no Rīgas 1. un 20. vidusskolas 7.—11. klasēm. Skolēnu atbildes sadalījās šādi: 5 punkti — 4,5%; 4 punkti — 10%; 3 punkti — 44,1%; 2 punkti — 25,5%; 1 punkts — 20,5%. Vidējais punktu skaits pa klašu grupām lineāri aug no 1,5 punktiem 7. klasē līdz 3,3 punktiem 11. klasē. Varētu domāt, ka šo uzdevumu sekmīgi atrisinās visi skolēni jau 7. klasē, kurā tiek mācīts par sviru. Taču patiesībā tā nav. Tas norāda, ka ar sviras likuma formālu zināšanu ir par maz, jāprot izveidot arī modeli par doto jautājumu. Domāšana attīstās it kā diezgan neatkarīgi no attiecīgā jautājuma mācīšanas. Kā redzams 22. attēlā, 8., 10. un 11. klasē, kurās mehānika un konkrēti statika netiek mācīta, tomēr vidējais punktu skaits jeb skolēnu spēja atrisināt doto uzdevumu nepārtraukti aug.

F. Kublis konstatēja arī būtiskas atšķirības starp skolēna spontāno uzdevuma risināšanas plānu un metodiski pareizo pieeju. Uzdevums ir šāds. Dota 1 m gara homogēna svira, kuras svars 2 N. Svira piestiprināta atbalsta punktā, kas atrodas 0,2 m attālumā no sviras labā galapunkta. Cik smags atsvars jāpiekar šajā galapunktā, lai svira būtu līdzsvarā? Pēc uzdevuma nosacījumiem redzams, ka pati svira rada 0,6 N·m lielu spēka momentu, jo tās smaguma centrs atrodas 0,3 m attālumā no atbalsta punkta. Līdz ar to līdzsvaru var iegūt ar 3 N smagu atsvaru. Taču vairums skolēnu uzdevumu mēģina risināt šādi (23. att.). Sviras labais gals ir 0,2 m no visas sviras garuma. Atdalot 0,2 m no sviras atbalsta punkta uz kreiso pusi, tiks nolīdzsvarots labais gals. Pāri paliek 0,6 m, kas sver 1,2 N. Šīs daļas smaguma centrs atrodas 0,3 m at-



22. att. Skolā sniegtās zināšanas un vidējā punktu skaita atkarība no skolēnu vecuma (klašu grupām), skolēniem risinot uzdevumu «Svira».



23. att. Uzdevums par sviru un kā skolēni to spontāni mēģina risināt.

tālumā no sviras galapunkta jeb 0,5 m no atbalsta punkta. Tātad tiek radīts 0,6 N·m liels moments, kura līdzsvarošanai labajā galapunktā jāpiekar 3 N smags atsvars.

Spējīgu skolēnu mācīšanai var izraudzīties dažādas metodes, bet sekmju ziņā vajāku skolēnu mācīšanā gandrīz vai vienīgā iespēja ir sekot viņu spontānai attīstībai. Tāpēc būtu vēlams zināt fizikas likumu spontānās atklāšanas veidus. Diemžēl līdz šim tas ir izpētīts tikai atsevišķos piemēros.

Uzdevums par līdzsvaru nav vienīgais, kurā var konstatēt, ka skolēniem uzdevumu atrisināšanas spējas palielinās laika posmā, kad attiecīgais jautājums netiek mācīts. Tas novērojams arī ļoti vienkāršā uzdevumā par Arhimēda likumu. Skolēniem parāda dinamometru, pie kura piesiets akmens, un pēc tam akmeni iegremdē ūdenī. Skolēniem jāpieraksta novērotais, jāizskaidro dinamometra rādījumu starpība un jāatbild uz jautājumu, vai pēc šī eksperimenta var noteikt ķermeņa blīvumu un tilpumu. Arhimēda likumu māca 7. klasē un tādēļ varētu cerēt, ka aprakstošajā līmenī visi skolēni atbildēs pareizi. Par pareizu novērojumu, skaidrojumu un teorētisku risinājumu ķermeņa tilpuma un blīvuma noteikšanā skolēni saņem 7 punktus (maksimālo punktu skaitu — 9 punktus — iegūst, ja veikts arī skaitlisks aprēķins). Skolotājas A. Bruņenieces eksperimentā ar 7.—11. klašu skolēniem noskaidrojās, ka skolēnu skaits, kuri iegūst vērtējumu 7 punkti, procentuāli un vienmērīgi palielinās. Šī uzdevuma atrisināšanai vajadzīgas ne tikai zināšanas, bet arī noteikts domāšanas līmenis. Tā kā pēc 7. klases par Arhimēda likumu vairs nemāca, tad, lai izskaidrotu iegūto rezultātu, jāpieņem, ka laikā no 7. līdz 11. klasei attīstās skolēnu domāšana. Arī citi pētījumi apstiprina, ka intelektuālā attīstība notiek nepārtraukti un tā ir diezgan neatkarīga no mācīšanas. Taču jāpiebilst, ka šis secinājums nenozīmē mācīšanas lomas noliegšanu, bet gan apstiprina to, ka tieši mācību procesā domāšana strauji un nepārtraukti attīstās.

3.5. DOMĀŠANAS LĪMEŅI Ž. PIAŽĒ VEIDOTAJĀ INTELEKTUĀLĀS ATTĪSTĪBAS MODELĪ

Pašreiz vispopulārāko intelektuālās attīstības modeli izstrādājis Ž. Piažē. Pēc viņa uzskatiem intelektuālā attīstība ir spontāns process un mācīšana ir tam pakārtota. Ž. Piažē modeļa centrālā ideja ir operācija. Zināšanas nav realitātes kopija. Lai zinātu objektu vai parādību, nepietiek skatīties uz to un smadzenes izveidot tēlu. Zināt objektu nozīmē iedarboties uz to. Zināt nozīmē modificēt, transformēt objektu un saprast transformācijas procesu. Operācija ir garīgi iekšēja darbība, kas modificē zināšanu objektu — modeli. Piemēram, operācija var sastāvēt no objektu apvienošanas klasēs, lai izveidotu klasifikāciju. Operācija var būt sakārtošana, lietu virknēšana, skaitīšana un mērīšana. Operācija tātad ir garīgo darbību kopa, kas pārveido objekta modeli. Operācijas nav izolētas, tās ir vērstas uz citām operācijām. Kā zināms, arī skaitlis neeksistē izolēti, bet eksistē skaitļu kopā, kura veido struktūru. Pēc Ž. Piažē uzskata operacionālās struktūras veido zināšanu (intelekta) pamatu. Līdz ar to domāšanas attīstībā centrālais uzdevums ir saprast šo struktūru veidošanos, pārveidošanos un funkcionēšanu. Struktūru attīstībā Ž. Piažē šķiro četrus līmeņus: sensomotorisko līmeni, pirmsoperatīvo līmeni, konkrēti operatīvo līmeni un formāli operatīvo līmeni (24. att.). Saskaņā ar intelektuālās attīstības modeli cilvēks savā attīstībā secīgi iziet šos domāšanas līmeņus. Katram līmenim ir savas raksturīgas pazīmes.

Sensomotoriskajā līmenī bērns atrodas savas dzīves pirmajos 18 mēnešos. Pirmajos mēnešos pēc dzimšanas bērnam kāda priekšmeta tēls eksistē tikai tajā laikā, kurā viņš šo priekšmetu redz, dzird, satausta. Ja māte iziet

Domāšanas līmenis jeb fāze	*Raksturīgais vecums*
Sensomotoriskais	*līdz 2 gadiem*
Pirmsoperatīvais	*līdz 7–8 gadiem*
Konkrēti operatīvais	*līdz 11–15 gadiem*
Formāli operatīvais	

24. att. Ž. Piažē veidotais intelektuālās attīstības modelis.

no bērna redzes lauka, tad viņam zūd arī mātes tēls. Sensomotoriskajā līmenī veidojas struktūra, kas rada iespēju konstruēt shemas (tēlus) par paliekošiem objektiem. Veidojas arī laika secības, telpas un cēloņības struktūras.

Pirmsoperatīvais līmenis sākas ar valodu, simboliskām funkcijām un tātad domāšanu vai attēlojumu. Operācijas iepriekš aplūkotajā nozīmē vēl nav izveidojušās. Bērniem vēl nav priekšstata par saglabāšanos. Piemēram, ja ūdeni no kāda trauka pārlej šaurākā traukā, bērns pirmsoperatīvajā līmenī domā, ka tagad ūdens ir vairāk (vai mazāk).

Konkrēti operatīvajam līmenim raksturīgas operācijas, kuras Ž. Piažē sauc par konkrētām, jo operē ar objektiem un nevis ar vārdos izteiktām hipotēzēm. Piemēram, šajā līmenī attīstās klasifikācijas, sakārtošanas, skaitļa konstruēšanas ideja, telpiskās un laika operācijas, elementārās loģikas operācijas un visas fundamentālās operācijas ar klasēm un attiecībām, operācijas, kas saistītas ar elementāro matemātiku, ģeometriju un pat ar elementāro fiziku.

Beidzot, formāli operatīvajā līmenī šīs operācijas sasniedz formālo jeb hipotētiski deduktīvo pakāpi, t. i., šajā līmenī bērns spēj jau domāt ne tikai par objektiem, bet arī par hipotēzēm. Bērns savā apziņā konstruē jaunas operācijas, izteikumu loģikas operācijas, veido jaunas struktūras, kas pamatojas uz kombinācijām. Runājot kibernētikas terminu valodā, struktūra ir sistēma, kas indivīdam dod iespēju uzņemt un pārstrādāt informāciju un tādējādi sasniegt jaunu zināšanu līmeni. Saskaņā ar Piažē teoriju pāreju no vienas struktūru kopas uz citu struktūru kopu (intelektuālo attīstību) nosaka četri faktori: nobriešana kā embrionālās attīstības turpinājums, pieredze (fizikālās vides iedarbības efekts), sociālā mijiedarbība (valoda, izglītība) un līdzsvarošana jeb pašregulēšana. Pēdējo faktoru bērna attīstībā bieži ignorē. Ž. Piažē arī norāda, ka vecums, kurā tiek sasniegts noteikts līmenis, var stipri variēties, taču visiem bērniem attīstības virzība ir nemainīga — katrs cilvēks savā intelektuālajā attīstībā secīgi iziet visus līmeņus.

Izziņas struktūru attīstībā pamatu veido fizikālās realitātes pieredze. Taču ar to nevar izskaidrot visu. To apliecina populārais uzdevums nezūdamības likumu izpratnes noskaidrošanā. Bērnam iedod divas plastilīna bumbiņas, pēc tam vienu no tām pārveido par cilindru un jautā, vai cilindrā ir tikpat daudz plastilīna, cik bumbiņā, vai cilindrs sver tikpat un tam ir tāds pats tilpums kā bumbiņai. Astoņu gadu vecumā bērns parasti atbild, ka

plastilīna daudzums nav mainījies. Vēlāk viņš spēj konstatēt, ka svars arī ir tāds pats, bet vēl vēlāk (pusaudža vecumā), ka arī tilpums saglabājas. Taču ne ar vienu sajūtu nevar gūt pieredzi par vielas daudzuma saglabāšanos. Priekšstats par nezūdamību ir loģiska nepieciešamība. Bērns saprot, ka bumbiņas pārveidošana par cilindru kaut kam ir jāsaglabājas. No pedagoģiskā viedokļa ir svarīgi izprast divas psiholoģiski atšķirīgas pieredzes — fizikālo pieredzi un loģiski matemātisko pieredzi. Fizikālo pieredzi cilvēks gūst mijiedarbībā ar objektiem, abstrahējot tos. Loģiski matemātiskā pieredze neizriet no objekta, bet no cilvēka darbības ar objektu. To uzskatāmi rāda eksperiments, kurā bērns «atklāj» skaitīšanas rezultāta neatkarību no skaitīšanas secības. Bērns saskaita rindā noliktus desmit akmentiņus. Pēc tam viņš saskaita šos akmentiņus, izvietojot tos aplī, kaudzē. Skaita no kreisās puses uz labo pusi un pretējā virzienā. Vienmēr iznāk 10. Akmeņiem pašiem par sevi skaita īpašības nav. Arī akmeņu sakārtojums rodas cilvēka darbībā. Lai noteiktu skaitu, akmentiņi jāapvieno un jāskaita. Atrodot skaita neatkarību no sakārtojuma, t. i., skaita invarianci, tiek konstatēts, ka apvienošanas darbība nav atkarīga no sakārtošanas darbības. Bērns atklāj nevis akmeņu īpašību, bet gan darbības īpašību. Tā jau ir virzīšanās uz matemātisko dedukciju. Nākamā stadija tiek sasniegta tad, kad šīs darbības kļūst iekšējas, kad darbību kombinēšanai (apvienošanai, sakārtošanai) akmentiņi vairs nav vajadzīgi. Sociālai mijiedarbībai (valodai, izglītībai) ir fundamentāla loma, taču ar to vien nepietiek. Bērns var saņemt vērtīgu informāciju no pieaugušajiem ar valodas, ar mācīšanas starpniecību tikai tad, ja viņš spēj šo informāciju saprast. Lai bērns varētu uztvert informāciju, viņam nepieciešama atbilstoša intelektuālā struktūra, kura var asimilēt šo informāciju. Šī iemesla dēļ augstāko matemātiku nevar iemācīt piecgadīgam bērnam.

Psiholoģijā ir zināms lingvistiskās transmisijas tests. Bērnam pasaka: «Dažas no manām puķēm ir gundegas.» Bērns zina, ka gundegas ir dzeltenas, tāpēc no bērna var sagaidīt 3 atbildes par puķu krāsu: «Visas puķes ir dzeltenas»; «Dažas puķes ir dzeltenas»; «Neviena puķe nav dzeltena». Ž. Piažē konstatēja, ka pat līdz deviņu gadu vecumam bērni atbild: «Visa buķete vai dažas no manām puķēm ir dzeltenas.» Bērni nesaprot izteicienu «dažas no manām puķēm», kaut gan ikdienā dzird šādus izteicienus ļoti bieži. Tikai tad, kad šī loģiskā struktūra kļūst par bērna paša īpašumu, viņš dod pareizu atbildi.

Intelektuālajā attīstībā fundamentāla loma ir līdzsvarošanai jeb pašregulēšanai. Šo terminu var saprast kibernētiski kā procesu ar atgriezenisku saiti. Intelektuālajā attīstībā bērns pakāpeniski veido arvien augstāka līmeņa līdzsvaru. Interesants ir piemērs par plastilīna saglabāšanos, pārveidojot bumbiņu desiņā. Sākumā bērns pievērš uzmanību tikai tam, ka desiņa ir garāka. Kad bērns saka: «Desiņa ir garāka, tāpēc tur ir vairāk», viņš sasniedz pirmo līdzsvara līmeni. Ja desiņu turpina veidot vēl garāku, tad drīz bērns ievēro, ka tā kļūst pārāk tieva. Tas nozīmē, ka tagad bērns pievērš uzmanību jau otrai dimensijai, bet aizmirst pirmo (garumu). Eksperimentu atkārtojot, bērns drīz atgriežas arī pie pirmās dimensijas, t. i., viņš sāk sekot abu dimensiju maiņām un drīz konstatē, ka šīs maiņas ir saistītas. Pagarinot desiņu, tā kļūst tievāka, bet saīsinot — resnāka. Bērns atklāj, ka pastāv ciešs sakars, viņš sāk domāt nevis par sākuma un gala produktu, bet gan pārveidojumu kategorijās. Garuma maiņa kompensē resnuma maiņu. Kompensācija definē jauno izziņas līmeņa līdzsvaru. Pašregulēšanai ir fundamentāla nozīme loģiski matemātisko zināšanu apgūšanā.

Piažē teorijā intelektuālā attīstība un mācīšana atrodas noteiktās attiecībās. Jau tika minēts, ka attīstību Ž. Piažē uzskata par primāru, bet mācīšanos — par pakārtotu tai. Attīstību Ž. Piažē saprot kā spontāno mācīšanos, bērnam savā ikdienā nonākot aktīvā mijiedarbībā ar apkārtējo vidi. Viņš nenoliedz, ka mācību process varētu paātrināt intelektuālo attīstību, taču apšauba šādas paātrinātas attīstības nepieciešamību, uzskatot to par iejaukšanos bērna garīgajā pasaulē, kas vēl nav līdz galam iepazīta. Šeit viņš domā nevis zināšanu papildināšanu sistemātiskas mācīšanas procesā, bet gan tādu mācīšanu, kura paātrinātu pāreju no viena domāšanas līmeņa otrā. Ja tomēr tiek izvirzīts mērķis paātrināt intelektuālo attīstību, tad tam jānotiek spontānās mācīšanās veidā, t. i., bērnam jādod iespēja veikt vienkāršus eksperimentus, kuru rezultāts — likumu atklāšana. Piažē skolas pārstāvji daudzos eksperimentos parādīja, ka likumu spontānajā atklāšanā iegūtās zināšanas ir daudz dziļākas un noturīgākas. Saskaņā ar Piažē teoriju zināšanas var uzskatīt par apgūtām, ja ir izpildīti šādi nosacījumi: a) bērns korekti atbild uz testu, kuru pirms mācīšanās nevarēja izpildīt, b) korekti atbild uz modificētu testu, c) bērns dod loģiski akceptējamu izskaidrojumu testa nosacījumos a un b, d) bērns iztur pārbaudi analoģiskā testā ar citu saturu, e) nosacījumi a, b,

c, d ir spēkā vairākas dienas pēc mācīšanās. Ja zināšanas iegūtas pašregulēšanas rezultātā, bērni iztur šos nosacījumus.

Pirms pārejam pie Piažē teorijas kritikas, jāizdara viena piezīme, kuru nevar atrast ne Ž. Piažē, ne viņa kritizētāju darbos. No Piažē teorijas faktiski izriet ļoti svarīga skolas funkcija bērnu intelektuālajā attīstībā. Kā redzējām, spontāna atklāšana var notikt tikai aktīvā mijiedarbībā ar apkārtējo vidi (fizikālo un sociālo), kas izraisa aktīvu garīgo darbību. Skola ar saviem mācību plāniem, vingrinājumiem, mājas darbiem, kontroldarbiem, uzdevumu risināšanu virza bērnus uz aktīvu mijiedarbību ar apkārtējo vidi, pieprasa, lai bērns veiktu noteiktu skaitu fizisku un garīgu manipulāciju. F. Engelss, pētot sabiedriski ekonomisko formāciju veidošanos, izvirzija tēzi, ka darbs radījis pašu cilvēku. Tā saskan ar Ž. Piažē uzskatu, ka bērna intelektuālajā attīstībā ir nepieciešama aktīva mijiedarbība ar apkārtējo vidi. Ja darbam, t. i., aktīvai mijiedarbībai ar apkārtējo vidi, ir bijusi tik izcila loma cilvēces attīstībā, tad šai mijiedarbībai ir ierādāma tikpat svarīga vieta bērna intelektuālajā attīstībā, un skolas uzdevums ir sekmēt un virzīt bērnus uz šo mijiedarbību. Šādā aspektā kļūst saprotams, ka fizika ir viens no tiem priekšmetiem, kurā ir sevišķi lielas iespējas attīstīt bērna intelektu. Fizikā līdztekus teorijas mācīšanai svarīga nozīme ir aktīvai mijiedarbībai ar apkārtējo vidi: demonstrējumu eksperimenti, frontālie laboratorijas darbi, fizikas praktikums. Šajā ziņā fizikā vēl ir arī rezerves, proti, aktīvie mājas darbi (vienkārši novērojumi un eksperimenti). No šī viedokļa interesanti palūkoties uz jaunu aktivitātes veidu, kas saistīts ar elektroniskajiem kabatas skaitļotājiem. Izmantojot šo tehniku, bērns var veikt daudzpusīgus eksperimentus ar skaitļiem. Ar visvienkāršāko skaitļotāju var izpētīt summas un reizinājuma īpašības, eksperimentāli iepazīties ar funkcijas jēdzienu utt. Jāpiebilst, ka kabatas skaitļotājs ir visvienkāršākā ierīce, kurā bērns sastopas ar jauna tipa mijiedarbību, kura agrāk cilvēces vēsturē nebija iespējama — tā ir cilvēka kā sistēmas, kas pārstrādā informāciju, mijiedarbība ar citu sistēmu, kura arī pārstrādā informāciju.

3.6. PIAŽĒ TEORIJAS KRITIKA UN MODIFIKĀCIJAS

Intelektuālās attīstības teorija, kuru izstrādāja Ž. Piažē, tiek kritizēta galvenokārt divos aspektos. Šīs teorijas kritiķi uzskata, ka bērna intelekts neattīstās lēcienveidā no

viena domāšanas līmeņa otrā, bet gan attīstās nepārtraukti. Pamatojot šo kritiku, izmanto grafikus, kuros atspoguļo Piažē intervijas uzdevumu vidējā vērtējuma atkarību no vecuma. Taču, tā kā pats Ž. Piažē norāda, ka viena vai otra līmeņa sasniegšanas vecums var būt nobīdīts pat par dažiem gadiem, tad, attēlojot bērnu kopas spēju pieauguma atkarību no vecuma, var sagaidīt nepārtraukta tipa atkarību. Vēl bez tam kritiķi nenoskaidro, ko saprast ar lēcienveida attīstību. Tas, ka bērna attīstībā varētu būt posmi, kuros domāšana kvalitatīvi strauji uzlabojas, nav nekas nedabisks. Skolotājiem šādas parādības ir labi zināmas. Atcerēsimies uzdevumus «Svira» un «Arhimeda likums». Pētījumi mūsu republikā un protams arī citu autoru pētījumi rāda, ka šo uzdevumu atrisināšanas spēja nemitīgi aug no 7. līdz 11. klasei. Šajā apstāklī Ž. Piažē saskata spontāno intelektuālo attīstību, bet viņa kritiķi — pieredzes iedarbību, kaut gan netiek paskaidrots, ko saprast šajā gadījumā ar pieredzi, kā to atdalīt no domāšanas operācijām. Otrais aspekts, kurā Ž. Piažē tiek kritizēts, ir saistīts ar mācīšanos, ar iespēju trenēt domāšanas operācijas un tādējādi paātrināt intelektuālo attīstību. Ž. Piažē uzskati šajā jautājumā jau tika izklāstīti. Daudzi pētnieki uzskata, ka spontānā mācīšanās nebūt nav efektīvākais mācīšanas paņēmiens. Lietojot tādus vadītās mācīšanas paņēmienus, kā atbilžu koriģēšanu, likumu iemācīšanu un konformitātes treniņu (pašmācīšanos nelielā saskaņīgā bērnu grupā), var gūt pat lielākus panākumus. Paskaidrosim to ar diviem piemēriem. Bērniem, kuri nesaprot daudzuma nezūdamību, vadītājs rāda divas plastilīna bumbiņas, vienu no tām pārveido desiņā un lūdz salīdzināt plastilīna daudzumu. Pareiza atbilde tiek apbalvota, nepareiza koriģēta — «nepareizi». Eksperimentu modificējot (ar cita lieluma bumbiņām), atkārto to vairākas reizes. Pēc kāda laika konstatē, ka apgūtas zināšanas, kas atbilst Piažē nosacījumiem a, b, c, d. Bērni nereti uzrāda spēju pareizi saprast nezūdamības īpašību arī citās transformācijās, piemēram, ja pārlej ūdeni no kāda trauka šaurākā traukā. Interesants ir konformitātes treniņš, kurā gūti visai iespaidīgi mācīšanas rezultāti. Bērnus, kuri neiztur testu, apvieno grupā ar vienu vai diviem tādiem bērniem, kuri saprot nezūdamību kādā fizikālā procesā. Parādot bērniem eksperimentu, tiek prasīts, lai grupa pārrunās izveidotu vienu atbildi. Eksperimentos noskaidrots, ka konformitātes treniņā aptuveni 80% bērnu apguva piecus no sešiem apskatītajiem parametriem (skaitlis, masa, tilpums, šķidruma daudzums, svars).

Savukārt 80% no tiem bērniem, kuri šajā eksperimentā piedalījās kā vadītāji, uzrādīja spēju uztvert saglabāšanos diviem jauniem parametriem (garumam, laukumam). Tātad šajos eksperimentos tiek parādīts, ka pirmsoperatīvās domāšanas līmenī bērniem var iemācīt to, ko viņi spētu tikai vēlāk — konkrēti operatīvajā domāšanas līmenī. Protams, šie eksperimenti nepierāda, ka šādi mācīti bērni sasniedz nākamo domāšanas līmeni visā tā pilnībā. Var minēt eksperimentus, kuros redzama spontānās mācīšanās priekšrocība salīdzinājumā ar citiem mācīšanas veidiem. Tāds ir plaši pazīstamais t. s. ungāru eksperiments ar pirmsskolas vecuma bērniem. Vienas grupas bērniem izdalīja plastilīnu un ļāva darīt ar to, ko viņi paši grib. Otras grupas bērniem atļāva veidot tikai bumbiņas. Pēc kāda laika bērniem lūdza izveidot kādus priekšmetus no plastilīna. Pirmās grupas bērni veidoja puķes, cilvēkus, automašīnas utt., bet otrās grupas bērni, izņemot dažus, veidoja tikai bumbiņas.

No minētajiem piemēriem redzams, ka zināma taisnība ir gan Ž. Piažē, gan arī viņa kritiķiem. Rodas jautājums, kā to novērtēt? Acīmredzot vispirms ir jānorobežojas no galējiem secinājumiem, kas nereti pamatojas uz atsevišķiem eksperimentiem. Piemēram, nedrīkst vispārināt minētos vadītās mācīšanas rezultātus, pieņemot, ka spontānā atklāša nav efektīva un tādēļ tā nav lietojama. Tāpat nedrīkst reducēt mācīšanu tikai uz spontāno atklāšanu. Piažē teorija ir pirmais nopietnais intelektuālās attīstības modelis. Šajā modelī var sekmīgi izskaidrot veselu virkni parādību bērnu intelektuālajā attīstībā, kaut gan pastāvošā kritika norāda, ka modelis ir nepilnīgs. Taču pamatojoties uz pašreizējiem eksperimentiem, nevar radīt jaunu, par vienu pakāpi labāku modeli. Jāpiebilst, ka Piažē teorijas kritiķi lietoja paša Piažē izstrādātos eksperimentus.

No Piažē teorijas var ņemt ļoti daudz pozitīvu momentu gan bērnu intelektuālās attīstības izpratnei, gan mācību procesa uzlabošanai, gan jauniem pētījumiem fizikālajā domāšanā. Marksistiskajai pedagoģijai noteikti atbilstoša ir ideja par aktīvās fiziskās mijiedarbības ar apkārtējo vidi lomu bērna intelektuālajā attīstībā. Ar Piažē modeli par domāšanas līmeņiem var izskaidrot daudzas pedagoģiskas parādības skolā. Saskaņā ar šo modeli bērns savā attīstībā sasniedz secīgus arvien augstākus līmeņus. Tas uzliek noteiktus ierobežojumus mācību metodēm. Pēc obligātās vidējās izglītības ieviešanas drīz tika konstatēta skolēnu diferenciācija. Vidusskolā parādījās liels skaits

bērnu, kuri esošo programmu apgūst ar lielām grūtībām vai zemā līmenī. To var izskaidrot intelektuālās attīstības modelī. Vidusskolas vecumā bērni atrodas pārejas posmā no konkrētās domāšanas uz formālo domāšanu. Daļa skolēnu jau sasnieguši formālās domāšanas līmeni, bet daļa atrodas konkrētas domāšanas līmenī. Taču vidusskolas mācību materiāls, sevišķi fizikā un matemātikā, tradicionāli paredz tādu izklāsta līmeni, kas no skolēna prasa formālās domāšanas elementus. Lai paātrinātu konkrēto domātāju pāreju formālās domāšanas līmenī, ir tikai viena iespēja — vairāk strādāt, ievērojot šo bērnu domāšanas īpatnības. Šiem bērniem vairāk nepieciešami uzskates līdzekļi, viņiem vairāk jādod veikt eksperimentus, sadzīves uzdevumus, mācību procesā vairāk jālieto vizuālie un reālie modeļi.

Ž. Piažē izveidoja ne tikai intelektuālās attīstības modeli, bet arī jauna tipa eksperimentus. Piažē intervijas tipa eksperimenti iegājuši psiholoģisko pētījumu zelta fondā. Ar dažiem no tiem vēl iepazīsimies. Piažē eksperimentu idejas tiek pārnestas arī uz testiem un teksta uzdevumiem, kuros jādod brīva, teksta veida atbilde. Izmantojot testus un teksta uzdevumus ar teksta veida atbildi, var izpētīt lielus bērnu kolektīvus. Vidusskolas vecuma bērnu domāšanas izpētīšanā šādi testi un teksta uzdevumi ir visvairāk izplatīti. Mūsu republikā tika izveidots starpvariants — demonstrējumu eksperiments ar teksta veida atbildi.

3.7. FORMĀLĀS DOMĀŠANAS KOMPONENŠU IDENTIFICĒŠANA

Ž. Piažē ir norādījis formālās domāšanas komponentes, kuras atrod, izpētot profesionālu fiziķu, kā arī spējīgu skolēnu domāšanu. Pēc viņa uzskata ir trīs pamatkomponentes: proporcionālā domāšana, mainīgo atdalīšana un kontrole, kombinatīvā loģika. Detalizētāku formālās domāšanas komponenšu sarakstu devis ASV zinātnieks J. Renners. Tās ir šādas: 1) spēja sistemātiski aplūkot visas eksperimenta iespējas un teorētiskos nosacījumus, pat tādus, kuri nevar praksē realizēties (t. s. kombinatīvā loģika); 2) spēja atdalīt un kontrolēt mainīgos — uzturēt konstantus visus parametrus, izņemot vienu; 3) spēja kombinēt domāšanas operācijas, izmantot daudzpakāpju konstrukcijas, saskatīt proporcijas dabā; 4) spēja saskatīt funkcionālas sakarības, aplūkot un interpretēt sakarības

starp mainīgajiem, kurus var novērot un abstrakti mainīt. Spēja izteikt sakarības matemātiskā formā; 5) spēja saskatīt korelācijas, kas saistītas ar varbūtību jēdzienu.

Atsevišķu domāšanas komponenšu identificēšanai Ž. Piažē izstrādājis virkni interesantu intervijas eksperimentu. Ļoti raksturīgs ir eksperiments, kurā konstatē mainīgo atdalīšanu un kontroli kā domāšanas komponenti. Bērnu iepazīstina ar metodi, pēc kuras nosaka svārsta svārstību periodu, piemēram, izmērot ar hronometru laiku, kurā svārsts veic 10 svārstības. Pēc tam bērnam iedod trīs dažāda garuma auklas, trīs dažādas masas lodītes un parāda, ka eksperimentā jāuzdod svārstību sākuma amplitūda. Uzdevums ir šāds: noskaidrot, no kuriem parametriem atkarīgs svārstību periods — no svārsta garuma, masas vai svārstību amplitūdas. Tie bērni, kuriem piemīt formālā domāšana, rīkojas šādi. Viņi izvēlas noteikta garuma auklu, lodīti un sākuma amplitūdu un veic pirmo mērījumu. Nākamajā eksperimentā viņi nemaina, piemēram, masu un sākuma amplitūdu, bet izvēlas cita garuma auklu. Trešajā eksperimentā viņi nemaina svārsta garumu un amplitūdu, bet maina masu. Noslēdzošajā eksperimentā maina amplitūdu. Rezultātā tiek iegūti pareizi secinājumi par perioda atkarību no svārsta garuma un neatkarību no masas un amplitūdas (amplitūdas mazas). Turpretī bērni, kuri vēl nav sasnieguši formālās domāšanas līmeni, rīkojas mazliet citādi. Viņi prot veikt sistemātiskus mērījumus, taču katrā eksperimentā vienlaikus maina garumu, masu un arī amplitūdu. Rezultātā līdztekus pareiziem slēdzieniem tiek izdarīti arī nepareizi secinājumi.

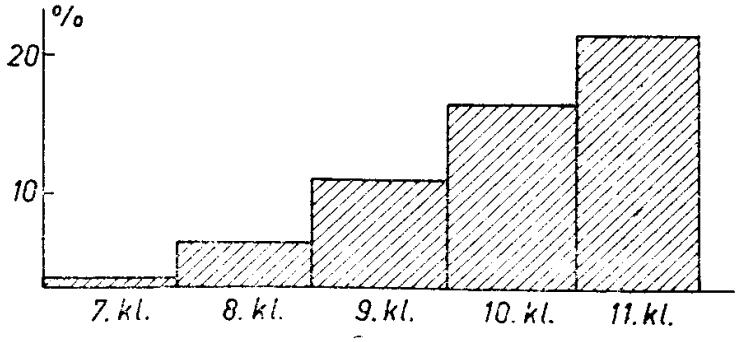
Interesants un populārs ir uzdevums kombinatīvās loģikas identificēšanai. Skolēnam iedod kolbu komplektu un piecas pudelītes ar apzīmējumiem: *1*, *2*, *3*, *4* un *g*. Pudelītē *1* ir vāja sērskābe, pudelītē *2* — destilēts ūdens, pudelītē *3* — ūdeņraža peroksīds, pudelītē *4* — nātrija sulfīds un pudelītē *g* — kālija jodīds. Samaisot šos šķidrumus, var mainīt šķīdumu krāsu. Šķidrums *3* oksidē šķidrumu *g*, skābā vidē maisījums *1*, *3*, *g* iegūst dzeltenu krāsu. Ūdens ir neitrāls, tādēļ šķidrums *2* krāsu nemaina, bet šķidrums *4* atkrāso maisījumu *1*, *3*, *g*. Interviju sāk ar šādu ievadu. «Te ir divas testa kolbas ar bezkrāsainu šķidrumu. Tas ir vai nu kāds atsevišķs šķidrums no pudelītēm *1*, *2*, *3*, *4* vai arī divu, triju šķidrumu vai pat visu četru šķidrumu maisījums. Katrā pudelītē ir atšķirīgs šķidrums. Piektā pudelīte apzīmēta ar burtu *g* un arī šajā pudelītē esošais šķidrums atšķiras no pārējiem. Es pieliešu nedaudz šķid-

ruma no pudelītes *g* abu kolbu šķidrumiem. Jums jāizdara tik daudz eksperimentu, lai panāktu pēc iespējas dažādas pārmaiņas krāsā. Varat izmantot neierobežotu kolbu skaitu. Kad pielejat šķidrumus, lūdzu, nosauciet pudelītes numuru vai burtu.» Skolēni konkrētās domāšanas līmenī vienkārši izmēģina atsevišķu šķidrumu kombinācijas ar šķidrumu *g* vai arī visu četru vielu kombināciju ar šķidrumu *g*. Formālais «domātājs» papildinās šos eksperimentus ar citām kombinācijām, piemēram, šķidrumu *g* ar divām vielām, ar trim vielām. Ieguvis kombināciju, kas rada dzelteno krāsu, viņš turpinās meklējumus, lai izstrādātu pabeigtu sistēmu.

Tā kā šādi intervijas tipa eksperimenti ir ļoti darbietilpīgi, grūti pārbaudīt lielas skolēnu grupas. Tāpēc radās interese par iespējām izstrādāt testu metodes ar rakstiski formulētiem uzdevumiem. Dž. Renners izstrādāja vairākus testa komplektus, parādot, ka pastāv savstarpēja atbilstība starp testā un intervijās iegūtajiem rezultātiem.

Viens no uzdevumu komplektiem, kas izstrādāts mūsu republikā un kurā pēc testu metodes tiek pētīta formālās domāšanas komponenšu identificēšana, sastāv no uzdevumiem «Ēna», «Arhimēda likums», «Kāpuri» (sk. Pielikumu).

Uzdevumu «Ēna» mūsu republikas skolēni risina ļoti sekmīgi. Tas izskaidrojams ar intensīvu matemātikas mācīšanu republikas skolās. Tomēr jāsaka, ka septītajā klasē šo uzdevumu sekmīgi atrisina (4 punkti) tikai aptuveni 20% skolēnu. Sekmīgo atrisinājumu procents nākamajās klasēs strauji aug, sasniedzot 11. klasē 90...95% līmeni. Tātad atkal pārliecināmies par to, ka domāšana mācību procesā skolā strauji attīstās. Uzdevums «Arhimēda likums» tika aprakstīts jau iepriekš. Vislielākās grūtības skolēniem sagādā uzdevums «Kāpuri», kaut gan tajā nav



25. att. Skolēnu skaits pa klašu grupām, kuri ieguvuši maksimālo punktu skaitu uzdevumā «Kāpuri».

vajadzīgas nekādas priekšzināšanas. Acīmredzot uzdevums «Kāpuri» ir vislabākais formālās domāšanas indikators. 25. attēlā redzams, kā mainās atkarībā no vecuma to skolēnu skaits, kuri ieguvuši maksimālo punktu skaitu.

Tādējādi par bērnu intelektuālo attīstību var spriest pēc vienkāršiem uzdevumiem. Eksperimenti liecina, ka domāšana ļoti intensīvi attīstās vidusskolas klasēs. Skolās vajadzētu panākt, lai formālo domātāju skaits, skolu beidzot, būtu pēc iespējas lielāks. Formālā domāšana ir radošās darbības pamats. Šajā ziņā grūti pārvērtēt mūsu valsts politiku izglītības jomā, realizējot obligāto vidējo izglītību. Ar šo soli tiek ievērojami palielināts mūsu sabiedrības intelektuālais potenciāls. Sakarā ar darba, priekšmetiskās izziņas un garīgā darba fundamentālo lomu intelektuālajā attīstībā, kļūst skaidra arī augstvērtīgas fizikas un matemātikas mācīšanas nozīme vispusīgi attīstītas personības veidošanā.

PIELIKUMS

TESTI UN UZDEVUMI FORMĀLĀS DOMĀŠANAS KOMPONENŠU IDENTIFICĒŠANAI

Ž. Piažē izstrādājis intervijas tipa testus, kuros pārbaudāmais pats eksperimentē ar kādu vienkāršu iekārtu. Intervētājs vispirms iemāca pārbaudāmo lietot iekārtas un tikai tad, kad pārbaudāmais ir iemācījies rīkoties ar iekārtu, intervētājs dod uzdevumu. Pārbaudāmā atbildes tiek protokolētas magnetofonā vai rakstiski. Uzkrājot noteikta skaita bērnu atbildes, tiek izstrādāta vērtēšanas skala.

Piažē intervijas tipa eksperimenti faktiski ir vienīgais paņēmiens, pēc kura var izpētīt mazu bērnu domāšanas attīstību. Turpretī pusaudžu pētīšanā, kuri jau prot izteikt savas domas rakstiski, var izmantot rakstiskus testus. Ar rakstiskiem testiem iespējams vienlaikus apsekot lielas skolēnu grupas. Svarīgs nosacījums šajā gadījumā ir brīvas teksta veida atbildes. Parastais paņēmiens, kuru lieto testos ar vairākām uzrādītām atbildēm (atbilžu izvēles metode), šādos pētījumos ir ierobežots. Jāpiebilst, ka vērojama vispārēja negatīva tendence testu lietošanā un fizikas uzdevumu risināšanā. Ir maz tādu skolotāju, kuri fizikas uzdevumu risināšanā prasa no skolēniem teksta veida paskaidrojumu. Ar to daļēji izskaidrojams tas, kāpēc pēdējos gados augstskolu studenti bieži vien nespēj un arī nevēlas formulēt savas domas. Fizikālās parādības apraksts saviem vārdiem, uzdevumu risinājuma shēmas un atbildes pamatojums sagādā mūsdienu skolēniem lielas grūtības.

Tādu fizikas uzdevumu sastādīšana, kuros atbilde jādod teksta veidā, kā arī šādu uzdevumu vērtēšanas skalas izveidošana ir darbietilpīgs process. Taču literatūrā šādi uzdevumi ir atrodami, tāpēc aplūkosim dažus piemērus.

Kā rāda pieredze, uzdevumi, kuri paredzēti formālās domāšanas komponenšu identificēšanai, pēc iespējas jāpapildina ar uzskatāmu zīmējumu. Vēl labāk zīmējuma vietā izmantot dokumentālu eksperimenta fotogrāfiju vai pat

reālu demonstrējumu eksperimentu. Tādējādi iespējams ne vien ieinteresēt skolēnus risināt doto uzdevumu, bet arī likvidēt vai vismaz samazināt nepilnības uzdevuma formulējumā.

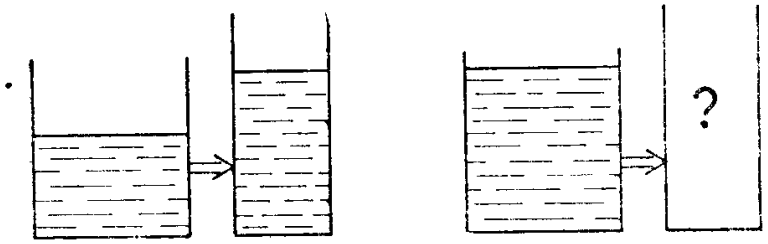
PROPORCIONĀLĀ DOMĀŠANA

1. Doti divi dažāda izmēra (diametra) cilindri ar mēriedaļām (26. att.). Lielākā diametra cilindrā ielej šķidrumu 4 iedaļu augstumā. Ja šo šķidrumu pārlej mazākā diametra cilindrā, šķidruma līmenis ir 6 iedaļu augstumā. Cik augstu mazākā diametra cilindrā pacelsies šķidrums, ja lielākā diametra cilindrā šķidrumu ielies 6 iedaļu augstumā?

2. 27. attēlā parādītas divas metāla plāksnes, kurām vienādi laukumi. Viena plāksne ir no alumīnija un sver 9 vienības, bet otra ir no dzelzs un sver 25 vienības. Ja abās plāksnēs izurbj vienāda diametra caurumu, tad alumīnija plāksne sver 6 vienības. Cik vienību sver dzelzs plāksne?

3. Paātrinājums ir tieši proporcionāls spēkam un apgriezti proporcionāls masai. Spēks 2 N piešķir 10 kg masai 0,2 m/s² lielu paātrinājumu. Cik liels ir paātrinājums, ja spēku trīskāršo, bet masu dubulto?

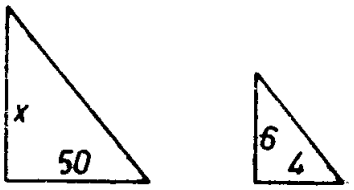
Atbildes. 1) 0,6 m/s²; 2) 0,4 m/s²; 3) 0,3 m/s²; 4) 0,2 m/s²; 5) 0,1 m/s².



26. att.

27. att.

4. «Ēna». Vienlaikus izmērīti celtnes un telegrāfa staba ēnu garumi. Celtnes ēna ir 50 m gara. Telegrāfa stabs, kura augstums 6 m, rada 4 m garu ēnu. Cik augsta ir celtne? (Paskaidrot, kā aprēķina celtnes augstumu.)



28. att.

Uzdevuma korekts risinājums ir šāds. Tā kā Saule atrodas tālu salīdzinājumā ar priekšmetu izmēriem uz Zemes, tad var uzskatīt, ka stari, kurī veido ēnas, ir paralēli. Šajā gadījumā izveidojas līdzīgi trijstūri (28. att.). Līdzīgos trijstūros malas ir proporcionālas, tādēļ

$$6:4=x:50 \text{ un } x=\frac{6\cdot 50}{4}\text{ m}=75\text{ m}.$$

Atbilžu vērtējums punktos

1. Atbildes nav.
2. Nepareiza atbilde. Atbildē izpaužas nesaprašana.
3. Paskaidrojums bez atbildes, risinājums neracionāls.
4. Pareiza atbilde bez paskaidrojumiem.
5. Pareiza atbilde un loģisks skaidrojums.

5. «Vardes». Ekologs veica eksperimentu, lai noteiktu, cik varžu dzīvo dīķī. Viņš nevarēja noķert un saskaitīt visas vardes. Pirmajā dienā viņš noķēra un apgredzenoja 55 vardes. Zinātnieks nedēļu pagaidīja, lai pa šo laiku vardes varētu vienmērīgi sadalīties pa visu dīķi, un tad noķēra 72 vardes. No tām 12 vardes izrādījās apgredzenotas. Ko ekologs varēja secināt par varžu skaitu dīķī? (Parādīt visus aprēķinus un paskaidrot, kā atbilde iegūta.)

Atbilžu vērtējums punktos

1. Atbildes nav. Piemēram: «Es nezinu»; «Nevaru izdomāt».
2. Matemātisks risinājums bez jebkādas sistematizācijas vai arī juceklīgs skaidrojums. Piemēram, «Tas ir atkarīgs no tā, cik pamatīgi viņš iztukšoja dīķi».
3. Skolēns saprot, ka lielumi šajā uzdevumā ir matemātiski saistīti. Risināts ar saskaitīšanas vai atņemšanas darbību. Piemēram, «115 vardes, dīķī vajadzētu būt vairāk par 100 vardēm».
4. Skolēns saskata, ka jāizmanto attiecība, tomēr neparāda saistību ar pārējiem uzdevuma nosacījumiem. Uzrakstīta attiecība, bet tad risinājums pārtraukts. Piemēram, «72/12=6. Vienai no katrām sešām noķertām vardēm bija stīpa».
5. Skolēns mēģina izmantot attiecības. Atrisinājums nav obligāts. Sastādīta nepareiza proporcija vai iegūta nepareiza atbilde. «72/12= =0,165; 55·16,5=907,5. Dīķī ir aptuveni 907 vardes.»

6. Pareizi uzrakstīta proporcija. Atrisinājums var būt gan pareizs, gan nepareizs, taču tam jābūt loģiski pamatotam. «Viņš secināja, ka dīķī ir aptuveni 330 vardes. Tā kā $^1/_6$ no otrreiz noķertajām vardēm bija jau apgredzenotas, tad varžu skaits dīķī bija 6 reizes lielāks nekā pirmo reizi noķerto varžu skaits.»

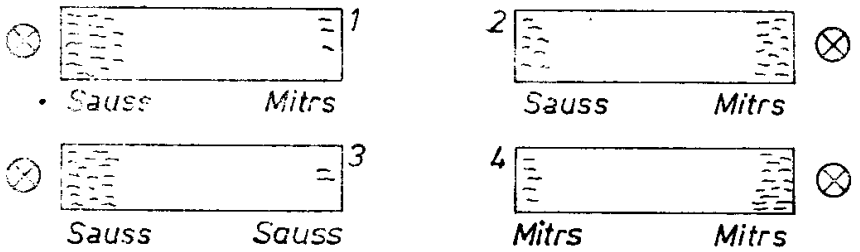
7. Pareiza proporcija un spriedumi par pieņēmumiem. «Nedēļas laikā apgredzenotas vardes vienmērīgi sadalījās pa dīķi. Ķerot vardes jebkurā vietā, viņš pārliecinājās, ka katru reizi noķēris $^1/_6$ no pirmajā dienā apgredzenotajām vardēm. Dīķī ir aptuveni 330 vardes.»

MAINĪGO ATDALĪŠANA UN KONTROLE

6. Līdzsvara stieņa kreisajā galā 60 cm attālumā no līdzsvara centra pakārts 5 kg atsvars. Kādā attālumā no centra stieņa labajā galā jāpakar a) 6 kg atsvars; b) 10 kg atsvars, lai stienis būtu līdzsvarā?

Atbildes. 1) 10 cm; 2) 20 cm; 3) 30 cm; 4) 40 cm; 5) 50 cm.

7. «Kāpuri». Zinātniskā pētījumā vajadzēja noskaidrot, kā uz kāpuriem iedarbojas gaisma un mitrums. Lai to izdarītu, uz laboratorijas galda novietoja 4 vienādas kastes un katrā kastē 20 kāpurus. Visām kastēm vienu galu apgaismoja, bet galos uzturēja dažādu mitrumu. 29. attēlā parādīts, kas bija redzams pēc vienas dienas. Ko var secināt no attēlā sniegtās informācijas par gaismas un mitruma iedarbību uz kāpuriem? Ko vēl vajadzētu darīt, lai pārbaudītu kāpuru reakciju uz gaismu un mitrumu?



29. att.

Korekts risinājums ir šāds. Attēlā redzams, ka kāpuriem labāk patīk gaisma un sausums. Aina otrajā kastē rāda, ka šiem faktoriem ir apmēram vienāda nozīme. Lai pārbaudītu, kas kāpuriem patīk vairāk — gaisma vai mitrums (sausums), jāizdara vēl šādi eksperimenti: a) viena kaste, kuras vienā galā ir sauss, bet otrā mitrs, jāapgaismo no abām pusēm; b) otra analoga kaste jānovieto bez apgaismojuma.

Atbilžu vērtējums punktos

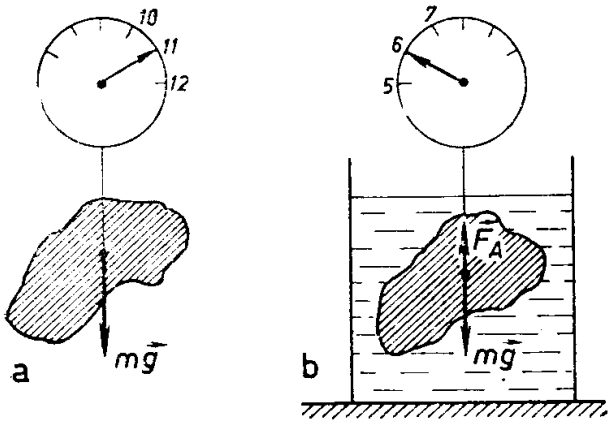
1. Atbildes nav.
2. Atbilde satur kļūdainu hipotēzi par to, kas kāpuriem patīk, kas nepatīk.
3. Komentēti zīmējumi. Aprakstīts eksperiments pēc eksperimenta un pastāstīts, kas kāpuriem patīk, kas nepatīk.
4. Atbilde satur hipotēzi par to, kas kāpuriem patīk (viens faktors). Šis faktors norādīts kā vienīgais, būtiskais, mainīgais. Piemēram, «Vai mitrs, vai sauss, kāpuri tiecas uz gaismu».
5. Atbildē minēta gaisma un sausums. Nekorekti formulēts kontrol-eksperiments vai nav noradīts neviens papildu eksperiments. Izprot otro zīmējumu, ka gaismai un sausumam ir vienāda nozīme.
6. Minēta gaisma, dots viens kontrolēts eksperiments pat tad, ja uzrādīts viens mainīgais. Piemēram, «Lai pārbaudītu kāpuru reakciju uz sausumu un mitrumu, jāpagatavo kaste, kuras vienā galā ir sauss, bet otrā — mitrs un bez gaismas».
7. Minēta gaisma un sausums, dots korekts kontrolēts eksperiments. Piemēram, «Vienu kasti, kuras vienā galā ir sauss, bet otrā — mitrs, apgaismo no abiem galiem, bet otru identisku kasti vispār neapgaismo».

KOMBINATĪVĀ LOĢIKA

8. Kurš no abiem ķermeņiem peld ūdenī? Mazā ķermeņa masa 11 g, bet tilpums 10 cm³. Lielā ķermeņa masa 90 g, bet tilpums 100 cm³. Viena litra ūdens masa ir 1 kg.

Atbildes. 1) mazais ķermenis; 2) lielais ķermenis; 3) abi; 4) neviens.

9. 30. attēlā parādīti divi eksperimenti ar vienu un to pašu akmeni, kas piekārts pie dinamometra. Aprakstīt eksperimentu. Izskaidrot dinamometra rādījumu starpību.



30. att.

Vai var noteikt ķermeņa tilpumu? Ja nevar, paskaidrot, kāpēc; ja var, noteikt to. Vai var noteikt akmens blīvumu? Ja nevar, paskaidrot, kāpēc; ja var, noteikt to.

Korekts risinājums. Gaisā akmens sver 11 N, tātad $P_1 = 11$ N, bet ūdenī $P_2 = 6{,}5$ N. No Arhimēda likuma izriet, ka uz šķidrumā iegremdētu ķermeni darbojas Arhimēda spēks, kurš ir vienāds ar izspiestā šķidruma svaru. Tātad $F_A = P_1 - P_2$; $F_A = mg$, kur m — ūdens masa. Savukārt $m = \varrho V$, kur V — izspiestā ūdens tilpums. Tādējādi akmens tilpums $V_a = V$.

No šiem vienādojumiem izriet, ka $V_a = F_A/(\varrho g) = 0{,}45 \cdot 10^{-3}$ m^3.

Akmens masa $m_a = P_1/g$; $m_a = \rho_a V_a$.

Tātad akmens blīvums $\rho_a = P_1/(gV_a) = 2500$ kg/m^3.

Atbilžu vērtējums punktos

1. Atbildes nav.
2. Nepareizs novērojums.
3. Pareizs novērojums, bet nav skaidrojuma. Piemēram, «Dinamometrs gaisā rāda 11 N, bet ūdenī 6,5 N».
4. Pareizs novērojums, skaidrojot lietota ikdienas pieredze. Piemēram, «Dinamometrs rāda mazāk, jo ūdens izspiež akmeni».
5. Skaidrojot lietoti vajadzīgie jēdzieni nepareizās attiecībās. Piemēram, «Darbojas Arhimēda spēks, ūdens ir blīvāks par gaisu».
6. Pareizs novērojums, pareizs kvalitatīvs skaidrojums.
7. Teorētiski aprakstīts, kā noteikt akmens tilpumu un blīvumu.
8. Noteikts akmens tilpums.
9. Noteikts akmens blīvums.

Šo uzdevumu ieteicams rādīt demonstrējumu eksperimentā. Pētot jaunāko klašu skolēnu domāšanu, kvantitatīvos jautājumus var neuzdot.

SATURS

Улдис Гринфельд, Томасс Романовский, Эдвин Шилтер

МОДЕЛИ В ОБУЧЕНИИ
МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ

Рига «Звайгзне» 1983

На латышском языке

Uldis Grinfelds, Tomass Romanovskis, Edvīns Šilters

MODEĻI MATEMĀTIKAS
UN FIZIKAS MĀCĪŠANĀ

Vāku zīm. A. Grīnbergs. Redaktors J. Eiduss. Māksl. redaktors U. Gulbis. Tehn. redaktore R. Pakalniete. Korektore I. Liberte.

ИБ № 2134

Nodota salikšanai 05.05.83. Parakstīta iespiešanai 04.10.83. JT 13123. Formāts 84×108/32. Tipogrāfijas papīrs № 3. Literatūras garnitūra. Augstspiedums. 5,46 uzsk. iespiedl., 5,72 uzsk. kr. nov. 6,13 izdevn. l. Metiens 4000 eks. Pasūt. Nr. 1437. Cena 20 kap. Izdevniecība «Zvaigzne», Rīgā, 226013, Gorkija ielā 105. Izdevn. Nr. 6185/FMĶ-225. Iespiesta Latvijas PSR Valsts izdevniecību, poligrāfijas un grāmatu tirdzniecības lietu komitejas ražošanas apvienībā «Poligrāfists», 226050, Rīgā, Gorkija ielā 6.

20 kap.