

Vabariiklik bioloogiaõpetajate õppe- ja kasvatustöö
teooria ning metoodika kursus

Aino Kundla

Paide rajoon Türi Keskkool

A I N E T E V A H E L I S E D S E O S E D
L O O D U S T E A D U S T E Õ P E T A M I S E L

Kursusetöö

Jaanuar 1979

SISUKORD:

1. Sissejuhatus.	lk. 3
2. Loodusteaduste õpetamise tähtsus.	3
3. Seosed loodusteaduste vahel.	4
4. Keemia seosed ühiskonnateadustega.	5
5. Keemia seosed matemaatikaga.	6
6. Keemia seosed füüsikaga.	9
7. Bioloogiateaduste tähtsus tänapäeval ja seos ühiskonnateadustega.	15
8. Üldbioloogia seosed keemiaga.	21
9. Üldbioloogia seosed matemaatikaga.	34
10. Bioloogia seosed füüsikaga.	52
11. Kokkuvõte.	59
12. Kasutatud kirjandus.	60

S I S S E J U H A T U S

Loodusteaduste (loodusõpetus IV kl., botaanika, zooloogia, inimese anatoomia, füsioloogia ja hügieen, geograafia) kursuse järjepidevusest ja omavahelistest sidemetest on piisavalt kirjutatud (vt. Tiits, H. Loodusteadusliku hariduse järjepidevuse probleeme. Tln., 1978), /12/. Vähem on konkreetset võrdlusmaterjali üldbioloogia ja keemia seostest teiste õppeainetega. Sellest johtuvalt ongi käesolev kursus töö mõeldud üldbioloogia, keemia ja füüsika ning matemaatika vaheliste seoste tundmaõppimiseks ja kasutamiseks üldhariduskooli vanemates klassides. Et loodusteadused on õpilaste peamised maailmavaate kujundajad, siis on ühiskonnaõpetuse kursus eelnimetatutega tihedalt seotud ning leiab kasutamist k.o. töös.

Lisaks pikaajalistele tähelepanekutele on töös refereeritud ka perioodikas ilmunud artikleid 1973-1978, (vt. kasutatud kirjandust).

L O O D U S T E A D U S T E Õ P E T A M I S E T Ä H T S U S

Loodusteaduslikud õppeained - bioloogia, geograafia, keemia, füüsika - täidavad noorsoo kommunistliku kasvatuses ülesannet: nende peajooneks on teaduslik-materialistliku maailmavaate ning ateistlike veendumuste kujundamine, nõukogude patriotismi ja internatsionalismi kasvatamine. Nimetatud diistsipliinid annavad konkreetseid teadmisi eluta ja elusa looduse arengu ja muutumise seaduspärasustest, looduse ja inimese suhetest ning tasakaalust. Lisaks öeldule on igal õppeainel veel puhtainealane ja didaktiline väärtus. /3,4,5,6/.

Seoses üleminekuga uutele programmidele ning polütehnilise ja töökasvatuse printsiibi eelisarendamisele omandavad ainevahelised seosed suure tähtsuse: järjepidevus ainete ja klasside vahel kujuneb sillaks koolitunnis ja iseseisva töö, õpingute ning praktika sooritamisel.

Nõukogude rahvaharidussüsteem on jõudnud tasemele, mis nõuab igalt rahvuselt võrdselt kõrgeid teadmisi teaduste alustest. Sellest rääkis oma sõnavõtus NLKP XXV kongressil NSVL haridus-

minister sm. M.A. Prokofjev. Ülesande täitmine on tänapäeva kooli keerukaim ja raskeim probleem.

SEOS ED L O O D U S T E A D U S T E V A H E L

Õppe- ja kasvatustöö kaasajastamisel ja efektiivsemaks muutmisel on tähtis koht progressiivsetel töömeetoditel ja ainetevaheliste seoste ära kasutamisel. Viimane ei ole uus mõte didaktikas - seda on kasutanud suured pedagoogid ja kasutavad tänapäeval eesrindlikud õpetajad. Kuid võtet ei kasutata süstemaatilisel, järjepideval ja kaugeltki mitte kõikide õpetajate poolt. Seda sellepärast, et kõik aineõpetajad "ei ole kodus" mitmes distsipliinis ning ei tunne ka lähedaste ainete programme. Kirjutan need read kogemuse põhjal, sest olen pikka aega õpetanud vanemates klassides üldbioloogiat ja keemiat ning tundnud vajadust küll füüsika, küll geograafia-alastest teadmist, matemaatikast ja filosoofiast rääkimata. Tõepoolest, need on õppeained, millest õpilane ammutab põhilised teadmised individuaalseks arenemiseks. Teiste sõnadega, loodusteaduste vahel eksisteerib objektiivne seos ja iga vastava aine õpetaja on kohustatud arvestama nende seostega ning aitama õpilastel luua terviklikku maailmapilti, vältimaks dubleerimist.

Mitmete õppeainete kohta on juba koostatud vajalik didaktiline materjal. /12/. Uutes bioloogia programmides on ära näidatud võimalikud seosed ainete vahel. (V.t. bioloogia programmi projekti ajakirjas "Biologia v škole", 1978, nr. 4), /23/. See töö ei ole lihtne, eeldab teadmisi ja tahet, kindlasti teadusliku uurimistöö metoodikat ja eksperimenti, seda on peetud pedagoogika teooria ja praktika üheks raskeimaks probleemiks. /12/. Tasub vaid meenutada 20-ndate aastate "projektide meetodit", "kompleksõpet" jt., mis viis tegelikult süstemaatilise aineõpetuse eitamiseni.

Kui lähtuda keemiaõpetaja seisukohalt, siis avanevad suured võimalused õpilaste polütehniliseks kasvatamiseks; bioloogiaõpetajana saab kujundada eetilisi ja esteetilisi tõekspidemisi.

Rääkides ainetevahelistest seostest tuleb märkida, et teadmised keemiast peavad aitama õpilasi teistes ainetes, kus saab kasutada keemilise eksperimendi vms. kogemusi. Siinkohal pean vajalikuks märkida, et keemiaõpetaja ja -kabineti abi on kõigepealt vaja IV klassi loodusõpetuses. Aga VII kl.

keemias peab õpetaja toetuma rohkem loodusõpetuses saadud teadmistele ainetest, nende omadustest, puhastest ainetest ja segudest, õhust, hapnikust, veest jne. /12/.

1. Keemia seosed ühiskonnateadustega.

Keemiakursuses õpitakse keemiatööstuse omapära, erinevaid seadmeid, aparate, tehnoloogiat, printsiipe, sealjuures ka uut, teaduse-tehnikarevolutsiooni saavutatut. Suurt abi saab õpetaja selleks kompleksskursioonist keemiatööstusse, laboratooriumi või kohtumisest erialaspetsialistidega. Pole üleaarne märkida, et siin peitub ka kutsesuunitluse moment.

Asendamatu on keemiaõpetaja osa maailmavaate kujundajana. Juba VII klassis tuleb anda seletus sellistele fundamentaalsetele mõistetele, nagu materია, aine, kvantiteet, kvaliteet, liikumine, arenemine, põhjus ja tagajärg, mõju ja vastasmõju, praktika kui töö kriteerium jt.

Vanemates klassides need teadmised süvenevad ja laienevad. Õpetaja, tuginedes konkreetsele materjalile, saab õpilasi juhatada suure töö tunnetamisele: kogu maailma ühtsus peitub tema materiaalsuses; maailm kujutab endast ühtset, igavesti eksisteerivat süsteemi, kus valitseb vastastikune mõju ja sõltuvus. Saavad arusaadavaks ka dialektika seadused: vastandite ühtsus ja võitlus, kvantiteedi üleminek kvaliteediks, eituse eitamine. Muidugi ei ole nimetatud seaduste sõnastamine ja kogu looduse ning ühiskonna arenemise selgitamine keemiaõpetaja ülesanne. Loodusteaduste õpetaja avab vaid seosed ühiskonna- ja loodusteaduste vahel, mis võimaldabki mõista materialistliku dialektika kategooriaid.

Teaduslikku maailmavaadet aitavad kujundada ka teaduse metodoloogiliste probleemide arutelud, materialismi ja idealismi vahelise võitluse faktid, eesrindlike teadlaste elu ja tegevuse tundmaõppimine (mitte ainult keemiast ja keemikuist!).

Noorsoo kommunistliku kasvatuse lahutamatuks osaks on Lenini pärandi tutvustamine, NLKP ja Nõukogude valitsuse otsuste selgitamine ning kaasaja teaduslik-tehniliste probleemide toomine õpilaste ette.

Aineõpetajaid suunatakse küll teatud teemade käsitlemiseks, kuid iga õpetaja peab ise taipama, kus ja kuidas ta seostab ainega partei ja valitsuse otsused, et nende käsitlemine ei muutuks kampaaniaks ja ühenäoliseks mitme aine tunnis. NLKP XXV kongressi otsuste käsitlemise kohta on ilmunud sobiv materjal.

/26/. See ei võta õpetajalt võimalust rääkida majandusülesannetest ka väljaspool seda plaani. Ja kui ajaloo, majandusgeograafia ja keemia tunnis ongi sama tabel, mis näitab nafta toodangu kasvu 1970-1980, siis on seletus vastavalt aine spetsiifikale ikkagi erinev ning õpilaste teadmised laienevad igal juhul.

Keemia annab palju võimalusi seostada ainekursus NLKP XXV kongressi materjalidega, näit. tööstusest, loodusvaradest jne. Energeetiliste loodusvarade käsitlemisel ei saa mööda minna leninlikust elektrifitseerimise plaanist, siit edasi aga aitavad teadmised füüsikast ja majandusgeograafiast ning õpilased hakkavad paremini mõistma maailma energiaprobleeme. /28/.

2. Keemia seosed matemaatikaga.

Suuri võimalusi ainetevaheliste seoste rakendamiseks pakub matemaatika. Pole mõeldav keemiaülesannete lahendamine (molekulvalemi tuletamine, aine hulga leidmine reaktsiooni võrrandi järgi, lahuse kontsentratsiooni või saagise protsendi arvutamine jne.), kui IV klassis pole selgeks saanud osa ja tervik, VI klassis võrde põhioadus, protsentarvutus või murdude taandamine. Paraku just nende küsimustega näevad vaeva nii õpilased kui õpetajad vanemates klassides. Et nimetatud küsimusi matemaatikas hiljem ei käsitleta, siis peab keemia saadud teadmised kinnistama. Selles peaks matemaatika- ja keemiaõpetajate vahel valitsema küll suurem üksteisemõistmine. Raske on leida eluala, kus tänapäeval ei kasutataks matemaatilist meetodit. Seepärast on iga õpetaja kohus õpilasi aidata.

Kehtiva programmi kohaselt õpitakse keskkoolis vaid ühte lahuse kontsentratsiooni väljendamisega viisi - protsendilist. /5/. Sama küsimus on ka kõrgkooli vastuvõtueksameil. Praktika näitab, et paljudel juhtudel lahendavad üliõpilaskandidaadid ülesandeid valesti, isegi kõige lihtsam variant on neile raske. Viga näib olevat selles, et ülesannet ei üldistata, vaid piirdutakse antud andmetega. Pean vajalikuks anda õpilastele ülevaetlik konspekt vastava tüüpi ülesandega, näiteks:

$$K\% = \frac{m_a}{m_e} \cdot 100\% = \frac{m_a}{m_a + m} \cdot 100\% = \frac{m_a}{d \cdot v} \cdot 100\%$$

K - lahuse kontsentratsioon protsentides

m_a - lahustunud aine mass

m_e - lahuse mass

m - lahusti mass

d - lahuse tihedus, (vastavalt füüsika nomenklatuurile roo g).

Viimane variant valemis on vajalik, et õpilased mõistaksid: protsendiline kontsentratsioon väljendatakse ikka massist (väljaarvatud mahuprotsent). Lahuse massi võib väljendada ka tiheduse d ja ruumala v korrutisena. Valemile tuleb veel juurde anda seletus, et kõik suurused on ühesugustes ühikutes (grammides, kilogrammides). Vaid väga lahjad lahused (näit. biokeemias) väljendatakse milligrammprotsentides (mg%) ja mikrogrammprotsentides (µg%). Niisiis, lahuse kontsentratsioon massiprotsentides on lahustunud aine mass sajast grammis massiosas lahuses. Kui ülesandes on antud lahuse maht, tihedust aga pole märgitud, siis tuleb see leida vastavatest tabelitest. Õpetan, kust seda tabelit leida (vt. õpikusse!).

Vanemates klassides on antud ülesanne veidi keerulisem: leida lähteained teatud kontsentratsiooniga lahuse valmistamiseks. Siingi aitab matemaatika, sest segamisreeglis on vaid tähed:

$$a \cdot x + b \cdot y = (a + b)z$$

a - esimese lahuse mass,
 b - teise lahuse mass, } üks neist võib olla ka vesi
 x - esimese lahuse kontsentratsioon
 y - teise lahuse kontsentratsioon
 z - saadava lahuse kontsentratsioon

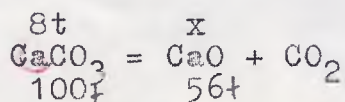
Üheks ülesande tüübiks on arvutused reaktsiooni võrrandi järgi. Raskusi valmistab reaktsiooni saagise ja lisanditega lähteainete leidmine. Meeldetuletuseks võiks vihikusse kirjutada:

$$\text{tervik} = \frac{\text{osa}}{\text{osamäär}}; \quad \text{osa} = \text{tervik} \times \text{osamäär}$$

$$\text{osamäär} = \frac{\text{osa}}{\text{tervik}}$$

Kui on teada lisandite protsent lähteaines, siis ei ole tegelik saagis enam 100%. Sagedasim viga - arvutatakse lisandite hulk, selle asemel, et leida ülejäänud osa tervikust. Õpilaste tähelepanu tuleb koondada just terviku ja osa vahekorra selgitamisele. (Vt. keemia põhivara VII - XI kl., Tln., 1977). /8/

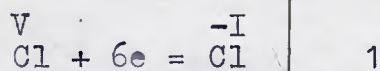
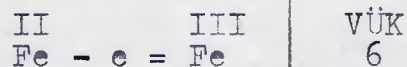
Selle ülesande teine variant - leida saagise protsent, kui lähteaine hulk ja tegelik saagis on teada. Näit.: 8 tonnist lubjakivist saadi 3,808 tonni põletatud lubja. Kui suur on saagise protsent? Koigepealt tuleks selgitada, mis on osa ja mis tervik. Nüüd leiame teoreetilise saagise - see on 100%, ja seejärel saagise protsendi vastavalt osale, s.o. tegeliku saagise järgi.



$$x(\text{teor. saagis}) = \frac{8 \cdot 56}{100}$$

$$\text{Saagise protsent on } 3,808 : \frac{8,56}{100} \cdot 100\% = \frac{3,808 \cdot 100}{8,56} \cdot 100\% = \frac{85}{9}\%$$

Matemaatikale tugineb ka koefitsientide tuletamine võrrandile. Lihtsaim võte on loovutatud ja omastatud elektronide arvu väikseima ühiskordse leidmine. Näit.:



Tugevamatele õpilastele võiks (peaks!) anda redoksreaktsioonide võrrandeid lahendada võrrandisüsteemina. Näit. seesama võrrand tuleks lahendada järgmiselt:



Koostame võrrandsüsteemi:

- 1) $a = 2d$ (Fe)
- 2) $a + c = 3d$ (S)
- 3) $4a + 3b + 4c = 12d + f$ (O)
- 4) $b = e$ (K)
- 5) $b = e$ (Cl)
- 6) $2c = 2f$ (H)

Oletame, et $d = 3$, siis $a = 6$, $b = 1$, $c = 3$, $d = 3$, $e = 1$, $f = 3$. See meetod ei ole kohandatav kõikidele reaktsioonidele, küll aga aitab tõestada keemia sidet matemaatikaga./18/.

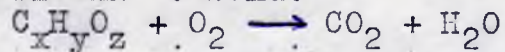
Siinkohal toon veel ära ühe ülesande, mille lahendamiseks on matemaatiline loogika vajalik. Nimelt, aine molekulvalemi tuletamine, kui on antud gaasi tihedus, põlemiseks kulutatud gaasi kogus või põlemissaaduste kogused. (Vt. keemia põhivara VII - XI klassile)./8/. Näit.: 2,3g aine täielikul põlemisel moodustus 4,4 g CO_2 ja 2,7 g H_2O . Aine aurude tihedus õhu suhtes on 1,59. Tuletada molekulvalem./9/. Kasutame gaasi massi, ruumala ja tiheduse sõltuvust väljendavaid valemeid:

$$d = \frac{M}{V} \quad (1) \quad M = d \cdot V \quad (2) \quad V = \frac{M}{d} \quad (3)$$

Kui on antud tihedus teise gaasi suhtes, siis $M = M_{\text{antud gaas}} \cdot d$.

$$\text{Siit } 29 \cdot 1,59 = 46. \quad (M_{\text{õhk}} = 29). \quad \text{Võrdsed } \frac{2,3}{4,6}; \frac{4,4}{44}; \frac{2,7}{18}, \text{ s.t.}$$

et 0,05 mooli aine põlemisel moodustub 0,1 mooli CO_2 ja 0,15 mooli H_2O . Reaktsiooni võrrand:



$$0,05 : 0,1 : 0,15 = 1 : 2 : 3,$$

siit $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$. Leiame tundmatud: $x = 2$, sest moodustub 2CO_2 , $y = 6$, $(3\text{H}_2\text{O})$. $12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16z = 46$, $z = 1$. Selle aine valem on $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (e. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Õpetajate seas on levinud arvamus, et keemia ja matemaatika seostega pole asjad korras. Sellest on ka avalikult räägitud. /17/. Põhjusi selgitab Ukraina NSV õpetaja E.G.Šmukler /29/; kes tugineb tuntud metoodikute D.M.Kirjuskini, V.V.Verhovski, S.G.Šapovalenko jt. töödele. Arvamused on äärmuslikud. Näiteks arvab D.M.Kirjuskini, et matemaatikat on vaja vaid loogilise mõtlemise arendamiseks ja minimaalselt ülesannete lahendamiseks. Samas aga S.G.Šapovalenko esitab nõudmise, et matemaatika aitaks kogu haridus- ja kasvatustööle kaasa. Kahjuks kogemus seda ei kinnita, tänapäeva koolimatemaatika on liiga nõrgalt seotud teiste distsipliinidega ega abista kuigivõrd viimaseid.

3. Keemia seosed füüsikaga.

Loodusteadusliku hariduse andmisel kasutab koolikeemia ka füüsika meetodit, et tõsta õpilaste teadmiste taset ja mõista seadusi, mis on ühised nii keemiale kui füüsikale. /15/.

Mõlemad ainekursused käsitlevad aine ehitust molekulaar-atomistliku teooria alusel. Füüsikakursus algab õpetusega molekulist, nende suurusest, liikumisest, vastastikusest mõjust; saadakse esialgsed teadmised aatomitest, liht- ja liitainete koostisest, aine agregaatolekutest, kristallidest. Samu teadmisi süvendatakse VIII kl. keemiakursuses: elektronide paigutus elektronkihtidel, aatomi ehituse seos asendiga elementide perioodilisuse süsteemis. Saadakse esimesed teadmised keemilise sideme liikidest. IX klassi elektrolüüsi teooria tugineb eelteadmistele füüsikast. Keemias õpitakse elektrolüüsi redoksreaktsioonina, selle kemismi, sõltuvust keskkonnast, saaduste kasutamist. Füüsika tunnis käsitletakse elektrolüüsi sõltuvust elektrivoolu hulgast, tugevusest, lähteaine olekust (lahus või sulatatud sool). Nii kujundatakse õpilastes teadmised elektrolüüsist kui keerulisest füüsikalise-keemilisest protsessist.

Suur tähtsus on füüsika ja keemia vahelistel seostel elektrolüütilise dissotsiatsiooniteooria õppimisel IX klassis. Keemiale on kasuks niisugused teadmised, nagu elektriväli, osakeste soojusliikumine ja selle sõltuvus temperatuurist, elektrostaatiline tõmbe- ja tõukejõud, dipool (näit. vee molekul) jt. Keemias nii vajalikud mõisted, nagu mass, tihedus, keemistemperatuur, sulamistemperatuur, agregaatolek, ka ühikute süsteem on ju kõik füüsikakursuses omandatud teadmised. Seosed füüsika- ja keemiakursuse vahel on enam koordineeritud kui keemia ja matemaatika vahel. Keemia ja füüsika

õpetajad võiksid tööplaan (temaatilisi plaane) koostades omaval koostööstada mõnede teemade läbivõtmise aja ja järjekorra, siis on parem seostada õpitavat õpituga. Ühtlasi tuleks koostööstada ka terminoloogia. (Füüsikas on SI süsteem, keemias aga segamini varasem ja kaasaegne). Ka naaberkursuse programme peaks tundma iga õpetaja.

Suurimaks probleemiks praegu on mooli uue mõiste omandamine. /21/. Keemia programmi kohaselt tuleb üldhariduskooli VIII klassis õpilastele tutvustada mooli kui aine hulga mõõtühikut. Kõik programmis ettenähtud keemilised arvutused tuleb samuti teha mooli uue mõiste alusel, kasutades seejuures molaarsuursusi. Mool on elementaarobjektide hulga mõõtühik. Elementaarobjektide hulka kuuluvad: aatomid; molekulid; ioonid; elektronid; prootonid; footonid; energia, mis eraldub keemilise toime elementaaraktsis jne. Mool ehk mol (rahvusvaheline tähistus) võrdub 12 grammi süsiniku isotoobis süsinik-12 sisalduvate aatomite arvuga. See arv on suure täpsusega määratud eksperimentaalselt ning võrdub $6,02 \cdot 10^{23}$ (ümardatult), seda nim. Avogadro arvuk. Sellest lähtudes määratletakse mool elementaarobjektide hulga ühikuna: üks mool sisaldab $6 \cdot 10^{23}$ elementaarobjekti. Sõltuvalt arvutuse iseloomust võib kasutada ka mooli kordseid suursusi: $1 \text{ kmol} = 10^3 \text{ mol}$, s.o. $6 \cdot 10^{26}$ elementaarobjekti; $1 \text{ Mmol} = 10^6 \text{ mol}$, s.o. $6 \cdot 10^{29}$ elementaarobjekti; $1 \text{ mmol} = 10^{-3} \text{ mol}$, s.o. $6 \cdot 10^{20}$ elementaarobjekti.

Elementaarobjektide hulka tähistatakse tähega n.

Igal elementaarobjektil, näit. aatomil, molekulil on kindel mass, elektronil on kindel laeng, peale selle on elementaarobjektidel veel kindel ruumala. Need suursused on mõõdetavad ja on võrreldised aine hulga n: mass $m = n \cdot M$, ruumala $v = n \cdot V$, elektronide (summaarne) laeng $q = n \cdot F$ jne. Siit ka molaarmass $M = \frac{m}{n}$; molaarruumala $V = \frac{v}{n}$; molaarlaeng $F = \frac{q}{n}$. Molaarlaeng, molaarmass ja molaarruumala on täiesti individuaalsed suursused. Normaaltin-
gimustel on gaaside ruumala võrdne $22,4 \text{ l/mol}$; $V_0 = 22,4 \text{ l/mol}$. Molaarmass on seotud aine molekulmassiga, viimase ühikuks on teatavasti süsinikuühik. Elektroni elementaarlaeng, s.o. molaarlaeng $F = 96485 \text{ C/mol}$.

Seoses eeltooduga erineb molaarmassi arvutus varasemaga võrreldes. Alumiiniumsulfaadi molaarmassi arvutamine on järgmine:

$$M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 96 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{SO}_4^{2-}) = M(\text{S}) + 4M(\text{O}) = 32(\text{g/mol}) + 4 \cdot 16(\text{g/mol}) = 96 \text{ g/mol}.$$

$$M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 2M(\text{Al}^{3+}) + 3M(\text{SO}_4^{2-}) = 2 \cdot 27(\text{g/mol}) + 96(\text{g/mol}) = 342 \text{ (g/mol)}.$$

Aine hulga arvutamiseks kasutatakse valemuid: $n = \frac{m}{M}$ ja $n = \frac{v_0}{V_0}$.

Kui näiteks naatriumkarbonaadi mass on 20 g, siis aine hulk võrdub:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{20}{106} = 0,189 \text{ mol} \approx 189 \text{ mmol}.$$

Olgu lämmastiku ruumala normaaltingimustes võrdne $44,8 \text{ m}^3$. Lämmastiku hulk võrdub sel juhul:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V_0(\text{N}_2)}{V_0} = \frac{44,8 \cdot 10^3 (1)}{22,4 \cdot (1/\text{mol})} = 2 \cdot 10^3 \text{ mol} \approx 2 \text{ kmol}$$

Molaarne kontsentratsioon väljendab lahustunud aine elementaarobjektide hulka ühes liitris lahuses:

$$c = \frac{n}{V} \text{ (mol/l)}$$

Lahuse lahjendamisel lahustunud aine hulk ei muutu:

$$n_1 = n_2$$

$$\text{Et } n = c \cdot V, \text{ saame: } c_1 V_1 = c_2 V_2$$

Saadud seose kasutamisel tuleb arvestada, et ruumala ühikud peavad olema ühesugused - kas liitrid, milliliitrid vt.

Kui lisame aine S_1 lahusele aine S_2 lahust, siis kulgeb reaktsioon:

$z_1 S_1 + z_2 S_2 + \dots \rightarrow z_1' S_1' + \dots$, kusjuures mõlemad ained reageerivad täielikult ainult siis, kui nende hulkade suhe võrdub koefitsientide suhtega:

$$\frac{n(S_1)}{n(S_2)} = \frac{z_1}{z_2} \quad \text{Et aga } n = c \cdot V, \text{ siis saame } \frac{c(S_1) \cdot V(S_1)}{c(S_2) \cdot V(S_2)} = \frac{z_1}{z_2}$$

Asendame aine S_1 hulga seosega

$$n(S_1) = \frac{n(S_1)}{M(S_1)} \quad \text{ja aine } S_2 \text{ hulga seosega } n(S_2) = c(S_2) \cdot V(S_2)$$

ning saame valemi aine S_1 massi arvutamiseks:

$$m(S_1) = c(S_1) \cdot V(S_2) \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot M(S_1)$$

Selle valemi kohaselt ruleb ruumala väljendada liitrites. Et saada tulemust milliliitrites (näit. tiitrimisel) ja et aine mass oleks grammides, tuleb valemi paremat poolt veel korrutada 10^{-3} :

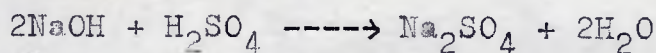
Näide 1. Valmistada 10 l vesinikkloriidhappe lahust kontsentratsiooniga 2 mol/l vesinikkloriidhappe lahusest, mis sisaldab 38,32% vesinikkloriidi ($c(\text{HCl}) = 12,5 \text{ mol/l}$).

$$\begin{aligned}c_1 \cdot v_1 &= c_2 \cdot v_2 \\12,5 \cdot v_1 &= 2 \cdot 10 \\v_1 &= \frac{2 \cdot 10}{12,5} = 1,6 \text{ l}\end{aligned}$$

Seega 1,6 l kontsentreeritud vesinikkloriidhappe lahust tuleb veega lahjendada ruumalani 10 l.

Näide 2. 15,00 ml naatriumhüdroksiidi lahusele kontsentratsiooniga $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol/l}$ lisati 6,00 ml väävelhappe lahust kontsentratsiooniga $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3 \text{ mol/l}$. Millist ainet võeti liias?

Reaktsioonivõrrand:



Võetud ained reageerivad omavahel täielikult, kui kehtib järgmine seos:

$$\frac{v(\text{NaOH}) \cdot c(\text{NaOH})}{v(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2}{1}$$

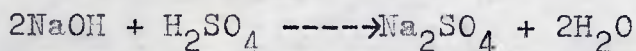
Arvutame selle seose konkreetse juhuse jaoks:

$$\frac{c(\text{NaOH}) \cdot v(\text{NaOH})}{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot v(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2 \cdot 15}{3 \cdot 6} = \frac{30}{18} = \frac{1,67}{1}$$

Arvutus näitab, et täielikuks omavaheliseks reaktsiooniks ei jätku antud juhul naatriumhüdroksiidi. Järelikult on väävelhapet võetud liias.

Näide 3. 20,00 ml väävelhappe lahust tiitriti 17,25 ml naatriumhüdroksiidi lahusega, mille kontsentratsioon oli $c(\text{NaOH}) = 0,1076 \text{ mol/l}$. Kui suur oli väävelhappe mass tiitritavas lahuses?

Reaktsioonivõrrand:



Väävelhappe mass võrdub:

$$\begin{aligned}m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= c(\text{NaOH}) \cdot v(\text{NaOH}) \cdot \frac{z(\text{H}_2\text{SO}_4)}{z(\text{NaOH})} \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 10^{-3} = \\&= 17,25 \cdot 0,1076 \cdot \frac{1}{2} \cdot 98 \cdot 10^{-3} = 0,09095 \text{ g}.\end{aligned}$$

Märkus: Kehtiva keemia programmi järgi ei käsitleta keskkoolis tiitrimist, kuid olümpiaadidel on seda vaja teada, sellepärast siinkohal ka vastav seletus./7/.

Toodud lahendusvariandid on mooli mõiste selgitamiseks. Sellist tulemust ülesannete lahendamisel pole vaja kasutada, aitab vaameist.

Ühine objekt keemia - ja füüsikakursuses on aine elektronstruktuur. Esimesed teadmised elektronist saadakse VII kl. füüsikas, põhiteadmised aga VIII kl. keemias, kus õpitakse aatomi ehitust elementide perioodilisusseaduse alusel. Elektronit õpitakse tundma kui aatomi osa, millel on kindel negatiivne laeng -1 , väga väike mass ning elektronide arv aatomis võrdub prootonite arvuga tuumas. Ent nendest teadmistest on vähe, et asuda IX klassis elektrodünaamikat õppima. Seepärast tuleks veel lisada mõningad andmed: elektroni laeng on väikseim negatiivne laeng looduses, nimelt $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ k}$.

Keemia ja füüsika kasutavad ühiseid meetodeid. Aine üheks omaduseks on elektrijuhtivus. Seda mõistes saab selgitada elektrofüütilist dissotsiatsiooni, aga ka ainete klassifitseerimise aluseks on nimetatud omadus. Erinev elektrijuhtivus on orgaanilises keemias abiks ainete happelisuse ja aluselisuse kindlakstegemisel, aminohapete amfoteersuse tuvastamisel. Anorgaanilises keemias tõestatakse elektrijuhtivusega puhta vee ja mittelahustuva te soolade dielektrilised omadused. Füüsikas saavad õpilased teada, mis on polaarne ja mittepolaarne dielektrik, et elektrivälja mõjul laetud ioonid orienteeruvad jõujoonte suunas. Seepärast on polaarsete molekulidega aine dielektriline läbitavus märgatavalt suurem.

Paljude füsioloogiliselt aktiivsete orgaaniliste ühendite ehitust saab uurida nende optilise aktiivsuse alusel.

Nii keemias kui füüsikas on tegemist energia jäävuse ja muundumise seadusega. Füüsikas käsitletakse seadust kui energia muundumist mehhaaniliseks, soojus- või elektrienergiaks. Siit saab üle minna energia muundumisprotsessidele rakus, s.o. biokeemilistele muundumisprotsessidele. Ennekoike aga tuleks seletada põlemist kui soodud energia vabanemist keemilise reaktsiooni käigus.

Energia ja massi jäävuse seadused aitavad mõista aine jäävuse seadust.

Energia muundumisega on seotud orgaaniliste ühendite isomeeria. Ruumilise isomeeria vormidest on alati püsivam see, mis vastab enam energia miinimumi printsiibile. Seda teades tuleb õpilased seaduspärasuse, et trans-isomeerid on püsivamad kui tsiss-isomeerid, β -glükoos on stabiilsem kui α -glükoos jne. Sümmetria küsimused on üldse koolikursuses põhilisimusteks saanud (vt. ka matemaatikat, füüsikat): soojusnähtused kristallilise aine lahustumisel ja kristallide moodustumisel, (sümmeetrilisema molekuli liitumine kristalliks on lihtsam, kuid seda suurem peab olema keskmine kineetiline energia, et molekul kristallist lahti revida, näit. lahustumisel), keemistemperatuuride sõltuvus molekuli

lide kokkupuutepindade suurusest, nende tõmbejõust (enamhargnenud ahelatega süsivesinike keemistemperatuurilõmadalam). Kuna molekuli siseenergiat väljendatakse temperatuurina, siis saab õpilastele selgeks, et mida sümmeetrilisem molekul, seda kõrgem on sulamistemperatuur.

Tulemused ühtede ainete sümmeetriast ja sellest sõltuvalt aine füüsikalistest omadustest võimaldavad deduktiivselt läheneda teistele aineklassidele. See aitab omakorda kaasa õpilaste abstraktse mõtlemise arendamisele.

Oluline kahte distsipliini haarav küsimus on kristallide teooria. Algteadmised saadakse VII kl. füüsikas, süvendatakse aga keemias. Õpitakse kristallivõre ehitust, kristallide füüsikalisi omadusi, kristallide saamist. Kuivõrd kristall on puhas aine, siis on sulamistemperatuur jääv suurus jne. VIII klassi keemias saab selgeks soola kristallivõre - kristallivõre sõlmpunktides asuvad ioonid ning avatakse mõiste ioonilisest sidemest. Miks kristall tekib, mis hoiab ioone, aatomeid või molekule koos? Võrreldes erineva kristallivõrega ainete omadusi, selgub, et need on tingitud aineosakeste vastastikkusest tõmbetungist kristallivõre sõlmpunktides, erinevast energiahulgast, mis on vaja kristallivõre lõhkumiseks. Hästi sobib eelnev jutt IX klassis allotroopia selgitamiseks (väävel, fosfor, süsinik).

Mõningaid raskusi valmistab õpilastele reaktsiooni tingimuste küsimus - ei tehta vahet, kas eelnevat soojendamist on vaja reaktsiooni algamiseks või on tegemist endotermilise reaktsiooniga, s.o. energia neeldumisega. On soovitatav meenutada füüsikas õpitut: 1) et molekulid astuksid reaktsiooni, peab aatomite-vaheline mõju nõrgenema; soojendamine tõstab aatomite kineetilise energia tasemele, mis ületab aatomite tõmbetungi molekulis; 2) erinevad molekulid nõuavad ka erinevaid energiahulki, et algaks reaktsioon; sellele vastavalt ühed ained astuvad reaktsiooni juba normaalingimustel, teisi tuleb soojendada, kolmandad vajavad kõrgeid temperatuure; 3) keemilised reaktsioonid kulgevad kas soojust eraldades - eksotermilised või soojust neelates - endotermilised.

Keemia pakub füüsikale mõningaid teadmisi, mida peaks füüsikaõpetaja arvestama. Kõigepealt, keemilise sideme liigid on iooniline (soolad) ja kovalentne (elektronpaaridest), teistsuguseid nimetusi pole vaja kasutada. Uue programmi kohaselt õpitakse VIII klassis põhjalikult mooli (uue sisuga); seda vajab füüsika IX klassis (vt. eespool). Kordan veelkord: mool on universaalne aine hulga mõõtühik, tema abil saab väljendada mitmeid füüsikalisi suurusi, nagu massi, ruumala, laengut, kontsentratsiooni, aatomite ja molekulide arvu jt.

Seostades õpitavat füüsikas ja keemias saab sõnastada massi ja

energia seaduste alusel mateeria jäävuse seaduse. /21/.

B I O L O O G I A T E A D U S T E T Ä H T S U S TÄNAPÄEVAL JA SEOS Ü H I S K O N N A T E A D U S T E G A

Teine seostering loodusteaduste vahel on seotud elava loodusega. Süstemaatiline järjepidevus õppeprogrammides algab IV kl. loodusõpetusest ja kehtib üldbioloogiani. Samal ajal on loodusõpetus seotud füüsilise geograafiaga ja ka keemiaga. /12/.

Tihedad sidemed on üldbioloogial naaberteadustega - matemaatika, füüsika ja keemiaga. Elava objekti uurimine on tänapäeval usaldatud mitmele piiriteadusele (biokeemiale, biofüüsikale). Ja nii nagu varem märgitud, on ka siin abiks ühiskonnaõpetus ning ajalooline printsiip.

Üldbioloogiaga lõpeb bioloogiliste teadmiste tsükkel üldharyduskoolis. Seitsme aasta jooksul saavad õpilased teadmisi kõigist elava looduse suurematest üksustest, õpivad tundma individuaalse ja ajaloolise arenemise põhilisi seaduspärasusi, tutvuvad XX saj. teaduse saavutustega; õpingute käigus peab kujunema kindel hoidlik suhtumine loodusesse. Keskkooli lõpetanu peab omama dialektilis-materialistliku maailmavaate, olema veendunud ateist. /3/.

Ülesannete täitmine mitme aine abiga, nagu eespool nimetatud, aitab kaasa õpilaste silmaringi laendamisele, mõttetegevusele, üldistusoskusele, teadmiste ja praktika ühtsusele.

Loodusteaduslike ainete seoste tähtsust on korduvalt rõhutanud N. Krupskaja, konkretiseerides, et efektiivsed on vaid need seosed, mis on üldised ja kehtivad kogu õppeainete tsüklile.

Tänapäeva bioloogiategadus on kõrgel teoreetilisel tasemel. Eriti palju uusi teaduslikke avastusi on tehtud molekulaarbioloogias ja -geneetikas. On kindlaks tehtud, et elava raku valgud lihtsast keerukamini koosnevad ca 20 aminohappest, et valk on eluks vajalik, on raku ehituslik ja talitluslik üksus; samad elemendid - C, H, O, N on ka anorgaanilise maailma koostiselemendid. Täheleb, materiat tuleb vaadelda mitmest tasandist: füüsikalisest, keemilisest, bioloogilisest. Selline ainekäsitus viib tähtsale metodoloogilisele järeldusele: valk on elu aluseks.

Teine avastuste raskuspunkt on nukleiinhapetel. On kindlaks tehtud nende matriitsfunktsioon valgu sünteesis, mis tähendab, et nukleiinhapped määravad aminohapete järjekorra valgu molekulis. Sellega kannavad nad organismi (raku) pärilikkuse informatsiooni. See avastus lubab täpsustada geeni kui pärilikkusüksuse olemust. Geen on keerulise struktuuri ja koostisega biokeemiline süsteem.

Sellest tuleneb järeldus, et genotüüp määrab tõenäolised tunnused, mis realiseeruvad fenotüübina reas põlvkondades.

On selgunud asjaolu, et nii valgu kui nukleiinhapete molekulid üksikult ei saa moodustada struktuure, millel oleks elu tunnuseid, vaid koos alates aminohapetest ja lõpetades rakumembraaniga, ülimalt keerukas biokeemilises süsteemis avaldub "elusainete" eluline funktsioon.

Tänu molekulaargeneetika saavutustele ja molekulaarbioloogiale on võimalik tänapäeval seletada elu evolutsiooni arvutute mutatsioonide reana.

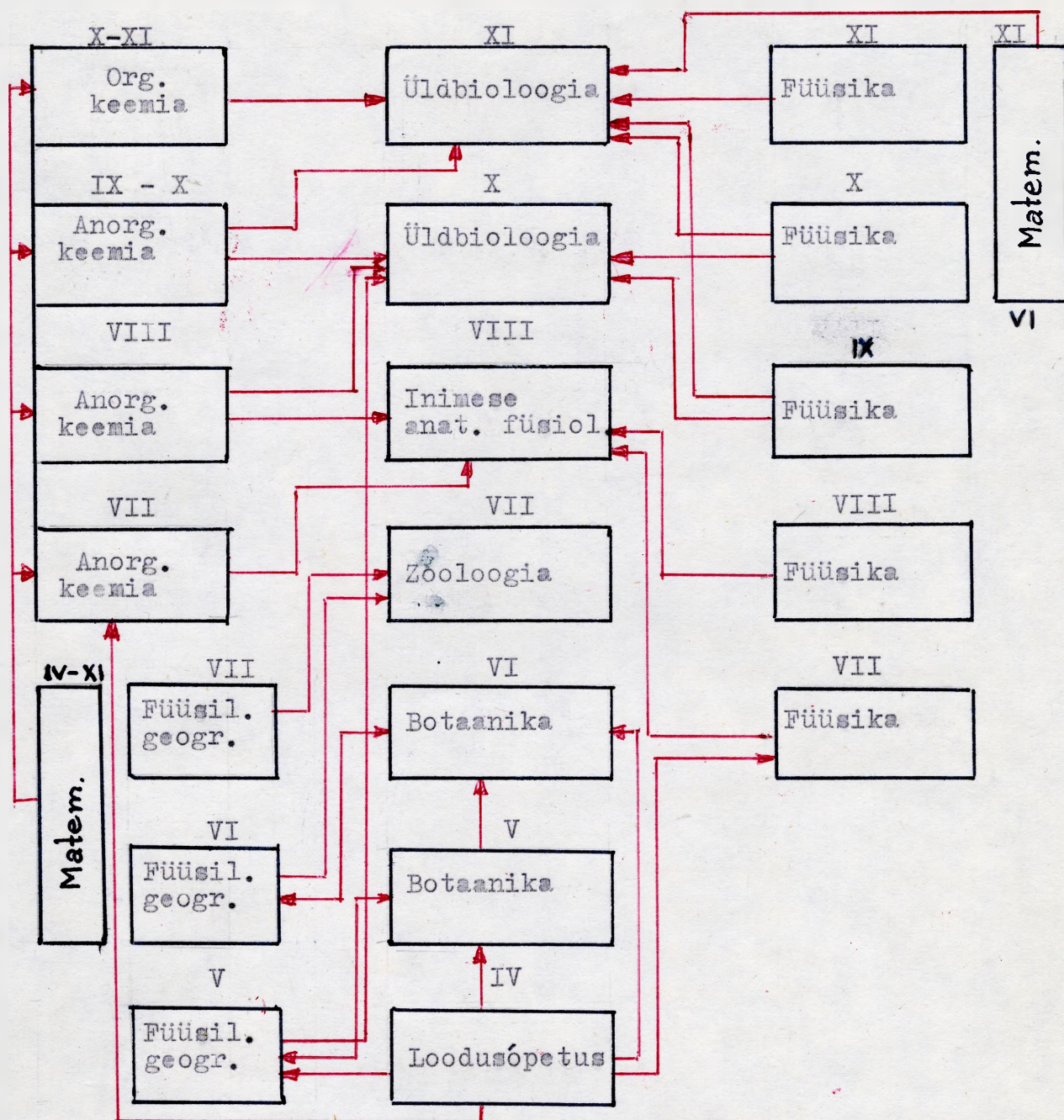
Kõige julgemaks sammuks tuleks pidada õpetlaste-spetsialistide saavutust geeni isoleerimise, rakuvälise sünteesi ja siirdamise meetodikakohta. Nimetatud saavutused bioloogias on võimalikuks saanud vaid tänu bioloogiateaduse seotule keemiaga, füüsikaga, matemaatikaga, küberneetikaga. Bioloogia harude (geneetika, ökoloogia, evolutsiooniline morfoloogia, biogeotsöonoloogia) uurimistulemuste abiga on loodud sünteetiline eluslooduse evolutsiooni teooria.

Nimetatud bioloogia-alased saavutused kajastuvad koolibioloogia programmis. Loomulikult on teadmiste tase vastav klassile: osa teadmisi antakse nooremates, osa vanemates klassides, kuid erinevatest aspektidest, et mitte vähendada aine teaduslikkust. Mitmesuguseid didaktilisi võtteid kasutades võib õpilasteni viia suuri teaduslikke arutelusid.

Botaanika ja zooloogia on tihedalt seotud füüsilise geograafia-ga; kujundatakse järgmised põhilised teadmised: väliskeskkond, fütototsönoos, zootsönoos, biotsönoos. Inimese anatoomia ja füsioloogia on seotud füüsika ja keemiaga, kujundatakse mõisted: organismi sisekeskkond, gaasivahetus kopsudes ja kudedes, vee ja soolade imendumine, valgu süntees rakus, orgaaniliste ainete lagunemine ja oksüdeerumine, aine- ja energiavahetus, närviprotsesside füsioloogilised seaduspärasused, nägenise-kuulmise füüsikalise-keemilised seaduspärasused jt. Kahjuks, sageli õpetatakse eeltoodut kui täiesti uut, tegelikult on eelteadmised juba olemas. Siinkohal pean veelkord märkima, kui vajalik on teada ainetevahelisi seoseid ja naaberdistsipliinide programme. /3/.

X - XI kl. üldbioloogiale peaks andma aluspõhja keskkooli füüsika- ja keemiskursus. Viimane "ei tööta" küll bioloogia kasuks, s.t. et teadmised keemiast "jäävad hiljaks" (vt. programme) ning ainetevahelised seosed lihtsalt ei funktsioneer. Põhiraskus orgaaniliste ühendite tundmaõppimisel (mööldud on valke, rasvu, süsivesikuid) langeb keemialt bioloogiale, mis teeb õppeaine XI kl.

I veerandil raskeks.



Skeem loodusteaduste-vaheliste seoste kohta.

Siinkohal on toodud vaid võimalikud seosed, põhimõtteid vt. tekstist. /26/.

Ainekäsitus üldbioloogias on valdavalt üldistav, tuginedes paljus varemõpitule. Esinene suurem üldistus tuleks teha juba esimeses, sissejuhatavas tunnis X klassis. Siin on kohane teha kokkuvõtte botaanika, zöoloogia, inimese anatoomia ja füsioloogia kursuse õppimisel saadud teadmiste kasutamisest, nimetada naaberteadused, millel abistav suund ja üldistada uuritavaid objekte. Sellekohase tabeli võiks teha vihikusse, seda on hiljem korduvalt vaja.

Sama tabeli põhjal pannakse paika ka esimesed ideelis-poliitilise kasvatusse sätted: õpilastele tutvustatakse NLKP XXV kongres-

Bioloogia uurimisobjektid

Org. tase	Uurimisobjekt	Bioloogia harud	Rakendusala
Planetaarne	Biosfäär - vöönd	Õpetus biosfäärist e. biogeokeemia	Maaailma loodusvarade kasut. ja kaitse
Koosluseline	Biotsönoos	Biotsöno- loogia, geo- botaanika, ökoloogia	Metsandus Rohumaa- viljelus
Populatsi- ooniline	Populatsioon	Populatsiooni- geneetika, -ökoloogia, evolutsiooni- õpetus	Sordi- ja tõuaretus Jahindus Kalandus
Organismiline	Organism - organ - kude	Botaanika, zooloogia ja nende harud: anat., füs., geneetika jt.	Taime- ja loomakasvat. Meditisiin
Rakuline	Rakk - organell	Rakuõpetus Bakterio- loogia	Mikrobioloogia rakendus- alad
Molekulaarne	Elusaine makromolekul	Molekulaar- bioloogia Biokeemia Biofüüsika Viroloogia	Biokeemia rakendus- alad

si otsuseid bioloogiateaduste kohta, näidatakse nende fundamentaalsust ja tähtsust põllumajanduse praktikas, meditsiinis ja mikrobioloogias.

Maailmavaate kujundamiseks on veel korduvalt võimalusi. Mee-
nutame, et ühiskonnaõpetusest on teada materialistliku dialek-
tika seadused ja kategooriad. Varasemast on teada ka niisugu-
sed nähtused nagu arenemine ja kasvamine, assimilatsioon ja
dissimilatsioon. Üldbioloogias lisanduvad veel looduslik ja
kunstlik valik, kohastumise suhtelisus, elu arenemine Maal jne.
Siit tuleneb järeldus, et didaktika seadused on tuletatud loo-
dusest ja inimühiskonnast enesest. Kursuse käigus avaneb või-
malus tugineda dialektika seadustele: kvantiteedi üleminek kva-
liteediks - uute liikide teke, mutatsioonid jt., vastandite üht-
sus ja võitlus - populatsioonisisese ja -vahelised suhted, bio-
tsönoosid, olulusvõitlus jt., eituse eitamine - see on kõige ras-
kemiini mõistatav, kuid tegelikult evolutsioon ise, uue eelista-
tus ja vana paratamatu hääbumine. Neid teadmisi ei saa mõista
kui lihtsalt fakte, nendes peab avanema mateeria põhiomadus -
liikumine.

X klassis saavad õpilased teadmised vastandite võitlusest, mis
on arengu tingimuseks. Evolutsiooni käigus tekivad pidevalt uued
vormid, mis elutingimustega paremini kohastuvad. Kuid kohastu-
mine pole kunagi absoluutne, ei garanteeri hukkumast, kui tin-
gimused muutuvad. Mõistes seda seaduspärasust saab seletada ka
pärilikkust ja muutlikkust, elu ja surma.

Liikide teke on klassikaline näide kvantitatiivsete muutuste
üleminekust kvalitatiivseiks. Loomade ületulek veest maale tin-
gis uue hingamisorganite süsteemi, muutusid liikumisvahendid,
muutus käitumine.

Ajalooline printsiip aitab selgitada lüliljalgsete arengut
rõngussidest, kahepaiksete põlvnemist kaladest, lindude ja ime-
tajate päritolu ühest roomajate grupist jne. Erinevate selgroog-
sete embrüonaalne areng aitab mõista eituse eitamise seadust.
Dialektiline eituse tähendab seda, et iga järgnev taimede või loo-
made klass eitab eelnevat, samas aga võtab üle eelmise need joo-
ned, mis on olulised, kasulikud. Seepärast ongi iga uus klass
keerukam, enam tüsistunud, on toimunud progress.

X klassis puutuvad õpilased kokku mitmete filosoofiast pärit
mõistetega: materialism, idealism, metafüüsika, dialektika. Need
on VIII kl. ajaloos käsitletud, seepärast ei vaja uut selgitust.
Üldbioloogia õpetaja peab nende mõistete varal üldistama, sel-
gitama konkreetsete näidete varal ideoloogilist võitlust Darwi-
ni - eelsel perioodil ja XX sajandil. Materialistlikud vaated

loodusest on pärit antiikühiskonnast, nende võidukäik kujunes pidevas võitluses idealismiga. Kirjeldava perioodi õppimine üldbioloogias annab häid võimalusi nende mõistete avamiseks: K. Linné kui idealist, suure "loomisakti" ja liikide muutumatuse tunnustaja. Võrdluseks tuleb märkida XIX saj. saavutusi: J.B. Lamarcki evolutsiooniteooriat ja selle kvalitatiivset erinevust Linné metafüüsilisest maailmakäsitlusest, aga ka XVIII saj. Buffoni, ja E. Darwini täid. Darwini-eelsed dialektilise maailmavaate pooldajad olid ka I.V. Goethe, I.E. Djadkovski, K.F. Rulje. Selle perioodi lõpuks formuleerus evolutsiooni mõiste, mille liikumapanevad jõud avastas Ch. Darwin.

Tuleb märkida, et Darwinile kui ka kaasaegsele bioloogiale on suureks abiks paleontoloogia, embrüoloogia, biogeograafia. Evolutsiooni tõestamiseks sai Darwin materjali just nendest allikatest; ka õpilased mõistavad evolutsiooni paremini, kui neile anda võrdlevat materjali. Kas aine käsitlus selles järjekorras (enne üldistus - looduslik valik - ja siis tõestusmaterjal) kõige õigem on, jäägu siinkohal arutlemata, igatahes ei võida koolibioloogia midagi, kui uuest programmist jäetakse välja evolutsiooni biogeograafilised tõendid /23/. Mina pean seda näidet evolutsioonist üheks eredamaks. Samal ajal on õpilastel raske mõista biogeneetilise reegli sisu, sest peale loodete tabeli pole ju praktiliselt midagi näidata. Veelkord uuest programmist: VI kl. programmist jäetakse välja sammalde paljunemine, aga seda näidet toonitatakse biogeneetilise reegli õppimisel kui fakti vetikate ja maismaataimede sugulusest (vt. uus bioloogia õpik lk. 61).^{13/} Kas linnalaps on elus kordki näinud sambla eelniiti? Aga Austraalia loomi näeb ta vähemalt loomamaias!

Evolutsiooniteooria on tänuväärseim materjal teaduslik-materiaalistliku maailmavaate ja ateistlike veehõimude kasvatamiseks, ja seda võimalust ei jäta kasutamata ükski bioloogia õpetaja.

Ideoloogilise võitluse areeniks on olnud ja on ka praegu elu tekkimise ja inimese arenemise probleem. Et seda materjali õpitakse teooriate põhjal, teooria aga tugineb faktidele, siis poleks nagu põhjust kõhklusteks. Ometi on viimasel ajal mitmeid vihjeid eriti antropogeneesi kohta, aga ka esimeste eluvormide tekkest, millest ei saa vaikides mööda minna. Pean vajalikuks, et bioloogia õpetajal jätkuks julgust niisuguste mõtetega üles astuda ja näidata, et tänaseks ei olegi veel kõik saladused avastatud, et mõte areneb, sellega ka arusaamad võivad muutuda. See on dialektika.

XI kl. I poolel käsitletakse ühiskonnaõpetuses tunnetusteooriat. Ja ongi sobiv aeg, sest II veerandi on üldbioloogias käsil elu tekke

probleemid. Materaia ja teadvuse pahekord on ikka filosoofia põhiprobleemideks olnud. Siinkohal võivad õpilased oma teadmisi kontrollida: 1) Mis on dialektilise materialismi tunnetusteooria aluseks? 2) Kuidas mõista objektiivset reaalsust? 3) Mis on tunnetus? 4) Kuidas toimub tunnetamine? Kui niisugune filosoofiline arutelu toimunud, võibki hakata elu olemuse ja tekkimise küsimusi käsitlema./25/.

1. Üldbioloogia seosed keemiaga.

Rakuõpetus on tihedalt keemiaga seotud teema üldbioloogias; VII-X kl. anorgaanilise keemia kursuse seos rakuõpetusega on hea: vesi, lahused, katalüsaatorid, anorgaaniliste ühendite põhiklassid, keemilised sidemed, elektrolüüdid. Kuid orgaanilises keemias jääb üldbioloogiale vajalik osa (valgud, rasvad, süsivesikud) II poolaastasse, bioloogias aga õpitakse samu küsimusi I veerandil. Seoses eeltooduga toon mõned mõtted varasemate teadmiste kasutamise võimalustest.

Teemat alustades tuleks vastata kolmele küsimusele: 1. Kas elav ja eluta loodus koosneb samadest elementidest? 2. Miks kuuluvad raku koostisse just süsinik, vesinik, hapnik, lämmastik? 3. Kas on seost keemilise elemendi ja selle füsioloogilise funktsiooni vahel rakus? Õpilased tulevad kergesti toime esimese küsimuse vastamisega: nii elus kui eluta loodus koosneb samadest elementidest. Omapoolselt tuleb täiendada, et just sel põhjusel toimub vastastikune ainete vahetus mulla, õhu, vee ja organismi vahel. Elusa ja eluta looduse materiaalne ühtsus kindlustab kõikide organismide eksistentsi Maal. (Need on teadmised ühiskonnaõpetusest).

Teise küsimuse vastus leitakse elementide perioodilisuse süsteemist: elemendi ehitus, levik, siseenergia, aatomi ja iooni omadused jt. Vestlus kinnitab, et nimetatud neli elementi on ka kõige enam levinud universumis. Sel juhul elavate organismide rakudes on kõige lihtsamad ja levinumad aatomid. Teadlaste arvates peavad elavaid rakke moodustavad elemendid vastama järgmistele nõuetele: olema laia levikuga ja keerukate ühendite moodustamise võimega. Süsinik, vesinik, hapnik ja lämmastik on kahe esimese perioodi elemendid, seega on neil oma perioodis väikseim aatom ja nad moodustavad stabiilse elektronkatte, kui liidavad 1, 2, 3, 4 elektroni. Siit järeldus: süsinik, vesinik, hapnik ja lämmastik võivad moodustada püsivaid ja kordseid sidemeid ning mitmesuguseid molekulistruktuure. Sellest ka nende ühine nimetaja -organo-

geenssed elemendid.

Kui õpetaja vajalikuks peab, siis võiks ka põhjendada, missugune tähtsus on nimetatud elementidel elussüsteemile. Võrreldes süsiniku ja räni (viimane paikneb vahetult süsiniku all IV perioodis), märkigem, et litosfääris on räni 16,084 aatomiprotsenti, süsiniku aga ainult 0,119%, seega on räni 135 korda rohkem. Ränil on väliskihil 4 elektroni nagu süsinikulgi ning omab tendentsi moodustada ühendeid neljavalentsena. Ometi on elu seotud süsinikuga. Miks? Põhjus peitub C-C ja Si-Si erinevates sidemeenergiates. C-C sidemes on aatomite kaugus 1,54 Å, energia on 336-349 kJ/mol; Si-Si- sidemes on aatomite kaugus 2,34 Å ja energia 177,2 kJ/mol. C-C- sideme pikkus on tunduvalt väiksem, energia aga kaks korda suurem, seepärast moodustab süsinik ka püsivamaid sidemeid ja pikki stabiilseid ahelaid ning ehituselemendina on ta organismile eelistatum kui räni.

Ka teine süsiniku omapära - moodustada kordseid sidemeid annab talle eelised räni ees. Võrdluseks CO₂ ja SiO₂ struktuur. CO₂ molekulis on süsiniku aatom seotud kahe elektronpaariga :O::C::O:, seega kõik sideme moodustamise võimalused on ammendatud. Sellest ongi tingitud CO₂ võime lahustuda vees, levida õhus, tungida mulda; järelikult sellisena on ta elusorganismidele vastuvõetav ja ainevahetuse käigus kergesti eraldatav.

Räni ei moodusta kordseid sidemeid, SiO₂ molekul on hiigelmolekul, mis koosneb ahelast Si - O - Si - O - ... ja moodustab kvartsi-kristalle. See aga on tugev inertne aine ega saa osaleda elusaine ringes. Kuigi räni (nagu süsiniku) aatomid võivad ühineda ahelaks ja moodustada räni vesinikühendeid (silaane), on need ühendid tunduvalt vähem stabiilsed ja reaktsioonivõimelisemad ning sobimatud eluks Maal./1/.

Selline arutelu võiks toimuda mistahes teise organogeense elemendi kohta (õpetaja äranägemisel). Ilmselt on niisugune vestlus vajalikum kui lugeda õpikust elementide protsentuaalset sisaldust rakus, mis jääb kinnistamata tühjaks informatsiooniks, kuna õpik ei põhjenda, miks süsinik, vesinik, hapnik ja lämmastik on organogeenssed elemendid (vt. uuest õpikust lk. 115: "...elutegevuse produktides leiti juba ammu suur hulk süsiniku ühendeid,...")/13/.

Eespool püstitatud küsimuste viimase vastuse saame jällegi elementide perioodilisuse süsteemist: need on fosfor ja väävel ning nende osa rakus. Esiteks, fosfor ja väävel on kolmanda perioodi elemendid, on suurema tuumalaenguga ja vastavalt ka suurema aatomi raadiusega, nende kovalentsed sidemed on pikemad kui hapnikul, vesinikul, süsinikul, lämmastikul. Pikemad sidemed on vähem vastupidavad, enam mõjustatavad, seepärast astuvad fosfori

ja väävli aatomid kergesti vahetusreaktsioonidesse, nende sidemed purunevad kergesti. Teiseks, fosfori ja väävli p-orbitaalid ei ole täitunud ($P 3s^2 3p^3$ ja $S 3s^2 3p^4$), seetõttu võivad mõne aine molekulid anda elektronpaari ning moodustada kergesti väävli ja fosfori aatomitega sidemeid. Sellel põhinebki nende elementide osalemine ainevahetuses. Kolmandaks, fosfor ja väävel võivad moodustada kordseid sidemeid vastavalt kovalentsile - 5 kuni 6 sidet, mis võimaldab energeetilisi muundumisi. Väävel kuulub paljude valkude koostisse, fosfor on nukleiinhapete, ATP, ensüümide ja vitamiinide koostises. Siit järeldus: elemendi bioloogiline tähtsus ja funktsioon on tingitud aatomi ehitusest, seega asendist perioodilises süsteemis. /1/.

Anorgaanilise keemia teadmisi vajatakse ka vee osatähtsuse selgitamisel raku elus. Vee molekuli ehitust ja omadusi on õpitud füüsikas ja keemias, neile teadmistele tuginebki vee bioloogilise funktsiooni selgitamine. Kõikide vee omaduste kordamine võtaks palju aega, mõistlikum on funktsiooniga seostatavad omadused tabelina õpilastele kätte anda (või seinatabelina) ning lasta vajalikud seosed märkida nõoltega. Näiteks üks võimalustest.

Vee bioloogilise tähtsuse sõltuvus molekuli ehitusest ja omadustest.

I Vee molekuli ehitus (H_2O)

- a) dipool
- b) vesiniku ja hapniku aatomid on seotud polaarse kovalentsidega.

II Vee füüsikalised ja keemilised omadused.

- a) kõrge dielektriline läbitavus (81)
- b) vesiniksidemete moodustamise võime, sellest tingitult kõrge soojusmahtuvus, suur sulamis- ja aurustumissoojus
- c) polaarse ja ioonilise sidemega ühendite lahustamisvõime ning passiivsus mittepolaarse sidemega ainete suhtes
- d) katalüütiline aktiivsus, hüdrolüüsi ja hüdratatsiooni reaktsioonidest osavõtt.

III Vee bioloogiline osa rakus.

- a) vesi määrab raku mahu ja elastsuse
- b) kindlustab raku osmootse rõhu
- c) vesi korraldab termoregulatsiooni
- d) vesi on lahusti
- e) vesi on ainete transportija
- f) vesi osaleb raku ainevahetuse ja toitumisreaktsioonides
- g) vesi on reaktsioonikeskkonnaks rakus
- h) veel on puhveromadused - säilitab kontsentratsiooni ja sisekeskkonna.

Lõpuks, raku anorgaanilised komponendid, nn. tuhaelemendid on K, Na, Ca, Mg, Fe, Cl. Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida asjaolule, et iooni ja lihtaine omadused erinevad, et rakus osalevad elemendid mitte lihtainetena, vaid ioonidena keemiliste ühendite koostises. See üldistus on tingimata vajalik, sellele tugineb elementide osatähtsuse, raku sisekeskkonna kontsentratsiooni jt. küsimuste selgitamine. Siingi sobiks teha tabel, mis kajastaks elementide levikut ja funktsiooni. /25/.

Raku orgaaniliste ainete - valkude, rasvade, süsivesikute - tundmaõppimine bioloogias eelneb nende õppimisele keemias. See nõuab bioloogiaõpetajalt lisatööd: bioloogia tunnis jääb rõhk ikka nende ainete bioloogilisele osatähtsusele. Et teha keeruline materjal õpilastele lihtsamaks, on soovitatav teha valikuliselt demonstratsioonikatseid, see aitab süvendada teadmisi, tõstab huvi aine ja ainetevaheliste seodte vastu. Katsete tegemisel tuleb selgitada selle meetodikat ja vajalikkust. Pärast katset analüüsida, teha järeldus.

Orgaaniliste ainete õppimist alustatakse lipiididest. Antakse lühike klassifikatsioon, tutvustatakse rasvu. Õpilaste tähelepanu juhitakse rasvade ehituse omapärale - süsivesinikradikaalile ja glütseriinijäägile. Seejärel demonstreeritakse katse 1. Eesmärgiks on tutvustada rasvade lahustuvust erinevates lahustites ja selgitada nende halb lahustuvus vees.

Katse 1. Nelja katseklaasi valatakse vett, bensiini, eetrit ja piiritust ning lisatakse igasse ühesugune kogus toiduõli. Katse tegemise ajal selgitab õpetaja hüdrofiilsuse ja hüdrofoobsuse mõiste, põhjendab, et rasvade lahustumatus vees on põhjustatud hüdrofoobsetest radikaalidest, mis blokeerivad glütseriini hüdrofiilseid gruppe. Katse tulemusena selguvad rasvade lahustid. Rasvade erinevuste selgitamiseks võiks teha kvalitatiivse määramisreaktsiooni - katse 2. Kasutatakse rasvade indikaatorit sudaan (III.)

Katse 2. Katseklaasi, milles on toiduõli, lisatakse mõni tilk indikaatori lahust. Õli värvub erinevates tsoonides punaseks.

Nende reaktiividega võib töödelda ka loomsete ja taimsete kudede lõike. Taimsetest ja loomsetest rasvadest rääkides märgitakse, et omadused on tingitud rasvade ehitusest. Niisiis, taimsed rasvad on vedelad, sest nende koostises on küllastumata süsivesinikradikaalid. Seda saab tõestada katsega 3.

Katse 3. Kahte katseklaasi valada 5-7 ml eetrit ja lahustada ühes mõni tilk toiduõli, teises tükike tahket rasva. Mõlemasse lisatakse 2 ml broomivett ja loksutatakse tugevasti. Taimerasvaga

katseklaasis broomivesi valastub. Teades küllastumata süsivesinike omadusi, (X kl. keemia), teevad õpilased analoogia põhjal järelduse, et taimeraskva koostises on küllastumata süsivesinikud.

Koduseks ülesandeks võiks soovitada (mitte kohustada) õpilastele katset kaaliumpermanganaadiga ja joodiga - selgitada erinevate rasvade koostist.

Süsivesikute tundmaõppimist alustatakse glükoosi, tärklise ja tselluloosi molekuli ehitusest. Nimetatakse ka riboosi ja desoksüriboosi. Demonstreeritakse struktuurivalemeid. Õpilaste tähelepanu juhitakse kahele funktsionaalsele rühmale. Siis demonstreeritakse katse 4.

Katse 4. Keeduklaasi valatakse 100 ml vett ja sellesse 20 grammi glükoosi. Segatakse, glükoos lahustub järgitult. Selgitatakse põhjused: molekulis on palju polaarseid grappe, sellest ka aine hüdrofiilsus ja hea lahustuvus. Tänu kahesugustele funktsionaalsetele rühmadele - aldehüüd- ja hüdroksüülrühmadele on glükoos aktiivne redutseerija ja organismi poolt kergesti omastatav. Seda võib katsega illustreerida. Selgituseks tuleb lisada, et Cu(II) redutseerub Cu(I)oksiidiks, mis tõestab molekulaarse funktsionaalse rühma osavõttu reaktsioonist.

Katse 5. Katseklaasi valatakse 8 ml 1%-list glükoosi lahust (võib kasutada ka viinamarjamahla või meevett) ning lisatakse 4ml 10%-list naatriumhüdroksiidi. Segu loksutatakse, lisatakse mõni tilk 5%-list vask(II)sulfaati ja soojendatakse. Moodustuv vask(II)oksiid reageerib hüdroksüülrühmaga - segu muutub kollaseks vask(I)hüdroksiidi tekke tõttu. Edasisel kuumutamisel tekib punane vask(I)oksiidi sade. See tekib aldehüüdrühma reageerimisel.

Polüsahhariidide (tähtlis, tselluloos, glükogeen) tähtsust raku (organismi) elus puudutatakse lühidalt ning nende olemasolu tõestatakse kvalitatiivse määramisreaktsiooniga - joodiprooviga. See on tuttav juba V klassist.

Katse 6. Katseklaasis olevale tärklisekliistrile lisada mõni tilk joodilahust, kliister muutub siniseks. Soojendades sinine värvus kaob, jahtudes taastub. See seletub sellega, et tekib joodi ja amülaasi ebapüsiv kompleks, mis soojenedes laguneb. Glükogeen (pärmilohus) annab joodiproovil punakaspruuni värvu. Tselluloos reaktsiooni ei anna.

Katsetest järeldub, et süsivesikud on erineva struktuuriga, mis on seotud nende erinevate funktsioonidega rakus: glükoos - peamine energiaallikas, glükogeen - sama, kuid tagavarainena (loomne tähtlis), mis energiakulu suurenemisel muutub glükoosiks; tselluloos on taimerakkude kestade ehitusmaterjal ja

täidab tugi- ning kaitsefunktsioone.

Koduseks tööks (valikuliselt) võiks soovitada teha samu katseid kartuli, õuna, sepi, jahu jt. toiduainetega.

Toodud katsete mehhanism jäägu siinkohal avamata, kuna neid õpitakse keemiatunnis uuesti.

Valkude koostise ja struktuuri õppimisel alustatakse aminohapetega. Viimased sisaldavad mitmeid funktsionaalseid rühmi, seepärast on neil ka erinevad omadused. Oluline on see, et neil on tingimata kaks funktsionaalset rühma - aminorühm ja karboksüülrühm, mille abil aminohapped seostuvad valgu molekuliks ja mis teineteist neutraliseerivad, mistõttu aminohapped on neutraalsed. Järgneva katse eesmärgiks ongi selgitada aminohapete omadusi sõltuvalt funktsionaalsetest rühmadest.

Katse 7. Kolmes katseklaasis vees lahustatakse glütsiini, glutamiinhapet ja lüsiini. Siis lisatakse mõni tilk lakmuse lahust. Esimese lahuse värvus ei muutu, teises muutub punaseks, kolmandas siniseks. Värvuse muutumise järgi selgitatakse aminohapete omadused. Selgub, et osa aminohappeid on kas happelised (mitu karboksüülrühma), või aluselised (mitu aminorühma). Veel lisatakse, et osa aminohappeid on asendamatud.

Valkude kvalitatiivne määramisreaktsioon aitab mõista peptiidsideme olemust. Biureedireaktsioon on hästi tundlik ja aitab avastada igasugust valku, sest see on peptiidsideme reaktsioon.

Katse 8. Katseklaasi võetakse valgu lahust ja lisatakse pisut 10%-list naatriumhüdrosiidi. Segatakse ja lisatakse mõni tilk vask(II)sulfaati. Vedelik värvub punakaslillaks. Antud katse on illustratiivne, reaktsiooni kemismi ei selgitata.

Järgnevad katsed aitavad selgitada valgu omadusi.

Katse 9. Katseklaasi võetakse 2ml valgu lahust ja lisatakse 2ml küllastunud ammooniumsulfaadi lahust. Tekib hägu - valk denatureerub. Vee lisamisel lahus selgineb - denaturatsioon on pöörduv. Teise katseklaasi lisatakse valgu lahusele vask(II)-sulfaadi lahust, tekib helbeline valgu sade, mis vee lisamisel ei lahustu - denaturatsioon on antud juhul pöördumatu, sest mõjutajaks on tugev elektrolüüt.

Katse 10. Kahte katseklaasi võetakse kontsentreeritud sool- ja lämmastikhapet ning lisatakse ettevaatlikult pipetiga (katseklaasi seina mööda) valgu lahust. Vedelike kokkupuutel tekib valge amorfne valgu sade. Katseklaasi raputamisel suureneb sademe hulk lämmastikhappes, soolhappes aga lahustub. Selgituseks olgu öeldud, et jaa konts. happed kutsuvad esile pöördumatu denatu-

ratsiooni, kuid denatureerunud valk võib lahustuda happe ülejäägis ioonide adsorptsiooni tagajärel valgujääkide pinnal, mis on laetud, ja lahustuvad.

Katse 12. Valgu lahust kuumutatakse, tekib sade. Sademe hulk suureneb ka siis, kui lahust keeta. Seega on temperatuur koagulationi põhjustaja, reaktsioon on pöördumatu.

Nähtud katsete põhjal selgitatakse valkude vähene labiilsus ja selle tähtsus organismis. Siit edasi selgitatakse valgu struktuuri iseärasused ja tehakse järeldus kahjulike ainete (elavhõbeda, seetina jt.) mõjust organismile./25, vt. ka keskkooli keemia õpik X-XIY./

Eespooltoodud küsimused on seotud keskkooli keemiakursusega järgmiselt.

Teema	Keemiaalased teadmised	Katsed, aeg min.
Orgaanilised ühendid	1. Lipiidide klassifikats.	1. Rasvade lahustuvus- 4
Lipiidid	2. Rasvade koostis, ehitus.	2. Rasvade määram. - 3
	3. Hüdrofiilsus, hüdrofoobsus.	3. Taimerasva määram. broomiveega - 3
	4. Disperssed süsteemid.	4. Glükoosi lahustum.-2
Süsivesikud	1. Süsiv. klassifikatsioon.	5. Glük. määram. - 8
	2. Glükoosi, tärklise, tselluloosi, ehitus.	6. Joodiproov 5
	3. Süsiv. omadused.	
	4. Looduslikud biopolümeerid: tärklis ja tselluloos.	
Valgud	1. Aminohapete ehitus.	7. Amh. lahustuvus, keskkonna reaktsioon -5
	2. Amfoteersus.	8. Biureedireakts - peptiidside-me määram -4
	3. Peptiidsideme moodustum.	9. Valkude sadestamine soolaga 5
	4. Valgu struktuurid.	10. Valkude sadest. konts. happega 5
	5. Vesiniksidemed.	11. Valkude denat. kuumut. 4

Elu tekke probleemide juurde tagasi tulles puutume taas kokku keemiaga. Lihtsate anorgaaniliste molekulide teke (H_2O , CO_2 , NH_3 , H_2S) on seletatav koolikeemiaga. Raskem on küsimus elementide tekkest üldse. Ei ole ju kõik 106 elementi maakoores, nad on tekkinud teatud tingimustes. See on VIII kl. keemia, seal aga õpitakse radioaktiivsust tagasihoidlikult, uue programmi järgi veelgi tagasihoidlikumalt. Kui õpilastele näidata filmi "Elementide moodustumine ja esmasatmosfäär", siis nad üldjoontes kordavad läbi varemõpitu ning sellest piisab üldistuseks: elementide radioaktiivsus ja mitmesugused tuumareaktsioonid on põhjustanud elementide tekke, s.o. need elemendid, mis praegu Maal esihevad, on tekkinud enam kui 5 miljardit aastat tagasi või tekib neid juurde radioaktiivsel lagunemisel. (Maa vanus on üle 5 miljardi aasta!). /1/. Selle küsimuse lõpetuseks sobiks nimetada M. ja P. Curie`de nime.

Küllastunud ja küllattumata süsivesinike ning nende derivaatide tekkest võib meenutada järgmist. Lihtsaim orgaaniline ühend on CH_4 , tema muundumisel tekkisid küllastumata ühendid. Metaan on suhteliselt püsiv ühend, kuid reaktsioonides veega (800 kraadi) ja hapnikuga (põlemine) ning metallidega moodustuvad ühendid, mis on vähempüsivad ja võimaldavad derivaatide teket (aldehüüdid, alkoholid, suhkrud, aminohapped). /1/. Sellest muundumiste reast järeldub taas, et maailm on materria liikumise ja muutumise tulemus.

Elu tekke ja esialgse arenemise probleem Maal on bioloogias oluline küsimus. See probleem on alati köitnud uurijaid, ja mitte ainult teadusliku huvi pärast. Selle küsimuse vastu tundsid huvi juba vanakreeka filosoofid Aristoteles ja Herakleitos, kes väitsid, et mõistmata elusa arengut ei saa mõista ka elu olemust. Ajalugu näitab, et küsimuse teravuse koondamine elu tekkele Maal sai "piiriki-viks" kreatsioonistide ja evolutsionistide vahel, see on maailmavaate põhiküsimus.

Kuini 20. sajandini ei olnud elu teket eksperimentaalselt uuritud, olid vaid teooriad ning nende kriitikad.

Võib suurustamata öelda, et 20. saj. tõsisemaks ja ainulaadsemaks tööks on olnud A.I. Oparini ettekanne, mille ta esitas Vene Botaanikaseltsi Moskva osakonna istungil 1922.a. ning tema raamat "Elu tekkimine", mis ilmus 1924.a.

60-ndad aastad tõid bioloogiasse, eeskätt biokeemiasse, biofüüsikasse, molekulaarbioloogiasse teatud elavnemise ja huvi elu tekke ja esialgse arenemise vastu. Astrofüüsika, geoloogia ja geokeemia areng oli materiaalseks baasiks Oparini hüpoteesile, mis tegi võimalikuks selle hüpoteesi eksperimentaalse tõestamise.

Tänapäeval uurivad elu teket ja selle arenguetappe paljud laboratooriumid maailmas. Sellest annavad tunnistust konverentsid ja arvukad ilmunud raamatud. On toimunud mitu rahvusvahelist sümposiumi, mille tööd on avaldatud ka vene keeles. Teadlaste hulgas on meie aja suurimad: J. Bernal, M. Calvin, M. Eigen, S. Fox jt. 1975 ilmus kogumik kodumaistest ja välismaistest töödest elu arenemise teemal, mis oli pühendatud akad. A.I. Oparini 80-ndale sünnipäevale ja tema raamatu 50-nda aastapäeva puhul. 1977.a. kinnitati akad. Oparini-nimeline kuldmedal tööde eest selles vallas.

Juba 1922.a. formuleeris Oparin hüpoteesi põhipunktid:

1. Elu teke pole juhuslik, vaid seaduspärane.
2. Elu teke on mateeria evolutsioon kogu Universumis.
3. Elu tekke etappe võib eksperimentaalselt kontrollida laboratooriumis.
4. Maa esmasatmosfäär oli taandava (redutseeriva) toimega (hapnikuta).
5. Seetõttu võisid esimesed organismid eksisteerida heterotroofselt.
6. Darwini loodusliku valiku põhimõtet eelistatunast kohastumise-st saab üle kanda ka elu-eelsetele süsteemidele.

Milline on kaasaegne elu tekke probleemi lahendus Maal? Tuleb tõdeda, et mitte kõik teadlased ei ole ühisel seisukohal. Täna-se-ni arvab grupp teadlasi, et elu Maal on tekkinud juhuslikult sood-sate tingimuste unikaalsest kokkusattumisest (juhuslik elusaine moodustumine süsiniku alusel juhuslikust süsiniku aatomite paigu-tusest kuni lihtsamate organismideni välja). Selle tõenäosus on siiski väike. Arvestuste kohaselt on lihtsaima orgaanilise molekuli juhuslik teke tõenäoline 10^{-301} . Järelikult, juba see kaduvväike tõenäosus on nende hüpoteeside ümberlukkaja.

Kaasaegse spektrograafia andmetel on Universumis kõige enam aatomeid (kui arvestada süsiniku ühikuks 1) järgmiselt:

C - 1	N - 2,1	Si - 0,27	
H - 9200	O - 3,7	S - 0,11	
He - 369	Mg - 0,29	P - 0,001	/22/.

Nagu nähtub tabelist, on süsinik, vesinik, hapnik, lämmastik (väljaarvatud heelium) kõige levinumad elemendid. Seepärast on tõe-näoline, et need gaasid ka omavahel reageerisid ja moodustasid liht-said keemilisi ühendeid. Reaktsioonide energiaks kasutati elektro-magnetilist ja soojuskiirgust. Need ühendid ei võinud olla eriti stabiilsed. Sellest ka vastus küsimusele, kas võisid tekkida esi-mesed orgaanilised ühendid kosmoses.

Praegu võib kinnitada, et Universumis toimuvad iseenesest aato-mite kombineerumised ning moodustuvad lihtsad ühendid, mis on alu-

seks orgaanilistele ühenditele. Astrofüüsika abiga on kindlaks tehtud terved "pilved", mis koosnevad veest, ammoniaagist, tsüaanist, vingugaasist, sinihappest, sipelghappest jpt. ühenditest. Veel on teada, et need pilved on hiigelmõõtmega ja muutuvad valgusaastate jooksul. Need molekulid võivad adsorbeeruda tolmuosakestele ja mikrometeoriitidele ning kosmoses edasi kanduda. Kindlasti võisid nad omakorda kokku puutudes reageerida ning moodustada uusi, juba keerukamaid ühendeid. Arvatakse, et kosmos on vähemal või enamal määral sellise ainega "täis külvatud".

Kas need ühendid võisid sattuda ka Maale?

Kooskõlas kaasaegse arusaamaga pole maakera kunagi olnud hõõguv tulekera, järelikult ta pole absoluutselt steriilne. Ta on küll kuumenenud gravitatsioonijõu ja radioaktiivse kiirguse mõjul, kuid temperatuur pole ületanud 900°C ning pinnakiht pole kunagi sulanud. Võrdluseks võib tuua, et ka praegu kõigub temperatuuride amplituud $60 - 1000^{\circ}\text{C}$ vahel (viimane on magma temperatuur). Astronoomid kinnitavad, et iga päev langeb Maale kümneid tonne mikrometeoriite ja kosmilist tolmu. Järelikult, koos nendega jõuavad Maale ka eespool nimetatud ühendid. Õeldust võib teha vaid ühe järelduse: lihtsad süsinikuühendid võisid sattuda Maale. Sel juhul võisid meie planeedi varasemas eas süsinikuühendid hoopis puududa.

Kas nad võisid keerukamaks muutuda tingimustes, mis valitsesid Maal? Ja millised need tingimused olid? Vastused on olemas.

Kokkusurutud gaasi- ja tolmutilv, millest moodustus Maa, sai ka vesinikust ja heeliumist atmosfääri ning tiheda koore ja tuuma. Soojenemistega kaasnes veeauru, vesiniku, metaani, süsihappegaasi, vingugaasi, ammoniaagi eraldumine. Moodustus esmasatmosfäär. Selline Maa tekke teooria ei ole ainult teoreetiline, vaid eksperimentaalselt tõestatud. NSVL TA V.I. Vernadski nimeline Geokeemia ja Analüütilise Keemia Teadusliku Uurimise Instituut teostas vastavad katsed meteoriitidega. Kuumutamisel tekkisid samasuguse koostisega gaasid nagu hüpoteetiliselt oletatakse Maa esmasatmosfääris. See katse kinnitab Oparini arvamust esmasatmosfääri taandavast iseloomust (hapnikuta).

Järjekorras on küsimus, kas sellises atmosfääris võisid tekkida aminohapped ja nukleotiidid. Paljud kodu- ja välismaised teadlased on vastanud jaatavalt. Hästi efektne S. Mülleri katse (1953) on ka üldbioloogia õpikus. On huvitav, et need reaktsioonid toimuvad ka tänapäeval. 1973.a. NSVL TA Vulkanoloogia TUI korraldas katsed vulkaanituhaga ja sai samad ained, mis laboratooriumi katsetes. Kogu tuhas sisalduv ainete hulk ümber-arvutatult

on tohutu - tuhanded tonnid orgaanilisi ühendeid, sellest 26 tonni aminohappeid! Niisiis, elusaine "ehituskivid" võisid jõuda ja ilmselt ka jõudsid Maale.

Oparini teooria järgi toimus Maa arengus biokeemiline evolutsioon, mil lihtsatest orgaanilistest ühenditest (aminohapped, nukleotiidid, rasvhapped, süsivesikud) tekkisid keerukad - biopolümeerid. 1953.a. viidi laboratooriumis läbi katse: aminohapete segu kuumutati 180°C juures 6 tundi, tulemuseks saadi keerukad valgu-taolised ained. Kui lähteainetele lisati polüfosfaate, toimus reaktsioon 60°C juures kiiremini. Analüüs näitas, et tekkinud ainete molekulmass võib ulatuda 10. tuhandeni, sõltuvalt lähteaineteks võetud aminohapete hulgast. Aminohapete omadustest sõltuvalt saadi tulemus kas aluseline, neutraalne või happeline. Ent aminohapete kombineerimine ei olnud juhuslik ning kordas looduslike valkude koostist. Veel selgus, et need ained lõhustuvad ensüümide toimel ja evivad ka ise nõrku katalüütilisi omadusi, mõnel on isegi hormonaalne aktiivsus. Katsed tõestasid, et polüpeptiidahelad võivad tekkida ise-sisvalt sobivates tingimustes. (Need on S.Foxi katsed).

On ka teistsuguseid hüpoteese abiogeense elu tekke kohta. Näiteks, valgu-taoline aine võis tekkida hoopis teistsuguste monomeeride polümerisatsioonil, mitte aminohapetest: aminoatsetonitriilist, mis ise tekib kergesti ammoniaagi, metanaali ja tsüaanvesiniku reageerimisel. Selle polümerisatsioon ja järgnev hüdrolyütiline taandamine ammoniaagiga annab polüglütsiini, aga edasine vesiniku aatomite asendumine glütsiini jäägis vastavate radikaalidega võimaldab moodustada tõelisi valke.

Koolibioloogias pole oluline, milline hüpotees on tõele lähemal, Tähtis on et valgutaolised ained võisid tekkida ja kindlasti tekkisid võrdlemisi lihtsates tingimustes.

Eksperimentaalselt on tõestatud ka nukleotiidide teke. Maa esialgseid tingimusi imiteerivates katsetes polüfosfaatide ja nukleotiidide segu kuumutamisel $50-65^{\circ}\text{C}$ juures on saadud oligonukleotiide - nukleiinhapete lühikesi ahelaid. Niisiis on ka see küsimus lahenduse leidnud: tänu polümerisatsiooni mehhanismile võis molekulaarsel evolutsioonil tekkida ka nukleiinhappeid.

Eksperimentaalsed tõestused, mis eespool toodud, on tehtud niiõelda kuival. Oparini teooria kohaselt pidanuks elu tekkinema ürgookeanis. Aga geokeemikud ja geoloogid tunnistavad, et Maa algperioodil ei olnud ühtset vee-kesta, igatahes oli vesi ookeanidena ja meredena ning seda oli võrratult vähem kui praegu.

Järelikult on tõenäoline, et ^{du}vois tekkida ka kuivades tingimustes. Praegu loetakse viimast järeldust tõestatuks.

Ja veel üks küsimus: kas võisid abiogeenselt tekkinud biopolümeerid moodustada lihtsaid elueelseid struktuure?

Vastuse saame taas laboratooriumist. Makromolekulidel on oma-
dus vedelas faasis moodustada erilisi sidemeid aatomite ja aatomigruppide vahel. Sidemete abil tekivad ruumilised konfiguratsioonid ja nende vastastikune mõju, mis meenutab raku struktuure - graanuleid, fibrille, membraane. See oli teada juba käesoleva sajandi 40-ndaiks aastaks ning nimetati "samosborka"(?). Täna-
seks on selgunud hoopis keerukamate struktuuride isetekkimine -
keerukad membraanid, ribosoomid, faagid.

Mõtet edasi arendades jõuamegi välja A.I.Oparini koatservaati-
de - teooriani. Oparin märkis, et koatservaadid võivad lahusest
vastu võtta ja eraldada aineid. Katsed tõestavad seda. Kui koat-
tservaadi tilgake sisaldab ensüüm glükogeenfosforülaasi ja lahu-
sesse lisada glükosofosfaati, siis moodustub polümeer, mis sar-
naneb tärklisega. Kui tilgas on veel β -amülaasi (tärglist la-
gundav ensüüm), siis lagundub glükosofosfaat maltoosiks ja hei-
detakse koatservaadist välja. See ja teised samalaadsed katsed
(teiste ainetega) näitavad, et koatservaadid omavad protobiondi
tunnuseid. Katsed on näidanud, et valgutaolised ained moodustu-
vad iseseisvalt koatservaadi lahuste aeglasel jahtumisel pH 3-7
piires. Kui antud puljong asetada teistsuguse osmootse rõhuga
lahusesse, siis moodustunud ained paisuvad ja lagunevad, mis
lubab oletada pool-läbilaskvaid membraane. pH muutmine purustab
aine-tombukesed. Kui lasta puljongil seista 1-2 nädalat, siis
meenutab ta pärmil pungumist. "Pung" võib eksisteerida iseseis-
valt ja ^{arita}aluse uuele põlvkonnale. Kuigi puljongis puuduvad nuk-
leiinhapped ja metabolism, toimub süsteemis iseregulatsioon,
mis mõneti sarnaneb elus rakuga, seepärast võib protsessi võtta
mudelina elu arengu küsimuste selgitamisel.

On selgitatud ka küsimus keskkonna kontsentratsioonist. Arvu-
tused näitavad, et ürgookeani laguunides võis valgutaoliste ai-
nete kontsentratsioon olla 10% ja enamgi; laboratoorsed katsed
toimuvad lahustes, milles on valku vaid 0,01 - 0,001%.

Siit edasi on võimalik ette kujutada protobiontide edasit
arengut. Rohelise pigmendi ilmumine võimaldas üle minna autotroof-
sele toitumisele. Tekkis valgu metabiits-süntees, anorgaanilised
katalüsaatorid asendusid ensüümidega. Formeerusid tuum ja orga-
nellid. Katsed jätkuvad. /27/.

Raku evolutsiooni uue programmi kohaselt keskkoolis ei õpita ning siinkohal jäägu arengu täiendav seletus pooleli.

Eespool on märgitud, millist maailmapilti aitab antud teema kujundada. Aga on veel üks eetilise eesmärk - patriotiismi kasvatamine. Ja selle teema juures saab ning tuleb võimalusi maksimaalselt kasutada. Elu tekke probleemi lahendas tõepäraselt akadeemik A.I.Oparin, nõukogude biokeemik. J.Holdein, keda peetakse mõnikord biokeemilise evolutsiooni rajajaks, on ise ütelnud: "Ma peaaegu ei kahtle selles, et prioriteet ei kuulu mulle, vaid professor Oparinile. Oma häbiks tunnistan, et ei lugenud tema töid varem ja seepärast ei või midagi öelda. Niipalju, kui mäletan, minu esimesed trükitööd ilmusi 1927.a., aga temal 1924.a.; minu väikeses artiklis võis vaevalt leida midagi uut, mis puudus tema raamatus." /22/.

Suur panus elu arengu probleemide lahendamisel on V.I.Vernadskil ja tema õpilastel, akadeemik A.P.Vinogradovi töödel, akadeemik O.J.Šmidtil ja teistel kodumaistel teadlastel. Ei või nimetamata jätta ka väljapaistvat õpetlast K.E.Tsiolkovskit, kes huvitus elu küsimustest kosmoses. Tänapäeval tegelevad elu tekke ja arengu probleemidega molekulaarbioloogia, biofüüsika, biokeemia ja kosmosebioloogia. /25,27/.

Anorgaanilises ja orgaanilises looduses osalevad samad elemendid (vt. eespoolt), kuid elusates organismides on vaid ühed kindlad isotoobid: ^1H , ^{16}O , ^{12}C , ^{14}N . Põhjendus on lihtne. Vesiniku kolmest isotoobist on prootium (^1H) kõige aktiivsem ja astub reaktsiooni kuus korda kiiremini kui deuteerium (^2H), aga tritium (^3H) on radioaktiivne, teda leidub õhus väga vähe. Hapniku kolmest isotoobist on kõige levinum ^{16}O - 99,759 aatomiprotsenti. Kvantitatiivne üleolek ja suur keemiline aktiivsus määravad kõigi teiste elementide eksisteerimise viisi Maal. Eriti tähtsat osa etendas hapnik maakoore tekkel. Oletatakse, et tekkinis atmosfääris sekundaarsete protsesside - roheliste taimede tegevuse tagajärel.

Looduses esineb kaks stabiilset süsiniku isotoopi: ^{12}C ja ^{13}C , neist esimest 98,892 aatomiprotsenti. Kosmilise kiirguse toimel moodustub Maa atmosfääris mõningane hulk β -aktiivset isotoopi ^{14}C ; viimase sisalduse järgi hinnatakse taimsete leidude vanust.

Looduslik lämmastik koosneb kahest isotoobist, neist ^{14}N on 99,635 aatomiprotsenti. Lämmastik kuulub kõikide taimsete ja loomsete organismide valkude koostisse. Suurem osa N massist on lihtainena atmosfääris, sellisena saavad teda kasutada vaid vähesed mikroorganismid (näit. mügarbakterid).

Väävel (^{32}S) kuulub paljude valkude koostisse. Taimede ja loomade elutegevuse tulemusena ning kõdunemisel eraldub atmosfääri H_2S . Selle $\text{S}^{-\text{II}}$ oksüdeeritakse mikroobide poolt S^{VI} ning moodustuvad sulfaadid, mis lahustuvad vees ja jätkavad teed aineringses.

Ka lämmastiku aineringes osalevad mikroobid - ammonifitseerivad ja nitrifitseerivad bakterid. Orgaanilisi lämmastikühendeid lagundavad ammonifitseerivad bakterid. Nitrifitseerivad bakterid kasutavad energiaallikana ammoniaagi lämmastikushappeks oksüdeerumisel vabanevat energiat. Denitrifitseerijad redutseerivad NO_3^- vabaks lämmastikuks.

Ü L D B I O L O O G I A

S E O S E D M A T E M A A T I K A G A

Üldbioloogia ei tule toime matemaatikata.

Pärivusseaduste õppimisel puutub õpilane kokku statistilise analüüsi ja tõenäosusega, kusjuures mõlemad küsimused valmistavad raskusi. Olen saanud rahuldavaid tulemusi, kasutades järgnevat materjali.

Mendeli seadusi, s.o. pärivusseadusi üldse õpitakse herneste näitel. See on hea näide, sest seda saab igaüks, kes veidigi asjast huvitatud, ise järgi proovida. Sortide puhtust tuleks enne paari aasta jooksul kontrollida. Õpilastega võib alustada kohe teisest põlvkonnast. Kasutan minule tundmatut suhkruhernesorti, mis annab kollaseid ja rohelisi seemneid. Seega on tegemist Mendeli katsete genoloogiga. Valinud igal aastal külviks vaid kollaseid seemneid, saan nii kollaseid kui ka rohelisi. Näiteks: 10 kollase seemne kogusaak on 1260 tera, sellest 961 on kollased ja 299 on rohelised. Lahknemist iseloomustab suhe $961:299 \approx 3,21:1$. Mendel sai täpsemad tulemused ($3,01:1$, vt. üldbioloogia õpik, 1978, lk. 208); see seletub, ja seda tulebki toonitada, asjaoluga, et statistiline seaduspärasus on tuletatav (nii nagu tõenäosuski) suure hulga katsete või vaatlusandmete põhjal. Meie katsetes on 1260 tera põhjal tuletatud seaduspärasuse viga suur.

Et mõista statistilise seaduspärasuse tõenäosust, on sobiv "kulli ja kirja" visata, või mängida sellist "õnneloosi", nagu järgnev kirjeldus. Kahte kotikesse on pandud eri värvi kettad - rohelises rohelised ja kollases kollased, kummaski 100 tükki. Kui need valada suuremasse kotti, hoolega ära segada ja lasta õpilastel võtta kahekaupa, siis on üsna tõenäoline, et rohelisi koguneb $1/4$, rohelisi-kollaseid $1/2$ ja kollaseid $1/4$. Kui sama

katse teha 50 kettakesega, on tulemus vähem täpne, kui aga rohkemaga, on täpsus suurem.

Toodud näited on monohübriidse ristamise kohta, nad väljendavad fenotüübilist lahknemist dominantse ja retsessiivse tunnuse vahel. Keerukam on lugu di- ja polühübriidisel ristamisel, kus tunnustepaare on rohkem kui üks. Märkusena olgu öeldud, et kooli tingimustes ei tule sellekohased katsed kõne alla, võib vaid teoreetiliselt arutleda. Selleks ongi vaja tunda matemaatikat.

Õpikus toodud lahknemise üldvalem on $(3:1)^n$, mis tähendab, et lahknemist võib vaadelda kaksluukme ruuduna, s.o. algebraliselt $(a+b)^n$. Olgu näiteks dihübriidne ristamine, sel juhul oleks ülesande matemaatiline väljendus $(3+1)^2$. (Lähtume Mendeli I seadusest, hübriidid lahknevad fenotüübilt nagu 3:1). Avaldisest tuleneb järgmine: a) $(a+b)^2 = a^2 + ab + ab + b^2$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$b) 9 + 3 + 3 + 1.$$

Järelikult on järglaste lahknemise tõenäosus: 9 mõlema tunnuse suhtes dominantset isendit, 3 isendit ühe dominantse tunnusega, 3 isendit teise dominantse tunnusega ja 1 isend mõlema retsessiivse tunnusega. Tegelikult kehtib selline seaduspärasus vaid siis, kui vanemad on mõlema tunnuse suhtes heterosügootid, AaBb, AaBb. Võrdleme nende vanemate järglaste genotüüpe:

P AaBb x AaBb

g AB Ab aB ab

F₂ AABB

AABb AABb

AaBB AaBB

AaBb AaBb AaBb AaBb

AAbb

Aabb Aabb

aaBB

aaBb aaBb

aabb

s.o. 1:2:2:4:1:2:1:2:1. See on klassikaline tõenäosus. Iga üksikult võetud genotüübi esinemissagedus on antud juhul 1/16; 2/16; 2/16; 4/16; 1/16; 2/16; 1/16; 2/16; 1/16. Kui see ristamine kehtib näiteks merisigade kohta, kellel lokkis karv domineerib sileda üle ja must värv valge üle, siis tõenäoliselt ei ole järglaste arv 16 ja ühe või teise geno- ja fenotüübiga isendite sündimine on väljendatav statistiliselt tõenäosusega: 56,25% musti lokkiskarvalisi, 18,75% musti siledakarvalisi, 18,75% valgeid lokkiskarvalisi ja 6,25%

valgeid siledakarvalisi. Protsendiline suhe tületatakse suhteist 9/16, 3/16 jne.

Teades eelnevat, võib tületada dihübriidse ristamise üldvalemi ka monohübriidse ristamise valemi põhjal. Monohübriidisel lahkne-
misel on sagedused $3/4A + 1/4a$ ja $3/4B + 1/4b$. Leiame näiteks aB
sageduse: $1/4a \times 3/4B = 3/16aB$.

Ristamise üldvalemi järgi on trihübriidisel ristamisel isendite
fenotüübiline suhe 27ABC; 9ABc; 9aBC : 9aBC : 3Abc : 3aBc : 3abc :
: 1abc, s.o. kokku 64 isendit 8 fenotüübiklassist.

Lahknemine on oma olemuselt statistiline. Seda tingib kromosoo-
mide sõltumatu paigutumine reduktsioonjagunemisel ning sugurakkude
juhuslik ühinemine viljastumisel. Seetõttu allubki teatava feno-
tüübiga järglase moodustumise võimalus juhuslike nähtuste seadus-
pärasustele..

Et õpilased mõistaksid pärivusseaduste kehtivust populatsioonis,
kus toimub liigi kujunemine, peab neid tutvustama geenide jaotumi-
se võimalustega panmiktilises populatsioonis, tuginedes Hardy -
Weinbergi seadusele. Materjal on küllalt raske, nõuab matemaatikat
ja abstraktset mõtlemist. Küsimuse käsitlemine üldbioloogias on
vajalik, sest liigi teke taandubki populatsiooni tasemele ja õpi-
lased peavad mõistma neid seaduspärasusi, mis toimivad suletud popu-
latsioonis pika aja vältel. Tuleb kasutada tuttavat metoodikat:
avada seaduse sisu konkreetse näitega ning rakendada matemaatikat
- statistilist mudelit ja tõenäosust.

Genotüübi moodustavad ühe geeni kaks alleeli, genofondis võib
aga olla mitu alleeli. Genotüübis avaldub kahe alleeli suhe alati
võrdselt ($0,5A : 0,5a$), kuid genofondis võib suhe olla erinev
($0,4A : 0,6a$; $0,6A : 0,4a$; $0,5A : 0,5a$ jne.). Küsimusele tuleb ka-
suks väike mäng: õpetaja palub õpilastel keelt näidata, seda toruks
keerata. Loendades torukskeerdunud keelega õpilased, algab antud
tunnuse, s.o. geenide lokaliseerimise statistiline töötlemine (män-
gus moodustab klassi populatsiooni). (Võib ka mõne teise tunnuse vali-
da, näit. silmade värvuse, juuste kuju jt.). Keele torukskeeramist
määrab dominantne geen A, selle võtme puudumist - retsessiivne al-
leel a. On ilmne, et enamus õpilastest omavad seda võimet. Oleta-
me, et 32 õpilasest 24 tulevad sellega toime, 8 ei tule. Nende 8
õpilase genotüübis on antud tunnus määratud retsessiivse alleeli-
paariga aa. Raskem on määrata nende genotüüpi, kellel avaldus do-
minantne tunnus, sest nende genotüübis võib olla nii AA kui ka Aa.

Oletame, et populatsioonis on geeni^A sagedus p, a sagedus q.
Punnet'i võrgustiku abil on lihtne loendada moodustuva genotüü-
pe: $p^2AA + 2pqAa + q^2aa$.

gameedid	pA	q ^a
pA	p ² AA	pqAa
q ^a	pqAa	q ² aa

Kuna iga gameet kannab ainult ühte geeni (kas alleel A või a), siis geenide A ja a sagedus on võrdne : $p + q = 1$.

Meie mudeli järgi on populatsioonis 32 isendit 8 genotüübiga aa, st. et q^2 - genotüübi aa sagedus on 1/4 (0,25); avaldame geeni a sageduse: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,25} = 0,5$.

Valemist $p + q = 1$ saame geeni A sageduse: $p = 1 - q = 1 - 0,5 = 0,5$. Teades p ja q väärtusi ning neid valemisse pannes saame : 0,25AA : 0,5Aa : 0,25aa. ($p^2AA + 2pqAa + q^2aa$). Olemegi jõudnud seaduspärasuseni, mille avastasid J. Hardy ja G. Weinberg ning mille üldkuju on $p^2 + 2pq + q^2$. Selle seaduse järgi säilib panmikttilises populatsioonis püsivate tingimuste korral antud genotüüp pikka aega. Tingimusteks, mis sellise võimaluse kindlustavad, on loodusliku ja kunstliku valiku puudumine, mutatsioonide ja migratsiooni puudumine, ning küllaldane isendite arv. Looduslikes tingimustes esinevad nii üks kui teine tegur vastupidiselt, seepärast iseloomustab alleelide kontsentratsioon ainult teatud järku. Hardy - Weinbergi valem võimaldab iseloomustada populatsioonis toimuvat tendentsi pikema aja vältel.

Nüüd on vajalik kokkuvõtte klassis tehtud katsest. See oli vaid mudel; tegelikkuses kehtib Hardy-Weinbergi seadus suure arvu katsete kohta.

Õeldu kinnistamiseks sobib veelkordvärviliste kettakestega "Kulli ja kirja" mängida: 60 valget (a) ja 40 punast (A) kettakest võetakse juhuslike paaridena ning laotakse kolme rühma. Olgu tulemus selline: 16AA, 48Aa ja 36aa. Siis on punaste ketaste sagedus 16/100, punase-valge sagedus 48/100 ja 36/100 on valge sagedus. Saadud arvud vastavad täpselt Hardy-Weinbergi seadusele.

Järeldus: statistilise meetodiga on võimalik otsustada antud momendil geeni sageduse üle ja ette arvata teatud sageduse tõenäosust, selle järgi geeni kontsentratsiooni muutusi järgnevatel põlvkondades./11/.

Märkus 1. Eespool toodud tähistus geenA ja geen a on tegelikult ühe geeni kaks alleeli, seega peaks olema alleel A ja alleel a. Seda viga tuleks vältida ja õpilastele geeni ja alleeli mõiste ära seletada. Üldbioloogia õpik vajab selles osas täiendamist.

Märkus 2. Hardy-Weinbergi reegel: "Panmikttilises populatsioonis, mis on geneetilise tasakaalu seisundis, püsivad geeni- ja genotüübisagedused põlvkonniti konstantsed". Seadust nimetatakse ka geneetilise tasakaalu seaduseks.

Et mõista pärivusseadusi, peab õpilane hästi orienteeruma kromosoomide ümberkombineerumise võimalustes meioosis. Seda peab õpetaja arvestama ning andma ülesandeid kromosoomide võimalike kombinatsioonide koostamiseks (antud genotüübi piires). Ristamise tsütoloogiliste aluste õppimisega tehaksegi algust juba sugurakkude küpsemise käsitlemisel. Vaatleme võimalust, kus homoloogiliste kromosoomide arv $2n = 4$ ja $2n = 6$ (vt. üldbioloogia õpik lk. 199), /13/. Lubatagu siinkohal väike täiendus: tähistame kromosoomides ühe lookuse (geeni) tähtedega (nagu neid kasutatakse ristamisvalemites) A', B', C' emaliinis, a', b', c' isaliinis:

Diploidne kromosoomigarnituur	Võimalikud rekombinatsioonid meioosis	Võimalikud kromosoomigarnituurid sugurakkudes	Võimalikud geenikombinatsioonid sugurakkudes
$2n = 4$			AB ab Ab aB
$2n = 6$			ABC abc AbC aBc ABc Abc ABc abc

Paariliste kromosoomide lahknemine meioosis toimub sõltumatult ja 50%-lise tõenäosusega koonduvad jaguneva raku poolustele kas ema- või isapoolsed kromosoomid. Sama skeem aitab selgitada ka sugukromosoomide lahknemist. Kui suur on võimalike rekombinatsioonide arv? Olemevalt kromosoomide arvust ja väljendatud valemiga 2^n , kus n = homoloogiliste kromosoomide paaride arv. Teeme mõned arvutused õpikus toodud arvude põhjal ja selgubki, kui suured kombineerumise võimalused on sugurakkude ühinemisel loodava genotüübi kromosoomigarnituuris. Näiteks selgub, et inimese 23 kromo-

soomi ($n = 23$) võivad anda $2^{23} = 8388608$ erinevat kombinatsiooni!

Neid teadmisi kasutame tunnuste lahknemise tsütoloogiliste aluste selgitamisel, kusjuures peame meeles, et:

1. igast homoloogiliste kromosoomide paarist on sugurakus vaid üks kromosoom (tabelis keskmine veerg vastavalt 4 ja 8 varianti, vt. eespoolt); /Meioosi seadus/
2. igast alleelsete geenide paarist satub sugurakku vaid üks alleel (vt. tabeli parempoolne veerg). /Mendeli seadus/.

Tabelit analüüvides selgub, et alleelsed geenid lahknevad ja kombineeruvad täpselt nii, nagu homoloogilised kromosoomid. Siit järeldus: alleelsed geenid lokaliseeruvad homoloogilistes kromosoomides. Laseme selle järelduse õpilastel endil tuletada.

See klassikaline seadus (Mendeli seadused ongi klassikalise geneetika seadused) ei sobi praktikaga niipea, kui vaatleme kahe või enama tunnuse lahknemist, mille alleelsed geenid lokaliseeruvad samas kromosoomid. Õpik selgitab nn. aheldatud pärandumise (Morgani seadus) äädikakärbse näitel, vt. §59, /13/.

Käesoleva sajandi algul leidsid Bateson ja Punnett (1905 - 1908), /10/, et mitte kõik geenid ei kandu järglastele edasi Mendeli seaduspärasuste kohaselt. Taandristates säbrussulelist valget kana (FfII) siledasulelise värvilise kukega (ffii), moodustusid taandristandid:

- 15 säbrussulelist valget (FfII)
- 2 säbrussulelist kirjut (Ffii)
- 4 siledasulelist valget (ffII)
- 12 siledasulelist kirjut (ffii)

33

Nii säbrus- ja siledasuleliste kui ka valgete ja värviliste (kirjute) lindude suhe on ligilähedaselt 1:1 (vastavalt 17:16 ja 19:14), mis kujutab endast monohübriidse taandristamise suhet. Võtreldes vanomkombinatsioonidega, st. hübriidi vanemate fenotüüpidega FI ja fi, on uusi kombinatsioone FI ja FI tunduvalt vähem. Nende sagedus on $6/33$ ehk 18,2%. Uute kombinatsioonide sagedus aga sõltub Morgani töestuses sellest, mil määral on 2 geeni aheldunud, s.t. kui kaugel nad teineteisest kromosoomis asuvad. Mida väiksem on uute kombinatsioonide osa (%), seda lähemal teineteisele kaks geeni asuvad. Kui protsentarv läheneb 50-le, näitab see, et geenid asuvad kromosoomi otstes. Järelikult, aheldunud geenide rekombinatsioonisagedus on võrdeline geenidevahelise kaugusega.

Praktikas esineb kõrvalekaldeid ka sellest seaduspärasusest. Pöördume veelkord meioosi juurde. Enne homoloogsete kromosoomide

lahknemist nad konjugeeruvad ja siis võib juhtuda, et kromatiidid vahetavad oma pärilikkusainet, toimub nn. ristsiire ehk krossingover. Selle tulemuseks on rekombinantse kromosoomi moodustumine.

Homoloogsete kromosoomide sarnastes lookustes toimunud krossingovereid ei saa kindlaks teha; kui aga ristsiire on erinevates lookustes, siis saab toimunut uurida. Selleks kasutatakse analüüsivat ristamist, s.o. taandristamist retsessiivse isendiga.

Eespool toodud näites säbrussuleelisust määrav geen F on aheldatud sulisharja (Cr) ja sulestiku värvust määrava geeni (I) vahele. Krossingoverid toimuvad F ja Cr vahel 27%, F ja I vahel 17%. Võib oletada, et geenide Cr ja I kaugus on $27-17 = 10\%$ e. 10 morganiidi. See oletus on katseliselt kinnitatud. Niisiis, ka geenivahetuse kohta on tuletatud seaduspärasus: mida kaugemal kaks geeni teineteisest asuvad, seda suurem on nende vahel asetleidvate vahetuste tõenäosus.

Analüüsiva ristamisega määratakse geenide asukohad kromosoomis. Selle alusel koostatud kromosoomikaardid, esialgu vaid mudelobjektidel (bakteritel, äädikakärbsel). Sellel tüül on suur praktiline tähtsus, eeskätt sordi- ja tõuaretuses.

Genetika seisukohalt pakub erilist huvi analüüsiv e. testristamine. Kui testerloomaks on retsessiivset tunnust kandev emane, siis selgub dominantse isase genotüüp F_1 -s: on ta homo- või heterosügoot. Suurema tõenäosuse mõttes ristatakse isast mitme retsessiivse emasega.

Koolipraktikas on analüüsiva ristamisega mõningaid raskusi, nimelt, kui ühesandes on selgitada ^{järglaste} ~~vanemate~~ genotüübi põhjal vanemate genotüübid. Kui monohübriidse ristamise põhimõte ja seletus kromosoomiteooria alusel on käes, võib ka analüüsiva ristamisega edukalt hakkama saada.

Oletame, et ostetud lillherne seemnest saame valdavalt punaseõielised taimed, vaid üksikud isendid on valgeõielised. Punane värv on tõenäoliselt dominantne, ent millise genotüübiga nad on, see peab selguma järgmisest. Teostame valikuliselt kolm ristamist:

Ax - punaseõieline a) $\begin{matrix} \text{♀} Aa \times \text{♂} aa \\ \text{A} \quad \text{a} \end{matrix}$ b) $\begin{matrix} \text{♀} Aa \times \text{♂} Aa \\ \text{A} \quad \text{a} \end{matrix}$ c) $\begin{matrix} \text{♀} Aa \times \text{♂} Aa \\ \text{A} \quad \text{a} \end{matrix}$
aa - valgeõieline

	♂ A	♂ a
♀ A	Aa	Aa
♀ a	aA	aa

Saadud fenotüüpide järgi võime tundmatu alleeli x määrata järgmiselt: 1. kõik järglased olid punaseõielised, järelikult oli uuritav geen ka dominantne, seega ema genotüüp AA; (a)

2. teises ja kolmandas katses lahknesid järglased suhtes 1:1, s.s. 50% oli punaseid, 50% valgeid. Seega pidid uuritavad vanemad olema heterosügootid Aa. (ke).

Katsest järeldub, et dominantse ja retsessiivse isendi ristamisel lahknemise suhe 1:1 näitab dominantse isendi heterosügootsust.

Ahaloogiline on testristamine ka kahe uuritava tunnuse korral. Näide: On tuntud genotüübiga tomatisort aabb - madalakasvuline ja kollaseviljaline. Selle abil selgitame kõrgekasvuliste ja punaseviljaliste taimede genotüübi. Teeme 2-3 korduses ristamise:

$$P \quad \text{♀ } AaBb \times \text{♂ } aabb$$

♀ \ ♂	ab	ab	ab	ab
AB	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
Ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
bA	aabb	aabb	aabb	aabb
by	aabb	aabb	aabb	aabb

Tulemused fenotüübilt on: 50% kõrgekasvulisi, 50% madalakasvulisi, samuti 50% punaseviljalisi ja 50% kollaseviljalisi. Järeldus on sama, mis eespool - uuritav sort on heterosügootne mõlema tunnuse suhtes - AaBb.

Kui samalaadse ristamise tulemused oleksid a) F₁-s kõik kõrgekasvulised, kuid b) lahkneksid punase-kollase värvi suhtes 1:1, siis on selge, et esimese tunnuse suhtes on uuritav sort ~~heterosügoot~~ ^{homo-} ~~teine~~ - AABb.

Analüüsiva ristamise kasutamine praktikas - selektsioonitöös - on väga oluline. Ühe ristamisega ei looda uut sorti, ristata tuleb korduvalt. Kuid ka valikut vaid fenotüübi järgi tehakse korduvalt. Just väljavahitute genotüüpe tulebki määrata testristamisega.

Ühe isendi testimine ei anna küllaldast tõenäosust vanema homosügootsusest. Et tõestada valgevillalise ute homosügootsust (valge vill AA), ristatakse mitu emast mustavillalise isasega. Kui 7-8 talle on kõik valged, siis võib tõenäoliseks pidada emaslooma homosügootsust.

Põllumajandusloomade seas on levinud letaalsed (surmatoovad) ja subletaalsed geenid; need on retsessiivsed ja nende avastamiseks kasutatakse heterosügootseid testerloomi. /10/. Väikese arvulise järglaskonnaga liikide puhul saab selliselt uurida vaid isasloomi, keda ristatakse mitme testeremasega. Kuivõrd lahknemine on statistiline protsess, siis ei tähenda retsessiivsete järglaste puudumine veel, et uuritav loom ei kannaks retsessiivset alleeli: 4 järglase puhul võib suhe olla 3:1, 2:2, koguni 4:0! Vaid suur järglaste arv annab tõenäoise suhte. Kui ristata pulli kümne retsessiivse lehmaga ja ei sünni ühtegi retsessiivse tunnusega vasikat, siis on sellise vasika sünni tõenäosus $1/1024 \left(\frac{1}{2}\right)^{10}$. Kui aga ristata vaid viie

retsessiivse lehmaga, siis on pulli heterosügootsus 3%!

Kokkuvõtteks võimalikud suhted monohübriidse ristamise kohta:

3 : 1 - kui vanemad on heterosügootid

4 : 0 - kui üks vanem on homosügootne dominantse geeni suhtes

1 : 1 - kui ristuvad heterosügoot ja retsessiivne homosügoot

1 : 2 : 1 - mittetäieliku domineerimise suhe.

Sellised suhted avalduvad vaid domineerimise korral ja iseloomustavad fenotüüpi. Vahepealse avaldumise korral on nii geno- kui fenotüübiline suhe 1:2:1.

Käesoleval viisaastakul on geneetikale seatud suured ja tõsised ülesanded: põllumajanduse jaoks uute, viljakandvate, haiguskindlamate sortide ja produktiivsemate loomatõugude loomine, kasulike mikroobirasside tüvede loomine..... Õpilastele peab selgeks saama põhimõte, kuidas geneetika kui teadus aitab seatud ülesandeid praktiliselt täita. Niisugune suunitlus ongi selektsiooniküsimuste käsitlemistel. Eespool toodud statistilisi seaduspärasusi ja tõenäosust rakendades anname õpilastele ülevaate ka kaasaegsest põllumajandusloomade ja kultuurtaimede aretustööst.

Loomakasvatuse on põllumajandusliku tootmise tähtsaim haru, ta annab elanikkonna toitlustamiseks kõrgeväärtuslikke toiduaineid ja tööstusele toorainet. Seepärast on 1976 - 1980. aastate põhisuunaks loomakasvatuse edasine intensiivistamine. Rohkem liha, piima, mune saadakse loomade - lindude arvu suurendades, aga ka nende produktiivsust tõstes. Viimane seabki selektsioonitöö ette suured, tõsised ülesanded.

Tõuaretuse küsimust käsitledes saab abi matemaatikast; näiteid konkreetsete arvudega täiendades muudetakse probleem elulähedaseks ja huvitavaks. Ent aretustöö ise on ju opereerimine tõenäosuse ja nende geneetikaalaste teadmistega, mis tänapäeval inimese käsutuses on.

Erinevad aretusvõtted annavad mitmesuguseid tagajärgi. Aretuses on aga oluline, et tunnused, mida kujundatakse, oleksid pärilikud. Päritavuskoefitsient h^2 väljendatakse arvsuurusena 0...1 või protsentides 0...100%. Päritavuskoefitsient laiemas mõttes näitab seda, mil määral erinevused isendite genotüüpides peegelduvad nende fenotüübiväärtuste erinevustes, või seda, milline osa populatsiooni üldisest fenotüübilisest muutlikkusest on tingitud genotüübilisest muutlikkusest./11/. Praktikas kasutatakse h^2 väljendamiseks tavaliselt kahekordset korrelatsioonikoefitsiendi korrutist $h^2 = 2r_{po}$, kus r_{po} on ema ja tütre fenotüübiväärtuste

lihtne korrutis ($r_{po} = h.0,5.h$), või dispersioonikomponenti:
 $h^2 = \frac{SS_{BG}}{SS_T}$, kus SS_{BG} on geneetiliste faktorite ruutsumma ja

SS_T on totaalruutsumma. Mida kõrgem on päritavuskoefitsient, seda suurem on erinevus loomade vahel, seda enam on tõenäoline, et vanemate tunnused avalduvad ka järglastel.

Sobivate tunnustega vanemate järglaste seas tehakse ranget valikut. Valiku intensiivsust saab iseloomustada valemiga $R = h^2.d$, kus R väljendab selektsiooni efekti, d on vahe (differences) põhikarja ja aretusrühma tunnuste vahel. Olgu, näiteks, karja keskmine piimatoodang 4000 kg, aretusrühmal aga 4600kg; päritavuskoefitsient h^2 on 0,3; selektsiooni efekt on siis:

$$0,3 \cdot (4600 - 4000) = 180.$$

See tähendab, et aretusrühma ^{ja põhikarja} järglaste keskmine toodang peaks olema 180 kg võrra suurem, s.o. 4180 kg.

Sellist meetodit - massvalikut - sobib kasutada siis, kui lähtematerjalil on küllalt muutlik. Kui genofond on ühtlik, siis kasutatakse üksikvalikut või suurendatakse kunstlikult muutlikust. /11/.

Häid suguloomi kasutatakse intensiivselt, tänu kunstlikule seemendusele. Näit. ühe peenvillatõu jääre spermaga on võimalik seemendada 17 680 utte, ühe simmenthali tõugu pulli spermaga - tema kasutamise aja kestel 23 700 lehma. Tänu erilisele sperma säilitusvõttele (vedeõas lämmastikus -196°C juures) on võimalik aretustööd teha aastakümneid, ka siis, kui lähtevanemat enam ei olegi. Individuaalvaliku puhul seemendatakse 80 - 100 lehma, nende järglaste seast valitakse isapoolsete kasulike tunnustega isendid, neid seemendatakse taas isa spermaga. Nii kujunevad lähissugulasliinid, kelle genotüüp muutub iga põlvkonnaga homosügootsemaks.

Järgnebki kohe uus probleem - kuidas rakendada abinõusid, et puhasliinide elujõudu säilitada, aga ka liinidevahelise ristamise tulemust, heteroosi, ära kasutada. Viimane on kaasaja tõu(sordi-)aretustöös suure tähtsusega. Põhimõte

$$\text{liin 1} \times \text{liin 2} \rightarrow \text{hübriid}$$

on rakendatav järgmiselt. Luuakse hulk tõusiseseid lähissugulasrühmi või sorte, millel on head majanduslikud mäitajad. Nende omavahelisel ristamisel saadakse F_1 -s kõrge tarbeväärtusega järglased (kiire kasv, head liha- j.t. omadused). Küsimuse selgitamiseks saab kasutada klassikalisi, veel parem aga kohalikke näiteid. Näit. kahe vene valge kana liini tarberistamise tulemused:

liin 108	mune	aastas	195,5	muna kaal	55,4 g
liin 106	"	"	194,0	"	56,7 g
108 106	"	"	260,3	"	56,3 g

Elujõud tõusis hübriidtibudel 3-4%, täiskasvanute arv suurenes 20-23%, munevus algab 6 päeva varem, 10 muna kohta kulutatakse 3,5% vähem sööta. Saksa DV-s, Bulgaarias, Rumeenias, Poolas, Jugoslaavias, USA, Kanada, Inglismaa, Jaapani ja Austraalia linnifarmides on kõik broilerid ja suur hulk munakanatõuge liinidevahelised hübriidid.

Kaasajal on vähenenud raske füüsiline töö, seega ka vajadus rasvarikka toidu järele. Sellest johtuvalt suureneb rasvavaese, kuid valgurikka liha tootmine. Nii on 1980-ndaks aastaks ülesanne toota 18-21% linnuliha (üldisest lihatoodangust), seda just broilerikasvatuse arvel. NSV Liidus on broilerite lähtevanemateks valdavalt korniš × valge plimutrok (ENE 1). Rasvase sealiha asemel saadakse tarberistlusest suur valge siga × eestli peekon suurepärasest läbikasvanud sealiha, kusjuures viljakus, võrreldes lähtetõugudega, suureneb 9,9%, põrsaste eluskaal võrrutamisel 15,9%, ööpäevane juursekasv 10,4%, söödakasutus väheneb 7,4% (ENE 7).

Taimakasvatuses kasutatakse tarberistlust eeskätt saagikuse suurendamiseks (kurk, mais), näit. maisisortide "Dnepropetrovskaja" ja "Gruševskaja" puhasliinide saagikus on põhisordist 15-20% kõrgem, kuid taimed on vähese vastupidavusega, madala elujõuga. Liinidevaheline ristamine "Dnepropetrovskaja" × "Gruševskaja" annab hübriidi, mille saagikus on 25-30% suurem lähteliinist. Akad. Lukjanenko arvates võib talinisu saagikust tõsta selle võttega 30-40%. (J. Kalami loengust 1971.a. 25.I bioloogiaõpetajate seminaril Tallinnas).

Veiste tarberistlus on raskem, sest paljumemiskoefitsient on madal. Lihaloomade saamiseks kasutatakse autbriidingut ♀ piimatõug × ♂ lihatõug ja ♀ liha-piimatõug × ♂ lihatõug. Tuntumad variandid on simmentali tõug × ♂ herefordi tõug ja simmentali tõug × ♂ sarolee tõug. Järglaste jõudlusomadused ületavad simmentali tõu näitajaid (noorloomade eluskaal, liha-rasva protsent, väiksem söödakulu 1 kg kaalu kohta jt.). /ENE 8/.

Matemaatika abil saab iseloomustada nii tunnuse modifikatsioonilist muutlikkust (fenotüübi kujunemist vastavalt tingimustele) kui ka mutatsioonilist muutlikkust - polümeerisust. Mõlemad muutlikkuse vormid alluvad normaalkaotuskõverale. Selleks, et eristada isendeid üksteisest mõne polümeerse tunnuse järgi, ei piisa üksikust vaatlusest, vaid tunnus tuleb mõõta ja arvuliselt väljendada. Siit ka nende tunnuste sagedane nimetamine arv-tunnusteks e. kvantitatiivseteks tunnusteks.

Nüüdiseaegne populatsioonigeneetika on endas ühendanud matemaatilise statistika meetodid ja pärilikkuse kromosoomiteooria seaduspärasused, mis aitab selgitada polümeerse tunnuste variatsioonilisi allikaid ja nende vahelisi seoseid. Muutusi populatsioonis saab iseloomustada graafiliselt, variatsioonikõverana ja aritmeetilise keskmisena.

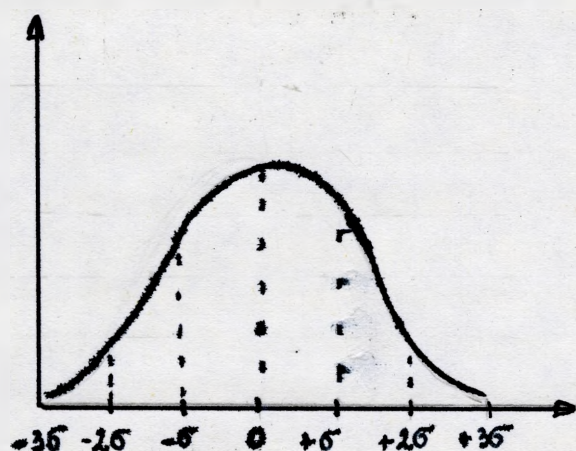
Kõik muutused alluvad normaalsele kaotuvusele: keskmist on kõige rohkem, kõrvalkaldeid e. hälbeid vähem. Mida suurem on tunnuse mõõtmistulemuse hälve keskmisest, seda väiksem on tema tõenäosus.

Pideva kõvera järgi kaotuvate tunnuste päritavust kirjeldas J. G. Mendel, kuid ta ei suutnud nähtust seletada. Geenide polümeerse toime hüpoteesi püstitas rootsi taimegeneetik H. Nilsson-Ehle käesoleva sajandi alguses. /11/. Kahe niusordi ristamisel, millest ühel olid tumepunased, teisel valged pigmendita terised, avastas Nilsson-Ehle, et F_1 -põlvkonna taimede terised olid värvuselt kahe vanema vahepealsed, s.o. helepunased; F_2 -põlvkonna taimede teriste värvus aga varieerus tumepunasest kuni valgeni. Kui neid täiendavalt rühmitati, saadi suhe 1:4:6:4:1. Tulemus vihjas sellele, et niusuterise värvust määrab 2 geenipaari. Samalaadsete tulemusteni jõuti sajandi alguses USA-s maisitõlvikute pikkust ja inimese nahavärvuse päritavust uurides, kusjuures selgus, et domineerimist polümeerisuse korral ei esine, vaid tunnuse intensiivsus oleneb seda tunnust määravate geenide hulgast. Veel hiljem leiti, et praktiliselt kõik tunnused (moodetavad tunnused) on väljendatavad matemaatilise meetodiga.

Paljude geenide samasuunalise toime kõrval oleneb polümeerse tunnuste variatsioon veel olulisel määral keskkonnategurite mõjust. See lähendab nende tunnuste kaotumist veel enam normaalkaotumisele.

Normaalkaotuse kõver on selline. (vt. järgmine lk.)

Hälbed kõvera keskvaertusest haaravad enda alla järgmised pindalad: $6 \pm 68,3\%$; $26 \pm 95,5\%$; $36 \pm 99,7\%$, seega praktiliselt kõik antud tunnuse variatsioonid mahuvad piiridesse ± 36 .



Vastavalt üldbioloogia programmile /3/ õpitakse tunnuse muutlikkust ka laboratoorse tööna. See on õpilastele huvitav tund. Õpetaja ülesandeks olgu sobivate andmete leidmine, näit. silmade arv kartulimugulatel, terade arv viljapeas, piima rasvaprotsent jt.

Vaatleme rasvaprotsendi jaotuvuskõverat /11/.

Piima rasvasisalduse klass	Klassi keskmine piima rasvasisaldus	Lehmade arv
3,56 - 3,70	3,632	3
3,71 - 3,85	3,777	19
3,86 - 3,99	3,921	44
4,00 - 4,14	4,066	57
4,15 - 4,29	4,210	53
4,30 - 4,43	4,354	35
4,44 - 4,57	4,499	21
4,58 - 4,72	4,643	9
4,73 - 4,87	4,788	2
		243

Saadud andmed kajastuvad kõveral, mis on lähedane normaaljaotusele; madalama, aga ka kõrge piimarasva sisaldusega lehmi on vähe, samas on keskmisele lähedase rasvaprotsendiga lehmade arv kõige suurem.

Antud tunnude keskvärtuse leiame valemi alusel

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n};$$

$\bar{x}$ = aritmeetiline keskmine

x_i = tunnuse x mõõtmistulemus isendil

(Sama valem on antud koolibioloogias sellisena: $M = \frac{\sum f \cdot p}{n}$; vt. üldbioloogia õpik, 1978, lk. 229).

Aritmeetiline keskmine ei ole midagi muud, kui kõigi liikmete summa, kogum, mis on viidud ühisele nimetajale n ning see saadakse kõikide tunnusevariantide ja nende esinesissageduse korrutisest summast, mis jagatud rea liikmete arvuga. $\bar{x}$ väärtus antud juhul on 4,15, see on lähedane rea keskmisele väärtusele. Aritmeetiline keskmine näitab variatsioonireaa tsentrit.

Alati (suurte arvude korral) pole võimalik kõikide isendite muutuse arvväärtust mõõta, seepärast kasutatakse valimi ehk väljavõtu arvarakteristikuid. Nende alusel tehakse üldistus üldkogumi kohta. Mida mahukam on valim, seda täpsemini peegeldab tema aritmeetiline keskmine üldkogumi keskväärtust. /11/.

Ainuüksi aritmeetilise keskmise abil ei ole võimalik täielikult avada tunnuste varieeruvust. Tunnused võivad väga tugevasti või hoopis vähe kõikuda, seda keskmine ei näita. Seepärast ongi vaja veel teisi suurusid. Koolibioloogia programm ei võimalda antud küsimustulsvendatult õppida, seest aga klassiväliselt, aineringis, olümpiaadiks ettevalmistumisel jt. juhtudel tuleks küll teisi arvulisi näitajaid käsitleda. Nii võiks lisaks aritmeetilisele keskmisele ja normaaljaotuskõverale (variatsioonikõverale) käsitleda veel standardhälvet s ja variatsioonikoefitsienti v. Muutlikkuse täpsemaks karakteristikuks on keskmine ruutsumma ehk kvadraatsumma, mille alusel leitakse standardhälve:

$$s = i \sqrt{\frac{\sum p(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

i - mõõdetavate isendite (valimi) hulk, nende arv (j) võib olla
1 n

p - variandi sagedus

n - rea liikmete arv (kogumi maht)

x_i - tunnuse mõõtmistulemus

$x_i - \bar{x}$ - kõrvalekalle keskmisest; sel juhul avaldub keskmisest väiksem suurus -märgiga, keskmisest suurem suurus aga +märgiga.

Mida tugevamini varieerub tunnus, seda suurem on keskmine ruutsumma, ja vastupidi. S väärtus on ± 3 , s.t. et kõik objektid antud valimis mahuvad piiridesse $\bar{x} \pm 3s$.

Erinevate tunnuste mõõtmistulemusi saab võrrelda variatsioonikoefitsiendi abil, mis näitab standardhälbe protsenti aritmeetilisest keskmisest: /11/

$$v = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$$

Selgituseks näide. Ahvi vere seerumi keskmine kaltsiumisisaldus on 11,9 mg% ($\bar{x}_1$), aga taani angerja selgroolülide arv on keskmiselt 114,74 ($\bar{x}_2$). Antud keskmistele vastavad standardhälbed: $S_1 = 1,20$ mg% ja $S_2 = 1,35$ lüli. Saadud arvude põhjal ei saa öelda, et angerja selgroolülide arv on erinevates ühikutes. Siin aitabki variatsioonikoefitsient:

$$v_1 = \frac{1,2 \cdot 100\%}{11,9} = 10,1\% \text{ ja } v_2 = \frac{1,35 \cdot 100\%}{114,74} = 1,2\%$$

Variatsioonikoefitsient on paljude arvutuste põhjal saanud püsiva väärtuse - 5 25%. Kui tunnuste muutlikkuse võrdlu-

sel on tulemused sellest väärtusest tugevasti erinevad, siis peab arvama, et kusagil on viga (arvutuses), aga ka tunnus, mida võrdleme, võib olla tugevasti kõrvale kaldunud, näit. haiguse, halbade kasvutingimuste, nälgimise vms. mõjul.

Sobivaid näiteid antud küsimuse selgitamiseks võib saada majandest, ka kirjanduses leidub mõningaid andmeid. Näiteks järgmine: 25 kartulimugula silmade variatsioonirida on järgmine:

x_i 5 6 7 8 9 10 11 12

p 1 1 2 4 7 6 3 1

Arvutuseks vajalikud suutused on toodud tabelis:

Variandid (x_i)	Sagedused (p)	$x_i \cdot p$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$p(x_i - \bar{x})^2$
5	1	5	-4	16	16
6	1	6	-3	9	9
7	2	14	-2	4	8
8	4	32	-1	1	4
9	7	63	0	0	0
10	6	60	+1	1	6
11	3	33	+2	4	12
12	1	12	+3	9	9
Summad	25	225	-	-	64

$$\bar{x} = \frac{225}{25} = 9 \text{ silma,}$$

Niisiis, antud tunnuse aritmeetiline keskmine, s.o. silmade keskmine arv mugulal on 9, standardhälve ehk kõrvalekalle keskmisest 1,63 silma (mahub $\bar{x} \pm 3$ piiridesse), variatsioonikoefitsient aga 18,1%. Järeldus: kuna silmade arv on suuresti kõikuv ja variatsioonikoefitsient suur, siis ei ole mõistlik selle sordiga arvestada selektsioonitöös. /26/.

Variatsioonirea töötlemine on vastutusrikas töö õpetajale. Olevalt laboratoorseks tööks (aga just see on programmikohane) valitud tunnustest tuleb kasutada nii valimi meetodit (klassifitseerida isendeid tunnuse väärtuse järgi) kui ka intervallita variatsioonirida (viimast just arvutunnuste, näit. teriste arvu kohta nisupeas). Laboratoorseks tööks on raske suure objektide hulka anda, see-eest võiks olla tunnuse muutuse kohta statistilised andmed. Eespool on juba näide toodud, kuid siinkohal olgu järgmine võimalus. Olgu valimis 100 nisupead, milles teriste arv:

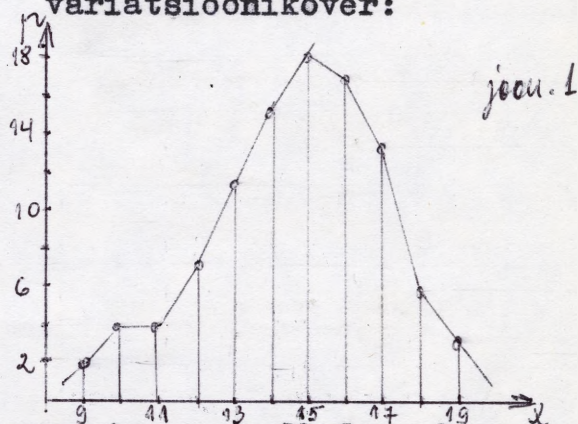
10	12	16	14	12	13	15	14	19	13
15	17	11	16	14	12	15	17	13	16
9	16	13	13	15	13	17	10	16	14
15	12	11	16	14	11	14	16	19	15
13	19	13	10	14	15	16	13	17	14
16	14	11	15	17	12	9	15	13	16
15	18	15	16	12	18	16	14	17	17
14	17	14	17	10	17	15	16	17	15
17	18	17	18	15	18	15	12	16	14
15	16	18	15	15	18	15	13	14	15

Minimaalne teriste arv $\min=9$, maksimaalne $\max=19$. Variantide vahe on $19-9=10$. Kui variantide erinevus ei ole üle 10...12, siis võib koostada intervallita variatsioonikõvera, s.o. iga jaotus abstsissil vastab ühele variandile. Et variantide loendamine oleks kiire ja et vältida segiminekut, on sobiv andmed kanda abitabelisse tingmärkidega.

Tabel 4

Variant (x)	Sageduse tingmärk	Sagedus (p)
9	:	2
10	::	4
11	::	4
12	□	7
13	⊠	11
14	⊠:	15
15	⊠□	18
16	⊠□	14
17	⊠::	13
18	┐	6
19	::	3

Andmete edasine töötlemine on sama, mis eespool toodud näites kartuli silmade kohta. Saadakse variatsioonikõver:



Biomeetrias tuleb kokku puutuda tunnustega, sealhulgas ka arvtunnustega, mis varieeruvad väga laias ulatuses. Intervallita variatsioonikõver on sel juhul liiga välja venitatud ning ei vasta normaaljaotuskõverale (kujult). Siis jaotatakse vaatlustulemused intervallideks e. variatsiooniklassideks ja vastavad sagedused summeeritakse. Saadud sagedus ei ole enam ühe variandi, vaid klassi sagedus. Variatsiooniklasside arv sõltub vaatlusülesandest, kuid on kooskõlas valimi mahuga ja tunnuse varieeruvusega. Liiga suure intervalli korral on klassisisene muutus suur, mis vähendab vastava arvarakteristiku väärtust, liiga väikese intervalli korral suureneb küll täpsus, kuid variatsiooni olulised jooned jäävad vähemärgatavaks (kõver venib välja).

Et saada hästi ilmekat ja täpset variatsioonikõverat, leitakse sobiv klasside arv valimi mahust: kas

$$i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1+3,3 \ln n} \quad (1) \quad \text{või} \quad i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5 \ln n} \quad (2)$$

i - intervalliklassi suurus (tavaliselt täisarv)

$x_{\max}$ - kogumi maksimaalne hulk

$x_{\min}$ - kogumi minimaalne hulk

n - variantide arv või antud hulgaga maht.

Kui vaatluste arv on väiksem, siis sobib kasutada valem 1, kui vaatluste arv $n = 100$ või on suurem, siis sobib valem 2. Kui aga valemite kasutamine on raskendatud, siis võib klasside arvu määrata ka tabeli järgi: Tabel 2

Valimi maht	Klasside arv	Esimene intervalli-
20 - 30	5 - 6	klass valitakse nii, et
40 - 60	7 - 8	kõige väiksem variant
70 - 100	9 - 11	jääks klassi näitaja kes-
150 - 200	10 - 12	kele. Selleks kasutatakse
250 - 500	11 - 13	valemit $l = x_{\max} - \frac{i}{2} \quad (3)$,
üle 500	14 - 18	kus l on esimese klassi
		alumine piir.

Intervalliklasside variatsioonikõver erineb intervallita jaotuskõverast: esimene näitab keskmisi suurusi ja iseloomustab variatsiooniklasse, viimane aga konkreetseid variante.

Olgu siinkohal järgmine näide. Kahetahulise odra 50 peas on teriseid:

21	27	17	20	22	12	24	13	20	19
22	16	22	21	16	23	16	21	24	18
11	22	15	23	21	10	15	18	15	21
14	15	9	18	22	15	17	19	17	18
17	18	19	24	16	17	15	25	16	17

Tunnuse varieeruvus on $27-9 = 18$. Nii suure variantide arvu korral on õigem kasutada intervalliklasse. Valemi (1) alusel saame

$$i = \frac{27-9}{1+3,3 \ln 50} = \frac{18}{1+5,6} \approx 3$$

Leiame esimese klassi piirväärtuse:

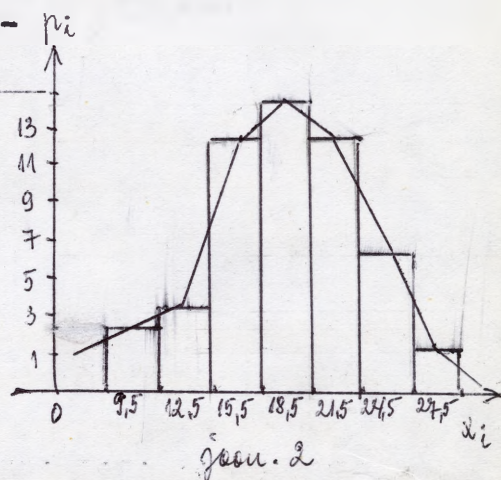
$$l = 9 - \frac{3}{2} \approx 8.$$

Niisiis, intervalliklasse on 8 ja intervall nende vahel on 3.

Et täpsustada kogumi jaotamist eelmise klassi ülemise ja järgmise klassi alumise piiri vahel, on sobiv klassi ülemine piir arvestada 0,1 täpsusega. Siis algab uus klass täisarvuga ja tunnuse kuuluvus ühte või teise intervalliklassi ei ole küsitav. Andmete töötlemine toimub eespoolnimetatud viisil, andmed märgitakse jällegi tabelisse:

Tabel 3

Klassid	Variatsiooniklasside kesk- väärtused (x_i)	Variatsiooniklasside sagedused (p_i)
8 - 10,9	9,5	3
11 - 13,9	12,5	3
14 - 16,9	15,5	12
17 - 18,9	18,5	14
20 - 22,9	21,5	12
23 - 25,9	24,5	6
26 - 28,9	27,5	1



x_i saame nii, et intervalli 3 jagame pooleks, s.o. 1,5 ja lisame väikseimale antud klassi väärtusele. Nii saamegi klassi kesk-
väärtuse. Esimesse klassi mahuvad variandid piirväärtustega 8 ... 10,9, s.o. tegelikult täisarvud 8, 9, 10. Antud tunnuse variatsiooni iseloomustab variatsioonikõver, mis erineb üksikvariantide variatsioonikõverast (vt. joon. 1 ja 2) selle poolest, et siin on abstsissil kesk-
väärtused ja tegemist on histogrammiga. Mõlemad kõverad on lähedased normaaljaotuskõverale. Kui kesk-
väärtuste asemel kanda teljestikku klasside piirväärtused (8 ... 10,9; 11 ... 13,9 jne.), siis saame tulpdiagrammi.

Et graafik oleks ilmekas, peab teljed jaotama suhtes 8:5, s.o. abstsiss on ordinaadist 1,6 korda pikem. Seda jaotust saab lihtsa arvutuse teel teada.

Toodud materjal peab olema laboratoorse töö juhendis õpilasele arusaadavalt, koos tabelite näidistega ja täpse juhendiga. Variatsiooni statistilise töötlemise üldine seletus antakse kogu klassile, praktilise töö käigus täidab igaüks ülesande iseseisvalt.

Kogemus lubab väita, et see töö on õpilastele üks meeldivamaid.

B I O L O O G I A S E O S E D

F Ü Ü S I K A G A

Bioloogia ja füüsika seoste aluseks on maailma materiaalne ühtsus: objektide koostise, omaduste, struktuuri, funktsiooni ja arengu sarnasus, seoste mitmekesisus ja sõltuvus materiaali eri tasemete vahel. Tänapäeva uurimused on tuvastanud bioloogia ja füüsika vahelised seosed järgmiselt:

- 1) bioloogia kasutab füüsika meetodeid - biofüüsika;
- 2) füüsika kasutab bioloogia meetodit - humaniseerub;
- 3) bioloogia ja tehnika sünteesi füüsika kaudu - loodushooldus ja bioonika.

Bioloogia füüsikaliseerumine tähendab eelkõige organismi aine-energeetiliste ja struktuuri seaduspärasuste uurimist elementaarsakestest kuni Galaktikani. Materiale mehhaanilised ja termodünaamilised protsessid on omased nii elusale kui elutule loodusele. Bioloogia eriharud uurivad eluvorme mitmelt tasemelt: organismiliselt, populatsiooniliselt, biosfääriliselt, loomulikult ka molekulaarselt tasemelt; biofüüsikaliseks aspektiks on eluavalduste mehhaanilised ja termodünaamilised protsessid. Vt. skeem lk. 17 ja tabel lk. 18.

Gnoseoloogilises plaanis tähendab füüsika meetodid a)elektromikroskoobi ja märgitud aatomite kasutamist uurimistöös, b)bioloogilise kontseptsiooni tuletamist füüsika teooriatest, näit. energia kasutamine kõigis eluavaldustes, c)paljude füüsika seaduste otsest kasutamist (energia kasutamine ja muundumine - energia jäävuse ja muundumise seadus). Vaatamata eeltoodule jääb elu ikkagi materiaali liikumise eri- (unikaalseks) vormiks.

Ükskõik millise eluobjekti - raku, organismi, populatsiooni, biotsünoosi või biosfääri käitumist ei saa võtta rangelt ühest aspektist, vaid keemilisi, füüsikalisi, geograafilisi, kübereetilisi võtteid peab rakendama koos, et säiliks süsteemi teraviklikkus.

Bioloogia ja füüsika vahel valitsevad kausaalsed seosed, näit. ainete tungimine läbi membraanide, närvi- ja lihaskoe talitlus, raku jagunemine ja kromosoomide liikumine jne.

Füüsika seaduste kohaselt energia (aine) ei teki ega kao, vaid muundub. Selle seaduspärasuse kehtivus on tänapäeval kõigile näha: looduslike energiaallikate vähenemine annab asemele saastunud õhu, fosfori- ja lämmastikuühendite totaalne kasutamine toob kaasa veekogude üleväetamise jne. jne. Siit järeldus:

bioloogia füüsikaliseerumine ei ole identne füüsika humaniseerimisega, s.t. meil pole õigust elada ja talitada puht-füüsika seaduste järgi, vaid peame mõtlema tulevikule. "Kui me ei tahta, et elu hukkuks, siis oleme kohustatud hoolitsema selle eest, et peatada jõud, mis hävitavad tema olemasolu." - nii on kirjutanud J. Bernal oma raamatus "Elu tekkimine".

Sotsialistlikus ühiskonnas on teaduslik-tehniline protsessi peamiseks eesmärgiks isiksuse igakülgne arendamine. Seepärast on esmajärguline ülesanne biosfääri säilitamine, seega võimaluste leidmine, kuidas hoida, taastada ja parandada elukeskkonda. See on nii tähtis küsimus, et NLKP XXV kongress oma otsustes nägi ette looduskaitse programmi aastaks 1976 - 1980, hiljem on sellele veel lisa tulnud (vt. NLKP XXV kongressi materjale ja 6.I 1979.a. "Rahva Häält"). Eeltoodust lähtudes on füüsika plesandeks kaasajal leida sellised energiaallikad, mis oleksid elule ohutud.

Bioloogia - füüsika - tehnika - see ongi füüsika biologiseerimine: tehniliste süsteemide kohandamine inimese töövoimega, et saavutada inimese ja masina optimaalne koostöö (ENE L).

Bioloogia ja tehnika seoste põhiprobleem on tööstuse ökologiseerimine. Selle mõtte algatajaks on V.Vernadski, õpetus - bioonika, mis uurib bioloogilisi objekte, kusjuures eesmärgiks on looduses juba esinevate lahenduste rakendamine tehnikas (ENE 1). Bioloogilised objektid täidavad oma funktsioone väikseima materjali- ja energiakuluga, seepärast kasutatakse elavat loodust mudelina tehniliste seadmete loomisel.

Koolibioloogia ja -füüsika vastastikku seotud teemad ei ühti päriselt, kuna füüsika kursus algab alles VII klassis, bioloogiat (ka loodusõpetust) õpitakse juba varem. Nii ei jõua füüsika ette valmistada teadmisi üldbioloogia tarvis, kuid mõningaid teemasid saab omavahel siduda.

1. Orgaanilise maailma arengu õppimine üldbioloogias tugineb biofüüsika elementidele: maismaa ja vee kui elukeskkonna koostis, tihedus, soojus- ja helijuhtivus, niiskus jt.
2. Raku keemilise koostise uurimine tugineb nii keemiale kui füüsikale (ainete ehitus, koostis); suurepärased andmed saadakse füüsikast ainete pindpinevusest, kapillaarsusest, määrgumisest. Hüdrofiilsuse ja hüdrofoobsuse selgitamine annab kätte võtme raku püsiva struktuuri ja elitalitluste valgustamiseks.
3. Raku metabolismi käsitlemisel tekib küsimus: kas rakk võib

töötada kui soojusjõumasin? Appi tuleb termodünaamika teine seadus.

4. Bioloogiliste oksüdatsiooniprotsesside mõistmiseks rakendatakse teadmisi elektrostaatikast ja elektrodünaamikast.
5. Pärilikkuse ja muutlikkuse statistilisi seaduspärasusi selatades tuleb tugineda taas termodünaamika seadustele.
6. Kõik ökoloogia küsimused on lahutamatult seotud füüsikaga - keskkonnategurid, päikeseenergia kasutamine, rõhk jne.
7. Valguse mõju organismile lähtub kahest eesmärgist: a) fotosüntees kui primaarne universaalne orgaanilise aine loomine ja b) valgus kui keskkonnategur, mis määrab eluslooduse ööpäevase ja aastaaegse rütmi - fotoperiodismi ning rakkude liikumise - nastiad, taksised, tropismid.
8. Teema "Biosfäär ja inimene" lähtub füüsika aspektist looduskaitse probleemide käsitlemisel. Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida keskkonna soojuslikule, elektromagnetilisele, radioaktiivsele saastumisele ja mürale ning selgitada abinõusid nimetatud häirete vältimiseks. Looduskaitse kõik aspektid läbivad antud teemat nii bioloogias kui füüsikas, alates elukeskkonnast kõige laiemas mõttes - biosfäärist kuni mikrovoltideni ajurakkudes.

Toodud ainelõigud bioloogias eeldavad teadmisi füüsikast, s.t füüsikas peaks antud teema olema tuttav. On ka vastupidiseid võimalusi, näit. teadmised luude-lihaste talitlustest on aluseks staatika elementidele füüsikas, silma, kõrva ja hääleorgaanite ehitus aitab kaasa optika ja akustika õppimisele. Füüsikalised uurimismeetodid bioloogias - mikroskoopia, tsentrifuugimine, spektroskoopia on samuti toeks vastavate küsimuste käsitlemisel füüsikas.

Füüsika võib (peab, et kindlustada ainetevaheliste seoste printsiipi) tugineda elektronteoorias keemias ja üldbioloogias saadud teadmistele elektroni ergastamisest ja aatomi energetilisest tasemest, sest fotosünteesi õppimisel XI klassis saab see küsimus küllaldase selgituse.

Füüsikas käsitletakse termodünaamika teist seadust väga pealiskaudselt, mistõttu selle põhiline interpretatsioon saab teoks üldbioloogia tunnis.

Kokkuvõtteks, bioloogia ja füüsika omavaheliste seoste ära kasutamiseks koolitöös on vaja tunda aineprogramme, avardada silmaringi naaberteadustest ning neid teadmisi ka rakendada - kasvõi kompleksekskursioonil, konverentsil jm.

Biofüüsika kui piiriteadus on tänapäeval sama suure tähtsusega kui biokeemia. Lähtudes klassikalise füüsika seadustest uurib füsioloogiline biofüüsika meele-elundite, närvisüsteemi, vereringe ja lihaste talitlust, molekulaarbiofüüsika uurib kvantmehhaanika põhjal raku organelle moodustavate makromolekulide, eriti nukleiinhapete ja ensüümide molekulide füüsikalisi omadusi, struktuuri ja koostoimet. Bioloogilisi süsteeme iseloomustab enamiku molekulaarsete eluprotsesside liigist sõltumatu ühelaadsus, komponentide mitteideaalsus, protsesside mitte-lineaarsus, (mistõttu toime ja tagajärg ei ole võrdelised), ja väga suure informatsioonisaldusega struktuur DNA, RNA. Evolutsiooniprotsessis informatsioonisaldus bioloogilises süsteemis kasvab ja vastavalt sellele on kogu süsteem mittetasakaalulises, väliskeskkonnaga pidevalt kohanevas väikese entroopiaga olekus. Kõik elusorganismid on avatud süsteemid, nad ei ole ilma oluliste muutusteta isoleeritavad väliskeskkonnast ega jaotatavad osadeks. (ENE 1).

Avatud süsteemi mõiste on õpilastele raske, see jäetakse lihtsalt meelde, mõiste sisu tabamata. Raske on ta tõepoolest, ja füüsikakursus ei puuduta seda ka. Ent fotosünteesi, bioloogilise tasakaalu ja loodusjäätise küsimusi ilma avatud süsteemi ja entroopia mõisteta ei seleta. Seepärast ka entroopia kui isoleeritud süsteemi tasakaaluoleku kohta järgmine kommentaar. Entroopia on termodünaamiline olekufunktsioon, mis isoleeritud süsteemis kasvab, s.o. kogu aine püüab saavutada maksimaalseft ühesugust olekut. Näit. tasakaalus olevale süsteemile mõjub t^0 tõstmine nii, et kogu süsteemi t^0 ühtlustub.

Bioloogias väljendab entroopia süsteemi (avatud süsteemi!) korrapäratust, s.o. väiksemate süsteemide negentroopia (korras-tatus) toob kaasa kogu süsteemi (keskkonna)entroopia suurenemise (ENE 2).

Seda seaduspärasust on püütud rakendada kogu Universumi hüpoteetilise lõppoleku näitajana, s.o. soojussurma. Hüpoteesi loojaks on W.Thomson ja R.Clausius, kes põhjendasid soojussurma termodünaamika teise printsiibiga, mille kohaselt kõigil liikumisvormidel on pöördumatu tendents muutuda soojuseks, soojus aga püüab ruumis piiramatult hajuda. Sellised pöördumatud protsessid lõpevad tasakaaluolekus, kus entroopia on maksimaalne. Nüüdisaja kosmoloogia on seisukohal, et Universumi evolutsiooni mõistmiseks pole määrav osa soojusnähtustel, vaid gravitatsioonil. (ENE 7).

Ka organism on materia organiseerituse tase, milles on või-

malik entroopia kasvu piiramine ja isegi vähenemine. See tuleneb organismi kui avatud süsteemi omadusest säilitada oma struktuur-sust ja biokeemiliste reaktsioonisüsteemide vaba energist välise energia arvel. (ENE 5).

Tehniline progress ja sellest sõltuvalt tasakaalu säilitamiseks loodushoolduse küsimused peavad jõudma ka bioloogiaklassi. Ent peale ekraniseeritud tunni ei ole meil suurt midagi pakkuda. Füüsikaline meetod - valgustahvel, elektrifitseeritud õpetajalaud, dünaamilised mudelid ja automaatseadmega akvaarium oleksid tehnilise progressi headeks näitajateks koolis. Et elavat õppida elava näitel, peaksime tegema rohkem vaatlusi, katseid, aga mitte näitama vanu joonistatud tabeleid ja aegunud filmifragmente. Ent vaatluste ja katsete jaoks on vaja vahendeid, üsna lihtsaist keerukate füüsikaliste seadmeteni: miniatuurset kliimakambrit, nagu TRÜ taimefüsioloogia laboratooriumis (vanast termostaadist ümber ehitatud), luminesentslampi fotosünteesikatseteks talvel, hüdrovanni jne. Eriline tähendus on katsetel ökoloogias. Et tundma õppida taimede kohastumist keskkonnaga, selleks on vaja nõusid taimede kasvatamiseks talvel, kinnist akvaariumi ökosüsteemi õppimiseks jpm.

Kaasajal on bioloogia haruteadustest tähtsaim ökoloogia - õpetus kooslustest, mille loiid akadeemikud V. Vernadski ja V. Sukatšov. Praegu kuulub õpetus kogu maailma ülikoolide õppeprogrammi ulatusliku kursuseks, kuid selle sisu võib lihtsalt edasi anda järgmises: sellest hetkest alates, kui Maale ilmus elu, sai ta edasiviivaks jõuks, mis juhatab planeedi pealispinna, atmosfääri, hüdrofääri arengut, selle soojus- ja niiskussrežiimi. Ürgne elu andis põlevad loodusvarad, praegune stabiliseerib kliimat, kujundab ilma. Veelgi enam, elu (ja ainult elu!) lõi mulla - meie olemasolu aluse. /30/.

Kolossaalne biomass on täiusliku aine- ja energiavahetuse tulemus. Ainuüksi metsade varu on üle 300 miljardi tonni, ligi 35 miljardit tonni kaaluvad organismid ookeanis, lisaks veel bakterid ja kogu mullamikroobide mass. Igal aastal luuakse fotosünteesiprotsessis juurde veel 350 miljardit tonni elusainet. (Üldbioloogia õpikus 100 miljardit tonni, vt. lk. 298), /13/. Need arvud ei ole küll väga täpsed, kuid täpne on muu: kaasaegne inimkond toodab energeetilise ekvivalendi järgi mõned korrad vähem. /30/.

Iga elav organism, olgu ta taim või loom, bakter või viirus, vajab keemilisi elemente, ainet, millest ta ehitab oma keha ja

mis on tingimata vajalikud normaalseks elutegevuseks. Eespool on nendest juba juttu olnud. Siinkohal olgu meenutamiseks vaid järgmine: süsinik, vesinik, hapnik osalevad fotosünteesis, kus luuakse süsivesikud - raku (organismi) energiavarud; lämmastik, väävel kuuluvad elusaine ehitusmaterjali - valgu koostisse; fosfor aitab moodustada unikaalsed informatsioonid - nukleiinhappeid ja universaalsed energia-akumulaatorid - ATP-d.

Elementide varud Maal ei ole lõputud ja nende kasutamise võimalus määrab suuresti elu iseloomu antud piirkonnas. Nii on praktiliselt kasutamata õhulämmastik (N_2), kuivõrd ta ei ole kättesaadav valdavale hulgale organismidest. Alumiiniumi tarbivad organismid vähe, kuigi varud ületavad mitmekordselt fosfori. Fosforit on aga meie planeedil vähe ja varud vähenevad katastroofiliselt. Teiste sõnadega, meie planeedil peab toimuma keemiliste elementide biotiline aineringe, et elu olemasolu võiks püsima jääda.

Kas aineringe toimib iseenesest? Kas ta on igiliikuri-perpetuum-mobile funktsioon? Ei, igiliikuri pole võimalik luua puht-füüsikalistel põhimõtetel, (sest osa igasugusest energiast muundub alati soojuseks ja mähneb termodünaamika seadustele). Ja nii nagu ei saa töötada ükski süsteem energiata, ei saa ka eksisteerida biotiline aineringe ilma energia juurdevooluta. Elu energiaallikaks Maal on Päike. Teadlased on välja arvutanud, et fotosünteesiprotsessis seotakse igal aastal $1,8 \cdot 10^{18}$ kJ energiat. Mis sellest energiast edast saab? Füüsika seaduste järgi energia ei saa kaduda. Kaduda ei saa küll, kuid muundub pidevalt ühest liigist teiseks. Elavale organismile pole vaja energiat üldse, vaid kindla kvaliteediga energiat. Nii jaotuvad organismid Maal autotroofideks - kasutavad primaarselt valgusenergiat või lihtsate anorgaaniliste reaktsioonide energiat (kemoautotroofid), ja heterotroofideks - kasutavad orgaaniliste ühendite seotud energiat.

Salvestatud energia kasutatakse ära hingamisprotsessis, ta ei hävine ega kao, vaid hajub ümbritsevasse keskkonda või muundub molekulide soojusliikumiseks. Sellist energiat organism enam kasutada ei saa, see on organismile väärtusetu. Energia-linge seda osa interpreteeritakse sageli võhiklikult, lausa valesti. Kui ainet võib korduvalt kasutada ja ta tööpoolest ringleb aineringes, siis energia, mida kord on elussüsteemis kasutatud, vabaneb ja langeb antud ringest välja. Õigem oleks vaadelda biosfääri ökosüsteemis energia voolu - hinnalise valgusenergia juurdetulekut ja vähemhinnalise soojusenergia äravoolu.

Juba möödunud sajandi lõpul võeti bioloogias kasutusele mõiste biotsönoos. Selgub, et taimed, loomad ja mikroorganismid, kes asustavad ühist paikkonda, on omavahel seotud energia- ja aine- ringega ning moodustavad ühtse kompleksi. Neid komplekse uurinud nõukogude botaanik V. Sukatšov võttis kasutusele täpsema termini - biogeotsönoos, mis täiendab koosluse seost mulla, niiskuse ja atmosfääriga.

Iga ökosüsteem koosneb kolmest lülis: produtsendid (roheli- sed taimed ja kemosünteesivad bakterid) ----> konsumendid (taime- ja lihatoidulised loomad) ----> redutsendid (jäätmelagundavad mikroorganismid). Produtsendiks võib olla igasugune roheline taim, kasvõi üksainus liik, tema sünteesib orgaanilist ainet. Kuid aine lagundamine mineraalseteks ühenditeks toimub mikro- organismide osavõtul. Vahepealses lülis on loomad: taimtoiduli- sed (fütofaagid) - putukad, rohusööjad loomad, närilised; I jär- gu lihatoidulised - putuktoidulised linnud; IIjärgu lihatoiduli- sed - röövlomad ja -linnud. Taimtoiduliste ja röövlomadega kõrvuti eksisteerib hiigelar mee loomi, kes toituvad surnud or- gaanilisest ainest, need on saprofaagid ja nekrofaagid (vihma- ussid, putukate röövikud, hulkjalgsed, laibamardikad, jt.).

Et hinnata organismigruppide tähtsust ökosüsteemis, kasutatak- se biomassi mõistet, see on organismide aine hulk kaaluühikuis pindalaühikule, näit. g/m^2 , t/ha jne. Uurimused näitavad, et peamine osa biomassist on mullas. Meile tuntud suured loomad ja linnud moodustavad vaid tühise osa - 1% kogu biomassist.

Sügisene lehtede langemine peaks tähendama tohutut surnud or- gaanilise aine ladestumist metsakõduna, kuid metsakõdu kiht tü- seneb tagasihoidlikult. See seletub asjaoluga, et taimsed jäät- med lagundatakse kiiresti (mikroorganismid!) ja mineraalsed ühe- did satuvad kohe aineringsesse. Kui arvestada ka vahepealset lü- li - saprofaage, siis kiireneb taimse massi lagundamine 3-4-5 kor- da. Järelikult, loomade funktsiooniks ökosüsteemis on aineringe kiirendamine.

Otseste toitumissuhete kõrval on ökosüsteemis seosed ka hin- gamisahela kaudu: eralduvad CO_2 ja H_2O on fotosünteesi lähteai- ned. Hapnik, mida toodavad rohelised taimed, on vajalik nii tai- medele kui loomadele oksüdatsiooniprotsessides ja energiavahetu- ses.

Energia kasutamine ökosüsteemi eri osades on erinev: fütofaa- gid kasutavad vaid kuni 10% energiast, kõdunemisel, s.o. sapro- faagide poolt tarbitakse aga ligi 90%; veekooslustes on fütoplank- toni poolt toodetud energia kasutamine teistsugune - 50% kasuta- takse taimetoiduliste liikide, eeskätt zooplanktoni poolt. Toi-

tumisahelad koosnevad 3-5 astmest - toidutasemest. Igas toidutasemes kasutatakse suurem osa potentsiaalsest energiast elutegevuseks, vaid väiksem osa - 5-20% läheb toiduks sisalduvast energiast looma kehas sünteesitud ainetele. Nii kujunebki ahel, kus kõige järgnev lüli sisaldab energiat vaid 10% esialgses väärtuses. Seda seaduspärasust nimetatakse ökoloogilise püramiidi reegliks. Reeglit võib kasutada mitmest aspektist: väljendada arvude püramiidina - peegeldab isendite arvu vähenemist toidutasemes; biomassi püramiidina - arvestab orgaanilise aine vähenemist toidutasemes; energiapüramiidina - energia vähenemist 10-kordselt igas järgnevas toidutasemes. Kuigi absoluutväärtuselt erinevad, on need interpretatsioonid kõik ühesuunalised - viivad välja energia hajumiseni elussüsteemis.

Aastaid tagasi olime veendunud, et peamine biomass luuakse ja paikneb maailmameres. Uuemad andmed seda ei kinnita, vaid vastupidi, toonitatakse just maismaa osatähtsust biomassi loomisel. Seda momenti peab õpetaja arvestama, sest vanemast kirjandusest saadud andmed võivad õpilasi eksitada.

K O K K U V Ö T E

Käesolevas kursusetöös on käsitletud ainetevahelisi seoseid vaid üksikute teemade loikes, seepärast on töö lünklik ja eri osad on omavahel nõrgalt seotud. Väga pealiskaudne on ökoloogia küsimus ja loodushoolduse küsimusi pole käsitletudki - need vajavad eraldi lähenemist-kirjutamist. Autoriteetne informatsioon biokeemias välistab keemiaküsimuste veelkordse selgitamise.

Töö kirjutamise käigus kerkisid üles probleemid, mis vajavad sügavamalt analüüsi ja mida ei lahenda kursusetöö raames (programmilised ebakõlad ainete vahel, õpetajate kitsas erialane ettevalmistus, kaasaegsete õppevahendite puudus, õppekirjanduse ajast mahajäämine, trükitehnilised vead jm.).

Toodud materjal ei ole mõeldud tervikuna õpilastele esitamiseks, vaid õpetajale endale - eneseharimiseks (vabandan väljenduse pärast!). Üleliidulises erialases kirjanduses on väga häid metoodilisi näpunäiteid, mida saaks ja tuleks ka eesti koolis kasutada.

Asendamatuks käsiraamatuks õpetajale on eestikeelsed väljaanded, vt. kirjanduse loetelu 10, 11, 12.

Allakirjutanu avaldab lootust, et uus bioloogia programm näitab kätte ka võimalikud ainetevahelised seosed ning lubab õpetajal oma tööle loominguliselt läheneda.

KASUTATUD KIRJANDUS:

1. Ahmetov, N. Anorgaaniline keemia. Tln., 1974.
2. ENE 1, 2, 5, 7, 8, L.
3. Kaheksaklassilise kooli ja keskkooli programmid. Bioloogia. Tln., 1976.
4. Kaheksaklassilise kooli ja keskkooli programmid. Füüsika. Tln., 1976.
5. Kaheksaklassilise kooli ja keskkooli programmid. Keemia. Tln., 1978.
6. Kaheksaklassilise kooli ja keskkooli programmid. Matemaatika. Tln., 1977.
7. Jansons, E. Mooli uus mõiste ja selle rakendusi koolikeemias. - "Nõukogude Kool", 1978, nr. 1.
8. Eesti NSV Haridusministeerium. Keemia põhivara VII - IX klassile. Tln., 1977.
9. Karik, H. Ratassepp, V. Keemia X-XI. Tln., 1973.
10. Pavel, Ü. Veterinaargeneetika. Tln., 1977.
11. Teinberg, R. Põllumajandusloomade geneetika. Tln., 1978.
12. Tiits, H. Loodusteadusliku hariduse järjepidevuse probleeme. Tln. 1978.
13. Üldbioloogia õpik X-XI klassile. Tln., 1978.

14. Азявчикова Х.В. Воспитание научно-материалистического мировоззрения учащихся на уроках общей биологии.- "Биология в школе", 1974, №4.
15. Бердоносков С.С. Решение задач на процентную концентрацию растворов.- "Химия в школе", 1976, №1.
16. Булаева К.Б. Изучение закона Харди-Вайнберга в курсе общей биологии.- "Биология в школе", 1977, №6.
17. Голободорько М.Я. О связи обучения химии с физикой.- "Химия в школе", 1976, №1.
18. Журихин А.И. К определению коэффициентов в уравнениях химических реакций.- "Химия в школе", 1977, №2.
19. Иванова Р.Г. Единство обучения, воспитания и развития на уроках химии.- "Химия в школе", 1978, №4.
20. Корсунская В.М. Уроки общей биологии. М., 1970.
21. Межпредметные связи - важный резерв улучшения учебно-воспитательной работы школы.- "Химия в школе", 1976, №3.
22. Митюшин В.М. К вопросу о возникновении жизни на земле.- "Биология в школе", 1978, №5.
23. Программа по биологии для восьмилетней и средней общеобразовательных школ.- "Биология в школе", 1978, №4.
24. Тукмачев Л.М. О связи школьного курса химии с физикой, - "Химия в школе", 1976, №3.
25. Федорец Г.Ф. Межпредметные связи в процессе изучения неорганических компонентов клетки в курсе общей биологии, - "Биология в школе", 1978, №4.
26. Федорова В.Н. Межпредметные связи курса биологии.- "Биология в школе", 1975, №6.
27. Фокс С. Молекулярная эволюция и возникновение жизни. М., 1975.
28. Школьникам о XXV съезде КПСС. М., 1976.
29. Шуклер Е.Г. О связи школьного курса химии с математикой. - "Химия в школе", 1976, №3.
30. Шварц С.С. Экология наших дней.- "Биология в школе", 1974, №4.