

Kallis noor sõber,

see õpik ja selle alusel õpitav keemia viib sind ääretult rohkearvulisse ja vägagi omapärasse ainete ning nende muundumiste maailma. Kõik nad sisaldavad alati ühe koostiselemendina süsinikku, mistõttu võib julgesti väita, et nüüd hakkad õppima süsinikuühendite keemiat. Tegelikult sa ei hakkagi, vaid jätkad ja süvendad nende teadmiste omandamist, millega alustasid juba 9. klassis. Ehkki süsinikuühendite keemias kehtivad kõik sulle teadaolevad keemiatõed, keemiakeel ja arvutused, on sellel tohtu suurel ainete hulgal siiski ka oma eripära. Olulisim süsinikuühendite erinevus süsinikku mittesisaldavatest ainetest on see, et nad moodustavad eluslooduse vundamendi. Koosnevad ju kõik elusorganismid põhiliselt vaid süsinikuühenditest. Et süsinikuühenditega toimuvad muundumised leiavad aset nii meis endis kui ka kõikjal meie ümber, siis on selge, et ilma süsinikuühendite ehk orgaanilise keemiata inimene hakkama ei saa. Ja kuigi sellealaseid teadmisi ei nõua võibolla otseselt sinu tulevane elukutse, tahame me ometi kõik olla terved, tugevad ja elada täisväärtuslikku elu. Teadmised orgaanilisest keemiast aitavad sellele kindlasti kaasa.

Esmapilgul võib süsinikuühendite rohkus, arvukad nimetused, üksikasjades keeruline ehitus ja keemilised muundumised sulle tunduda ülejökäivatena. Tegelikult piisab aga üsna vähesest hulgast põhimõtetest, mis aitavad suurepäraselt orienteeruda orgaaniliste ainete nimetustes, ehituses ning omadustes. Pealegi valitsevad koostise, ehituse ja omaduste vahel omad kindlad seosed ning seaduspärasused, millest arusaamine avab tee orgaanilise keemia olemuse juurde. Kui sind tõesti huvitavad orgaanilise keemia üksikasjad, loe läbi ka täiendavaks lugemiseks mõeldud materjal. Selle leiad kollaselt taustalt. Peale selle võid ju alati kasutada veel teisigi raamatuid või pöörduda interneti andmebaaside juurde.

Tutvu õpiku ülesehitusega, õpi ära vajalikud tugimõisted, juurdle kõige nähtu, kuuldu ja loetu üle ning orgaaniline keemia pole sinu jaoks enam tundmatu maa.

Autorid



Mati Karelson
*molekulaartechnoloogia
professor*



Aarne Tõldsepp
*pedagoogikaprofessor,
EKL president*

Hea kolleeg,

kes sa alustad orgaanilise ehk süsinikuühendite keemia õpetamist gümnaasiumis, pead arvestama sellega, et üheltpoolt sa ikkagi jätkad keemia õpetamist, ent teiselt poolt ei jätkata, astudes hoopis uude ja mitmekesisesse süsinikuühendite maailma. Muidugi tuleb lähtuda kõigest sellest, mis moodustab keemia teoreetilise aluse ja see on aine ehitus ning keemiliste reaktsioonide kulgemise seaduspärasused. Ent õpilastele juba tuntud tõdede alusel pead sa välja tooma selle uue ja erilise, mis iseloomustavad süsinikuühendeid ja nendega toimuvaid muundumisi. Algab kõik süsiniku aatomi unikaalsest ehitusest, millest tuleneb nii süsinikuühendite rohkus, eripära, mitmekesisus kui ka omadused. Süsiniku aatomi unikaalsest ehitusest tuleneb tema võime moodustada ülipikki ahelaid, mis võivad olla nii hargnenud kui ka hargnemata. Süsiniku aatomitest üksinda või koos heteroaatomitega saame moodustada erineva suurusega tsükleid. Kovalentse keemilise sideme domineerimine orgaanilistes ühendites on jällegi tingitud süsiniku aatomi elektronstruktuurist. Tihti esinevad süsinikuühenditel nii inter- kui intramolekulaarsed vesiniksidemed. Et tegemist on paljudel juhtudel ikkagi elusast loodusest päritolevate ühenditega, siis on ka süsinikuühendite omadused palju pehmemad kui mineraalide maailma kuuluvatel ainetel. Puuduvad ekstremaalsed sulamis- ja keemistemperatuurid, ülisuur tihedus ja ka keemiliselt vastupidavuselt jääb enamik orgaanilisi aineid alla anorgaanilistele ainetele. Redutseerijatena esinevad süsinikuühendid oksüdeeruvad siiski suhteliselt kergesti ja põlevad. Eks selles ehituse ja omaduste iseärasuses ongi peamine põhjus, miks süsinikuühendite keemiast on saanud omaette teadusharu oma uurimisaine, loogika ja uurimismeetoditega. Orgaaniliste ainete koostise ja ehituse väljendamisel kasutatakse väga erinevaid valemeid ja mudeleid. Igal neist on oma konkreetne väljund, mida tahetakse valemi või mudeliga rõhutada. Antud õpik püüab siinkohal vältida vaid erinevate lähtekohtade segijamist. Sama kehtib ka süsinikuühendite nimetuste kohta.

Hetkekski ei tohi unustada, et süsinikuühendite keemia on eeskätt funktsionaalsete rühmade keemia, sest nende alusel liigitatakse kõik orgaanilised üendid aineklassidesse. Käesolev õpik ongi ülesehitatud nii, et orgaanilise keemia olemus võimalikult selgesti esile tuleks. Taas on ühte peatükki koondatud kõik süsivesinikud, millest johtuvad kõik teised orgaaniliste ainete klassid – nii mono- kui polüfunktsionaalsed, eeskätt nende ehitus ja nimetused.

Palun tehke õpilastele selgeks need orgaanilise keemia alustoed ning edu orgaanilise keemia õpetamisel-õppimisel ei jää tulemata.

Jõudu selleks!

Autorid

Õpiku ülesehitus

1. I. SISSEJUHATUS ORGAANILISE KEEMIASSE

2. 1. Miks omaette teadusharu

6. Mis sa arvad, millise planeediga sarnaneks Maa, kui orgaanilisi aineid ei oleks?

4. Kõikjal, kus on tegemist ainetega, on mängus ka keemia. Erinevate ainete ja erinevate keemiliste protsessidega tegelevad erinevad keemiharud. Süsinikühendite ja nende vahelisi muundumisi uurib keemias, mida nimetatakse **orgaaniliseks keemiaks**. Et süsinikühenditeid on väga palju ning nende osatähtsus erinevates eluvaldkondades suur, siis on orgaanilise keemia baasil tekkinud veel teisi teadusharusid nagu biokeemia, põllumajanduse keemia jne. Ent mis siis ikka on ühe keemilise aine ühendite uurimiseks vajalik omaette keemia haru või teadusharu? Püüame leida sellele küsimusele vastuse.

4. Esimese põhjusena nimetatakse kõigepealt süsinikühendite rohkest. Ligemale 95% kõigist tänapäeval tuntud ja valmistatud ainetest on süsinikühendid. Kogu elusloodus on ülesehitatud süsinikühenditest. Nendest on aja jooksul tekkinud ka mitmesugused loodusvarad nagu nafta, põlevkivi ja looduslik gaas. Looduslikest allikatest saadakse selliseid orgaanilisi materjale nagu kütüük, siid ja puuvill. Meie toidulaual on taimse või loomse päritoluga söögiaineid. Ravimite, plastide, kütuste, kosmeetikavahete, tämekaitsevahendite ja ehitusmaterjalide koostises domineerivad süsinikühendid. Kui veidigi lähemalt tutvuda süsinikühendite arvukuse põhjustega, mida me kohe järgmises peatükis ka teeme, siis venendub isegi, et süsinikühendite arv on praktiliselt lõpmatu! saar. Kui paljusid neid tänapäeval tuntakse ja kui paljusid kasutatakse, on isegi võimatu. Täpse ülevaate registreeritud ainete arvust annab rahvusvaheline keemia teabeteenistus (Chemical Abstract Service – CAS). Sellele õpiku kirjutamise ajal oli kataloogis kirjas 27 283 000 ainet, millest ligi

10

2. Orgaaniliste ainete tähistamine

6. Mis sa arvad, milline orgaaniliste ainete tähistamisviis on kõige täpsem ja kõige mugavam?

5.1. 5.1.

3. Valemid

4. Kõige lühem ainet tähistusviis keemias on valem. See näitab, millistest keemilistest elementidest aine koosneb ja milline on koostiselementide arvuline vahelkorraldus. Et orgaanilised ained koosnevad molekulidest, siis nende lihtsaim tähistusviis ongi **molekulaarvalem**. Kahjuks annab molekulaarvalem orgaaniliste ainete maailmas millelgi täpselt teavet ainult väikese süsiniku aatomite arvuga ühendite kohta. Metaani, eteeni või etüüni molekulaarvalemist CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 võib välja lugeda kõike, mis meid nende ainete koostise ja ehituse kohta huvitab. Ent butaanil valem C_4H_{10} jätab meid juba härra, kui otsustada tuleb, millise butaaniga meil tegemist on. Sellepärast kasutatakse orgaanilises keemias valdavalt selliseid valemiteid, mis näitavad ära aine ehituse olulisemad küljed. Selliseid valemiteid nimetatakse **struktuurivalemiteks**.

4. Kõige üksikasjalikum ülevaate keemiliste sidemete paiknemise kohta annab klassikaline struktuurivalem. Selles kujutatakse kõik keemilised sidemed sümbolite vaheliste kriipsuketega. Üks kriipsuke tähendab üksik-, kaks kriipsuke kak- ja kolm kriipsuke kolmiksidet.

4. Nimetus klassikaline tähendabki seda, et ühele siduval elektroni paarile vastab struktuurivalemis üks kriipsuke, nii nagu 20. sajandi alguses G. Lewis ja W. Kossel kovalentset sidet ette kujutasid.

$$\begin{array}{c} C_2H_6 \\ \begin{array}{ccccccc} H & H & H & H & H & H & H \\ | & | & | & | & | & | & | \\ H-C & -C & -C & -C & -C & -C & -C-H \\ | & | & | & | & | & | & | \\ H & H & H & H & H & H & H \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} CH_3COOH \\ \begin{array}{ccccccc} H & & O & & H \\ | & & || & & | \\ H-C & -C & -C & -O & -H \\ | & & & & \\ H & & & & \end{array} \end{array}$$

Keemiliste sidemete nummilist asetust klassikaline struktuurivalem ei ava. Kummiski toodud näites ei paikne sidemed 90-kraadise nurga all. Esimesel juhul moodustas side süsiniku aatomite sp^3 -hübridorbitaalide vahel, kus sidemete vaheline nurk on 109,5°. Teisel juhul on süsiniku aatomitel erinev välisti

31

- 1 Osa pealkiri.**
- 2 Peatüki pealkiri.**
- 3 Paragrahvi pealkiri.**
- 4 Põhitekst.** Kohustuslik materjal orgaanilise keemia kursuse omandamiseks.
- 5 Süvendatud tekst.** Mittekohustuslik selgitav ja teadmisi avardav materjal.
- 6 Mis sa arvad?** Küsimus või probleem, mis aitab sul tähelepanu koondada järgneva materjali omandamisele.
- 7 Ära unusta!** Tõed, mis tuleb lihtsalt meeles pidada.
- 8 Mõttele, otsusta, lahenda!** Küsimusi ja probleeme, mis aitavad sul õppe-materjalist aru saada.
- 9 Lisad.** Kui oled unustanud mõne mõiste, saad seda hõlpsasti vaadata õpiku lisast. Soovides lähemalt meenutada mõnd teadlast või ainelõiku, leiad kiiresti abi nime- või ainerregistrist.

ARA UNUSTAI!

7

Süsiniku aatomil on ergastatud valentskolekus väliskihil neli paardumata elektroni. Automorbitalide ühtlustumisel tekivad kas sp^3 , sp^2 või sp -hübriidorbitaalid.

2

2. Teiste organogeenide ehitus

Mis sa arvad, mitu keemilist sidet süsiniku aatomitega moodustavad vesinik, hapnik, lämmastik ja halogeenid?

6

Orgaaniliste ainete koostisained nimetatakse lihtsaks **organogeenideks**. Olulisemad neist on teatavasti vesinik, hapnik, lämmastik ja halogeenid. Kui vaadelda nende asendit keemiliste sidemete perioodilisustabelis, siis näeme, et enamik neist on 1. ja 2. perioodi elementideid. Lämmastik ja hapnik on koguni süsiniku lähimad naabrid. Seetõttu on kudas vähenenud paardumata elektrone arv väliskihil, kasvab nende elementide võime siduda elektrone. Suurim on see võime halogeenidel. Vesiniku ja süsiniku võime siduda elektrone on enam-vähem ühesugune, veidi suurem on see süsinikul.

H									He
Li	Be	B	C	N	O	F		Ne	

Võime siduda elektrone kasvab →

Paardumata elektrone arv väliskihil näitab, mitu ühst elektronipaari see keemiline element mõne tase keemilise elemendi aatomi paardumata elektronega võib moodustada. Ei tohi aga unustada, et ka väliskihil elektronipaari võivad keemilise sideme tekkles osaleda. See on tõsiasi, mida tuleb arvestada eeskätt vesiniksidemete tekkel.

24

2.

Argvajadustest nüüdsteaduseni

Mis sa arvad, millised võisid olla esimesed orgaanilised ained, mida inimene kasutas?

6

Orgaaniliste ainete kasutamine on niisama vana kui inimene ise. Vajast ja ju eluks nii toitu, rõivaid kui ka peavarju. Mida keemiliseks inimene elustiili muutus, seda vähem rahuldus teda see, mis loodus talle valmiskujul pakkus. Ent siingi tuli inimestele juust loodus ise. Pruukas vaid viinamarjamaht kõirama jätta, kui saadi vein, mis õhu käes seisemisel muutus peagi veinikiidiks. Erilisi tehnilisi lahendusi ei nõudnud ka seemnetest õli väljapressimine või taimedest värvainete saamine. Veidi keerulisem oli roosilõõgi või tärgapini eraldamine.

5

Tule kasutusele võtmise kausgil 100 000 aastat tagasi andis kõigepealt sooja ja mitmekesistas meie eelkäijate toiduladu. Aegamööda õpiti töötama metalliga ja neid maakidest välja sulatama. Orgaaniliste ainete kasutamisele ja valmistamisele see inimkonna avastus veel märkimisväärset mõju ei avaldanud. Seetõttu on kudas õnnestus alkeemikatel laboritoos tehnoloogiat arendada, avanesid ka võimalused ammurtunud ainete eraldamiseks puhtal kujul. Nii õnnestus üheks oma põlvkonna korifeekts peetav alkeemik Geberil 8. sajandil tänu destilleerimiskunstist edusammudele saada kontsentreeritud äädikahapet. Umbes samal ajal saadi esmakordselt ka enam-vähem puhas alkoholi (etanol). Nimetatud perioodi kuulub samuti esimene katse liigitada ained taimseteks, loomseteks ja mineraalseteks. Selle liigituse autoriks loetakse Abu Bakr ar-Raziid.

Enamiku ajaloosilike andmetel tehti järgmine tõsisem katse aineid liigitamiseks mineraalseteks ja orgaanilisteks alles aastal 1675. Sellist aineid liigitust kasutas prantsuse arst ja farmatseut N. Lemery oma loengutes ja õpikus. Täimse ja loomse päritoluga aineid koostis avastamisel on suuri teened ka keemilistest tuntud prantsuse keemiku A. Lavoisier. Oma põlemisteooria uuringutes leidis ta, et nn. orgaaniliste aine põlemissaadusteks on süsinikdioksiid ja vesi. Siit tuligi järeldus, et elusast loodused päinevad ained koosnevad üsna vähesest arvust keemilistest elementidest, näiteks süsinikust, vesinikust, hapnikust ja lämmastikust. Selle ajatu avastuse krooniks oli kolmanda prantsuse keemiku A. Forcry järeldus, et elusloodused päit aineid sarnased omadused tulenevad nende sarnasest keemilisest koostisest.

19. sajandi sai määravaks orgaanilise keemia kujunemisel omaette teadusharuks. Rootsi keemiku J. Berzelius e etpanekul

14

orgaaniline keemia, sest mitmed puhaestehnoloogiad kasutavad just orgaanilisi aineid.

4

Orgaaniline keemia on tihedalt seotud ka sellise kõrgtehnoloogilise valdkonnaga nagu nanotehnoloogia, seda ennekõike **arkade materjalide** näol. Sellised, orgaanilistest ainetest saad materjalid muudavad oma omadusi muustate mõjul lihtsavas keskkonnas. Lihtsaks näiteks on peagi meie ellu sisenavad „targad“ pakkematerjalid. Mõned neist muudavad oma värvi (muutudes värvuseta näiteks punaseks või siniseks), kui neisse pakitud toidained riknevad. See saab juba pakendi värvuse järgi otsustada, kas ostetud toot on ikka värsket. Teised uued pakkematerjalid sisaldavad aga baktereid hävitavaid orgaanilisi aineid, tagades nii haiglates kasutatavate materjalide ja seadmete puhtuse.

Õnneomoodi uut ajastat orgaaniliste ainete sünteesis tähtsivad elektrilise juhtivate põlumeedite saamine. Nimetatud avastuse eest pälvis teadlaste kollektiv A. J. Heeger, A. G. MacDiarmid ja A. Shirakawa 2000. aastal Nobeli keemiapreemia.

8

MÖTLE, OTSUSTA, LAHENDAI!

- Millised nähtused elust tõestavad, et orgaanilised ained sisaldavad süsinikku?
- O. Lutsu hästituntud „Kevades“ on järgmine episood. Vahetunni ajal ajhju lähedal kõneles üks niginõdaga, elavate silmadega poiss väga saladuslike liigutuste sisetel järgmist: „Kosta hamesulgu päima sisse, kivistu puhta peberlehe peale oma nime, lase kuumu trikkisuga üle, küll sa siis nõied!“ Mida pidid klassikaaslased nägema? Mida nähtu näitab?
- Milliste probleemidega tegelesid latrikeemia, fogistonikeemia, pneumaatilise keemia?
- Miks on tarvis teada orgaaniliste ainete ehitust pisemate üksikajadeni?
- Millist laadi uurimuste eest orgaanilise keemias on saadud kõige rohkem Nobeli preemiaid?

20

Möistete selgitusi

9

Ahelsomeeria – isomeerid erinevad süsinikahela ehituse poolest.

Aldehüürühm – aldehüüdrühma või -rühmi sisaldav süsinikühend.

Aldehüürühm – funktsionaalne rühm —C(=O)H .

Aldoos – aldehüüdrühma sisaldav monosahhariid.

Alkaan – süsivesinik, milles on vaid süsinik-süsinik üksiksidemed

—C—C—

Alkadien – süsivesinik, milles on kaks süsinik-süsinik kaksiksidet —C=C—C— .

Alkeen – süsivesinik, milles on üks süsinik-süsinik kaksiksidet —C=C— .

Alkohol – süsinikühend, kus süsiniku aatom(ide) on vahetult seotud ühe või mitme hüdroksüülrühmaga (–OH).

Alkoholaat – alkoholist tekkinud soolatalaline ühend.

Alküüline – asendatavateks alküülrühmaga.

Alküülrühm(radikaal) – süsivesinikrühm, kus alkaaniast on eraldunud üks vesinik, tähistatakse üldiselt R.

Alküün – süsivesinik, milles on üks süsinik-süsinik kolmsidet —C—C—C— .

Amidid – karboksüühapetest tuletatud ühendid, kus hüdroksüülrühm on asendatud aminorühmaga.

Amin – amoniaagi alküülimisel saadud ühend RNH_2 , RNH või R_2N .

Aminohape – amini- ja karboksüülrühma(või rühmi) sisaldav ühend.

Aminorühm – amoniaagist tuletatud funktsionaalne rühm —NH_2 , —NH— või —N— .

Areen ehk aromaatne süsivesinik – benseeniringi või -ringe sisaldav süsivesinik.

Aromaatne ühend – orgaaniline ühend, mis sisaldab benseeniringi või -ringe.

Asendatutu aminohape – valkude ehitamiseks vajalik aminohape, mida organism ise ei suuda sünteesida.

Asendatav aminohape – valkude ehitamiseks vajalik aminohape, mida organism suudab ka ise sünteesida.

Asendilisomeeria – isomeerid erinevad kas aatomeid, aatomirühmade või mittimolekulite asendi poolest.

Asümmeetriline süsiniku aatom – süsiniku aatom on seotud nelja erineva aatomi või aatomite rühmaga.

Atsükliline ühend – lahtise (avatud) süsinikahelaga ühend.

197

I.

SISSEJUHATUS ORGAANILISSE KEEMIASSE

1.

Miks omaette teadusharu



Mis sa arvad,
millise planeediga sarnaneks Maa,
kui orgaanilisi aineid ei oleks?

Kõikjal, kus on tegemist ainetega, on mängus ka keemia. Erinevate ainete ja erinevate keemiliste protsessidega tegelevad erinevad keemiaharud. Süsinikuühendeid ja nendevahelisi muundumisi uurib keemiaharu, mida nimetatakse **orgaaniliseks keemiaks**. Et süsinikuühendeid on väga palju ning nende osatähtsus erinevates eluvaldkondades suur, siis on orgaanilise keemia baasil tekkinud veel teisigi teadusharusid nagu biokeemia, polümeeride keemia jne. Ent miks siis ikka on ühe keemilise elemendi ühendite uurimiseks vajalik omaette keemia haru või isegi harud? Püüame leida sellele küsimusele vastuse.

Esimese põhjusena nimetatakse kõigepealt süsinikuühendite rohkest. Ligemale 95% kõigist tänapäeval tuntud ja valmistatud ainetest on süsinikuühendid. Kogu elusloodus on ülesehitatud süsinikuühenditest. Nendest on aja jooksul tekkinud ka mitmesugused loodusvarad nagu nafta, põlevkivi ja looduslik gaas. Looduslikest allikatest saadakse selliseid orgaanilisi materjale nagu kautšuk, siid ja puuvill. Meie toidulaual on taimse või loomse päritoluga söögipoolis. Ravimite, plastide, kütuste, kosmeetikatarvete, taimekaitsevahendite ja ehitusmaterjalide koostises domineerivad süsinikuühendid. Kui veidigi lähemalt tutvuda süsinikuühendite arvukuse põhjustega, mida me kohe järgmises peatükis ka teeme, siis veendud isegi, et süsinikuühendite arv on praktiliselt lõpmatult suur. Kui paljusid neid tänapäeval tuntakse ja kui paljusid kasutatakse, on iseküsimus. Täpse ülevaate registreeritud ainete arvust annab rahvusvaheline keemia teabeteenistus (*Chemical Abstract Service – CAS*). Selle õpiku kirjutamise ajal oli kataloogis kirjas 27 283 000 ainet, millest ligi

95 % on süsinikuühendid. Ent see arv näitab vaid nende ainete arvu, mida tasub kataloogi kanda. Tegelik asjade käik räägib hoopiski muust. Kui üks ravimeid tootev firma võib katsetusteks ühe kuuga sünteesida kümneid tuhandeid uusi aineid, siis jutt süsinikuühendite täpsest arvust on üsna mõttetu. Lisagem, et iga päev kantakse rahvusvahelise keemia teabeteenistuse kataloogi juurde umbes 4000 uut ainet.

Teine ja veelgi olulisem põhjus orgaanilise keemia kui omaette teadusharu eristamiseks on süsinikuühendite koostise ja ehituse eripära, millest vahetult tulenevad ka orgaaniliste ainete iseloomulikud omadused. Koosnevad ju kõik orgaanilised ained lisaks süsinikule ka vesinikust ja veidi vähemal määral hapnikust ning lämmastikust. Samuti leiab orgaaniliste ainete koostisest väävlit, fosforit, halogeene ning metalle. Et tegemist on valdavalt mittemetallidega, siis valitsev keemilise sideme liik orgaanilistes ainetes on kovalentne side. Sellise sidemega ühendid on suhteliselt madala sulamis- ja keemistemperatuuriga, ei juhi märkimisväärselt ei soojust ega elektrit. Keemiliselt on paljud süsinikuühendid üsna „õrnakesed“ – oksüdeeruvad kergesti ning lagunevad seisumisel, kuumutamisel, valguse käes või isegi mehhaaniliste mõjutuste toimetel. Miks siis muidu soovitatakse hoida ravimeid jahedas ja pimedas kohas, paljusid, eriti taimse päritoluga toiduaineid tarbida toorelt ning värskest jne. Orgaaniliste ainete vahelised reaktsioonid kulgevad sageli üsna aeglaselt nii, et enamasti tuleb abi otsida katalüsaatoritest. Organismides toimuvaid reaktsioone kiirendavad aga igale reaktsioonitüübile omad kindlad bioloogilise päritoluga katalüsaatorid – ensüümid.

Kolmas ajend orgaanilise keemia tekkeks ja kujunemiseks omaette teadusharuks on kahtlemata süsinikuühendite seos kogu elava loodusega. Ilma süsinikuühenditeta ei ole võimalik mingisugune elutegevus selle kõige madalamatest vormidest kõrgemateni välja. Kui juba 9. sajandil hakati aineid liigitama orgaanilisteks ja mineraalaineteks, mõeldi orgaaniliste ainete all taimse ning loomse päritoluga aineid. Nimetus orgaaniline tuleb tõsiasiast, et tegemist on organismidest pärit ainetega.

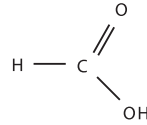
Kõiki süsinikuühendeid orgaaniliste ainete hulka ei arvata. Süsiniku oksiide, süsihapet ja selle sooli, süsinikdisulfidi, karbiide, tsüaniide ja mitmeid teisi süsinikuühendeid loetakse anorgaanilisteks aineteks ning neid uurib anorgaaniline keemia. Põlvküpüüvalt kaunid korallid ja teokarbid, mille on valmis meisterdanud vees lahustuvate kaltsiumiühendite baasil elusorganismid, koosnevad peamiselt kaltsiumkarbonaadist. Samas aga ei maksa unustada, et kõigi orgaaniliste ainete täieliku oksüdeerumise üheks lõppsaaduseks on süsinikdioksiid. Orgaaniliste süsinikuühendite mittetäielikul põlemisel tekivad ka süsinikoksiid (vingugaas) ja süsinik (tahm).

MIDA KÜLL LOODUSES EI LEIDU:

valusa nõgese kõrvetuse põhjustab mürgine sipelghape;



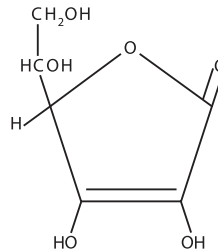
sipelghape



pihlakamarjades on rohkesti C-vitamiini;



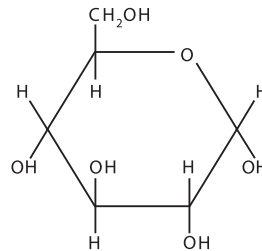
C-vitamiin



viinamarjades glükoosi, millest tuleneb ka glükoosi rahvapärane nimetus viinamarjasuhkur;



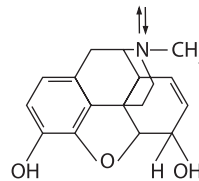
glükoos



moonides leidub tugevat valuvaigistit morfiini, ent Ekuadori värviline konna suudab valmistada sellest kümneid kordi tugevamat valuvaigistit;



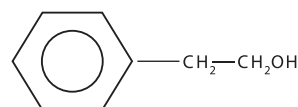
morfin

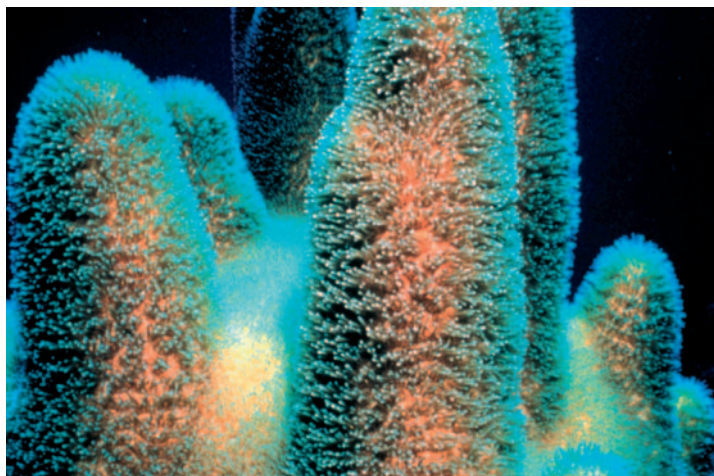


roosidele annab lõhna fenüületanool.



fenüületanool





Need imeilused korallid on sündinud elus- ja eluta looduse koostöös.

Et tänapäeval on võimalik saada õige paljusid orgaanilisi aineid anorgaanilistest, siis selles mõttes on keemia kahtlemata ühtne teadus. Kehtivad ju keemia üldmõisted ja -seaduspärasused nii anorgaaniliste kui ka orgaaniliste ainete maailmas. Teaduste loogikat ja arengut silmas pidades aga moodustab süsinikuühendite keemia ikkagi omaette teadusharu – orgaanilise keemia.

Neljandaks põhjuseks orgaanilise keemia kujunemisel omaette teaduseks ja selle kiireks arenguks on olnud, on ning ka jääb selle teadusharu erakordne roll ühiskonna arengus. Uute imepärase, lausa „mõtlevate“ ainete ja materjalide valmistamine on kõik lahutamatult seotud orgaanilise keemia edusammudega. Ravimid, mis ise leiavad üles haige koha organismis; materjalid, mis vastavalt välistingimustele muudavad ise oma omadusi, ja veel palju-palju muud meie elus kuulub orgaanilise keemia saavutuste hulka. Küll otsitakse uusi alternatiive kütustele, küll uusi ja ohutuid taimekaitsevahendeid, küll tervislikke ja mugavaid riidesorte.

ÄRA UNUSTA!

Orgaaniline keemia on teadus süsinikuühenditest:

- süsinikuühendeid on põhimõtteliselt lõpmatult palju;
- süsinikuühenditel on sarnane koostis (peamiselt C, H, O, N), sarnane keemiline side ja sarnased omadused;
- süsinikuühenditel põhineb elutegevus.



2.

Argivajadustest nüüdisteaduseni



Mis sa arvad,

millised võisid olla esimesed orgaanilised ained, mida inimene kasutas?

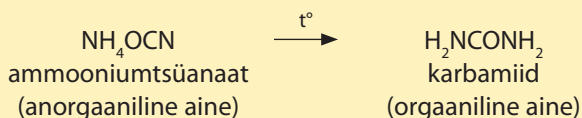
Orgaaniliste ainete kasutamine on niisama vana kui inimene ise. Vajas ta ju eluks nii toitu, rõvaid kui ka peavarju. Mida keerulisemaks inimese elustiil muutus, seda vähem rahuldas teda see, mida loodus talle valmiskujul pakkus. Ent siingi tuli inimestele appi just loodus ise. Pruukis vaid viinamarjamahl käärima jätta, kui saadi vein, mis õhu käes seismisel muutus peagi veiniäädikaks. Erilisi tehnilisi lahendusi ei nõudnud ka seemnetest õli väljapressimine või taimedest värvainete saamine. Veidi keerulisem oli roosiõli või tärpentini eraldamine.

Tule kasutusele võtmine kusagil 100 000 aastat tagasi andis kõigepealt sooja ja mitmekesistas meie eelkäijate toidulauda. Aegamööda õpiti töötlemata metalle ja neid maakidest välja sulatama. Orgaaniliste ainete kasutamisele ja valmistamisele see inimkonna avastus veel märkimisväärset mõju ei avaldanud. Sedamööda, kuidas õnnestus alkeemikutel laboritöö tehnoloogiat arendada, avanesid ka võimalused ammutuntud ainete eraldamiseks puhtal kujul. Nii õnnestus üheks oma põlvkonna korüfeks peetaval alkeemikul Geberil 8. sajandil tänu destilleerimiskunsti edusammudele saada kontsentreeritud äädikhapet. Umbes samal ajal saadi esmakordselt ka enam-vähem puhast alkoholi (etanooli). Nimetatud perioodi kuulub samuti esimene katse liigitada aineid taimseteks, loomseteks ja mineraalseteks. Selle liigituse autoriks loetakse Abu Bakr ar-Razidi.

Enamiku ajalooallikate andmetel tehti järgmine tõsisem katse ainete liigitamisel mineraalseteks ja orgaanilisteks alles aastal 1675. Sellist ainete liigitust kasutas prantsuse arst ja farmatseut N. Lemery oma loengutes ja õpikus. Taimse ja loomse päritoluga ainete koostise avastamisel on suuri teeneid ka koolikeemiast tuntud prantsuse keemikul A. Lavoisier'1. Oma põlemisteooria uuringutes leidis ta, et nn. orgaaniliste ainete põlemissaadusteks on süsinikdioksiid ja vesi. Siit tuligi järeldus, et elusast loodusest pärinevad ained koosnevad üsna väikesest arvust keemilistest elementidest, näiteks süsinikust, vesinikust, hapnikust ja lämmastikust. Selle ajastu avastuste krooniks oli kolmanda prantsuse keemiku A. Forcroy järeldus, et elusloodusest pärit ainete sarnased omadused tulenevad nende sarnasest keemilisest koostisest.

19. sajand sai määravaks orgaanilise keemia kujunemisel omaette teadusharuks. Rootsi keemiku J. Berzeliuse ettepanekul

hakati erilise „elujõu“ abil tekkinud taimse ja loomse päritoluga aineid nimetama orgaanilisteks aineteks, neid uurivat keemiaharu aga orgaaniliseks keemiaks. Seejuures viitas sõna orgaaniline nende ainete seotusele elusorganismidega. Seega on nimetus orgaaniline keemia oma olemuselt eeskätt ajalooline, mitte sisuline. Peagi sai aga selgeks, et erilist „elujõudu“ pole orgaaniliste ainete saamiseks vaja. Nimelt õnnestus saksa keemikul F. Wöhleril valmistada aastail 1824–1828 organismide jääksaadust karbamiidi (urea ehk kusiaine) ilma igasuguse „elujõuta“ mineraalide maailma kuuluvatest ainetest. Ammooniumtsüanaadi kuumutamisel muundus see karbamiidiks:



Esimene pääsukene „elujõu“ seisukoha pooldajaid veel ei veennud, ent järgnevad orgaaniliste ainete sünteesid anorgaanilistest näitasid ilmekalt terava piiri puudumist elusa ja eluta looduse vahel. Mineraalainetest saadi sipelghapet (1831. a. T. Pelouze), äädikhapet (1845. a. A. Kolbe), rasvu (1850. a. M. Bertholet) ja edaspidi teisi seni vaid elusloodusest eraldatud aineid.

Orgaaniliste ainete ehituse seisukohast olid 19. sajandil tähtsamad järgmised avastused. 1858. a. väitis saksa keemik A. Kekule, et süsiniku aatom moodustab alati neli keemilist sidet. Kolm aastat hiljem, s.o 1861. aastal esitas vene teadlane A. Butlerov oma orgaaniliste ainete keemilise ehituse teooria. Selle kohaselt on oluline, millises järjestuses süsiniku aatomid ühinevad. Süsiniku aatomi ruumilise ehituse selgitasid 1874. a. prantslane A. Le Bel ja hollandlane J. van't Hoff. Nende seisukoha järgi on süsiniku aatom korrapärase nelitahuka – tetraeedri keskel, millest suunduvad neli sidet tetraeedri tippudesse.

Orgaaniliste ainete ehitus ning selle mõju nende omadustele hakkas saama selgemaks 20. sajandil, pärast seda, kui oli kindlaks tehtud aatomi ehitus. Kuni tänaseni kasutatakse orgaaniliste ainete ehituse kirjeldamisel G. Lewis' e ja W. Kosseli kovalentse sideme teooriat. Selle kohaselt tekib keemiline side orgaanilistes ainetes ühise või ühiste elektronipaaride kaudu. Et keemiline side orgaanilistes ainetes pole ainult süsiniku aatomite vaheline side, said süsinikuühendite ehituse ja reaktsioonivõime uurimisel määravaks järgmised avastused. 1920-ndatel aastatel oletasid inglise keemikud sir C. K. Ingold ja R. Robinson, et orgaaniliste ainete molekulides on suurema ja väiksema elektroni- de esinemise sagedusega piirkonnad. Kahekordne Nobeli preemia laureaat L. Pauling näitas 1930-ndatel aastatel aga arvuliselt, et erinevate keemiliste elementide aatomid seovad erinevalt

Alkeemia suurkujud

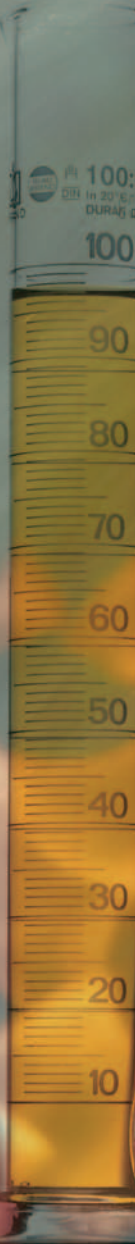


Arnold Villanovast

Abu Bakr ar-Razi

**Džabir ibn Hajjan
(Geber)**

Hermes



Orgaanilise keemia tekkelugu

N. Lemery
(1645 – 1716)

A. Lavoisier
(1743 – 1794)

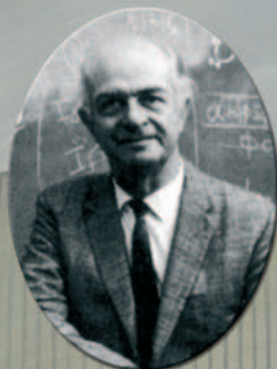
J. Berzelius
(1779 – 1848)

F. Wöhler
(1800 – 1882)

A. Butlerov
(1828 – 1886)

F. Kekule
(1829 – 1896)

J. van't Hoff
(1852 – 1913)



L. Pauling
(1901 – 1994)

C. K. Ingold
(1893 – 1970)

W. Kossel
(1888 – 1956)

R. Robinson
(1886 – 1975)

G. Lewis
(1875 – 1946)

A. Le Bel
(1847 – 1930)

elektrone (elektronegatiivsus) ning et sõltuvalt ühiste elektronide (elektronipaaride) erinevast jaotusest molekulis ei saa orgaaniliste ainete ehitust kirjeldada ainult ühe kindla klassikalise struktuurivalemiga (resonantsstruktuurid). Orgaaniliste ainete reaktsioonivõime ja mehhanismide selgitamisele aitas kaasa aine koostisosade jagamine elektofiilideks ja nukleofiilideks (C. K. Ingold). Esimesed neist seovad keemiliste reaktsioonide käigus elektrone (elektronipaari), teised seevastu loovutavad.

Edasine orgaanilise keemia kui teaduse areng seostus molekulide ehituse ja sellest tingitud omaduste uurimisega. Algas see juba 20. sajandi alguses, mil saksa keemik E. Fischer tegi kindlaks suhkrute ehituse ja sünteesis terve rea seni loodusest saadud suhkruid. Taoliste uuringute eesmärgiks ongi olnud ja ka jääb loodusest eraldatud ainete süntees laboritingimustes ning täiesti uute etteantud omadustega ainete valmistamine. Kui pikk ja keeruline see tegevus on, kinnitab tõsiasi, et ikka pole suudetud valmistada kõikide haiguste vastu ravimeid, ikka ei rahulda meie kasvavaid vajadusi olmekeemia tooted, ikka ei leita naftast toodetud bensiinile sobivaid alternatiive jne. Orgaanilisel keemial on tulevikku nii ühiskonna kui iga selle üksikliikme seisukohalt.

3.

Pilk tulevikku



Mis sa arvad,

mis laadi avastused orgaanilise keemia valdkonnas on pälvinud kõige enam Nobeli preemiaid?

Tänapäeva keemia tähtsaimaks alustalaks on kujunenud orgaaniline keemia ehk süsinikuühendite keemia. Kasvanud ajalooliselt välja looduslike ühendite uuringutest, on orgaaniline keemia ja selle saavutused tänapäeval tunginud paljudesse teistesse teaduse ja tehnoloogia harudesse. Sellised kolmanda aasatatuhande võtmetehnoloogiad nagu bio- ja geenitehnoloogiad, aga ka nanotehnoloogia tuginevad orgaanilistele ühenditele, nendest moodustatud struktuuridele ning keemilistele reaktsioonidele nende vahel. Kogu kaasaegne biomeditsiin on mõeldamatu ilma orgaanilise keemiata, sest praktiliselt kõigi uute ravimite toimeained on orgaanilised ühendid. On tekkinud terve uus tööstusharu – kombinatoorsüntees, mis võimaldab ka suh-



*Nii sünnivad TTÜ
orgaanilise keemia
instituudis uued ained.*

teliselt väikestel ettevõtetel luua kümneid tuhandeid uusi orgaanilisi aineid vaid ühe kuu jooksul. Arusaadavalt on sellisest uute ainete tohutust hulgast palju tõenäosem leida hästi toimivaid ja kõrvalmõjudeta ravimeid.

Alanud uuel aastatuhandel muutub maakera kasvavale inimkonnale järjest kitsamaks. Juba praegu tekitab teadlaste, aga ka tootjate hulgast suurt muret paljude ressursside nappus. Saame ju näiteks suurema osa oma energiast nn. fossiilsetest, maa seest kaevandatavatest maavaradest, mille varud pole lõputud. Neidsamu maavarasid kasutavad aga ka keemiatööstus, ehitus ja paljud teised eluvaldkonnad. Seega on tulevikku vaadates meie jaoks äärmiselt oluline leida ja leiutada uusi tehnoloogiaid, mis kasutaksid taastuvaid tooraineid. Ennekõike oleksid selliste toorainete allikad mitmesugused taimed, mis tärkavad igal kevadel uuesti ning talletavad otseselt päikeseenergiat. Taimedest saadavad biodiisel, bioetanool ja biogaas, mis koosnevad küllaltki lihtsatest orgaanilistest ainetest, on juba praegu laialdaselt kasutusel. Uute tehnoloogiate loomine nende odavamaks ja keskkonnasäästlikumaks tootmiseks esitab aga orgaanilisele keemiale üha uusi väljakutseid.

Orgaanilisel keemial on pakkuda erinevaid uusi lahendusi ka teistele maailmas üha teravamaks muutuvatele keskkonnaprobleemidele. Orgaanilistest ainetest koosnevad biolagunevad materjalid võimaldavad hoida palju puhtamana meid ümbritseva keskkonna – metsad ja põllud, jõed, järved ja mered. Orgaanilistest ühenditest valmistatud miniatuurised kunstlikud tundlad – sensorid – annavad meile kiiresti ja täpselt teavet meid ümbritseva õhu, vee ja pinnase reostusest, et saaksime sellest õigeaegselt vabaneda. Ka siin tuleb meile veel kord appi orgaa-

niline keemia, sest mitmed puhastehnoloogiad kasutavad just orgaanilisi aineid.

Orgaaniline keemia on tihedalt seotud ka sellise kõrgtehnoloogilise valdkonnaga nagu nanotehnoloogia, seda ennekõike nn. „tarkade materjalide“ näol. Sellised, orgaanilistest ainetest koosnevad materjalid muudavad oma omadusi muutuste mõjul ümbritsevas keskkonnas. Lihtsaks näiteks on peagi meie ellu sisenenud „targad“ pakkematerjalid. Mõned neist muudavad oma värvust (muutudest värvusetust näiteks punaseks või siniseks), kui neisse pakitud toiduained riknevad. Seega saab juba pakendi värvuse järgi otsustada, kas ostetud toit on ikka värske. Teised uued pakkematerjalid sisaldavad aga baktereid hävitavaid orgaanilisi aineid, tagades nii haiglates kasutatavate materjalide ja seadmete puhtuse.

Omamoodi uut ajastut orgaaniliste ainete sünteesis tähistab elektrit juhtivate polümeeride saamine. Nimetatud avastuse eest pälvis teadlaste kollektiiv A. J. Heeger, A. G. MacDiarmid ja A. Shirakawa 2000. aastal Nobeli keemiapreemia.

MÕTLE, OTSUSTA, LAHENDA!

1. Millised nähtused elust tõestavad, et orgaanilised ained sisaldavad süsinikku?
2. O. Lutsu hästituntud „Kevades“ on järgmine episood.

Vahetunni ajal ahju lähedal kõneles üks nirginäoga, elavate silmadega poiss väga saladuslike liigutuste saatel järgmist: „Kasta hanesulg piima sisse, kirjuta puhta paberilehe peale oma nimi, lase kuuma triikrauaga üle, küll sa siis näed.“

Mida pidid klassikaaslased nägema?
Mida nähtu näitab?

3. Milliste probleemidega tegelesid iatrokeemia, flogistonikeemia, pneumaatiline keemia?
4. Miks on tarvis teada orgaaniliste ainete ehitust pisemate üksikasjadeni?
5. Millist laadi uurimuste eest orgaanilises keemias on saanud kõige rohkem Nobeli preemiaid?

