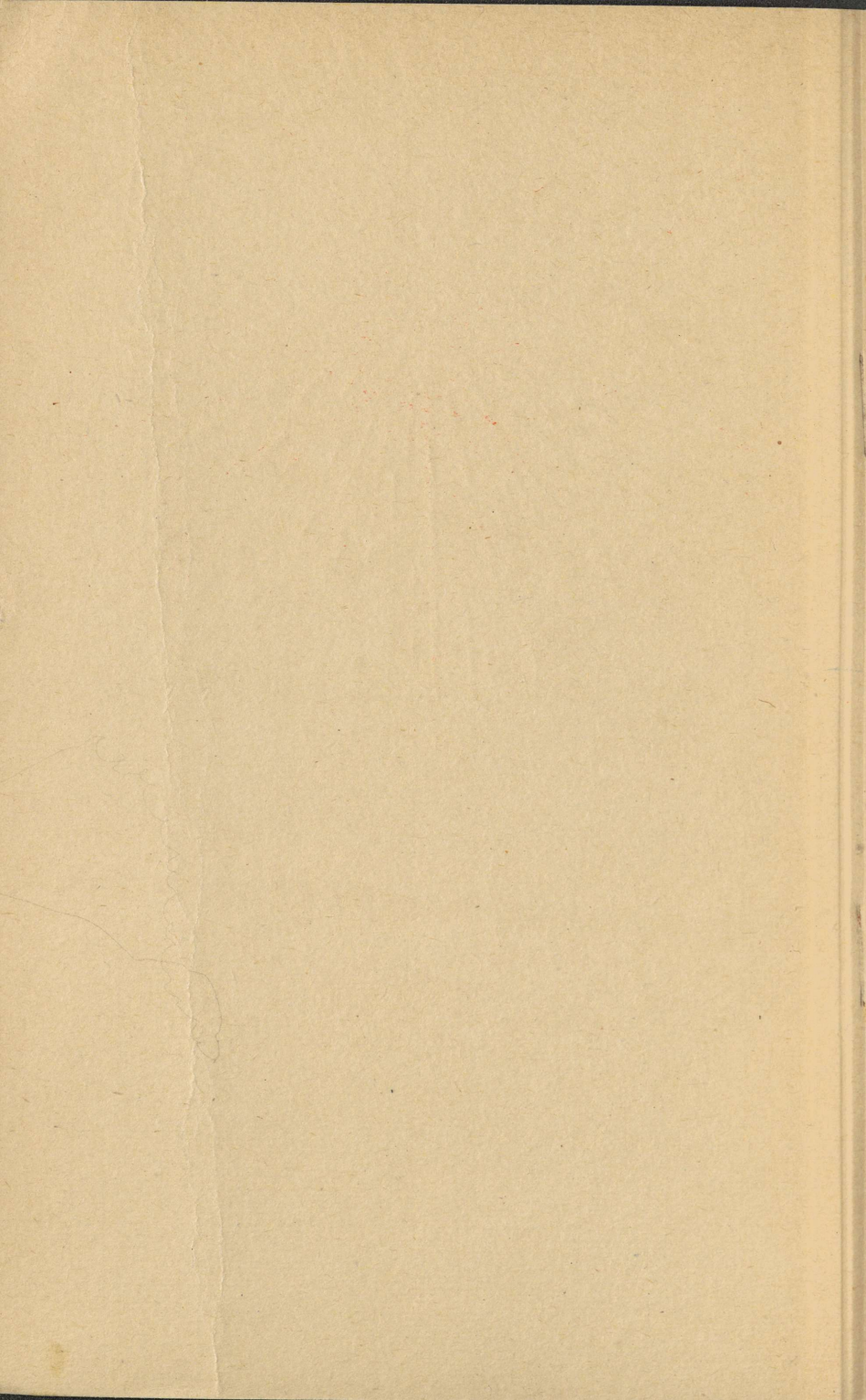


V-38093

AN. NESMEJANOV

*Radioaktiivsed
elemendid
ja nende
rakendamine*



V - 38093

An. N. NESMEJANOV

RADIOAKTIIVSED ELEMENDID
JA NENDE RAKENDAMINE



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1956

Originaali tiitel:

Ан. Н. Несмеянов

Радиоактивные элементы и их применение

Военное Издательство Министерства Обороны
Союза ССР

Москва — 1955

Tõlkinud H. Riikoja



SISSEJUHATUS

Üheksateistkümnenda sajandi lõppu ja kahekümnenda algust tähistab rida suuri teaduslikke avastusi füüsika ja keemia valdkonnas. Sellesse ajajärku kuulub röntgenikiirte, elektronide ja lõpuks ka radioaktiivsuse avastamine.

Pole veel möödunud poolt sajanditki radioaktiivsete elementide avastamise ajast, kui nad füüsika ja keemia tormilise arenemise tulemusel juba on leidnud kõige laialdasemat rakendamist teaduses ning tehnikas.

Võib ära märkida kolme radioaktiivsete elementide rakendamise põhiviisi. Neid kasutatakse, esiteks, uue teadusliku uurimise relvana — märgitud aatomitena — mitmesugustel teadusaladel: füüsikas, keemias, bioloogias, arstiteaduses, geoloogias ja isegi arheoloogias. Teiseks kasutatakse neid röntgenikiirte asemel kiiritajatena tootmise automaatse kontrollimise riistade ehitamisel, mõõduriistade valmistamisel jne. Kolmandaks on nad aatomienergia allikaks.

Aatomienergia vabastamine ja kasutamine on inimkonnale suur saavutus, mis on avanud tohutud väljavaated ühiskonna tootlike jõudude edasise arengu alal. Pole aga saladus, et mõjukad ringkonnad Ameerika Ühendriikides ja mõnedes teistes kapitalistlikes maades on seadnud enesele eesmärgiks panna aatomienergia teenima sõjaplaane. Rahvaste elulised huvid nõuavad seda, et aatomienergia kasutamise purustamise ja inimeste massilise hävitamise eesmärgil keelataks ära, et seda võimsat loodusjõudu kasutataks eranditult loomise huvides, inimkonna arengu huvides. Nõukogude teadus on saavutanud väljapaistvat edu aatomienergia kasutamises rahulikel ees-

märkidel: Nõukogude Liidus töötab aatomienergia juba elektri jaam.

Selles raamatus jutustatakse radioaktiivsete elementide rakendamisest rahulikel eesmärkidel ja nende võimalikust kasutamisest sõjaasjanduses. Enne aga, kui jutustada kõigest sellest, on vaja tuletada meelde, millest koosneb aine, kuidas on ehitatud molekulid ja aatomid, mida kujutab enesest radioaktiivsuse nähtus ja missugused omadused on radioaktiivsetel elementidel.

I. MATEERIA EHITUS

1. Aine

Kõik meid ümbritsevad esemed koosnevad ühtedest või teistest ainetest. Majad on ehitatud rauast, betoonist, tellistest ja puidust, aknaraamidesse on pandud klaas, masinate ja tööpinkide osad on valmistatud terasest ning teistest metallidest jne. Ainete maailm on väga mitmekesine. Ainetel on kõige erisugusemad omadused. Ühed neist on kõvad, teised pehmed, ühed on läbipaistvad, teised läbipaistmatud, ühete värvus erineb teiste värvusest jne. Omaduste erinevus sõltub aine koostisest.

Aine ei ole pidev. Teda võib jaotada väga väikesteks osakesteks, mida nimetatakse molekulideks. Molekulid omakorda koosnevad veelgi väiksematest osakestest — aatomitest. Nii koosneb puhas vesi molekulidest, millede koostisse kuuluvad vesiniku- ja hapnikuaatomid; väävelhappe molekulid koosnevad vesiniku-, hapniku- ja väävliaatomeist jne. Molekulide koostis ja aatomite omavaheline seos nendes määravad ära aine omadused. Antud aine kõigil molekulidel on ühesugune koostis ja nad erinevad teise aine molekulidest nende koostisse kuuluvate aatomite poolest.

Gaaside metaani ja atsetüleeni molekulid näiteks koosnevad süsinikust ja vesinikust, kuid metaani molekuli koostisse kuulub üks süsinikuaatom ja neli vesinikuaatomit, atsetüleeni molekuli koostisse aga kaks süsinikuaatomit ja kaks vesinikuaatomit. Puupiirituse molekulid erinevad metaani molekulidest selle poolest, et nende koostisse kuulub peale vesiniku- ja süsinikuaatomite veel hapnikuaatom.

Praegusel ajal tuntakse sadat erisugust aatomiliiki ehk, nagu on hakatud nimetama ühesuguste aatomite kogumit, sadat erisugust keemilist elementi.¹ Vesinik, hapnik, lämmastik, väävel, süsinik, raud, vask, tsink jne. — kõik need on keemilised elemendid.

Kogu meid ümbritsevate ainete mitmekesisus koosneb järelikult kõigest sadat liiki aatomitest, mis omavahel ühinedes moodustavad loendamatu hulga erisuguse koostisega molekule.

2. D. I. Mendelejevi avastus

Kõik praegusel ajal teada olevad elemendid on esitatud lk. 6—7 toodud, D. I. Mendelejevi elementide perioodiliseks süsteemiks nimetatavas tabelis. Selle tabeli igasse ruutu on märgitud keemilise elemendi tähis (sümbol), tema nimetus ja arvud, milledest ülemine näitab elemendi järjekorranumbrit, alumine aga tema aatomkaalu.

Keemiliste elementide sümbolite abil saab hõlpsasti väljendada mitmesuguste ainete molekule. Vee molekul näiteks väljendub valemiga H_2O . See tähendab, et molekuli koostisse kuuluvad kaks vesinikuaatomit (H_2) ja üks hapnikuaatom (O). Sümbolitega saab edasi anda ka ühe või teise keemilise protsessi kulgu. Raua reaktsioon väävelhappega väljendub järgmisel viisil:



Elementide paigutus perioodilises süsteemis ei ole juhuslik, vaid allub ühele tähtsaimale loodusseadusele — elementide perioodilisuse seadusele —, mille avastas suur teadlane D. I. Mendelejev. See seadus oma tänapäevases sõnastuses ütleb, et elementide omadused on perioodilises sõltuvuses nende aatomite tuumade laengutest.

Mendelejev avastas perioodilisuse seaduse 1869. aastal. Tol ajal ei teatud aatomi ehituse kohta veel mitte midagi ja Mendelejev sõnastas oma seaduse järgmiselt: «Lihtsate kehade omadused, samuti ka elementide ühendite kuju ja omadused on perioodilises sõltuvuses elementide aatomkaalude väärtustest.» Kui paigutada elemendid nende

¹ On andmeid ka saja esimese elemendi — mendeleviumi — avastamise kohta. *Tõlk.*

D. I. Mendelejevi elementide

| | | E L E M E N T I D E | | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| D | 1 | ¹ H Vesinik 1,008 | | | | |
| | 2 | ³ Li Liitium 6,9 | ⁴ Be Berüllium 9 | ⁵ B Boor 10,8 | ⁶ C Süsinik 12 | ⁷ N Lämmastik 14 |
| | 3 | ¹¹ Na Naatrium 23 | ¹² Mg Magneesium 24,3 | ¹³ Al Alumiinium 27 | ¹⁴ Si Räni 28,1 | ¹⁵ P Fosfor 31 |
| O | 4 | ¹⁹ K Kaalium 39,1 | ²⁰ Ca Kaltsium 40,1 | ²¹ Sc Skandium 45,1 | ²² Ti Titaan 47,9 | ²³ V Vanaadium 51 |
| | | ²⁹ Cu Vask 63,6 | ³⁰ Zn Tsink 65,4 | ³¹ Ga Gallium 69,7 | ³² Ge Germaanium 72,6 | ³³ As Arseen 74,9 |
| R | 5 | ³⁷ Rb Rubiidium 85,5 | ³⁸ Sr Strantsium 87,6 | ³⁹ Y Ütrium 88,9 | ⁴⁰ Zr Tsirkoonium 91,2 | ⁴¹ Nb Niobium 92,9 |
| | | ⁴⁷ Ag Hõbe 107,9 | ⁴⁸ Cd Kadmium 112,4 | ⁴⁹ In Indium 114,8 | ⁵⁰ Sn Tina 118,7 | ⁵¹ Sb Antimon 121,8 |
| E | 6 | ⁵⁵ Cs Tseesium 132,9 | ⁵⁶ Ba Baarium 137,4 | ^{57-71*} La Lantaan 138,9 | ⁷² Hf Hafnium 178,6 | ⁷³ Ta Tantaal 180,9 |
| | | ⁷⁹ Au Kuld 197,2 | ⁸⁰ Hg Elavhõbe 200,6 | ⁸¹ Tl Tallium 204,4 | ⁸² Pb Seatina 207,2 | ⁸³ Bi Vismut 209 |
| 7 | ⁸⁷ Fr Frantsium | ⁸⁸ Ra Raadium 226 | ⁸⁹ Ac Aktiinium 227 | ⁹⁰ Th Toorium 232,1 | ⁹¹ Pa Profaktiinium 231 | |

| * HARULDASED | | | | |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| ⁵⁸ Ce Tseerium 140,1 | ⁵⁹ Pr Praseodüüm 140,9 | ⁶⁰ Nd Neodüüm 144,3 | ⁶¹ Pm Promeetium | ⁶² Sm Samaarium 150,4 |
| ⁶⁵ Tb Terbium 159,2 | ⁶⁶ Dy Düsproosium 162,5 | ⁶⁷ Ho Holmium 164,9 | ⁶⁸ Er Erbium 167,2 | ⁶⁹ Tu Tuulium 169,4 |

| * * URAANI-JÄRGSED | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| ⁹³ Np Neptuunium | ⁹⁴ Pu Plutoonium | ⁹⁵ Am Ameriitsium | ⁹⁶ Cm Küürium | ⁹⁷ Bk Berkelium |

perioodiline süsteem

| R O H M A D | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| VI | VII | VIII | | | O |
| | | | | | He ² Heelium 4 |
| 8 O Hapnik 16 | 9 F Fluor 19 | | | | Ne ¹⁰ Neoon 20,2 |
| 16 S Väävel 32,1 | 17 Cl Kloor 35,5 | | | | Ar ¹⁸ Argoon 39,9 |
| Cr ²⁴ Kroom 52 | Mn ²⁵ Mangaan 54,9 | Fe ²⁶ Raud 55,9 | Co ²⁷ Koobalt 58,9 | Ni ²⁸ Nikkel 58,7 | |
| 34 Se Seleen 79 | 35 Br Broom 79,9 | | | | Kr ³⁶ Krüptoon 83,7 |
| Mo ⁴² Molibdeen 96 | Tc ⁴³ Tehneetsium | Ru ⁴⁴ Ruteenium 101,7 | Rh ⁴⁵ Roodium 102,9 | Pd ⁴⁶ Palladium 106,7 | |
| 52 Te Telluur 127,6 | 53 J Jood 126,9 | | | | Xe ⁵⁴ Ksenoon 131,3 |
| W ⁷⁴ Volfram 183,9 | Re ⁷⁵ Reenium 186,3 | Os ⁷⁶ Osmium 190,2 | Ir ⁷⁷ Iriidium 193,1 | Pt ⁷⁸ Platina 195,2 | |
| 84 Po Poloonium 210 | 85 At Astatiin | | | | Rn ⁸⁶ Radoon 222 |
| U ^{92**} Uraan 238,1 | | | | | |
| MULLAD | | | | | |
| Eu ⁶³ Euroopium 152 | Gd ⁶⁴ Gadollinium 156,9 | | | | |
| Yb ⁷⁰ Üterbium 173 | Lu ⁷¹ Luteetsium 175 | | | | |
| ELEMENDID | | | | | |
| Cf ⁹⁸ Kalifornium | An ⁹⁹ Ateenium | Ct ¹⁰⁰ Tsentuurium | | | |

aatomkaalude suurenemise järgi järjekorda, siis hakkavad teatud perioodide tagant korduma sarnaste omadustega elemendid. Kui nii viisi järjekorda korraldatud elemendid paigutada mitmesse ritta nii, et aatomkaalud suureneksid vasakult paremale ja sarnased elemendid oleksid üksteise all ühes vertikaalses veerus, siis saadakse elementide perioodiline süsteem. Selle ülesande lahendaski 1869. aastal D. I. Mendelejev, väljendades avastatud seaduse tabelina.

Võiks arvata, et Mendelejevil polnud raske teha seda avastust, sest seadus on väga lihtne. Tegelikult aga oli ülesanne äärmiselt keerukas. Mendelejevi ajal tunti ainult kaht kolmandikku Maal leiduvatest elementidest ja nende paigutamine aatomkaalude suurenemise järjekorda ei andnud õiget omaduste kordumist. Kuid Mendelejev, olles sügavalt veendunud tema poolt leitud seaduspärasuse kehtivuses, oskas õigesti paigutada kõik tuntud elemendid, jättes vabaks tabeli need ruudud, mida pidid enda alla võtma veel leidmata elemendid.

Omistades põhilist tähtsust elementide keemiliste omaduste perioodilisele korduvusele, ei paigutanud Mendelejev real juhtudel elemente aatomkaalude suurenemise järjekorda.

Kasutades perioodilisuse seadust, ennustas Mendelejev alles avastamata elementide omadusi.

Kõik perioodilise süsteemi tühjad ruudud täideti hiljem uute elementidega ja vene teadlase ennustused tõestusid.

Ilma Mendelejevi perioodilise tabelita poleks olnud võimalikud paljud suured kahekümnenda sajandi avastused. Need avastused omakorda näitasid suure teadlase poolt leitud seaduse kogu sügavust. Nii näiteks osutus elemendi järjekorranumber tabelis mitte lihtsalt järjekorranumbriks, vaid omandas sügava füüsikalise tähenduse.

3. Aatomite maailm

Aatomite ja molekulide mõõtmed ning nende kaalud on tühiselt väikesed, nii et kui neid väljendada tavalistes mõõtühikutes — grammides ja sentimeetrites —, siis kujunevad arvud, mida on äärmiselt ebamugav kasutada. Nii on hapnikuaatomi kaal 0,000 000 000 000 000 000 000 026 grammi.

Kõige kergem aatom — vesinikuaatom — kaalub 16

korda vähem kui hapnikuaatom, ühe raskeima tänapäeval teada oleva elemendi — kaliforniumi — aatom aga on kõigest 15 korda raskem kui hapnikuaatom.

Molekulide koostisse kuuluvate aatomite arv pole suur, mistõttu ka molekulide kaalud väljenduvad samasuguste väikeste arvudega nagu aatomite kaaludki. Isegi mõningate valkainete hiiglaslikud molekulid, mis on hapnikuaatomist 1000 korda raskemad, omavad väga väikest kaalu.

Arvutades, kui palju aatomeid või molekule sisaldub mingisuguse aine ühes grammis, saame tohutu suured arvud. Ühes grammis rauas näiteks sisaldub 10 000 000 000 000 000 000 aatomit. Gramm rauda moodustab aga kuubiku, mille serva pikkus on $\frac{1}{2}$ sentimeetrit. Siit on hõlpus leida, et joonele, mille pikkus võrdub ühe sentimeetriga, mahub tihedalt üksteise kõrvale 40 miljonit raua-aatomit. Ühes grammis rauas on nii palju aatomeid, et kui need paigutada sirgjoonele, siis peaks reaktiivlennuk lendama 300 aastat, et ületada seda kaugust.

Et veelgi paremini kujutleda kõige väiksemates ainekogustes sisalduvate aatomite arvu tohutut suurust, vaatleme järgmist näidet. Kui Moskvast asetseva maja või tehase korstnast lendaks välja 1 gramm tahma ning jaotuks ühtlaselt kogu linna pindalale, siis osutuks, et igal ruutsentimeetril on 500 miljardit süsinikuaatomit, millest tahm koosneb.

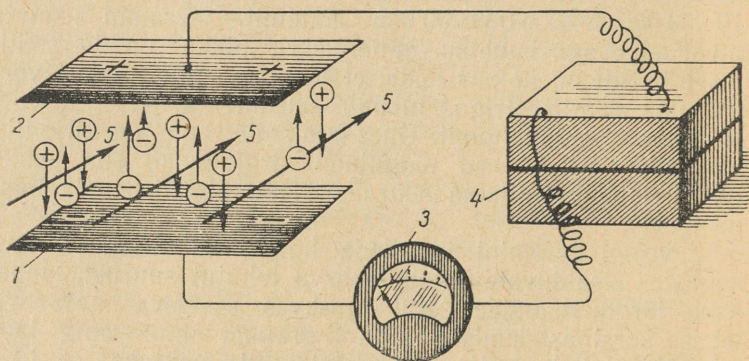
Praktikas kasutatakse tavaliselt nõndanimetatud aatom- ja molekulkaalude süsteemi. Selle süsteemi kohaselt väljendub mistahes elemendi aatomkaal hapnikuaatomi kaalu kaudu, mis leppeliselt on võetud võrdseks 16 aatomi massiühikuga. Kõige kergema aatomi — vesinikuaatomi — kaal võrdub selle kaalusüsteemi kohaselt ligikaudu ühega, kõige raskema loodusliku elemendi — uraani — oma aga ligikaudu 238-ga. Vee molekulkaal on selle süsteemi kohaselt 18.

4. Radioaktiivsuse avastamine

Möödunud sajandi lõpul avastas prantsuse füüsik H. Becquerel, et kõik ained, millede koostisse kuulub element uraan, levitavad mingisuguseid kiiri. Need kiired, samuti nagu päikesekiiredki, toimivad fotoplaadile, põh-

justades valgustundliku kihi säritumist, kuid erinevalt päikesekiirtest avaldavad uued kiired oma toimet ka sel juhul, kui plaat on mähitud musta paberisse.

Becquerel'i poolt avastatud kiirte uurimisele asusid paljud teadlased. Eriti viljakas oli Marie Curie-Sklodowska ja tema mehe Pierre Curie töö. Esialgu nad leidsid, et Becquerel'i kiiri levitavad ainult need ained, mis sisaldavad uraani või tooriumi. Nende kiirte registreerimiseks ehitas Pierre Curie erilise riista. Riista tegutsemine põhineb sellel, et Becquerel'i kiired muudavad õhu elektrivoolu juhiks. Riist tegutseb joonisel 1 näidatud skeemi kohaselt.



Joon. 1. Becquerel'i kiirte registreerimiseks määratud riista skeem: 1 ja 2 — metallplaadid, 3 — galvanomeeter, 4 — vooluallikas, 5 — uuritava aine kiirgus.

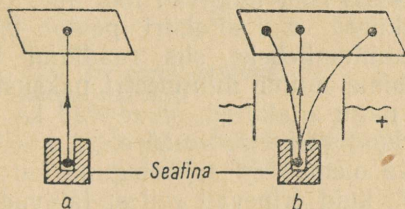
Metallplaadike 1 on ühendatud elektripatarei negatiivse poolusega, plaadike 2 aga positiivse poolusega. Kui plaadikesele 1 asetada kiirgav aine, siis muutub õhk elektrivoolu juhiks, vooluring sulgub ja galvanomeetri 3 osuti hälbib. Mida rohkem kiiri levitab aine, seda tugevam on kiirgus ja seda suurema hälbe annab osuti.

Marie Curie tegi kindlaks, et kiirgus on seda tugevam, mida rohkem uraani sisaldub aines. Peagi aga selgus, et üks uraanimaak, nn. uraanipigimaak, andis mitu korda tugevamat kiirgust kui puhas uraan, vaatamata sellele, et uraanipigimaagis sisaldus ainult mõni protsent uraani. See asjaolu näitas ilmekalt, et uraanipigimaagis sisaldub mingit ainet, mis on suuteline andma palju tugevamat kiirgust kui uraan ise.

Selle tundmatu aine otsingutele asusidki Marie ja Pierre Curie. Kaheaastase töö tulemusena õnnestus neil avastada uraanimaagis kaht uut liiki aatomeid, kaht uut elementi — raadiumi ja polooniumi. Poloonium sai oma nime Marie Curie kodumaa Poola järgi, raadium aga oma kiirguse eest («radius» tähendab ladina keeles kiirt). Kiirgus ise nimetati radioaktiivseks kiirguseks.

5. Raadium

Raadium levitab kiiri nagu uraangi, kuid raadiumi kiirgus on palju tugevam. Raadium eraldab pidevalt soojust.



Joon. 2. *a* — raadiumikiirte voog tekitab fotoplaadile musta tähni, *b* — läbides tugeva elektrivälja, jaotub see voog kolme liiki kiirteks.

Kiired levivad raadiumitükikesest sirgjooneliselt igas suunas. Nad tungivad halvasti läbi seatina, ja kui raadium asetseb seatinast karbikeses, millesse on tehtud väike ava, siis levivad kiired ainult sellest avast välja ja tekitavad fotoplaadile väikese tähni (joon. 2, *a*), kuna kõik ülejäänud kiired neelduvad seatinas. Kui raadiumikiired lähuvad läbi kahe tugevasti elektriliselt laetud plaadi vahelt, siis jaotuvad nad kolmeks koostisosaks. Seda on hõlpus avastada fotoplaadi abil. Ühe tähni asemel ilmub sellele kolm: üks keskele, teine selle kõrvale, kolmas aga veidi eemale, keskkohast teisele poole (joon. 2, *b*).

Raadiumikiirte kolm liiki nimetati alfa-, beeta- ja gammakiirteks (alfa, beeta ja gamma on kreeka tähestiku kolme algustähe α , β ja γ nimed).

Alfakiired kujutavad endast positiivselt laetud osakeste

voogu, mis oma laengu tõttu kaldub kõrvale negatiivselt laetud plaadi suunas. Beetakiired on negatiivselt laetud osakeste voog, mistõttu nad tõmbuvad positiivselt laetud plaadi poole. Gammakiired ei muuda elektriväljas oma liikumise suunda, sest nad ei kannu laengut.

Teadlased leidsid, et alfakiired on heeliumiaatomite positiivselt laetud tuumade voog. Alfaosakesed lendavad raadiumiaatomite tuumadest välja tohutu kiirusega — ligikaudu 17 000 kilomeetrit sekundis. Nad on suutelised tungima läbi mitme sentimeetri paksuse õhukihi. Läbides õhku, muudavad nad selle elektrijuhiks.

Beetakiired on elektronide¹ voog. Mõned elektronid lendavad raadiumiaatomi tuumast välja kiirusega, mis saavutab valguse kiirusele lähedasi väärtusi (300 000 kilomeetrit sekundis). Nad tungivad läbi aine tunduvalt paremini kui alfakiired. Kui alfakiiri peatab 0,05 millimeetri paksune alumiiniumileheke, siis raadiumi beetakiired on võimelised läbima mitme millimeetri paksust alumiiniumikihti. Samuti nagu alfakiired, muudavad ka elektronid õhu elektrijuhiks, kuid väiksemal määral.

Gammakiirte olemus on samasugune kui tavalisel nähtaval valgusel, kuid erinevalt sellest läbivad gammakiired vabalt läbipaistmatuid materjale, näiteks paberit ja puitu. Nad on suutelised tungima läbi mitme sentimeetri paksuse seatinakihi.

Raadiumi kiirguse tugevust ei mõjuta märgatavalt niisugused välistegurid, nagu kuumutamine küllalt kõrgete temperatuurideni, jahutamine, kõrge rõhk, tugev hõren-damine, elektrivool jne.

6. Aatomi ehitus

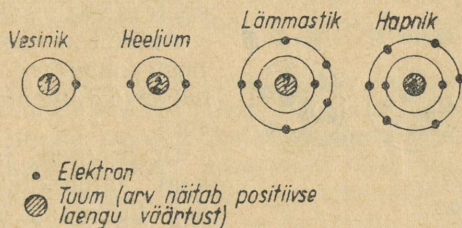
Raadiumi omaduste uurimine ja rida teisi katseid viisid teadlasi järeldusele, et aatomid on liitosakesed; nende koostisse kuuluvad positiivselt laetud osakesed ja elektronid. Kuidas siis need aatomis paiknevad?

Aatomi keskmes asetseb väga väikeste mõõtmetega positiivselt laetud tuum. Tuuma ümbritsevad elektronid. Et

¹ Elektronid on aatomite negatiivset elektrilaengut kandvad koostisosad. Elektron on ligikaudu 1850 korda kergem kui vesinikuaatom. Ta kujutab enesest väikseimat (tänapäeval teada olevat) elektrihulka — elektriaatomit.

aatom tervikuna on elektriliselt neutraalne, siis võrdub teda ümbritsevate elektronide arv tuuma positiivselt laetud osakeste arvuga.

Elektronide kaugused tuumast on tunduvalt suuremad kui tuuma enese mõõtmed. Kui tuum oleks hernetera suurus, siis peaksid elektronid olema tema keskmest kuni 100 meetri kaugusel. Tegelikult on aatomituuma läbimõõt suurusjärgus umbes 0,0001 ongströmit, aatomi enese läbimõõt aga ühest viie ongströmini¹.



Joon. 3. Mõningate aatomite ehituse lihtsustatud skeemid.

Elektronid moodustavad ainult tühise osa aatomi massist. Peaaegu kogu aatomi mass on koondunud tuuma. Kui me saaksime ühe kuupsentimeetri täita mingisuguste aatomituumadega, siis kaaluks see ligikaudu niisama palju kui Kaukasuse suurim mägi Elbrus.

Erisuguste elementide aatomid erinevad üksteisest tuuma kaalu ja laengu poolest.

Joonisel 3 on toodud mõnede aatomite ehituse lihtsustatud skeemid. Elektronid paiknevad aatomites kihtidena. Keemiliste reaktsioonide tulemusel, elektrivoolu toimel jne. võib aatom oma väliskihi elektrone üle anda teisele aatomile. Seejuures moodustuvad elektriliselt laetud aatomid, mida nimetatakse ioonideks. Ühe või mitu elektroni kaotanud aatomid muunduvad positiivseteks ioonideks, ühe või mitu elektroni juurde saanud aatomid aga negatiivseteks ioonideks.

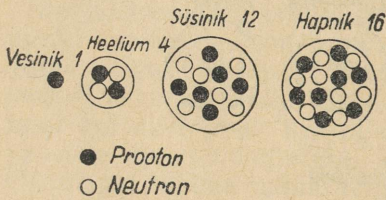
¹ Ongström [Å] on pikkuse ühik, mida kasutatakse aatomite ja molekulide mõõtmete määramisel; ta võrdub ühe sajamiljondiku sentimeetriga.

7. Aatomituuma ehitus

Nõukogude füüsik D. D. Ivanenko tegi 1932. aastal oletuse, et aatomituum koosneb kaht liiki osakestest — prootonitest ja neutronitest.

Prootonid on vesinikuaatomite tuumad; prooton kannab üht positiivset laengut ja tema mass võrdub ligikaudu ühe aatomi massiühikuga.

Neutronitel on peaaegu samasugune mass kui prootonitel, kuid nad ei kanna elektrilaengut. Nad on elektriliselt neutraalsed osakesed.



Joon. 4. Aatomituumade ehituse skeemid.

Aatomi ehituse prooton-neutroonne teooria on tänapäeva tuumafüüsika aluseks.

Et prootoni ja neutroni kaal aatomiühikutes võrdub ligikaudu ühega, siis võrdub täisarvule ümardatud aatomkaal tuuma kõigi neutronite ja prootonite arvu summaga. Seda arvu

nimetatakse massiarvuks. Prootonite arv tuumas aga võrdub elemendi järjekorranumbriga perioodilises süsteemis. Niisiis sisaldab süsinikuaatomi tuum, mis omab massiarvu 12 ja 6 ühikuga võrduvat laengut, 6 prootonit ja 6 neutronit (joon. 4). Uraaniaatomi tuum massiarvuga 238 ja laenguga 92 sisaldab 92 prootonit ja 146 neutronit.

Ivanenko oletust kinnitasid kõik edaspidi aatomituumadega teostatud katsed.

8. Isotoobid

Polooniumi ja raadiumi avastamine Marie ja Pierre Curie poolt suunas teadlasi teiste radioaktiivsete elementide otsingutele. Need otsingud lõppesid edukalt: uraani ja tooriumi maakides avastati uusi radioaktiivseid elemente.

Paljud neist osutusid oma keemiliste omaduste poolest eristamatuiks varem tuntud elementidest. Nii leiti 1906. aastal element ioonium, mis omadustelt sarnanes varem

tuntud, perioodilise süsteemi IV rühma kuuluva elemendi tooriumiga. Kõik katsed eraldada ioniumi tooriumist lõpesid ebaõnnestumisega.

1907. aastal tehti kindlaks, et äsjaavastatud element mesotoorium pole keemiliselt eristatav raadiumist.

Järgnevatel aastatel avastati uute elementide raadiumi B ja raadiumi D täielik keemiline sarnasus seatinaga. Raadiumi B ja raadiumi D aatomitel on samasugune tuuma laeng ja järelikult ka samasugune järjekorranumber kui seatina-aatomitel, kuid nad erinevad viimastest oma massi poolest. Samasugune masside erinevus esines ka tooriumil ja ioniumil ning mesotooriumil ja raadiumil.

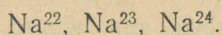
Ilmnes, et Mendelejevi perioodilise süsteemi mõnedes rüütudes peab paiknema mitut liiki aatomeid, mis omavad ühesugust tuuma laengut, kuid erisugust massi. Niisuguseid aatomeid hakati nimetama isotoopideks (nimeetus pärineb kreeka keelest ja tähendab «sama asukohta omav»). Raadiumi B ja raadiumi D hakati nimetama seatina isotoopideks, mesotooriumi I raadiumi isotoobiks jne.

Antud elemendi aatomid sisaldavad niisiis ühesuguse arvu prootoneid, kuid võivad sisaldada mitmesuguse arvu neutroneid. Sel juhul on tegemist isotoopsete aatomitega (isotoopidega).

Isotoope avastati ka mitteradioaktiivsete elementide seas. Õnnestus näiteks tõestada, et gaas neon kujutab enesest mitmesuguse massiga aatomite segu.

Hiljem avastati isotoope või saadi neid tehislikult kõigil elementidel.

Keemiliste sümbolite abil on hõlpus tähistada mitmesuguste elementide isotoope. Naatriumi isotoobid massiarvudega 22, 23 ja 24 näiteks kirjutatakse üles järgneval kujul:



Allpool on toodud mõningate elementide looduslike isotoopide tabel. Alumiiniumil, fosforil ja mangaanil on igaühel ainult üks looduslik isotoop.

Mõningate elementide looduslikud isotoobid

| Elemendi nimetus | Sümbol | Isotoopide massid |
|------------------|--------|--|
| Vesinik | H | 1, 2 |
| Süsinik | C | 12, 13 |
| Hapnik | O | 16, 17, 18 |
| Alumiinium | Al | 27 |
| Fosfor | P | 31 |
| Väävel | S | 32, 33, 34, 36 |
| Kloor | Cl | 35, 37 |
| Kaalium | K | 39, 40, 41 |
| Mangaan | Mn | 55 |
| Raud | Fe | 54, 56, 57, 58 |
| Vask | Cu | 63, 65 |
| Plaatina | Pt | 190, 192, 194, 195, 196, 198 |
| Seatina | Pb | 204, 206, 207, 208, 210, 211, 212, 214 |
| Uraan | U | 234, 235, 238 |

II. RADIOAKTIIVSED ELEMENDID

1. Radioaktiivne lagunemine

Nüüd vaatame, mis juhtub radioaktiivsete aatomitega alfa-, beeta- ja gammakiirguse puhul. Teadlased leidsid, et radioaktiivse kiirguse puhul muutuvad aatomite tuumad ja toimub ühe elemendi aatomite muundumine teise elemendi aatomiteks. Seda nähtust hakati nimetama radioaktiivseks lagunemiseks.

Iga radioaktiivne aatom muundub varem või hiljem teiseks aatomiks. Mitte kõik ühe ja sellesama radioaktiivse elemendi aatomid aga ei olele üheksa: ühed aatomid lagunevad kiiresti, teised aga võivad jääda muutumatuks väga pika aja vältel.

Missugustele seadustele siis allub radioaktiivne lagunemine?

Selgub, et ajaühikus lagunevate aatomite arv on võrdeline olemasolevate radioaktiivsete aatomite arvuga. See tähendab, et antud radioaktiivse elemendi aatomitest laguneb ajaühikus alati üks ja seesama, iga elemendi jaoks rangelt määratud murdosa.

Selle seaduse tegid teadlased kindlaks katselisel teel, jälgides radioaktiivsete elementide kiirguse tugevuse ajalist muutumist.

Aatomite ajaühikus muunduvat osa nimetatakse lagunemiskonstandiks.

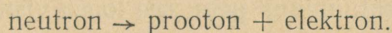
Kui meil näiteks on 8 000 000 radioaktiivset aatomit ja lagunemiskonstant on 0,1, siis tähendab see, et igas sekundis laguneb üks kümnendik olemasolevatest aatomitest: esimesel sekundil 800 000 aatomit, teisel kümnendik järelejäänud 7 200 000 aatomist, s. o. 720 000 aatomit, jne.

Radioaktiivse elemendi olemise kestust väljendatakse tavaliselt poolestusperioodiga. Poolestusperiood on ajavahemik, mille vältel olemasolevate aatomite hulk väheneb poolele. Raadiumi D poolestusperiood näiteks võrdub 22 aastaga. See tähendab, et 6 400 000 aatomist jääb 22 aasta möödumisel alles 3 200 000 aatomit, veel 22 aasta möödumisel 1 600 000 aatomit, siis 800 000 aatomit jne.

Nendes näidetes on toodud küllalt suured arvud. See on tingimata vajalik, sest väikeste arvude puhul seadus ei kehti: kahest raadiumi D aatomist võib 22 aasta kestel laguneda mitte ühtegi, võivad aga ka laguneda mõlemad.

Elementide radioaktiivsel lagunemisel esineva muundumise uurimine võimaldas teadlastel kindlaks teha reegli, mille järgi toimub selle protsessi puhul elementide ümberpaiknemine perioodilises süsteemis. See reegel nimetati «nihkereegliks». Kui radioaktiivne aatom kiirgab välja alfaosakese, siis tema tuuma laeng väheneb kahe ühiku võrra, sest alfaosakese laeng võrdub kahega. Seejuures tekib uus element, mille asukoht perioodilises süsteemis peab olema kahe ruudu võrra vasakul. Kui näiteks raadium, mis asetseb perioodilise süsteemi 88. ruudus, kiirgab välja alfaosakese, siis muundub ta radioaktiivseks gaasiliseks elemendiks radooniks, mis paikneb süsteemi 86. ruudus.

Betaosakesed on nagu alfaosakesedki radioaktiivse aatomi tuuma lagunemissaadused; nad tekivad selle tulemusel, et neutron muutub prootoniks ja elektroniks:



Beetakiirgusel tuuma laeng suureneb ühe ühiku võrra; ühe ühiku võrra suureneb ka järjekorranumber ja seetõttu peab moodustunud uue elemendi asukoht tabelis olema järgmises parempoolses ruudus. Uraan X_1 , mis tekib uraa-

nist 238, asetseb koos tooriumiga süsteemi 90. ruudus. Ta paiskab välja beetaosakese ja muundub uraaniks X_2 , mis omab järjekorranumbrit 91, olles seega protaktiiniumi isotoobiks.

Alfa- ja beetalagunemisega kaasneb enamasti gamma-kiirgus.

Gammakiirgusel aatomituum kaotab energiat, kuid tuuma koostis jääb muutumatuks.

Nihkereegel andis võimaluse leida Mendelejevi elementide perioodilises süsteemis koha kõigile uutele isotoopidele.

2. Radioaktiivsete elementide pered ja radioaktiivne tasakaal

Nihkereegli rakendamine võimaldas teadlastel kindlaks teha seose tervete radioaktiivsete elementide rühmade vahel. Nii osutus, et toorium massiarvuga 232 muundub alfaosakese väljapaiskamisel raadiumi isotoobiks — mesotooriumiks 1, mille massiarv on 228 ja järjekorranumber 88. Mesotoorium 1 omakorda paiskab välja elektroni ja muundub aktiiniumi isotoobiks — mesotooriumiks 2. Mesotoorium 2 levitab beetaikiiri ja muundub radiotooriumiks.

Muunduste ahel suundub ühelt radioaktiivselt elemendilt teisele, kuni radioaktiivse lagunemise tulemusena moodustub püsikindel element.

Nii kujuneb radioaktiivsete elementide pere ehk rida.

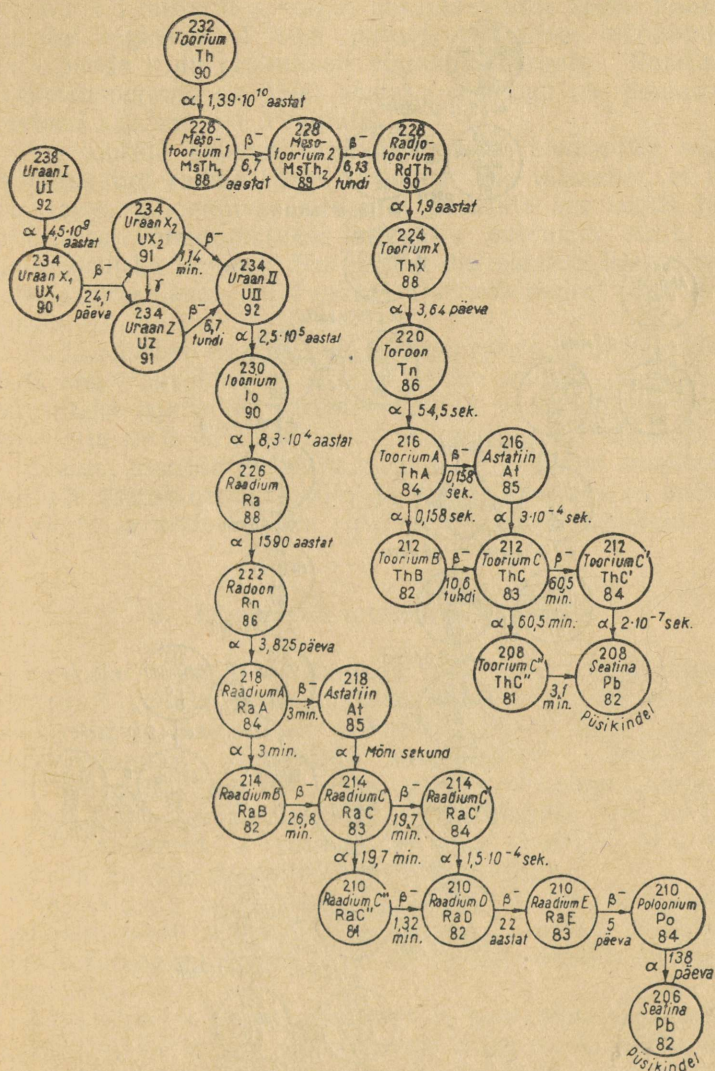
Uurides radioaktiivse lagunemise protsesse, avastasid teadlased kolm looduses esinevat radioaktiivsete elementide rida: uraani rea, tooriumi rea ja aktiino-uraani rea.

Need read algavad vastavalt uraani, tooriumi ja aktiino-uraaniga ning igaüks neist lõpeb seatina mitteradioaktiivse isotoobiga.

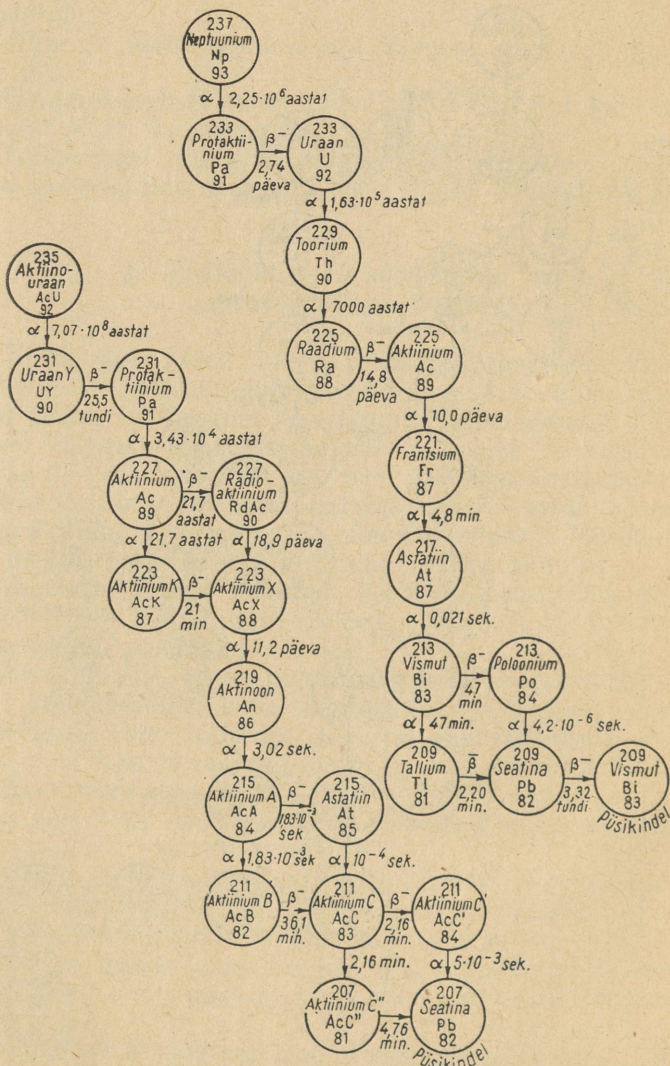
Üheks tähtsamaks uraani pere liikmeks on raadiumi isotoop massiarvuga 226; teda kasutatakse laialdaselt arsti-teaduses, tehnikas ja teaduslikus uurimistöös.

Hiljem saadi tehnikul teel uus radioaktiivsete elementide pere — neptuuniumi pere; see lõpeb vismuti püsikindla isotoobiga.

Joonistel 5 ja 6 on toodud radioaktiivsed pered. Ringidesse on märgitud elementide nimetused, massiarvud ja tuumalaengud. Noolled näitavad muundumise suunda, tähed α ja β noolte kõrval kiirguse liiki ja arvud poolestusperioodi.



Joon. 5. Uraani ja tooriumi pere.



Joon. 6. Aktiinouraani ja neptuuniumi pere.

Igas radioaktiivses peres on elemente kõige mitmesugusemate poolestusperioodidega. Uraani 238 poolestusperiood võrdub 4,5 miljardi aastaga; uraaniaatomite kogus muutub niivõrd aeglaselt, et isegi paljude sajandite möödumisel pole nende kadu praktiliselt võimalik märgata. Raadiumi poolestusperiood on 1590 aastat, raadiumi A poolestusperiood aga kõigest 3 minutit.

Aja jooksul kujuneb radioaktiivse rea elementide segus niinimetatud radioaktiivne tasakaal. See tähendab, et ühe või teise radioaktiivse elemendi aatomite arv segus jääb praktiliselt muutumatuks: kui palju aatomeid tekib, nii palju neid ka laguneb. Kui segust üks element kõrvaldada, siis tasakaal kaob, kuid teatud aja möödumisel taastub ta uuesti.

Mida suurem on elemendi poolestusperiood, seda rohkem teda segus sisaldub. Tooriumi peres näiteks moodustub tooriumist ajaühikus mesotooriumi 1 aatomeid nii palju, kui palju neid mesotooriumi 2 moodustumisel laguneb.

Uraani, tooriumi ja aktiinouraani on leidunud maakoos esinevate paljude aastatuhandete vältel ja selle aja jooksul on uraani, tooriumi ja aktiinouraani ridades kujunenud tasakaal.

3. Lämmastik muundub hapnikuks

Keskajal otsisid alkeemikud vahendeid mitmesuguste metallide kullaks muundamiseks. Need otsingud ei kandnud vilja, ja alates XVII sajandist lakkasid paljud teadlased uskumast elementide muundamise võimalikkust. XIX sajandil kujunes teaduses välja molekulaar-atomistlik õpetus. Selle õpetuse kohaselt loeti igasuguse aine koostisosi — aatomeid — jaotamatuks ning järelikult näis võimalikuna ka ühe aatomi muundamine teiseks.

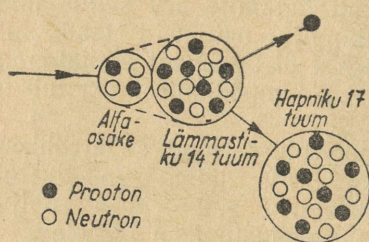
XX sajandil aga, pärast seda kui oli õpitud tundma radioaktiivsuse nähtust ja oli selgunud aatomi liitehitus, kerkis teadlastel uuesti mõte elementide tehislikust muundamisest.

Aatomituuma ei saa purustada ei kuumutamise või mitme tuhande kraadini, ei jahutamise või kõige madalamate temperatuurideni ega ka kõrgrõhuga. Aatomite purustamiseks on vaja suurt energiat. Kuni radioaktiivsete elementide avastamiseni polnud inimese käsutuses niisugust energiat.

1919. aastal otsustas inglise füüsik Rutherford kasutada

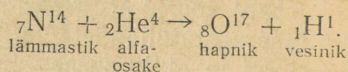
aatomite purustamiseks radioaktiivse kiirguse energiat, nimelt alfaosakeste energiat. Kiiresti lendavad, suhteliselt rasked alfaosakesed võisid olla tillukesteks mürskudeks, mis olid võimelised purustama tuuma ja viima uute tuumade moodustumisele.

Alfaosakesi kiirgav radioaktiivne preparaat paigutati gaasilise lämmastiku sisse. Põrgates kokku lämmastiku-aatomitega, tungisid alfaosakesed viimaste tuumadesse (joon. 7). Seejärel lõhustusid tuumad kaheks uueks tuumaks: hapnikuaatomi tuumaks ja vesinikuaatomi tuumaks (ehk prootoniks).



Joon. 7. Alfaosakese ja lämmastikuaatomi tuuma vastastikuse toime skeem.

Nii oli esmakordselt teostatud elementide muundamise protsess. Keemiliste sümbolite abil saab seda protsessi üles kirjutada järgneval kujul:



Prootonite ja neutronite koguarv selles protsessis ei muutu. Seetõttu peavad ülemiste arvude (massiarvude) summad noolest vasakul ja paremal olema ühesugused; alumiste arvude summa — prootonite üldine kogus tuumades — samuti ei muutu.

Tehislikult saadud hapnikuaatomi kaal võrdub 17 aatomiühikuga.

Varsti õnnestus alfaosakestega lõhustada ka rea teiste elementide aatomituumi.

4. Tehisradioaktiivsuse avastamine

Uurides alfaosakeste toimet mitmesuguste elementide aatomitele, tegid Irène ja Frédéric Joliot-Curie suure avastuse. Nad panid tähele, et alfaosakestega kiiritatud alumiinium minetab positrone — osakesi, mille mass võrdub elektroni massiga, laeng aga on võrdne ning vastasmärgiline elektroni laenguga. Positronide minetamine jätkub ka pärast alumiiniumi alfaosakestega tulistamise lõpetamist. Aja jooksul positronide arv väheneb ja lõpuks nende eraldumine lakkab.

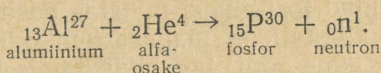
Abielupaar Joliot-Curie poolt avastatud nähtus meenu-
tas radioaktiivse lagunemise pilti. Seepärast tulid tead-
lased mõttele, et alfaosakeste toimel alumiiniumile tekib
tehislik radioaktiivne element. Tõepoolest, minetatavate
positronide arvu vähenemine allus radioaktiivse lagunemise
seadusele. Uue radioaktiivse elemendi poolestusperiood
osutus võrdseks 3,25 minutiga.

Taolisi nähtusi pandi tähele ka boori ja magneesiumi
kiiritamisel alfaosakestega.

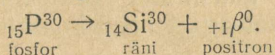
Sel viisil näitasid Joliot-Curie'd, et radioaktiivseid ele-
mente on võimalik saada tehislikult.

Missugused elemendid siis tekkisid alumiiniumist, boorist
ja magneesiumist alfaosakeste toimel?

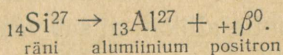
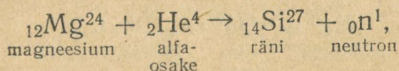
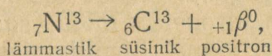
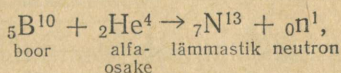
Alumiiniumi ja alfaosakeste vastastikuse toime uurimine
näitas, et esialgu lendavad alumiiniumist välja neutronid,
positronid aga ilmuvad alles pärast pommitamist. Teadla-
sed leidsid, et protsess kulgeb järgmiselt:



Moodustunud fosfor laguneb, kiirates välja positroni:



Boori ja magneesiumi pommitamisel kulgevad järgmised
reaktsioonid:



Et tõestada oma oletuse õigsust, eraldasid Joliot-Curie'd
alumiiniumist radioaktiivse fosfori.

Alfaosakestega kiiritatud alumiiniumplaadike lahustati
happes. Alumiiniumist moodustunud fosforiaatomid sattusid
koos alumiiniumiaatomitega lahusesse. Siis muundati

fosfor fosforhappeks. Saadud lahusele manustati mõni milligramm tavalist fosforhapet ja pärast seda muundati kogu fosforhape lahustumatuks soolaks, mistõttu ta sadestus lahusest välja. Sademena saadud sool sisaldas niihästi seda fosforhapet, mida lahusele lisandati, kui ka seda, mis moodustus radioaktiivse fosfori aatomitest.

Milleks siis oli vaja lisada tavalist fosforhapet?

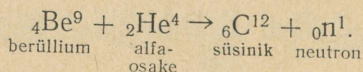
Alumiiniumist sai Joliot-Curie'de katsetel moodustuda ainult mõnikümme tuhat fosforiaatomit, s. o. 10^{18} — 10^{19} grammi fosforit. Sellest fosforikogusest oleks tekkinud nii vähe soola, et see kõik oleks vabalt lahustunud vees ja sadet ei oleks eraldunud. Lisatud mitteradioaktiivne fosforhape etendas nagu «kandja» osa. Sadestudes «kandis» ta koos enesega ära ka radioaktiivse fosforhappe tühise koguse.

Kuidas aga saada teada, kas sademes on radioaktiivse fosfori aatomeid? Joliot-Curie'd veendusid selles tänu asjaolule, et eraldunud fosforhape minetas positrone.

Samal viisil tõestati, et magneesiumi kiiritamisel moodustub radioaktiivne räni, boori kiiritamisel aga radioaktiivne lämmastik. Sellisel teel saadud ebapüsivaid elemente hakati nimetama tehisliseks radioaktiivseteks elementideks, nähtust ennast aga tehisoradioaktiivsuseks.

5. Aatomisuurtükivägi

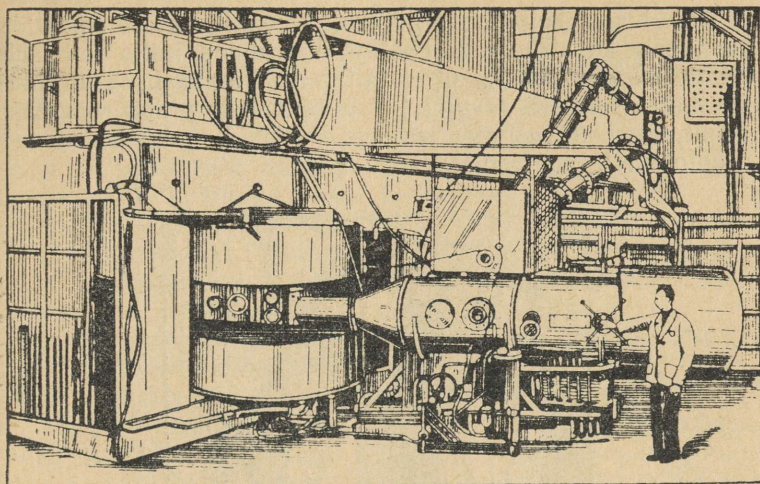
Uute tehislise radioaktiivsete elementide saamise kallal asusid tööle mitmesuguste maade teadlased. Aatomimürskudena kasutati neutroneid, mida saadi raadiumi või radooni alfaosakeste toimel berülliumisse:



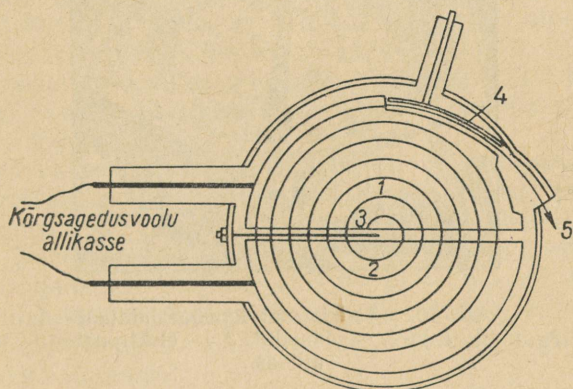
Et saada neutronite allikat, piisab raadiumbromiidi segamisest berülliumiga.

Neutronitega toimiti kõikidesse perioodilise süsteemi elementidesse. Seejuures õnnestus kindlaks teha, et enamikul juhtudel tekivad radioaktiivsed elemendid, mis levitavad beetakiiri.

Looduslikud elemendid osutusid aga mitte küllalt võimsateks tuumamürskude allikateks. Üks gramm raadiumi



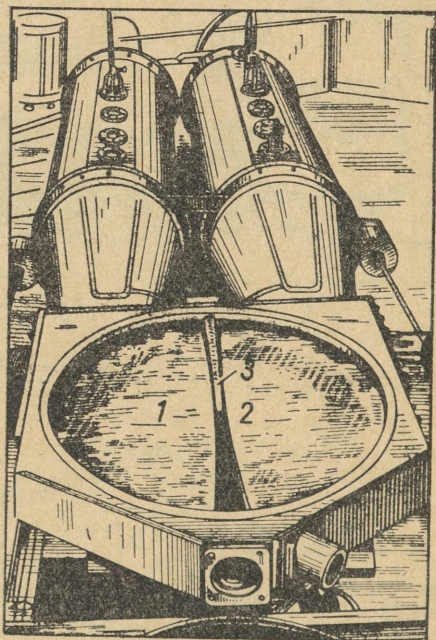
Joon. 8. Tsüklotroni välisvaade.



Joon. 9. Tsüklotroni skeem: 1 ja 2 — duandid, 3 — elektronide allikas, 4 — ioone kallutatav plaat, 5 — ioonide väljumiskoht.

näiteks minetab sekundis $3,7 \cdot 10^{10}$ alfaosakest, segus berüüliumiga aga 10^7 neutronit. Need on tohutu suured arvud, kuid tuleb silmas pidada, et aatomituumadesse toimimisel tabab ainult väike osa niisuguseid mürske märki, sest aatomituumad moodustavad aine mahust tühise osa.

Tunduvates kogustes tehislike radioaktiivsete elementide saamiseks konstrueerisid teadlased seadmed, mille abil saab tekitada alfaosakeste, prootonite, neutronite ja deuteronite suurema osakeste arvuga ja suurema energiaga voogusid (deutronid on vesiniku isotoobi tuumad, mis koosnevad prootonist ja neutronist).



Joon. 10. Tsüklotroni kamber lahtivõetult: 1 ja 2 — duandid, 3 — elektronide allikas.

Uheks tuumamürskude tekitamise seadmeks on tsüklotron (joon. 8).

Tsüklotron kujutab enesest silindrikujulist kambrit, millest on kõrvaldatud õhk. Kamber asetseb tohutu elektromagneti pooluste vahel. Kambrisse on paigutatud poolringikujulise ristlõikega metallkarbid (joon. 9 ja 10). Need duantideks nimetatavad karbid paiknevad nii, et nende sirgjoonelised küljed asetsevad teineteisest mõne sentimeetri kaugusel. Duandid ühendatakse võimsa kõrgsage-

duusvoolu allikaga. Kambrisse lastakse vesinik või heelium. Duantide vahel asetseb volframniit. Seda kuumutatakse ja ta minetab elektrone, mis oma liikumisel löövad välja elektrone kambris oleva gaasi aatomite kestadest, ioniseerides seda gaasi. Positiivsed ioonid, mis moodustuvad volframniidi läheduses, hakkavad liikuma negatiivselt laetud duandi poole ja inertsil mõjul paiskuvad selle sisse.

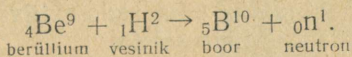
Duandi sees elektrivälja pole, kuid ionidele toimib elektromagneti väli ja sunnib neid liikuma mööda ringjoone kaart. See liikumine kestab seni, kuni ioonid jõuavad duandivahelisse ruumi.

Selleks ajaks on duandid vahetanud oma laengute märgi ja ioonid saavad uuesti tõuke, mis on jälle suunatud negatiivse duandi poole. Edasi satuvad nad teise duandi sisse, kuid liiguvad nüüd esialgsest suurema kiirusega ja joonestavad suurema raadiusega ringjoone kaare. Seejärel hüppavad ioonid uuesti üle esimesse duanti jne. Kui ioonid on saavutanud suurima kiiruse, mida võimaldavad antud duantide mõõtmed, siis muudetakse negatiivselt laetud plaadi abil nende liikumissuunda ja nad juhatakse duandist aknakese (vt. joon. 9) kaudu kiiritatavale ainele.

Kui tsüklotroni kambrisse lastakse heeliumi, siis saadakse heelione — alfaosakesi, kui vesinikku, siis prootoneid, kui rasket vesinikku (vesiniku isotoopi massiga 2), siis deutroneid.

Tänapäeval on ehitatud ülivõimsaid kiirendusseadmeid, mis tegutsemise põhimõttelt mõningal määral erinevad tsüklotronist ja võimaldavad anda osakestele tohtu energia. Nende osakeste energia ületab kümneid kordi tsüklotronist saadavate osakeste energia ja sadu kordi looduslike radioaktiivsete elementide osakeste energia. Niisuguste osakeste abil on niisama hõlpus lõhkuda tuuma nagu purustada kiviga klaaset.

Kirjeldatud seadmete abil võib saada mitte ainult kiireid laetud osakesi, vaid ka neutroneid, suunates deutroneid berülliumplaadile. Sel juhul toimub järgnev reaktsioon:



Suur tsüklotron võib anda mitu tuhat miljardit neutronit sekundis.

Tsüklotroni ja teiste seadmete abil on uuritud suurt hulka tuumamuundusi ja saadud Mendelejevi perioodilise

süsteemi kõikide elementide radioaktiivseid isotoope. On õnnestunud saada elemente, mida loodusest pole leitud ja mis omavad järjekorranumbreid 43 (tehneetsium), 61 (promeetium), 85 (astatiin) ning 87 (frantsium), samuti ka nõndanimetatud uraanijärgseid ehk transuraanseid (perioodilises süsteemis tagapool uraani asetsevaid) elemente järjekorranumbritega 93 kuni 100.

Suure praktilise tähtsusega on need radioaktiivsed elemendid, millede poolestusperiood pole liiga väike ja mis on hõlpsasti saadavad. Allpool on esitatud mõned tehiskud radioaktiivsed isotoobid, mida kasutatakse mitmesugustel uurimistöödel.

Mõningate praktikas kasutatavate tehilike radioaktiivsete isotoopide tabel

| Elemendi nimetus | Isotoobi sümbol | Poolestusperiood |
|--------------------|----------------------------|------------------|
| Vesinik | ${}^1\text{H}^3(\text{T})$ | 12,41 aastat |
| Süsinik | ${}^6\text{C}^{14}$ | 5720 „ |
| Naatrium | ${}^{11}\text{Na}^{24}$ | 14,97 tundi |
| Fosfor | ${}^{15}\text{P}^{32}$ | 14,295 päeva |
| Väävel | ${}^{16}\text{S}^{35}$ | 87,1 „ |
| Kaalium | ${}^{19}\text{K}^{42}$ | 12,44 tundi |
| Kaltsium | ${}^{20}\text{Ca}^{45}$ | 163 päeva |
| Raud | ${}^{26}\text{Fe}^{59}$ | 47,1 „ |
| Koobalt | ${}^{27}\text{Co}^{60}$ | 4,95 aastat |
| Vask | ${}^{29}\text{Cu}^{64}$ | 12,88 tundi |
| Tsink | ${}^{30}\text{Zn}^{65}$ | 250 päeva |
| Arseen | ${}^{33}\text{As}^{76}$ | 1,115 „ |
| Broom | ${}^{35}\text{Br}^{82}$ | 1,495 „ |
| Hõbe | ${}^{47}\text{Ag}^{110}$ | 270 „ |
| Jood | ${}^{53}\text{I}^{131}$ | 8,14 „ |
| Baarium | ${}^{56}\text{Ba}^{140}$ | 13,4 „ |
| Volfram | ${}^{74}\text{W}^{185}$ | 73,2 „ |
| Kuld | ${}^{79}\text{Au}^{198}$ | 2,697 „ |

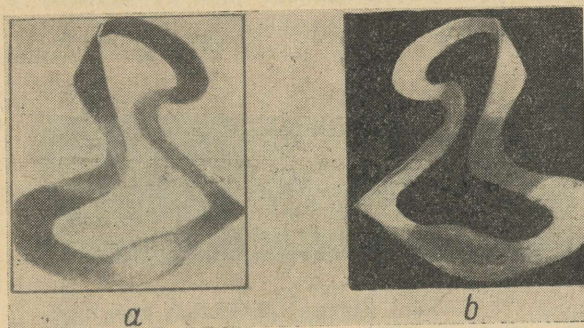
III. MÄRGITUD AATOMID

1. Kuidas saab kindlaks teha radioaktiivsete elementide juuresolekut

Radioaktiivsel lagunemisel tekivad alfa-, beeta- ja gammakiired (beeta-kiired on elektronide või positronide voog). Becquerel'i katsetest me teame, et need kiired toimivad fotoplaadile samuti nagu valguski. Radioaktiivsete kiir-

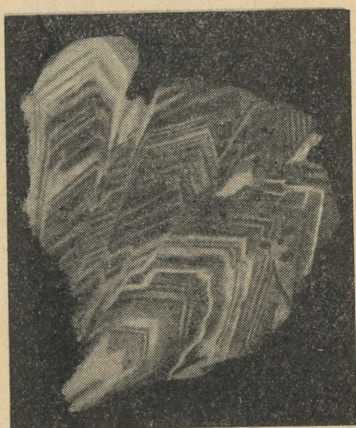
guste registreerimine fotoplaatide abil hakkas arenema juba radioaktiivsuse uurimise koidikul.

Juba 1904. aastal rakendas vene arst London fotoplaate radooni sisaldavatesse anumatesse paigutatud loomade kehas tekkiva radioaktiivsuse registreerimiseks. See radioaktiivsus tekkis radioaktiivsete isotoopide — radooni lagunemise saaduste — loomade kehasse sadestumise tagajärjel.



Joon. 11. Radioautograaf koera purihambast, millesse on koondunud radioaktiivset naatriumi: *a* — ülesvõte (negatiiv), *b* — koopia (positiiv).

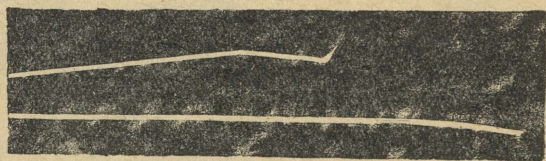
Nüüd kasutavad teadlased radioaktiivsete elementide kindlakstegemiseks laialdaselt ülesvõttemetodit. Seda meetodit on hakatud nimetama radiograafiaks, tema abil saadavaid ülesvõtteid aga radioautograafideks. Radioautograafi saamiseks asetatakse radioaktiivset elementi sisaldav ese pimedas fotoplaadile ja lastakse tal seal mõnda aega seista. Seejärel plaat ilmatakse. Neis kohtades, millele toimus radioaktiivne kiirgus, tekib tumestus. Sel viisil saadud negatiivist kopeeritakse ülesvõtte. Ülesvõttel vastavad heledad kohad piir-



Joon. 12. Uraani sisaldava mineraali radioautograaf. Positiiv. Heledad kohad näitavad radioaktiivse elemendi paiknemist.

kondadele, kuhu on kogunenud radioaktiivne element. Joonisel 11 on kujutatud negatiiv ja positiiv koera purihambast, millesse on koondunud radioaktiivset naatriumi, joonisel 12 aga uraani sisaldava mineraali radioautograaf.

Radioaktiivset kiirgust saab nähtavaks muuta ka järgneval teel. Kujutleme, et kolviga varustatud silinder on täidetud puhta veeauruga. Kolvi abil suurendame auruga täidetud ruumala sel määral, et aur muutub alajahutatuks. Kui silindris pole laetud osakesi, jääb aur auruks. Kui aga silindris on mingid laetud osakesed, näiteks ioonid, siis algab udu moodustumine — ioonid täidavad keskmete üles-



Joon. 13. Wilsoni kambris pildistatud alfaosakeste jäljed.

annet, millede ümber moodustuvad üliväikesed veepiisakesed. Et alfa- ja beetakiired ioniseerivad õhku, siis tekib iga alfaosakese või elektroni teele uduribake. Neid ribakesi saab vaadelda või pildistada (joon. 13) ja nende kaudu loendada üksikuid aatomituumadest välja paiskunud osakesi. Sellel põhimõttel on ehitatud nn. wilsoni kamber.

Radioaktiivne kiirgus ioniseerib õhku, muudab ta elektrivoolu juhiks. Paigutame radioaktiivse aine metallkambrisse, mille keskmesse on kinnitatud metallvarb, mis ei puutu kokku kambri seintega. Niisugust kambrist nimetatakse ionisatsioonikambriks. Ühendame kambri seina ja varva elektripatareiga. Radioaktiivse aine olemasolu tõttu õhk ioniseerub ja varva ning kambri seinte vahel tekib elektrivool. See vool on seda tugevam, mida tugevam on kiirgus. Voolu tugevust saab mõõta elektromeetriga. Elektromeeter on mõõteriist, milles metallkambrist varvaga ühendatud ülipeenike metallniit paikneb kahe vastasmärgiliselt laetud plaadi vahel. Kui niit on ühendatud maaga, siis elektrivool suundub maasse. Kui aga see ühendus katkestada, siis hakkab varvale ja niidile kogunema elektrilaeng ja niit kaldub vastasmärgilist elektrilaengut kandva plaadi poole. Niit

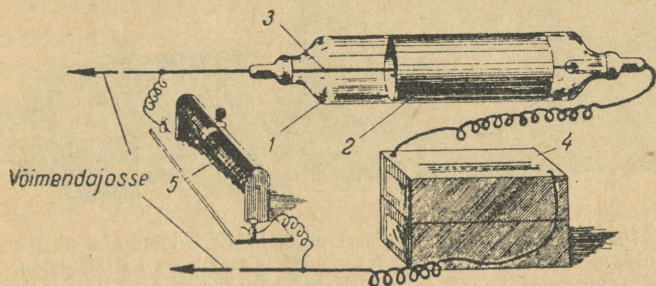
kaldub kõrvale seda kiiremini, mida rohkem on kambris radioaktiivset ainet. Niidi liikumist vaadeldakse mikroskoobiga. Niidi liikumiskiirus on kiirguse määraks.

Tänapäeval on kõige levinumaks radioaktiivse kiirguse registreerimise seadmeks Geiger-Mülleri loendaja. Loen-



Joon. 14. Geiger-Mülleri loendaja välisvaade.

daja konstruktsioone on mitmeid. Üks neist kujutab enesest õhukeseseinalist klaaskolbi läbimõõduga 1–2 sentimeetrit ja pikkusega 10–20 sentimeetrit. Kolvi seinad on seestpoolt kaetud metallikihtiga; kolvi otsad on kinni sulatatud ja piki tema telge on pingutatud metallniit, mis on

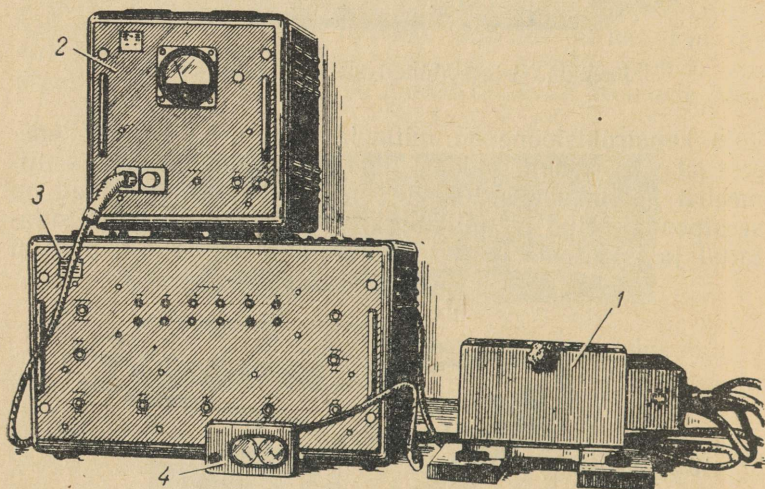


Joon. 15. Geiger-Mülleri loendaja ja tema lülituse lihtsustatud skeem: 1 — klaaskolb, 2 — sisemine metallkate, 3 — metallniit, 4 — kõrgepinge allikas, 5 — takisti.

seinte kattest isoleeritud (joon. 14). Kolb on täidetud argooni ja piirituseauru seguga, mille rõhk on 10 sentimeetrit elavhõbedasammast. Seinte sisekate ühendatakse kõrgepinge allikaga, mille pinge on 1500–2000 volti, niit aga maandatakse suure takistuse kaudu (joon. 15).

Kui niisugusesse loendajasse tungib elektron, siis ioniseerib see teatava hulga gaasimolekule. Seejuures moodustuvad elektronid lendavad suure potentsiaalivahe tõttu kiiresti niidile, põhjustades seejuures uute molekulide ioniseerumist. Sel viisil kasvab elektronide arv lumelaviini taoliselt, mis saab alguse väikese lumepanga langemisest. Toi-

mub lahendus ja läbi takisti tungib maasse vooluimpulss. Selle impulsi võtab vastu võimendaja, mis kannab ta üle registraatorisse. Registraator vastab igale loendajasse tunginud osakesele osuti nihutamiselega ühe jaotuse võrra. Geiger-Mülleri loendaja abil saab kindlaks teha kiirguse tugevust või lagunevate radioaktiivse elemendi aatomite kogust ajahükkus registreeritud vooluimpulsside arvu järgi.



Joon. 16. Radioaktiivse kiirguse Geiger-Mülleri loendaja abil registreerimise seadme välisvaade: 1 — loendaja erilises kaitsekestas, 2 — kõrgepinge allikas, 3 — impulsside muundaja, 4 — impulsside registraator.

Gammafootonid löövad loendaja seintest välja elektrone, mis kutsuvadki temas esile lahenduse. Footonite loendaja võib olla paksuseinaline. Väikese energiaga alfaosakeste ja elektronide registreerimiseks, mis ei saa tungida loendajasse läbi selle seinte, kasutatakse eriehitusega, õhukese vilgukiviga kaetud aknakesega varustatud loendajaid või paigutatakse preparaati loendaja sisse. Joonisel 16 on kujutatud radioaktiivsete elementide kiirguse Geiger-Mülleri loendaja abil registreerimise seadme üldvaade.

Alfaosakesi saab avastada ja loendada ka stsintillatsioonide — valgusesähvatuste — kaudu, mis tekivad alfaosakeste sattumisel tsinksulfiidiga kaetud ekraanile. Stsintillatsioonide saab vaadelda pimedas mikroskoobi abil.

2. Mis on märgitud aatomite meetod

Enamik loodusnähtusi ja laboratooriumides ning tööstuses teostatavaid protsesse põhineb aatomite ja molekulide liikumisel. Aatomite ja molekulide liikumisega on seotud jõgede voolamine, õhu liikumine, taimede kasvamine, nende lagundumine mädanemisel, toidu omastamine looma ja inimese poolt, raketi põlemine, dünamiidi plahvatamine jne. Paljudes nendes protsessides aatomid mitte ainult paiknevad ümber, vaid vahetavad ka partnereid, moodustades uusi keemilisi ühendeid, uusi aineid. Looduslike ja laboratoorsete protsesside uurimine on järelikult seotud aatomite ümberpaiknemise jälgimisega. Teadus on loonud palju ülitäpseid uurimismeetodeid, kuid üks neist meetodeist paistab silma niisuguste võimalustega, mida ei peitu teistes. See meetod võimaldab jälgida liikumist kõige keerukamates ja varjatumates keemilistes ning füüsikalistes protsessides ja teda nimetatakse «märgitud aatomite» meetodiks.

Teadlased unistasid juba ammu sellest, et märgistada aatomeid nii, nagu märgistatakse linde ja loomi, keda taetakse vaadelda. Rõngas linnu jala küljes või mingi märk looma kehal võimaldab kindlaks teha, kui kaugelt läheb loom märgistamiskohast, kuhu ja missuguseid teid mööda linnud talveks ära lendavad, kui kaua elavad kalad jne. Niisuguste märgiste abil õnnestus näiteks kindlaks teha, et haugid elavad mitusada aastat ning et angerjad lähevad Euroopa ja Ameerika jõgedest kudema Sargasso merre, kus nad surevad ja kust mõne aasta pärast noor angerjate põlvkond ujub Lääne-Euroopa ja Ameerika jõgedesse.

Märgiste meetod on küllaltki laialdaselt levinud. Nii lisavad hüdroloogid jõgede maa-aluste teede otsingutel märgistes kohtades jõgede veele värve, mis võimaldavad tõestada kahe jõe omavahelist ühinemist värvitud vee väljumise põhjal maa alt mitme kilomeetri kaugusel sellest kohast, kuhu valati värvi. Nõnda õnnestus fluorestseini abil — värvi abil, mis isegi väga tugeva lahjenduse puhul on hõlpsasti märgatav, tõestada Doonau ühendust jõega, mis voolab temast mitu kilomeetrit eemal.

Hiljuti hakkasid märgistamise meetodit rakendama mesinikud. Tarus leidub kuni nelikümmend tuhat mesilast ja üksikute mesilasrühmade vaatlemine ilma neid märgistamata poleks võimalik. Mesinikud varustavad tarud läbi-

paistvate katustega, toidu kogumisele lennanud mesilasi aga märgistavad värviga tarust mitmesugustes suundades ja mitmesugusele kaugusele paigutatud söödanõude juures. Värviga märgistatud mesilaste käitumist on läbipaistva katusega tarus hõlpus jälgida. Mesinikel õnnestus sel teel teada saada paljusid mesilaste elu saladusi.

Kuid me ei saa ju ometi moonduda mikroskoopilisteks haldjateks, teha end miljardeid kordi väiksemaks, et aatomid muutuksid meile mesilaste taolisteks ja me saaksime neid näha ning märgistada. Mis siis teha? Kuidas saaks aatomeid märgistada? Kas ainult silmaga saab jälgida kehade liikumist? Tuletage meelde jalutuskäiku metsa. Te olete silmist kaotanud oma kaaslase, siis aga kuulete korduvat huiget «uu-u» ja selle huike järgi teete hõlpsasti kindlaks tema asupaiga. Tähendab, heli abil saab jälgida liikumist niisama nagu nägemise abilgi. Nüüd kujutlege lennukit, mis udus või öösel otsib maandumiskohta. Lennuväli lähetab pidevalt raadiosignaale, lendur aga võtab neid signaale vastuvõtja abil vastu ja juhib lennuki maandumiskohale niisama täpselt nagu siis, kui ta seda näeks. Kujutlege laeva, mis on eksinud polaarjäässe. Tema raadiojaam lähetab pidevalt hädasignaale ja need signaalid võimeldavad kindlaks teha tema asukoha. Kujutlege lõpuks kaasaege tehnika imet — raadiolokatsioonijaama, mis tohust kaugusest jälgib lennuki, laeva või allveelaeva liikumist, võttes vastu tema enese poolt lähetatud ja otsitavalt märgilt peegeldunud laineid.

Lugej'ale on juba teada, et radioaktiivsed aatomid on võimelised lähetama signaali kiirguse näol ja et seda «signaali» saab eelmises peatükis kirjeldatud riistade abil vastu võtta — registreerida.

Nagu eespool oli juba jutustatud, võttis aatomite «signaale» — radioaktiivset kiirgust — esmakordselt vastu Henri Becquerel uraaniühendite uurimisel. Seda kasutasid ära ka Marie ja Pierre Curie raadiumi ja polooniumi otsingutel. Raadiumi ja polooniumi kiirgus osutus järelikult looduslikuks märgiseks, mille järgi abielupaar Curie'd avastasid ja eraldasid need elemendid.

Kirjeldatud näidetest on näha, et radioaktiivne kiirgus võib olla aatomitele märgiseks, mille abil saab jälgida nende asukohta. Tuleb aga silmas pidada, et radioaktiivne kiirgus on radioaktiivse lagunemise tulemus ja järelikult saame sel viisil registreerida ainult aatomi hukku, tema

muundumist teiseks aatomiks. Tuletame meelde, et radioaktiivsele lagunemisele ei allu kõik radioaktiivsed aatomid üheaegselt, vaid lagunemine toimub järk-järgult aja vältel, mis sõltub antud radioaktiivse elemendi omadustest, tema poolestusperioodist. Radioaktiivsel fosforil 32 näiteks väheneb aatomite arv poolele 14 päevaga, radioaktiivsel kullal 198 — 2,7 päevaga, radioaktiivsel vasel 64 — 12,9 tunniga jne.

Protsessidest, mida vaadeldakse märgitud aatomite meetodil, võtab aga osa nii suur hulk aatomeid, et nendest isegi kümnete või sadade tuhandete muundumine ei muuda oluliselt aatomite koguarvu, üldist ainekogust, nii et selle vähenemine jääb vaatlujale märkamatuks.

Nagu juba oli öeldud, võtavad looduslikest ja laboratoorsetest protsessidest osa tohutud kogused aatomeid. Seejuures on ühesuguste aatomite — ühe ja sellesama elemendi aatomite — käitumine ühes ja sellesamas protsessis ühesugune. Toiduga inimorganismi sattuvad kaltsiumi- ja fosforiaatomid näiteks lähevad luukudede ülesehitamiseks, joodiaatomid kogunevad kilpnäärmesse jne. Mitteeristatavalt käituvad ka ühe ja sellesama elemendi isotoobid. Kui valmistada ühe ja sellesama elemendi radioaktiivsete ning mitteradioaktiivsete aatomite segu — isotoopide segu —, siis on radioaktiivse isotoobi aatomite eristamine mitteradioaktiivsete isotoopide aatomeist väga raske. Enamikus looduslikes ja laboratoorsetes protsessides käituvad radioaktiivsed isotoobid täiesti samasuguselt nagu mitteradioaktiivsedki. Radioaktiivse ja mitteradioaktiivse isotoobi aatomite segu sisaldava väevli põletamisel näiteks ühinevad hapnikuga niihästi radioaktiivsed kui ka mitteradioaktiivsed aatomid. Mistahes elemendi radioaktiivsete ja mitteradioaktiivsete aatomite segu sattumisel inimese või looma organismi käituvad mõlemat liiki aatomid keemiliselt ja füüsikaliselt mitteeristatavalt.

Radioaktiivse isotoobi iga aatom aga laguneb varem või hiljem ja annab «signaali» kiirguse näol. Kui aatomite segus sisaldub küllalt suur kogus radioaktiivseid aatomeid, siis lagunevad nad lakkamatult üksteise järel, kogu aeg signaliseerides antud elemendi kogu aatomite massi asukohast ja liikumisest.

Nüüd me näeme, et piisab, kui ainele, mille suhtes tahetakse korraldada vaatlusi, lisada sellesama aine molekule, mis sisaldavad oma koostises radioaktiivse isotoobi aato-

meid, et kogu protsessi vältel jälgida kogu antud liiki aatomite massi asukohta isotoobi aatomite poolt levitatava kiirguse järgi. Märgitud aatomite meetod on järelikult vahend antud elemendi käitumise jälgimiseks mingis protsessis tema radioaktiivse isotoobi abil.

Märkitud aatomite meetodit rakendavate katsete korraldamiseks toodetakse radioaktiivseid elemente, neist aga valmistatakse uurimistööks vajalikke aineid, milledes osa molekule sisaldab radioaktiivseid aatomeid. Radioaktiivsetest molekulidest leviva kiirguse järgi jälgitakse samasuguste, kuid radioaktiivseid aatomeid mitte sisaldavate molekulide käitumist ja liikumist, jälgitakse kogu aine massi.

Märkitud aatomite meetodit rakendatakse tänapäeval laialdaselt mitmesugustel teadusaladel. Real juhtudel hõlbustab ta toimuvate protsesside vaatlemist, sageli aga oleks vaatlus ilma seda meetodit rakendamata hoopis võimatu.

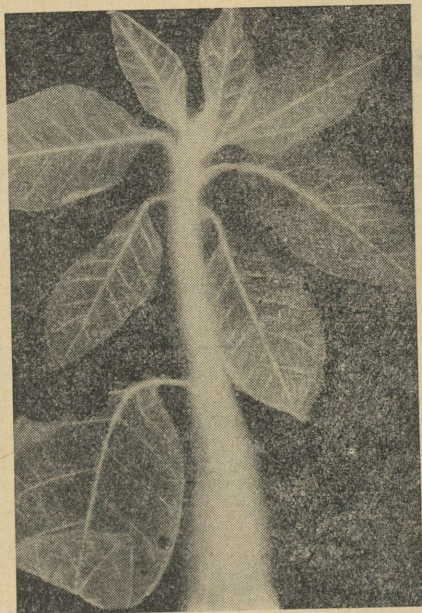
3. Juurtest taime kudedesse

Üheks suuremaks looduse saladuseks, millesse on õnnestunud tungida märkitud aatomite meetodi abil, on keemiliste elementide käitumine elusorganismis.

Fosfor on üks tähtsamaid taimede ja loomade eluks vajalikke elemente. Ta kuulub paljude kudede koostisse; suurtes kogustes sisaldub teda loomade luudes ja taimede viljades ning seemnetes.

Loomade organismi satub fosfor toiduga, taimed aga imavad teda juurtega pinnasest fosforhappe soolade näol. Kui pinnast taimede juurte läheduses kasta fosforhappe soola lahusega, mille koostisse on viidud radioaktiivse fosfori aatomeid, siis on hõlpus jälgida, kuidas fosfor tungib taime juurtesse, kerkib siis üles tema vart mööda ja jaguneb roode pidi lehtedesse. Fosfori liikumise jälgimiseks kasutatakse mitut taime, mida on väetatud radioaktiivse fosforiga. Üks neist lõigatakse maha ühe tunni, teine kahe tunni, kolmas viie tunni möödumisel katse algusest jne. Seejärel eraldatakse mahalõigatud taimede mitmesugustest osadest üks gramm kudet; kude kuivatatakse ja põletatakse ära. Järelejäänud tuhas sisaldub vastavas taimes osas olnud fosfor. Nüüd saab loendaja abil hõlpsasti kindlaks teha, missugustes taime kudedes leidub rohkem radioaktiivset fosforit ning kuidas mõjub aeg radioaktiivse fos-

fori koguse muutumisele lehtedes, viljades või teistes taimeosades. Kirjeldatud viisi asemel võib taimed, mis on imanud radioaktiivset fosforit, maha lõigata ja paigutada pimedas fotoplaadile. Taimede need osad, milles leidub



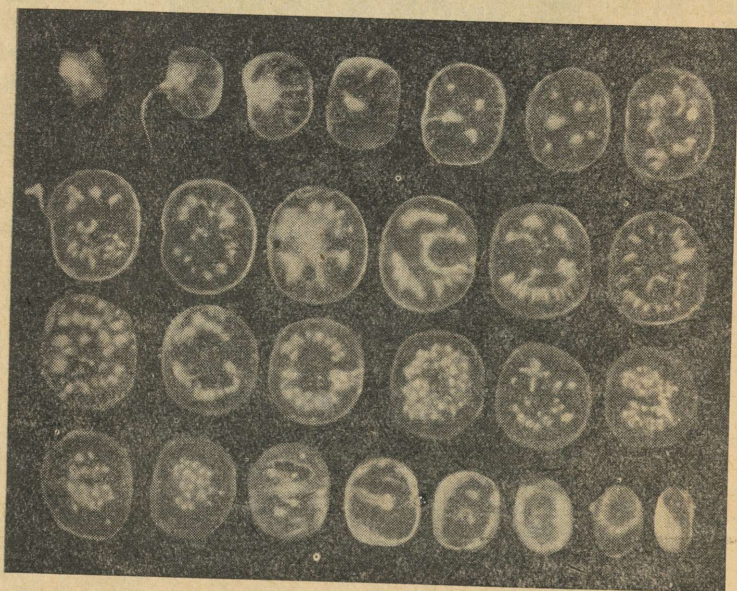
Joon. 17. Radioaktiivse fosforiga väetatud tubakataime radioautograaf (positiiv). Ülemised lehed on nakatatud mosaiiktõvest.

radioaktiivset fosforit, jäädvustuvad fotoplaadile tumedate laikudena. Laikude tumedus pole ühtlane, vaid on seda suurem, mida rohkem radioaktiivset fosforit sisaldub ühes või teises taimeosas. Sel viisil on hõlpus uurida fosfori ja teiste elementide aatomite liikumise suunda taimes. On võimalik näidata, et mosaiiktõvest¹ nakatatud tubakataimedes imendub fosfor eriti intensiivselt haigetes lehte-

¹ Mosaiiktõved — taimede kidumistõved, mille puhul taimelehed kattuvad valkjate klorofüllita laikudega. Mosaiiktõve tekitajaks on viirused — tavalistest pisikutest palju väiksemad mikroorganismid. Tõlk.

desse (joon. 17), tomati viljades koguneb ta seemnetesse (joon. 18), kaalium ja raadium tungivad kasvavatesse võsudesse ning lehetippudesse (joon. 19 ja 20) jne.

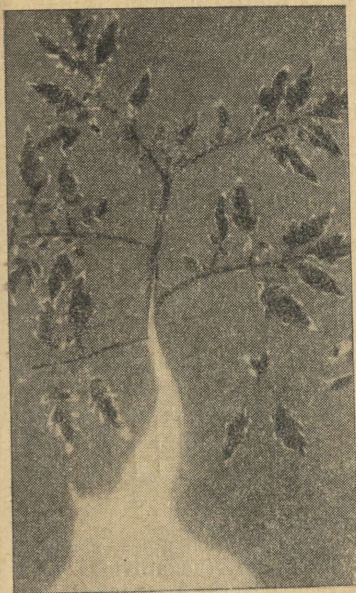
Samuti saab jälgida, kui kiiresti avaldub pinnasesse viidud väetiste toime ja missugust mõju avaldab väetiste pai-



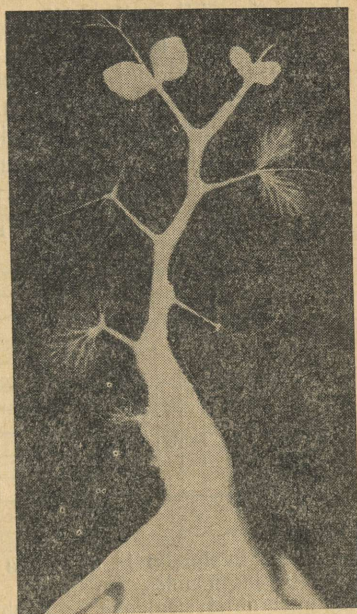
Joon. 18. Radioaktiivse fosforiga väetatud tomatitaimede (lõhki lõigatud) viljade radioautograaf (positiiv).

gutus juurte suhtes. Nii muutuvad vahetult radioaktiivseid elemente sisaldavasse väetisse istutatud taime lehed radioaktiivseks juba 20 minuti jooksul. Kui väetise pesad paiknevad juurtest 3–4 cm kaugusel, siis jõuavad neis sisalduvad elemendid lehtedesse 3 päevaga, kui aga juurte ja väetise vaheline kaugus on 5–6 cm, siis alles 3–4 nädalaga.

On ilmne, et kasutades radioaktiivseid aineid, mis on viidud pinnasesse mitmesugustele kaugustele taimest, saab jälgida juurte kasvu ilma taime pinnasest välja kitkumata, mõõtes ainult lehtede radioaktiivsust.



Joon. 19. Radioaktiivse kaaliumiga väetatud tomatitaimede radioautograaf (positiiv). Ilmneb kaaliumi kogunemine lehetippudesse.



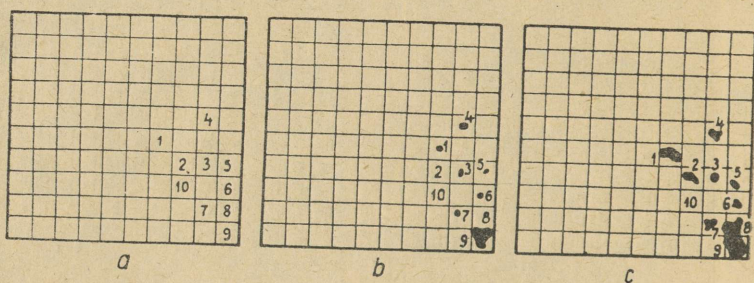
Joon. 20. Raadiumi imanud herne radioautograaf (positiiv). Ilmneb raadiumi kogunemine ülemistesse kasvavatesse taimeosadesse.

4. Fotosüntees

Oma kudede rakkude ülesehitamiseks vajalikku süsinikku saavad taimed õhust süsihappegaasi näol, mis lehtedes valguse käes teeb läbi rea ülikeerukaid muundusi. Seda protsessi nimetatakse fotosünteesiks.

Fotosüntees on keerukas protsess. K. A. Timirjazevi ja tema õpilaste uurimused panid aluse õpetusele fotosünteesist, kuid alles märgitud aatomite meetodi abil õnnestus näidata, kuidas süsihappegaas ja vesi muunduvad süsivesikuteks. Selgus, et süsivesikute sünteesil vabanev hapnik moodustub veest ja et taimede lehed on võimelised salvestama Päikese energiat, s. o. et fotosünteesi protsess jätkub mõnda aega ka pimedas. Nende uurimistööde puhul hoiti taimi mitmesugustes tingimustes radioaktiivset süsinikku sisaldava süsihappegaasi atmosfääris; seejärel määrati

loendaja abil radioaktiivse süsiniku kogus lehtede kudedes. Keerukamate katsete korral ei uuritud lihtsalt radioaktiivse süsiniku sisaldust, vaid tehti kindlaks, missugustesse keemilistesse ühenditesse ta antud tingimustes kuulub. Pärast hoidmist radioaktiivse süsihappegaasi atmosfääris surmati taimed piiritusega. Seejuures läksid fotosünteesi käigus moodustunud orgaanilised ühendid üle lahusesse, mis kanti vertikaalselt rippuva filterpaberilehekese nurgale.



Joon. 21. Süsinikku 14 sisaldava süsihappegaasi fotosünteesi saaduste paberil jagunemise tulemuste radioautograafid (negatiivid): *a* — kümnet ainet sisaldava segu uhtmisel saadud võrk, *b* — taime hoiti süsihappegaasi atmosfääris 5 sekundit, *c* — taime hoiti süsihappegaasi atmosfääris 90 sekundit; 1 — alanin, 2 — seriin, 3 — asparagiin, 4 — õunhape, 5, 6, 7 — glütserool-fosforhape, 8 — glükoosfosfaat, 9 — fruktoosfosfaat, 10 — sahharoos.

Paberi ülemine serv sukeldati fenooliga täidetud vanni. Fenool imendus paberisse ja tungis temas edasi, nihkudes üha allapoole. Vastavalt paberi märgumisele fenoolist nihkusid tema nurgale kantud ained samuti ülalt allapoole. Erisuguste ainete nihkumise kiirus oli seejuures erisugune, nii et kui paberi serva lasti fenoolis olla teatud aeg, siis nihkus teatud aine teatud kaugusele servast. Siis pöörati paberilehte 90° võrra ja tema serv sukeldati vanni, milles oli propioonhappe lahus piirituses. Uuesti toimus vedeliku ja koos temaga paberil leiduvate ainete liikumine paberit mööda ülalt alla. Tänu niisugusele menetlusele vastas standardsete uhtmingimuste puhul igale ainele paberil teatud piirkond. Pärast uhtmist uuriti loendaja abil või pildistusmeetodil, missugustes paberi piirkondades asetsevad radioaktiivset süsinikku sisaldavad ühendid, tehes sellega kindlaks, missugused ained katsetingimustes radioaktiivsest süsihappegaasist moodustusid (joon. 21).

Taimedele pole süsiniku allikaks ainuüksi õhu süsihappegaas. Kasutades radioaktiivset süsinikku, õnnestus vene uurijatel avastada süsihappe tungimist taimede kudedesse juurte kaudu, õnnestus kindlaks teha juurtesüsteemi uut otstarvet. Need katsed näitasid, et oma süsinikskeleti ülesehitamiseks saavad taimed süsinikku mitte ainult lehtede kaudu õhust, vaid ka juurte kaudu pinnasest.

Nõukogude teadlased avastasid taimedes süsinikku sisaldavate ainete moodustumise keerukad teed ja tegid kindlaks õhust lehtede ning maast juurte kaudu taimedesse satuva süsiniku osatähtsuse. Õhu süsihappegaas muundub lehtedes suhkruks, mis laskub taime juurtesse, kus ta muundub püroviinamarjahappeks. Viimane koos süsihappega, mida juured ammutavad maast, annab oblik-äädikhappe ja siis õunhappe. Õunhape suundub üles: lehtedesse, viljadesse jne., ning muundub neis valguks ja süsivesikuteks.

Samal ajal pinnase süsihape, muundudes orgaanilisteks hapeteks, tungib taime kõikidesse osadesse, laostub klorofüllil toimel ning minetab hapnikku. Sel viisil toimub taimede hapniktoitumine.

Taimede toitumine lämmastiku ja fosforiga teostub samuti taime juurte poolt pinnasest ammutatava süsihappe arvel. See toimub järgmisel teel: süsihape muundub oblik-äädikhappeks, mis ühineb pinnases leiduva, lämmastikku sisaldava ammoniaagiga ja muundub asparagiinhappeks. Oblik-äädikhappe moodustumine kulgeb ainult fosfori juuresolekul, mistõttu fosfori vajaku puhul taimede toitumine lämmastikuga ei teostu.

Nõukogude teadlased tegid samuti kindlaks, et erisuguse lainepikkusega valgusel on erisugune toime. Nii kutsub punane valgus esile süsivesikute moodustumise, tumesinine valgus aga valkude kujunemise.

Rida katseid näitas, et ka lehed on taimedele mitte ainult süsihappegaasi — süsiniku — allikaks, vaid et nad on ka võimelised imendama mineraalsooli, abistades sel teel juuri taime toitmisel lämmastikuga, fosforiga ja teiste elementidega. See avastus andis võimaluse teostada põllumajanduslike kultuuride juurevälist väetamist, mis tunduvalt tõstab nende saagikust. Näiteks suureneb selle meetodi kasutamisel puuvilla saagikus meie lõunapoolsete vabariikide põldudel 10—20% võrra, kartuli saagikus 7% võrra, odra saagikus 18% võrra, türgi oa saagikus 17% võrra jne.

5. Keedusoola liikumine organismis

Mitmesuguste ainete teekond loomade organismis on veelgi keerukam kui nende teekond taimedes. Toiduga satuvad mitmesugused elemendid looma makku ja sooltesse, sealt aga verre. Veri kannab nad keha kõigisse sopikes-tesse. Ilma radioaktiivsete elementideta on nende ainete liikumist võimatu jälgida. Märgitud aatomite meetod annab võimaluse eristada äsja organismi sattunud aatomeid nendest, mis olid seal juba varem.

Te jöite ära klaasi vett, milles oli lahustatud lauasoola, s. o. naatriumkloriidi (naatriumi ja kloori ühendit). Aga kuhu satuvad naatriumkloriidi molekulid maost? Vastuse sellele küsimusele võib anda radioaktiivne naatrium, mida on soola molekuli koostisse väga hõlpus sisse viia.

Kui te jöote niisuguse soola lahust ja surute pihku loendaja, siis näitab see juba mõne minuti pärast, et kätte on ilmunud radioaktiivse naatriumi aatomid, mis lagunevad, minetades elektrone ja gammakiiri. Radioaktiivse naatriumi kandis teie kätte veri, mida on hõlpus tõestada, võttes vereproovi ja kontrollides selles radioaktiivse naatriumi sisaldust sellesama loendaja abil.

Tunni aja jooksul tungib suurem osa makku sattunud naatriumkloriidist verre. Edasi kandub naatriumkloriid verrega kogu kehasse laiali ja satub niinimetatud rakuvahe- lisse vedelikku, läheb sealt pidevalt neerudesse ja heide- takse organismist välja. Kuses saab loendaja abil avastada väikesi radioaktiivse naatriumi koguseid juba 10 minutit pärast tema makku sattumist. Naatriumkloriidi leidub elus- organismis alati; sinna sattuv naatriumkloriid asendab seda, mis oli organismis varem.

6. Kuhu läheb fosfor

Katsume nüüd märkitud aatomite abil jälgida fosfori liikumist looma organismis ja kindlaks teha tema osatäht- susest toitumises. Selleks tuleb viia makku fosfori ühendit — fosforhappe soola, mis sisaldab radioaktiivset fosforit. Fos- forhappe soola võib looma kehasse viia ka naha alla süsti- mise teel. Sool imendub kiiresti verre ja jaguneb laiali üle kogu organismi. Katsete sooritamiseks kasutatakse väikesi loomi, näiteks rotte. Mõni aeg pärast nahaalust süstimist rott surmatakse.

Tema keha mitmesugustest osadest eraldatakse igähest üks gramm kudet ja põletatakse see ära. Siis tehakse loendaja abil kindlaks iga liiki koe põletamisel saadud tuha radioaktiivsus. Radioaktiivsust ehk, nagu me teda edaspidi nimetame, aktiivsust väljendatakse loendaja poolt ajaühikus märgitud impulsside arvuna. Teades koe kaalu ja tema ühe grammi aktiivsust, arvutatakse kogu koe aktiivsus. Saadud aktiivsused liidetakse ja, lugedes nende summa 100 protsendiks, arvutatakse aktiivsuse protsent iga liiki koes. Ühe niisuguse katse tulemused on esitatud juuresolevas tabelis.

Märgitud fosfori jagunemine roti elundites 4 tundi pärast nahaalust süstimist

| Kude | Koe kaal grammi-des | Fosfori kaal koes milligrammides | Aktiivsus % | Aktiivsuse ja fosfori kaalu suhe | Suhteline aktiivsus milligrammi fosfori kohta |
|---------|---------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|---|
| Luud | 21,6 | 931 | 18,6 | 0,020 | 1 |
| Lihased | 75,2 | 118 | 15,4 | 0,131 | 6,6 |
| Maks | 7,5 | 29,5 | 14,0 | 0,475 | 23,8 |
| Nahk | 29,7 | 45,8 | 8,8 | 0,192 | 9,6 |
| Kopsud | 9,1 | 15,8 | 5,0 | 0,317 | 15,9 |
| Veri | 9,0 | 3,58 | 2,0 | 0,558 | 27,9 |
| Neerud | 1,9 | 5,05 | 1,84 | 0,370 | 18,5 |

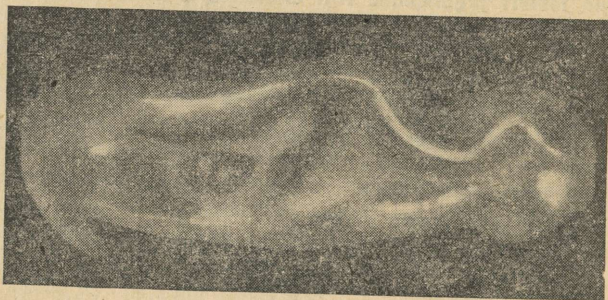
Üldine aktiivsus osutub suurimaks luudes, kuid aktiivsus milligrammi fosfori kohta on tunduvalt suurem lihastes ja teistes pehmetes kudedes, kus nähtavasti toimub kõige tugevam fosfori vahetumine.

Korrates taolisi katseid teiste rottidega ja surmates neid erisuguse aja järel, saab jälgida selle vahekorra muutumist ajas. Fosfor kandub organismist pidevalt ära kuse ja higiga. Pehmetest kudedest lahku ta kiiresti, luudesse ta aga aeglaselt salvestub. Seda muutumist iseloomustab järgnev tabel, mis on koostatud ühe niisuguse katse alusel.

| Kude | Radiofosfori süstimisest möödunud ajavahemik | | | | | | |
|---------|--|------|-------|------|------|------|------|
| | tunde | | päevi | | | | |
| | 0,5 | 4 | 10 | 20 | 30 | 50 | 98 |
| Lihased | 18,3 | 19,4 | 25,8 | 28,8 | 25,2 | 12,1 | 3,6 |
| Luustik | 19,1 | 23,4 | 43,1 | 49,1 | 51,8 | 76,5 | 92,0 |

Tunduv osa roti naha alla süstitud radioaktiivsest fosforist jõuab juba poole tunniga luudesse; hiljem fosfori luudesse salvestumine aeglustub, kuid kulgeb lakkamatult. Lihastes saavutab radioaktiivse fosfori sisaldus maksimumi 20 päeva pärast, siis aga hakkab langema.

Aja jooksul toimub luudes bioloogiline ümberkristalliseerumine. Veri kannab juurde fosforit, mis moodustab kaltsiumfosfaadi kristalle, vanad kristallid aga lahustuvad ja kanduvad verega ära — luud uuenduvad. Nagu näitavad märgitud aatomid, lahkub verre manustatud fosforist 97,8% sealt juba kahe tunni jooksul.



Joon. 22. Radioautograaf rotist, kelle luudesse on kogunenud radioaktiivset fosforit.

Radioaktiivset fosforit on roti kehas hõlpus avastada ka radiografeerimise teel, kui tema keha läbilõige asetada fotoplaadile ja lasta seal mõni aeg lebada. Radioaktiivse fosfori kiirgus kutsub esile fotoplaadi särituse. Joonisel 22 on kujutatud radioautograaf rotist, kelle naha alla oli süstitud radioaktiivset fosforit.

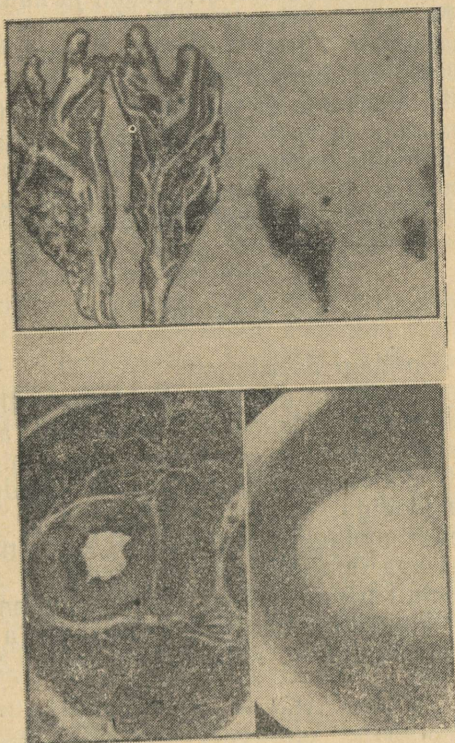
Ka roti organismi sattuv strontsium nagu fosforgi salvestub luudesse.

Organismis toimub lakkamatu ühtede aatomite asendumine teistega, ja seda mitte ainult luudes, vaid ka looma keha mistahes teistes kudedes.

Kas oleks olnud võimalik jälgida fosforiaatomite või mingite teiste aatomite liikumist eluskudedes ilma märgitud aatomite meetodita? Muidugi mitte.

7. Joodi saatus

Kust ja kuidas leida meie keha aatomite tohutus maailmas joodiaatomeid, mida me neelame koos toidu ja veega või ravimi näol?



Joon. 23. Radioaktiivse joodi jagumine kilpnäärmes. Ülal on roti kere pikilõige, all ristlõige. Vasakul foto, paremal radioautograaf.

Ka seda ülesannet õnnestus lahendada, kasutades märgitud aatomeid. Inimesele antakse lahusena juua mõni milljondik grammi kaaliumjodiidi, mille koostisse kuulub radioaktiivset joodi. Radioaktiivne jood levitab gammakiiri. Kui pärast kaaliumjodiidi manustamist paigutada loendaja inimese kurgu juurde, kus asetseb kilpnääre, siis avastab

loendaja juba mõne minuti pärast, et radioaktiivse joodi aatomid on tunginud kilpnäärmesse (joon. 23). Joodi salvestub kilpnäärmesse pidevalt.

Bioloogid ja arstid kasutavad märgitud aatomeid laialdaselt selleks, et õppida tundma, missuguseid teid mööda tungivad mitmesugused ained organismi ja kuidas nad seal jagunevad. Märgitud aatomite abil õnnestus jälgida ka ravimeis sisalduvate ainete teekonda organismis.

Joodi kogunemine kilpnäärmesse ei toimu tervetel ja haigetel inimestel ühesuguselt, mistõttu radioaktiivse joodi abil saab avastada ja ravida kilpnäärme haigusi.

Märgitud aatomite meetod osutus ülimal määral viljakaks mitmesuguste bioloogiliste protsesside uurimisel ja tänapäeval kasutavad teda tuhanded teadlased.

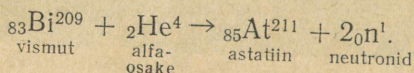
8. Astatiin

Kas te teate midagi astatiinist?

Astatiin on keemiline element. Eeldades selle elemendi olemasolu, jättis D. I. Mendelejev juba 1869. aastal tema jaoks tühjaks 85. ruudu perioodilises süsteemis, nimetas selle elemendi ekajoodiks ja ennustas, et omadustelt peab ta sarnanema joodiga.

Selle elemendi otsinguid loodusest ei krooninud edu.

1940. aastal aga õnnestus rühmal teadlastel saada teda metallilise vismuti pommitamisel tsüklotronis saadud alfaosakestega. Seejuures toimus tuumareaktsioon ja tekkis uus element tuumalaenguga 85 ning aatomkaaluga 211:



See oligi ekajood. Talle anti nimeks astatiin (At), mis kreeka keeles tähendab «ebapüsiv». Saadud element oli radioaktiivne. Tema keemiliste omaduste uurimine näitas, et Mendelejevil oli õigus: astatiin on omadustelt tõepoolest väga sarnane joodiga.

Teadlased otsustasid katsetada, missugune on astatiini käitumine loomade organismis. Kas see element käitub seal samuti nagu joodki? Sel eesmärgil süstiti merisigadele naha alla lahust, mis sisaldas astatiini. Loendaja abil jälgimine näitas, et ööpäeva möödumisel oli 10% süstitud

astatiinist kogunenud merisea kilpnäärmesse. Astatiini käitumine organismis on samasugune nagu joodigi oma, kuid kilpnääre salvestab teda suhteliselt väiksemates kogustes.

9. Raua osatähtsus

Elusolendid ei saa läbi rauata. Raud kuulub hemoglobiini koostisse, hemoglobiin aga on punaste vereliblede — erütrotsüütide — põhiaineks. Erütrotsüüdid kannavad hapnikku kopsudest inimese ja looma keeruka organismi kõigisse sopikestesse. See ülekandmine toimub raua-aatomite abil, mis kopsudes ühinevad hapnikuga, keha kudedes aga annavad selle ära.

Kuidas jälgida raua liikumist ja jagunemist elusorganismis? Kuhu salvestuvad raua varud? Nendele küsimustele aitavad vastata märgitud aatomid.

Katsete sooritamiseks kasutatakse raua radioaktiivseid isotoope, mida viiakse rauasoolade koostises toiduga looma makku. Seejärel mõõdetakse loendaja abil radioaktiivse raua kogust veres ja mitmesugustes elundites.

Arvukate katsete tulemusel tehti kindlaks järgnevad faktid.

Toiduga organismi sattuva raua imendab kaksteistsõrmiku ja peensoolte limaskest. Edasi läheb ta valkaine ferritiini koostisse. Ferritiin salvestub peamiselt maksa ja sappi.

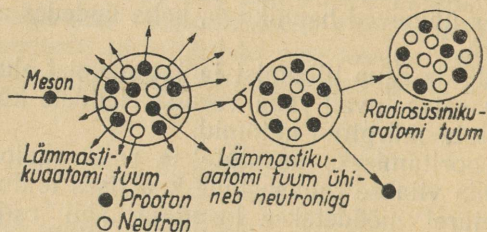
Kui organism on terve, siis sisaldavad veri, lihased ja teised elundid teatud koguse rauda. Maksas ja sapis sisaldub ferritiini varu. Uued makku viidud rauaannused heidab organism peaaegu täielikult välja. Tarvitseb aga ainult võtta looma tõmbsoonest teatav kogus verd, kui kohe algab intensiivne raua imendumine.

Ferritiini raud muundub luuüdis hemoglobiiniks, mis läheb sealsamas moodustuvate erütrotsüütide koostisse. Verevaestel inimestel toimub intensiivne raua omastamine.

Huvitav on ka järgmine katse. Kui looma või inimese tõmbsoonde süstida teatav maht verd, mille erütrotsüüdid sisaldavad radioaktiivset rauda, siis saab kindlaks teha vere kogumahu. Selleks võetakse katseloomalt 24 tundi pärast vere süstimist süstituga võrdne kogus verd ja mõõdetakse selle aktiivsus. Seetõttu, et radioaktiivset rauda sisaldav veri seguneb kogu vere hulgaga, suhtub saadud aktiivsus süstitud vere aktiivsusse samuti nagu süstitud vere kogus vere üldkogusesse.

10. Loodus märgistab aatomeid

Planeetidevahelisest ruumist saabuvad maakerale kiired, mida on hakatud nimetama kosmilisteks kiirteks. Oma teekonnal atmosfääris purustavad need kiired lämmastiku ja teiste õhus leiduvate gaaside aatomeid. Niisuguse protsessi tulemusena moodustuvad aatomikillud: prootonid, neutronid, elektronid, positronid ja mesonid — osakesed, millede mass ligikaudu võrdub 200 või 300 elektroni massiga, laeng aga elektroni laenguga. Seega kuuluvad kosmiliste kiirte



Joon. 24. Skeem radioaktiivse süsiniku moodustumisest kosmiliste kiirte toimetel lämmastikuaatomitele.

koostisse kõik loetletud liiki osakesed. Need osakesed lendavad tohutu kiirusega ja toimivad omakorda nende teel olevatesse aatomitesse. Mesonite toime ainele seisab üksikute aatomite täielikus hävitamises ning neutronite, prootonite, elektronide ja positronide moodustamises. Neutronid ja prootonid kannavad suurt energiat. Nende toime aatomitesse põhjustab radioaktiivsete elementide moodustumist. Neutronite kokkupõrgetel lämmastikuaatomitega tekib radioaktiivne süsinik massiarvuga 14 ja poolestusperioodiga, mis ligikaudu võrdub 6000 aastaga (joon. 24). See protsess kulgeb maa atmosfääris hiiglaslikus ulatuses.

Kosmilisi kiiri saabub maailmaruumist ühesuguse intensiivsusega niihästi päeval kui ka öösel, talvel ja suvel. Kosmiliste kiirte intensiivsus ei muutu sajandite vältel. See on põhjustanud asjaolu, et meie atmosfääris moodustub pika aja vältel ühesuguse kiirgusega lämmastikust radioaktiivset süsinikku, viimasest aga radioaktiivset süsihappegaasi.

Atmosfääris sisalduv süsihappegaas neeldub taimedes

ja muundub süsivesikuteks. Taimedest satuvad radioaktiivset süsinikku sisaldavad süsivesikud koos toiduga loomade organismi. Loodus ise märgistab aineid, nagu neid märgistavad uurijad laboratooriumides. Radioaktiivse süsihappegaasi kogus atmosfääris on muutumatu, sest muutumatu on niihästi tema moodustumise kiirus kosmiliste kiirte toime tagajärjel kui ka tema radioaktiivse lagunemise kiirus. Seetõttu on ka radioaktiivse süsiniku protsent elusorganismides täiesti kindel. Ühes grammis mistahes taimest võetud rakukoes sisaldub üks ja seesama kogus radioaktiivse süsiniku aatomeid, ja nimelt umbes 50 miljardit aatomit, sõltumata sellest, mis taim see on ja kus ta kasvab.

Viiekümnest miljardist radioaktiivse süsiniku aatomist laguneb kahe minuti kestel ainult 21 aatomit (lagunemisega kaasneb beetaosakeste kiirgus). Niisugust üliväikest aktiivsust avastada on äärmiselt raske, kuid siiski võimalik. Seepärast tuli teadlastel rakendada radioaktiivset süsinikku sisaldavate looduslike ainete radioaktiivsuse mõõtmiseks erimeetodeid.

Elavates taimedes astuvad lagunevate radioaktiivse süsiniku aatomite asemele uued aatomid atmosfääri süsihappegaasist. Loomsetes organismides täienevad süsiniku varud taimedega toitumise arvel.

Kui aga taim või loom hukkub? Sel juhul ei tule lagunevate radioaktiivse süsiniku aatomite asemele atmosfäärist uusi aatomeid. Radioaktiivse süsiniku aatomite arv surnud organismis hakkab vähenema vastavalt radioaktiivse lagunemise seadusele: 6000 aastaga väheneb radioaktiivse süsiniku kogus kaks korda, 12 000 aastaga neli korda, 18 000 aastaga 8 korda jne. Seetõttu võib radioaktiivse süsiniku sisaldus muistsete loomade ja taimede jäänustes olla omamoodi kellaks, mille järgi saab kindlaks teha looma või taime surma aega.

Teadlased on seda kella ära kasutanud väljakaevatud muistsete asulate ja arheoloogiliste leidude vanuse kindlakstegemiseks.

Kujutlegem, et muistse asula väljakaevamisel leiti puutükk. Loendaja abil saame kindlaks teha puutüki puhta süsiniku ühes grammis sisalduva radioaktiivse süsiniku aatomite hulga ja siis arvutada, millal see puu oli maha raiutud, ning sel teel teada saada, missugusesse ajastusse muistne asula kuulub. Mingisugustel põhjustel 12 000 või 6000 aastat tagasi maha langenud puude proovides näi-

teks sisaldub ühe grammi süsiniku kohta niisugune kogus radioaktiivset süsinikku, mis annab vastavalt 105 või 210 lagunemist 40 minuti kestel, gramm süsinikku värskelt-raiutud puu proovidest aga annab 420 lagunemist selle-sama ajavahemiku kestel. Sel teel on kindlaks tehtud terve rea leidude vanus.

Kirjeldatud meetodil saab kindlaks teha niisugust liiki leidude vanust, mis sisaldavad süsinikuühendeid ja omavad taimset või loomset päritolu, eeldusel, et nende vanus ei ületa mõndakümme tuhandet aastat. See piir on tingitud asjaolust, et 60 000 aasta pärast, s. o. ajavahemiku järel, mis võrdub 10 poolestusperioodiga, jääb proovis sisaldunud radioaktiivse süsiniku aatomite kogusest alles ainult üks tuhandik ja seda oleks tegelikult võimatu avastada.

11. Geoloogiline kell

Radioaktiivseid aatomeid saab kasutada ka kivimite vanuse kindlakstegemiseks. Geoloogiliseks kellaks on uraan ja seatina suhe uraanimaakides. Looduslik uraan koosneb kolmest isotoobist massiarvudega 234, 235 ja 238. Uraani massiarvuga 234 nimetatakse uraan teiseks. Ta tekib uraan esimesest, mille massiarv on 238, terve rea joonisel 5 näidatud muunduste tulemusena. Tema edasisel lagunemisel moodustub püsiv element seatina. Uraan 235 (aktiinouraan) ei ole seotud uraani 238 reaga, kuid muutub rea muunduste tulemusel samuti seatinaks.

Uraanimaagis sisaldub praegu 99,28% uraani 238, 0,714% uraani 235 ja 0,006% uraani 234. Miljard aastat tagasi aga oli see suhe teistsugune, sest uraani 235 ja uraani 238 lagunemise kiirused on erisugused. Seatina moodustumine uraanist toimub üliaeglaselt, sest uraani 238 ja uraani 235 poolestusperioodid on väga suured. 900 miljoni aastaga vähenes uraani 235 aatomite arv kaks korda, tol ajal olnud uraani 238 kogusest aga on järele jäänud 86%. Kahe miljardi aastaga vähenes uraani 235 kogus 4,65 korda, uraani 238 kogus aga 1,36 korda. Järelikult on üks gramm tänapäeval maakooses sisalduvat loodusliku uraani segu tekkinud 1,35 grammist uraanist 238 ja 0,03 grammist uraanist 235.

Seatina kogunemine uraanimaaki allub radioaktiivse lagunemise seadusele. Arvutus näitab, et ühe miljoni aas-

taga moodustub ühest grammist uraani isotoopide looduslikust segust 0,000137 grammi seatina, 10 miljoni aastaga aga 0,00136 grammi. Kui arvestada isotoopide suhte muutumist segus aja jooksul, siis saab arvutada seatina koguse, mis võiks moodustuda uraanist pikemagi ajavahemiku vältel. On võimalik lahendada ka vastupidist ülesannet: teha kindlaks uraani ja seatina kogus uraanimaagis ning nende koguste suhte kaudu arvutada ajavahemik, mis on möödunud maagi moodustumise ajast. Nende kaalutluste puhul eeldatakse, et kogu seatina, mis leidub uraanimaagis, on moodustunud uraanist.

See huvitav ülesanne lahendatakse järgneval viisil.

Tükike uraanimaaki lahustatakse hapete segus. Saadud lahusest sadestatakse keemilisel teel seatina. Kuid kogu seatina eraldada on väga raske. Kuidas saada teada, misugune kogus seatina oli maagis? Selleks tuleb kasutada märgitud aatomeid. Enne seatina sadestamist manustatakse uraanimaagi lahusele kaaluliselt kaduvväike kogus seatina radioaktiivset isotoopi — raadiumi D. Raadium D on raadiumi lagunemise saadus. Tema poolestusperiood võrdub 22 aastaga. Raadiumi D ja seatina keemilised omadused on ühesugused ja kui lahusest eraldub näiteks üks kahekümnendik kogu manustatud raadiumist D, siis ka seatina eraldub samasugune osa. Raadiumi D suhtelist kogust lahuses ja sademes on hõlpus kindlaks teha radioaktiivsuse järgi. Teades lahustunud ja eraldunud raadiumi D suhet ning olles teinud kindlaks eraldunud seatina koguse, arvutatakse seatina üldkogus, seejärel aga uraani sisaldava mineraali tekkimise aeg. Kui see mineraal moodustus koos kogu maakoorega, siis tehakse sellega kindlaks ka maakoore vanus. Niisuguste arvutuste järgi võrdub maakoore vanus ligikaudu 4 miljardi aastaga.

Geoloogilist vanust saab kindlaks teha mitte ainult seatina järgi. Uraani muundumisel seatinaks vabaneb muunduste ahelikus 8 alfaosakest (8 heeliumiaatomit). Ühe aasta moodustub ühest grammist uraanist $1,1 \cdot 10^{-7}$ kuupsentimeetrit heeliumi. Heelium salvestub uraanimaaki ja teda on võimalik sealt kätte saada. Teinud kindlaks heeliumi koguse maagis, saab arvutada ajavahemiku, mis on möödunud uraanimaagi tekkimisest. Niisugune arvutus on aga vähem täpne kui arvutus seatina järgi, sest osa gaaslist heeliumi kaob mineraalidest.

12. Kasulike kaeviste otsingud

Kuidas teha kindlaks ühe või teise aine olemasolu maa-koos? Selleks tuleb uurida mitmesugustest sügavustest, näiteks puuraukudest võetud proove, kuid proovide analüüs on keerukas ja aegaviitev töö. Geoloogidele võivad siin appi tulla radioaktiivsed aatomid.

Kui puurauku süvistada ionisatsioonikamber, mis on ühendatud aktiivsust üleskirjutava riistaga, siis saab avastada radioaktiivseid elemente — uraani, tooriumi, kaaliumi jt. — sisaldavate mineraalide lademeid. Uurimised on näidanud, et kiltkivid ja savid omavad suurt radioaktiivsust, liivad ja lubjakivid aga, mis võivad sisaldada naftat, väikest. Sel viisil on ionisatsioonikambri abil võimalik avastada naftalademeid.

Väärtuslikke tulemusi annab puurauku sukeldatud, raadiumi ja berülliumi segust valmistatud neutronite allika toimel ilmuva kiirguse mõõtmine. Neutronite allikas riputatakse allapoole ionisatsioonikambrit ja isoleeritakse sellest. Ionisatsioonikamber registreerib neutroneid, mis peegelduvad kivimeilt, mida puurauk läbib.

Kujutlege, et liikuv piljardipall põrkab vastu liikumatult seisvat krocketipalli. Mis juhtub? Suur krocketipall väratab, piljardipall aga põrkab temast eemale. Mis aga toimub sel juhul, kui piljardipall põrkab kokku teise piljardipalliga? Sel juhul esimene aeglustub ning teine hakkab liikuma. Analoogiline pilt ilmneb ka neutronite puhul. Põrgates kokku raskete elementide tuumadega, põrkavad neutronid neilt tagasi, peegelduvad ja satuvad ionisatsioonikambrisse. Kohtudes aga endaga massilt võrdsete vesinikuaatomitega, mis kuuluvad nafta ja vee koostisse, neutronid aeglustuvad ja pärast kolme kuni viit kokkupõrget peatuvad kivimis. Seega, kui puurauk läbib kivimit, milles sisaldub vett või naftat, siis ionisatsioonikambriga ühendatud elektromeetri niidi liikumine aeglustub.

13. Aatomid lahustes

Puistame klaasis olevasse vette lusikatäie keedusoola ja liigutame seda. Sool lahustub vees; tema osakesed jagunevad ühtlaselt vee molekulide vahele, moodustades homogeense vedeliku.

Kui me lisandame saadud lahusele veel veidi soola, siis ka see lahustub. Sajas grammis vees saab 20-kraadisel temperatuuril lahustada 35,77 grammi keedusoola. Kui aga niisugusele lahusele lisandada veel soola, siis see juba enam ei lahustu, kui kaua me ka teda liigutaksime. Lahust, mis enam ei suuda lahustada uusi aineannuseid, nimetatakse küllastatud lahuseks, aine hulka grammides aga, mis sisaldub 100 grammis küllastatud lahuses, nimetatakse lahustuvuseks.

Ühed ained lahustuvad hästi, teised halvemini. Suhtur lahustub vees väga hästi, lauasool halvemini, kriit aga sootuks halvasti.

Kas soolakristallidega toimuvad mingid muutused, kui neid visata küllastatud lahusesse? Kujutleme, et tavalise lauasoola küllastatud lahusele on lisatud soolakristalle, mis sisaldavad radioaktiivset naatriumi. Mõne minuti möödumisel me avastame, et lahusesse on ilmunud radioaktiivsed naatriumiaatomid. Seda on hõlpus kindlaks teha, eraldades lahuse ja paigutades sellesse loendaja. Mõnekümne minuti pärast saavutab lahuse radioaktiivsus suurima väärtuse. Seda nähtust saab seletada ainult järgmisel viisil. Naatriumkloriidi molekulid rebivad end kristalli pinnast lahti ja siirduvad küllastatud lahusesse; nende asemele aga tulevad lahusest kohe uued molekulid. Järelikult toimub küllastatud lahuses kogu aeg kristallide uuenemine.

Kui aine lahustub vees enam-vähem hästi, siis pole raske määrata tema lahustuvust. Selleks valmistatakse küllastatud lahus, kaalutakse sellest väike kogus ära, aurutatakse temast vesi välja ning kaalutakse kuivad kristallid. Seejärel arvutatakse, kui palju ainet sisaldub 100 grammis lahuses.

Kuidas aga toimida, kui aine lahustub vees väga halvasti? Tänapäeva täpsete analüütiliste kaaludega saab kaaluda 0,0002 grammi, mikrokaaludega 0,000002 grammi. Eriliste kaaludega, mis kujutavad enesest kvartsvedrukest, saab kaaluda 0,00000001 grammi, kuid mitte rohkem kui 0,000000025 grammi. Lahustuvuse määramiseks tuleb aga kaaluda niihästi aine kui ka anum, kuid anum kaalub alati mitu grammi. Seetõttu pole vähe lahustuvate ainete lahustuvuse kindlakstegemine kaalude abil võimalik. Siin tulevad jälle appi märgitud aatomid.

Oletame, et meil on tarvis kindlaks teha kriidi lahustuvus. Nagu teada, kriit vees praktiliselt peaaegu ei lahustu.

Kriit on kaltsiumkarbonaat; kriidi molekulid koosnevad kaltsiumi-, süsiniku- ja hapnikuaatomitest. Katsetamiseks võime võtta kriiti, milles osa kaltsiumiaatomeid on radioaktiivsed. Teeme loendaja abil kindlaks, kui palju radioaktiivseid kaltsiumiaatomeid sisaldub ühes milligrammis kriidis. Siis valmistame tavalisel viisil küllastatud lahuse aurustame sellest teatud koguse ja leiame loendaja abil pärast vee väljaaurutamist järele jäänud jäägi aktiivsuse, sellest aga kaltsiumiaatomite hulga. Edasi arvutame, kui palju radioaktiivset kaltsiumi, kogu kaltsiumi ja lõpuks kriiti sisaldub 100 grammis lahuses.

Nii tehti kindlaks paljude praktiliselt mittelahustuvateks loetavate ainete lahustuvus. Juba 1917. aastal määras V. I. Spitsõn märgitud aatomite meetodi abil rea tooriumiühendite lahustuvuse.

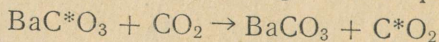
14. Kas molekulid on püsikindlad

Laual on valge pulber. See on süsihappe baariumisool — baariumkarbonaat (BaCO_3). Tema koostisse on viidud radioaktiivset süsinikku.

Mõõdame loendaja abil tema radioaktiivsuse väärtuse ja jätame baariumkarbonaadi lauale. Me märkame, et soola aktiivsus hakkab pidevalt vähenema, kuid see vähenemine ei toimu sugugi radioaktiivse süsiniku lagunemise arvel, sest radioaktiivse süsiniku poolestusperiood on suur.

Mis siis toimub baariumkarbonaadiga?

Ohus leiduv süsihappegaas (CO_2) siirdub soola molekulidesse, radioaktiivne süsinik aga läheb pidevalt õhku:



(tähekestega on märgitud radioaktiivse süsiniku aatomid).

Selgub, et baariumkarbonaadi molekulid on ebapüsivad; nad uuenduvad kogu aeg, nagu uuenduvad kristallid küllastatud lahuseski.

Vaatleme veel üht näidet. Etüüljodiid ($\text{C}_2\text{H}_5\text{J}$) on vedelik, mis keeb 72° juures. Etüüljodiidi võib aurustada, siis aga uuesti muuta vedelikuks; tema molekulid seejuures ei muutu. Lahustame radioaktiivset joodi sisaldavat etüüljodiidi piirituses ja manustame talle naatriumjodiidi

(NaJ). Segu mõnda aega keetnud ja mahutanud ta portselankaussi, aurutame etüüljodiidi ja piirituse välja. Kaussi jääb ainult naatriumjodiid. Kogume säilinud naatriumjodiidi kokku ja mõõdame loendaja abil tema aktiivsuse. Me avastame, et sool on muutunud radioaktiivseks. See tähendab, et radioaktiivne jood siirdus etüüljodiidist naatriumjodiidi. Toimus vahetusreaktsioon:



Väliselt segus midagi ei muutu, kuid aatomid vahetavad kohta. Niisugusel viisil võivad aatomid vahetuda paljudes ühendites, mida tavaliselt peetakse täiesti püsikindlaks.

Kas kõik aatomid molekulides käituvad taolisel viisil? Ei. Paljudel juhtudel on aatomid molekulides püsikindlad. Näiteks väävliaatomid väävelhappe molekulides ei vaheta kohta väävliaatomitega teistes ühendites; orgaaniliste molekulide süsinik samuti ei vahetu süsinikuga, mis sisaldub teiste ainete molekulides.

Märgitud aatomite abil on seega võimalik kindlaks teha aatomite võimet vahetumiseks. Sellest võimest sõltuvad paljud looduslikud, laboratoorsed ja tööstuslikud protsessid. Tuletage meelde fosfori jagunemist organismis. Ka see jagunemine on seotud vahetusega.

15. Aatomite liikumine gaasides

Te istute toas, naabertoas aga läheb ümber lõhnaõlipudel. Üsna lühikese aja pärast te tunnete lõhnaõli lõhna. Kuidas see üle kandub?

Lõhnav aine aurustub, tema molekulid segunevad lakamatult liikuvate õhu molekulidega, hajuvad ja tungivad järk-järgult ruumi kõigisse nurgakestesse.

Ühe aine levimist teise aine poolt hõivatud ruumalasse nimetatakse difusiooniks. Kui aine omab lõhna või värvust, siis on tema difusiooni hõlpus jälgida lõhna või värvuse järgi. Lõhnata ja värvuseta gaasi aga on raske jälgida. Sel juhul võib kasutada märgitud aatomeid. Loendaja abil tehakse gaasi liikumise kiirus hõlpsasti kindlaks.

Kasutades gaase, millede molekulides oli radioaktiivseid aatomeid, õnnestus jälgida kahjulike gaaside liikumist tööstusettevõtete ventilatsiooniseadmetes.

Radioaktiivse gaasi radooni abil uuriti gaaside liikumist kõrgahjudes.

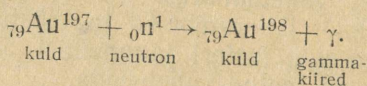
Märgitud aatomite meetodil uuritakse ka difusiooniprotsessi vedelikes.

16. Kuidas käituvad aatomid tahketes kehaes

Tahketes kehaes on aatomid samuti lakkamatus liikumises. Tavaliselt arvatakse, et nad on tugevasti seotud oma naabritega ja ainult võnguvad teatavate punktide ümber. See pole aga täiesti õige. Ainult võnkumistega aatomite liikumine tahkes kehaes ei piirdu.

Kui panna kokku mingi metalli, näiteks kulla kahe tüki siledad pinnad ja kuumutada neid nii, et nad ei sulaks, siis ilmneb, et kulla-aatomid paiknevad ühest tükist ümber teise tükki.

Kuidas aga on võimalik seda teada saada? Selleks pommitasid teadlased ühte kullatükki neutronitega. Niisugusel pommitamisel moodustuvad radioaktiivsed kulla-aatomid:



Kuld 198 on radioaktiivne; ta laguneb, minetades elektrone. Kulla 198 poolestusperiood võrdub 56 tunniga.

Radioaktiivse kulla aatomid tungivad vähehaaval ühest kullatükist teise, ja seda sügavamale, mida kauem tükid kokku puutuvad ning mida tugevamini neid kuumutatakse. Seda on hõlpus jälgida, kaapides kullatükilt õhuke kihte ja mõõtes saadud laastude radioaktiivsust loendaja abil.

Järelikult on metallide aatomid samuti suutelised difundeeruma ehk, nagu seda protsessi nimetatakse, on võimelised enesedifusiooniks. Tahketes kehaes toimub difusioon aga palju aeglasemalt kui vedelikes ja gaasides. Kulla enesedifusiooni uurimiseks rakendas nõukogude teadlane Zagrubski esimesena maailmas tehisklikke radioaktiivseid elemente.

17. Sulami ehitus

Metallurgidel on väga oluline teada mitmesuguste aatomite difundeerumise kiirust sulamites, sest sulami omadu-

sed muutuvad, kui teda moodustavad aatomid muudavad oma vastastikust asetust.

Mis on tavaline teras? See on raua sulam süsinikuga. Väike süsiniku lisand muudab raua kõvaks. Raua- ja süsinikuaatomid paiknevad terases kindla korra järgi.

Kui valmistada karastatud teras, mis sisaldab radioaktiivset süsinikku, ja terasetüki sile pind paigutada musta paberisse mähitud fotoplaadile, siis saadakse plaadil terasetüki kujutis. Radioaktiivse süsiniku kiirgus särkitab fotoplaadi ja seetõttu tähistavad radioaktiivse süsiniku asukohti tumedamad laigukesed.

Nüüd noolutame terast, see tähendab kuumutame teda ja seejärel jahutame aeglaselt. Selle tagajärjel muutub ta palju pehmemaks. Kordame radiografeerimist. Uus ülesvõte näitab juba teistsugust radioaktiivse süsiniku aatomite paigutust terasetükis.

Süsinikuaatomid paiknevad terasetükis aja jooksul ümber. Teras, nagu öeldakse, vananeb, tema tugevus muutub.

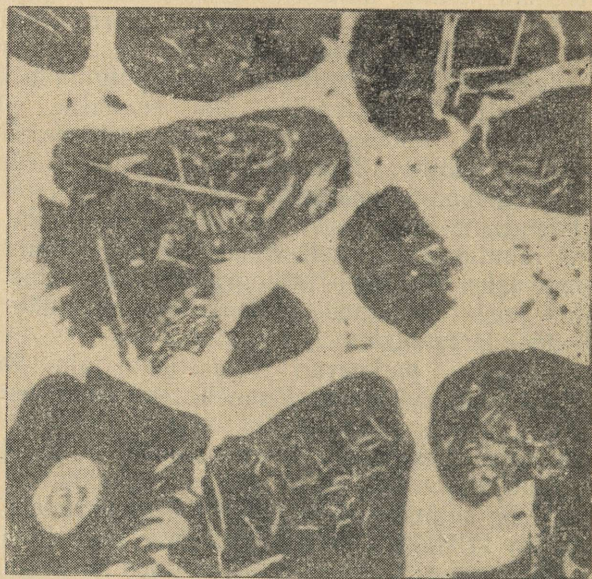
Aatomite ümberpaiknemist sulameis saab hõlpsasti jälgida märgitud aatomite abil. Need uurimistööd on väga tähtsad kõigile sulameid tarvitavatele tööstusharudele.

Sulamid on kristalsed kehad. Üksikute kristallide suuruselt ja nende paigutusest sõltuvad mitmed sulamite omadused. Kuidas aga selgitada sulami ehitust? Kuidas teha kindlaks kristallide suurust? Selleks rakendatakse mitmesuguseid menetlusi. Üks neist seisab järgnevas. Sulami siledaks lihvitud pinda töödeldakse happega — söövitatakse. Hape toimib sulami eri osadele erisuguselt. Pärast söövitamist vaadeldakse sulami pinda mikroskoobis ja tehakse kindlaks üksikute kristallide mõõtmed.

Märgitud aatomid võimaldavad samuti kindlaks teha sulami struktuuri. Peale selle võimaldavad nad määrata, missugused kristallid eralduvad sulatatud massist esimesena. Katse sooritatakse järgneval viisil. Terasetükk paigutatakse suletud anumasse radioaktiivse elemendi radiotooriumi kohale. Pärast rida muundusi moodustuvad radiotooriumi aatomitest tooriumi B aatomid, millede poolestusperiood on 10,6 tundi. Tooriumi B aatomid sadestuvad terase pinnale.

Sel viisil ettevalmistatud terasetükk sulatatakse ja lastakse siis metallil jahtuda. Vedelas sulandis algab kristallide moodustumine. Toorium B eraldub sulandist alles selle

tahkumise lõpul ja asetub kristallide piiridele või lisanditele. Metallipind lihvitakse ja paigutatakse fotoplaadile, mis säritub neis kohtades, kus paikneb toorium B.



Joon. 25. Fosforirikka terase radioautograaf (positiiv on suurendatud 60 korda). Fosfor on radioaktiivne.

Täpselt samuti saab uurida kõige mitmekesisemate sulamite ehitust, selgitades üksikute kristallide paigutust ja suurust radiografeerimise teel. Joonisel 25 on esitatud suurt kogust (joonisel valgete laikudega avalduvat) radioaktiivset fosforit sisaldava terase radioautograaf.

18. Terase kvaliteet

Et valmistada kvaliteetterast, s. o. mingisuguste eriti väärtuslike omadustega terast, näiteks roostevaba terast või laagriterast, lisatakse sulamile ühtesid või teisi metalle. Terase sulatamise protsessiga kaasneb kahjulike lisandite, nagu väävli ja fosfori väljapõlemine ning šlakumine.

Kõiki neid protsesse on hõlpus kontrollida märgitud

aatomite abil. Väävli ja fosfori terasest lahkumise määra ning kiirust näiteks saab kindlaks teha, viies sulamisse teatud koguse radioaktiivset fosforit ja väävliit. Kasutades radioaktiivset kaltsiumi, saab leida ka terase šlakiga ja ahju vooderdise materjalidega risustumise määra, mida näitab radioaktiivse kaltsiumi kogus sulatatud metallis. Nii on laagrisulameis sisalduvaist lisandeist 12% pärit šlakist ja kuni 20% ahju vooderdisest.

Märgitud aatomite meetodi abil saab lahendada ka paljusid teisi metallurgia ja metalliasjanduse küsimusi, näiteks selgitada legeerivate metallide jagunemist sulamites, sulamite struktuuri muutumist termilisel ja mehaanilisel töötlemisel jms.

19. Aatomid-kontrolörid

Keemikud oskavad kindlaks teha aine koostist ning teada saada, missuguseid elemente ja missuguses koguses sisaldub uuritavas aines. Ainete koostise kvalitatiivne ja kvantitatiivne määramine on nende tööstuslikul tootmisel väga tähtis. Mitte teades, kuivõrd keemiliselt puhas on saadud toode, ei saa rääkida tema kõlblikkusest üheks või teiseks otstarbeks.

Tööstuses tuleb sageli analüüsida kulda, plaatinat ja iriidiumi sisaldavaid sulameid, kuid neid kolme metalli on väga raske üksteisest eraldada.

Ühe metallide eraldamise menetluse kontrollimiseks valmistati segu, mis sisaldas teatud koguse kulda, plaatinat ja iriidiumi, ning siis eraldati need metallid. Eralduva kulla kaal oli võetust suurem, iriidiumi ja plaatina kaal aga väiksem. Näib, et eraldamisel risustub kuld iriidiumi ja plaatinaga, iriidium ja plaatina aga eralduvad puhasena.

Kas see on nii? Ei ole, nagu näitavad märgitud aatomid. Kui kolme metalli segule manustada radioaktiivse kulla aatomeid ja seejärel need metallid üksteisest lahutada, siis selgub, et iriidiumis ja plaatinas sisaldub radioaktiivset kulda. Seda on hõlpus kindlaks teha loendajaga.

Märgitud aatomite abil kontrollisid keemikud mitmeid keemilise analüüsi menetlusi ja ainete tööstusliku lahutamise meetodeid. Tähtsaid uurimisi on sellel alal teostanud akadeemik V. G. Hlopin ja tema kaastöötajad.

20. Aktivisatsioonianalüüs

Teie ees on mõned terasetükid, millede hulgas esineb ka mangaanterasest proovikehi. Kas saab neid proovikehi eristada, rakendamata keemilist analüüsi?

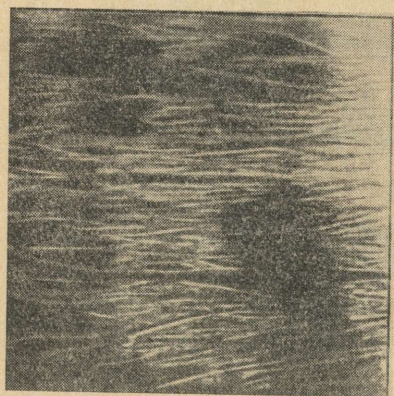
Jah, saab, kui kasutada radioaktiivseid aatomeid.

Kui proovikehi kiiritada neutronitega, siis hakkavad terase koostisse kuuluvate elementide aatomid neelama neutroneid, moodustades radioaktiivseid elemente. Kõik aatomid ei reageeri aga sel viisil ühevõrra hõlpsasti. Man-

gaaniaatomid näiteks võtavad sellest reaktsioonist osa tunduvalt hõlpsamini kui raua-aatomid.

Ehkki rauda on terases rohkem kui mangaani, toimivad neutronid peamiselt mangaaniaatomeisse.

Mangaaniaatomi tuum haarab neutroni ja muundub radioaktiivseks tuumaks, mille mass on ühe ühiku võrra suurem. Massi 55 omavast mangaanist moodustub tema isotoop massiga 56, mis laguneb, levitades elektrone ja gammakiiri. Radioaktiivse mangaani poolestusperiood on 2,6 tundi.



Joon. 26. Arseeni sisaldava terase radioautograaf (positiiv). Ulesvõte on tehtud pärast terase kiiritamist aeglase neutronitega.

Radioaktiivset mangaani on hõlpus avastada: neutronitega kiiritatud terasetüki pinnale tuleb lähendada loendaja. Loendajasse sattuvate elektronide hulk on seda suurem, mida rohkem on terases moodustunud radioaktiivset mangaani; radioaktiivset mangaani aga moodustub ühesuguste kiiritamistingimuste puhul seda rohkem, mida rohkem on terases mangaani. Järelikult saab mitte ainult vastata küsimusele, missugune teraseproov kujutab endast mangaanterast, vaid ka kindlaks teha mangaani kogust terases. See menetlus on väga lihtne ja tema abil saab hõlpsasti ning kiiresti kindlaks teha sulami koostist ilma detaili purustamata.

Me tõime ainult ühe näite sulami koostise teadasaamise

kohta tema kiiritamise teel neutronitega. Samasugusel viisil saab kindlaks teha mitmesuguste elementide sisaldust kõige keerukamates kombinatsioonides. Saab näiteks kindlaks määrata väävli ja fosfori sisaldust paberis, süsiniku sisaldust terase pindkihtides jne. Seda menetlust on hakatud nimetama aktivisatsioonianalüüsiks (materjali aktiveeritakse neutronitega või teiste tuumaosakestega).

Nii aktiveerub neutronitega kiiritamisel arseeni sisaldav teras; arseen muutub radioaktiivseks. Niisuguse terase radioautograaf on kujutatud joonisel 26.

Aktivisatsioonianalüüsi rakendatakse siis, kui tuleb määrata väikesi lisandite koguseid puhastes metallides või kiiresti kindlaks teha keeruka segu koostist.

21. Hõõrdumine ja õlitamine

Kiiresti liikuvad masinaosad kuluvad töötamisel hõõrdumise tagajärjel. Hõõrduvate osade õlitamisel hõõrdumine ja kulumine väheneb.

Tuletage meelde sõitu raudteel. Rong peatub sõlmjaamas. Piki rongi sammub õlitaja ja valab õli igasse vagunirataste õlitusavasse ning laagrisse. Mitmed teist on näinud suitsu, mis tõuseb põlema läinud laagrist. Seda juhtub halva õlituse korral: hõõrdumine suureneb, metall kuumeneb tugevasti ja õli süttib. Õlitamata metall kulub kiiresti ja detail kaotab oma vastupidavuse.

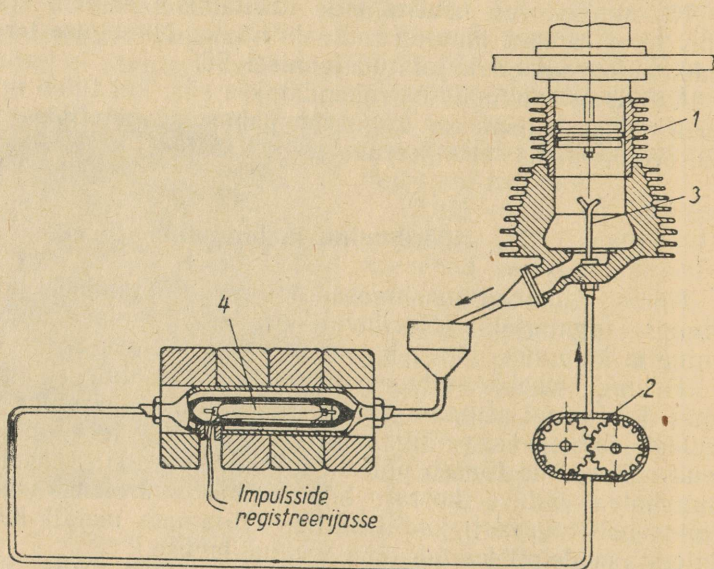
Kuidas leida metalle, mis kõige vähem kuluksid? Kuidas leida õlisid, mis kõige paremini kaitseksid metalle kulumise eest? Märgitud aatomite meetod annab nende küsimuste uurijate kätte vajaliku relva.

Mingi metalli kulumise määramiseks valmistatakse temast alus ja nihkur. Nihkurisse manustatakse metalli radioaktiivset isotoopi ja pannakse ta siis alust mööda liikuma. Liikumisel siirduvad metalli aatomid hõõrdumise tõttu ühest pinnast teise. Koos mitteradioaktiivsete aatomitega paiknevad ümber ka radioaktiivsed aatomid.

Seda ümberpaiknemist saab jälgida, uurides aluse pinda spetsiaalse loendaja abil või radiografeerimise teel. Viimasel juhul paigutatakse alusele pärast hõõrdumiskatse sooritamist fotoplaad, hoitakse teda seal mõnda aega ja ilmutatakse siis. Mida rohkem metalli on alusele üle kandunud, seda suuremal määral fotoplaad tumeneb. Katsed

viiakse läbi ilma õlituseta, mitmesugust liiki õlitusmaterjalidega ja mitmesuguste nihkurile mõjuvate koormuste puhul.

Need katsed annavad väärtuslikke andmeid metallide ja õlide valikuks. Katseid on raske korraldada ilma märgitud aatomite abita, sest hõõrdumisel kandub katsetingimustes



Joon. 27. Mootori kolvirõngaste kuluvuse selgitamise skeem:
 1 — kolb radioaktiivse kolvirõngaga, 2 — õlipump, 3 — õli-
 toru, 4 — loendaja.

üle niivõrd tühine kogus ainet, et seda pole võimalik mingisuguste teiste meetoditega avastada.

Märgitud aatomite abil saab uurida mitte ainult metalli- või sulamitükkide, vaid ka valmis masinadetailide kvaliteeti. Et katsetada näiteks automootori kolvirõngaid, paigutatakse mootori kolvile neutronitega kiiritatud rõngas, milles on moodustunud radioaktiivset raua. Mootor käivitatakse. Seejuures satuvad rõnga küljest eraldunud metalliosakesed õlisse, millega mootorit õlitatakse. Õli puutub kokku loendajaga, mille abil on hõlpus kindlaks määrata radioaktiivse raua kogust, viimase kaudu aga

hinnata kolvirõngaste kuluvust (vt. joon. 27). Ühtlasi on ka võimalik kindlaks teha, kuidas mõjutab kolvirõngaste kuluvust kütuse kvaliteet. Kui kütus sisaldab suures koguses väävlit, siis osade kuluvus suureneb tunduvalt.

Lõiketeri neutronitega kiiritades võib neis tekitada rea radioaktiivseid isotoope. Niisuguste lõiketerade kasutamine võimaldab kindlaks teha nende kuluvust laastude radioaktiivsuse järgi, milledele radioaktiivsed elemendid satuvad töötamisel esineva kulumise tagajärjel. Sellise kätsetusviisi täpsus on standardsest mitu korda suurem, katsetuse kestus aga 25 korda lühem.

Kirjeldatud menetlus on lihtne ja kiire ning tal on kahtlemata suur tulevik materjalide ning masinate katsetamisel.

22. Siidniitidest

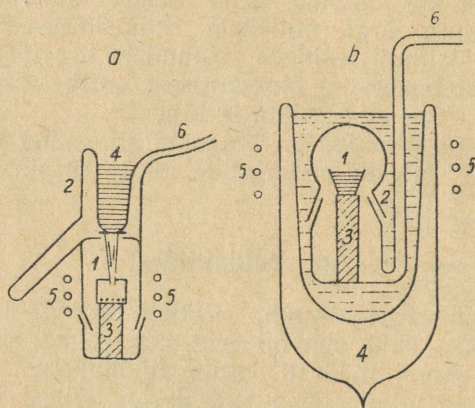
Kõik tunnevad tehissiidi. Paljud teavad, kuidas teda valmistatakse, kuid vähe on neid, kes teavad, et siidi kvaliteet väga suurel määral sõltub üliõhukesest kattedehist, mis kantakse niidile tema tootmisel. Sellest üliõhukesest kattedehist sõltub niidi värvuse ühtlus ja koe kvaliteet. Kui niit on kaetud ebaühtlase ainekihiga, siis asetub värv niidile ebaühtlaselt ja niit läheb edasisel töötlemisel sassi. Seda ainet nimetatakse naatriumoleaadiks ja ta kujutab endast oleiinhappe naatriumisoola.

Niidile kantava naatriumoleaadi-kihi ühtlust saab kontrollida radioaktiivse naatriumi abil, mida viiakse soola koostisse. Niit möödub eriliselt kujundatud Geiger-Mülleri loendaja lähedalt. Kui naatriumoleaadi-kiht on liiga õhuke, siis on radioaktiivsus kontrollväärtusest väiksem, kui aga kiht on paks, siis on ka radioaktiivsus suurem. Kõike seda registreerib loendaja. Ta on ühendatud vastava seadmega, mis silmapilk muudab pealekantava kihi paksust nõutavas suunas.

23. Tahkete ainete aurumine

Haistmine on väga tundlik vahend, mille abil avastatakse lõhnavate ainete kaduvväikeste koguste olemasolu õhus, kuid haistmisega ei saa kindlaks teha aine kogust. Kui aga ainel ei ole lõhna, siis on raske avastada ka tema olemasolu.

Lõhna omavad mitte ainult gaasid, vaid ka vedelikud ja tahked ained, nagu näiteks bensiin, naftaliin jms. Lõhna tajumine on kahtlemata seotud lõhnava aine molekulide sattumisega ninna, sellest aga järeldub, et mitte ainult vedelad, vaid ka tahked kehad on võimelised auruma.



Joon. 28. Märgitud aatomite meetodil väikeste aururõhkude määramise riistade lihtsustatud skeemid: vasakul on riist, mis põhineb auru voolamisel läbi väikese ava, paremal riist, mis põhineb vaakumis aurumise põhimõttel. 1 — metallahi väikese avaga (a) või tiigel metalliga (b), 2 — klaasanum, 3 — alustugi, 4 — anum vedela õhuga, 5 — kõrgsageduskuumutaja mähis, 6 — vaakumpumpa suunduv toru.

Tahkete ainete aurumine kulgeb väga aeglaselt ja õhku satub ainult tühine kogus tahke aine molekule. Tahkete kehade aurumisvõimet hinnatakse nendest moodustuva auru rõhu järgi.

Õhu rõhu mõõtmiseks kasutatakse baromeetreid, gaasi rõhu määramiseks suletud anumais aga manomeetreid. Tahkete ainete auru rõhku nende riistade abil mõõta ei saa, sest see on väga väike. Kuidas siis saab kindlaks teha väikesi aururõhke?

Appi tulevad radioaktiivsed aatomid.

Väikesi aururõhke mõõdetakse tavaliselt vaakumis

aurustamise menetlusel või auru voolamise järgi läbi väikese ava. Esimesel juhul on sekundis auruva aine kogus seda suurem, mida suurem on auru tekitav pind. Teisel juhul sõltub see ava suurusel anumas, millesse tahke aine on mahutatud. Mõlemal juhul on aurunud aine kogus võrdeline temperatuuriga, millel tahket ainet säilitatakse, ja aurumise kestusega. Määratud mingi ajavahemiku vältel ühe-ruutsentimeetriselt pinnalt või läbi teatud pindalaga ava aurunud aine kaalu, saab arvutada auru rõhu. Aurunud aine mass on nii väike, et vahetult pole teda võimalik mõõta.

Kogu auruva aine saab aga koguda vedela õhuga jahutatavale pinnale.

Joonisel 28 on toodud tahkete ainete auru rõhu määramiseks kasutatavate riistade lihtsustatud skeemid. Aur kondenseerub vedela õhuga jahutatava anuma pinnale. Tahke aine aur sadestub sellele pinnale samuti, nagu vee aur sadestub kuuma tee lähedusse viidud külmale lusikale. Kui tahke aine sisaldab radioaktiivseid aatomeid, siis saab loendaja abil avastada nende olemasolu jahutataval pinnal. Loendaja loenduste arvu järgi minutis saab arvutada radioaktiivsete aatomite arvu ja selle kaudu aurunud aine kaalu jahutataval pinnal, sest radioaktiivsete aatomite protsent antud aines on teada. Kui näiteks on teada, et 1 milligramm lähteainet annab 100 000 loendust minutis, aurunud metalli kiirguse mõõtmisel aga saadakse 100 loendust, siis on pinnal 0,001 milligrammi ainet. Niisugusel teel õnnestus mõõta paljude tahkete ainete aurude rõhku.

24. Katalüsaatorid

Igaüks tunneb väävelhapet, kuid võib-olla kõik ei mäleta, et tema saamiseks lastakse gaasilisel vääveldioksiidil (SO_2) reageerida õhuhapnikuga ning lahustatakse tekkinud väävelhappe anhüdriid (SO_3) vees. Vääveldioksiid ühineb aga hapnikuga tavalistel tingimustel väga aeglaselt. See protsess kiireneb tunduvalt plaatina juuresolekul. Plaatina on happe moodustumise käigus vajalik, kuid ta jääb keemiliselt muutumatuks. Aineid, mis muudavad keemilise reaktsiooni kiirust, ise aga jäävad keemiliselt muutumatuks, nimetatakse katalüsaatoriteks.

Protsesse, mis toimuvad katalüsaatorite osavõtul, on

teada äärmiselt palju. Suuremas osas keemiatööstustes kasutatakse katalüsaatoreid. Ammoniaagi (nuuskpiirituse), lämmastikhappe ja paljude teiste ainete saamise protsessid toimuvad katalüsaatorite juuresolekul.

Märgitud aatomite abil õnnestub real juhtudel kindlaks teha, kas katalüsaator võtab osa aatomite ühest molekulist teise ülemineku protsessist.

Süsinikoksüüdi (CO) reaktsioonil vesinikuga raua kui katalüsaatori juuresolekul moodustuvad metaan ja teised süsivesinikud. Teadlased arvasid, et süsinikoksüüd moodustab rauaga karbiidi, s. o. raua ühendi süsinikuga, raudkarbiid aga annab reageerimisel vesinikuga süsivesinikke. See vaade oli kuni viimase ajani esitatud õpikutes.

Märgitud aatomite abil õnnestus tõestada, et need vaated on väärad. Katalüsaatorile manustati raudkarbiidi, mis sisaldas radioaktiivset süsinikku. Seejärel juhiti üle katalüsaatori vesiniku ja mitteradioaktiivset süsinikku sisaldava süsinikoksüüdi segu.

Saadud metaan suunati loendajasse ja mõõdeti tema aktiivsust. Selgus, et radioaktiivne süsinik oli jäänud katalüsaatorisse, tekkinud süsivesinikud aga olid mitteradioaktiivsed. Järelikult raudkarbiidi molekulid ei võta osa süsiniku ülekandmisest süsinikoksüüdist süsivesinikesse. Protess kulgeb siin katalüsaatori pinnal, samuti nagu ta kulgeb väävelhappe moodustumisel plaatinal.

25. Kromatograafia

Paljude ainesegude lahutamine toimub tänapäeval adsorptsioonikoloni abil. Adsorptsioonikolonn kujutab enesest toru, mis on täidetud ainega, millel on võime neelata (adsorbeerida) lahusest mitmesuguseid keemilisi ühendeid. Filtreerimisel läbi niisuguse koloni neelduvad kõik lahustunud ained tema ülemises osas. Seejärel uhutakse kolonn läbi lahustiga, kusjuures adsorbeerunud ained nihkuvad piki koloni ülevalt alla erisuguse kiirusega. Vastavalt nihkumisele piki koloni toimub segu lahutamine üksikuteks aineteks. Sambast voolavad järjekorras välja puhaste ainete lahused. Selle meetodi töötas 1903. aastal välja vene teadlane Tsvet taimsete pigmentide (värvainete) lahutamiseks ja seda nimetatakse kro-

matograafiliseks meetodiks. Täidisenä kasutas Tsvet valget alumiiniumoksüüdi, lahutumise käiku aga jälgis ta silmaga, sest tema poolt lahutatavad ained moodustasid värvilised kihid. Tsveti kolonn oli valmistatud klaasist. Värvuseta ainete lahutumise määra, eriti aga lahutumist sambas eneses, on raske kontrollida ilma märgitud aatomiteta. Kui lahutatavale segule manustada aineid, mis sisaldavad radioaktiivseid elemente, siis saab nende lahutumist hõlpsasti jälgida kiirguse järgi, nihutades loendajat piki kolonni või kontrollides väljavoolava vedeliku radioaktiivsust. Sel teel tegid teadlased kindlaks omadustelt lähedaste elementide, nn. haruldaste muldade lahutumise tingimused.

IV. AATOMIENERGIA

1. Materia ja energia

Nagu teada, koosnevad kõigi aatomite (välja arvatud kerge vesiniku aatomite) tuumad neutronitest ja prootonitest. Neutronid ja prootonid on tuumas tugevasti üksteisega seotud, mistõttu tuuma on väga raske purustada. Sellele vaatamata õnnestub tekitada tuumareaktsioone, s. o. niisuguseid reaktsioone, mille puhul ühtede keemiliste elementide aatomituumad muunduvad teiste keemiliste elementide aatomituumadeks. Tuumareaktsioonid kulgevad looduses kosmiliste kiirte toimel, laboratooriumides aga kutsutakse neid esile prootonite, neutronite, deuteronite ja alfaosakeste abil. Viimasel juhul on vaja, et ülalloeletud osakesed sisaldaksid väga suurt energiat.

Et lõhustada aatomituumad prootoniteks ja neutroniteks, tuleb kulutada suurt energiat. Vastupidi, prootonite ja neutronite ühinemisel aatomituumaks vabaneb energia. Energia jäävuse seadus ütleb, et energia ei saa hävida ega tekkida eimillestki. Ta ainult muundub ühest kujust teise. Selle seaduse kohaselt võrdub energia, mida tuleb kulutada selleks, et lahutada aatomituumad prootoneiks ja neutroneiks, energiaga, mis vabaneb selle tuuma moodustumisel prootoneist ja neutroneist. Seda energiat nimetatakse aatomituumad täielikuks sideenergiaks. Kui see energia jagada tuuma prootonite ja neutronite arvuga,

siis saadakse nukloni (prootoni või neutroni) keskmine sideenergia tuumas.

Tuuma sideenergia arvutamiseks võib kasutada valemit, mis määrab kindlaks massi ja energia võrdväärsuse:

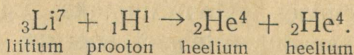
$$\epsilon = mc^2$$

(energia = mass \times valguse kiirus \times valguse kiirus).

Suure vene teadlase M. V. Lomonossovi geeniusel kuulub ühe põhilise looduseaduse — aine kaalu jäävuse seaduse — avastamine. Lomonossovi määratluse järgi võrdub keemiliselt reageerivate ainete kaal reaktsiooni tulemusena saadavate ainete kaaluga. Niisuguses sõnastuses aga ei ole mainitud seadus täielik. Ainega toimuvates protsessides võib mass muutuda, kuid seejuures muutub ka aine energiavaru.

Kui me keha kuumutame või teda tõugates ta liikuma sunnime, siis, andes kehale energiat juurde, me suurendame tema massi. Vastupidi, kui keha annab energiat üle teisele kehale, siis ta ise kaotab teatava massi ja selle massi omandab teine keha. Võrdväärsuse valemi abil saab arvutada aine massi muutumise suurust tema energia muutumise puhul ja, vastupidi, keha poolt ümbritsevale keskkonnale üleantava energia väärtust aine massi muutumise puhul. Kui näiteks üht tonni vett kuumutada 0 kraadilt 100 kraadini, siis suureneb vee mass väärtuse võrra, mis on samaväärne 100 miljoni kaloriga, s. o. 0,004 mg võrra. Massi muutus on nii väike, et seda pole võimalik katseliselt kindlaks teha.

Tuumareaktsioonidel on massi muutumine suhteliselt suur, mistõttu teda on võimalik katseliselt kindlaks määrata. Nii toimub liitiumi pommitamisel prootonitega tema muundumine heeliumiks võrrandi kohaselt:



Liitumiaatomi tuuma massi ja prootoni massi summa moodustab 8,02634, kahe heelumiaatomi tuuma masside summa aga 8,0078 aatomi massiühikut. Järelikult on reaktsiooni saaduste mass 0,01854 aatomi massiühiku ehk $3,07 \cdot 10^{-26}$ grammi võrra väiksem esialgsete liitiumi- ja vesinikuaatomite tuumade massist. See mass on sama-

väärne 27 miljondiku ergiga¹. Seda energiat peavad sisaldama heeliumiaatomite tuumad. Mõõtmised näitavad, et iga heeliumituuma energia võrdub 13,6 miljondiku ergiga, mõlema tuuma energia kokku aga ligikaudu 27 miljondiku ergiga, järelikult võrdub massi ja energia võrdväarsuse valemi abil arvutatud energiaga.

Materia jäävuse seaduse tänapäevase materialistliku tõlgenduse mõte seisab selles, et materia ei saa jäljetult hävida ega eimillestki tekkida. Materia on igavene. Mitmesugust liiki protsessides muudab ta oma kuju — ühest ainest tekib teine aine. Aine massi muutumine on seotud tema energiavaru muutumisega.

Kodanlike teadlaste püüdlused kasutada massi ja energia võrdväarsust dialektilise materialismi põhialuse — materia jäävuse — ümberlökkamiseks ei oma mingit sisu. Need teadlased ainult moonutavad massi ja energia võrdväarsuse mõtet. Energia pole mõeldav ilma materia ega materia ilma energiata.

Me nägime, et liitiumiaatomi tuumast ja prootonist kahe heeliumiaatomi tuuma moodustumisel vabaneb tuumaenergia, mis võrdub ligikaudu 27 miljondiku ergiga.

See heeliumiaatomite tuumade kineetiline energia muundub nende pidurdumisel soojuseks. Et üks gramm liitiumi sisaldab ligikaudu 10^{23} liitiumiaatomit, siis vabaneb tema prootonite toimel heeliumiks muundumisel $27 \cdot 10^{17}$ ergi ehk 64 miljardit kalorit soojust.

Selleks aga, et toimuks liitiumiaatomist ja prootonist kahe heeliumiaatomi moodustumine, tuleb tulistada liitiumi 10 miljoni prootoniga, milledest igaühe energia võrdub 6 kümnemiljondiku ergiga. Ainult üks kümnest miljonist prootonist tabab märki — liitiumiaatomi tuuma — ja kutsub esile tuumareaktsiooni. See tähendab, et tuleb kulutada 220 000 korda rohkem energiat sellest energiast, mis reaktsioonil vabaneb. Analoogilised nähtused esinevad ka teiste tuumareaktsioonide puhul.

2. Sideenergia

Kujutlegem, et toimub heeliumiaatomi tuuma moodustumine kahest prootonist ja kahest neutronist. Füüsikud on suure täpsusega mõõtnud prootoni ja neutroni massi: esi-

¹ Erg on energia ühik; $1 \text{ erg} = 2,389 \cdot 10^{-8}$ kalorit.

mene võrdub 1,0076, teine aga 1,0089 aatomi massiühikuga. Määratuna kahe prootoni ja kahe neutroni masside summaga, peaks heelumiaatomi tuuma mass võrduma 4,0330 aatomi massiühikuga, tegelikult aga võrdub ta 4,0023 aatomi massiühikuga, mis tähendab, et heelumiaatomi tuum on seda tuuma moodustava kahe prootoni ja kahe neutroni massist 0,0302 aatomi massiühiku võrra kergem. Siit järeldub, et prootoneist ja neutroneist heelumiaatomi moodustumisel muutus mass ja vabanes energia. Selleks, et heelumiaatomi uuesti muuta kaheks prootoniks ja kaheks neutroniks, tuleb kulutada energia, mis on samaväärne 0,0302 aatomi massiühikuga. Selle energia — sideenergia — väärtuse saab leida, kasutades massi ja energia võrdväärsuse valemit. Ta võrdub 4,5 sajatuhandiku ergiga. On hõlpus arvutada, et prootoneist ja neutroneist ühe grammi heeliumi moodustumisel vabaneb energia, mis on samaväärne $1,62 \cdot 10^{11}$ kalori soojusega ehk 190 000 kilovatt-tunni elektrienergiaga.

Taoline pilt ilmneb ka teiste elementide aatomituumade massi võrdlemisel nende koostisse kuuluvate prootonite ja neutronite masside summaga. See vahe võimaldab hõlpsasti arvutada tuuma sideenergiat.

Aatomifüüsikas on energiaühikuna kasutusel elektronvolt [eV] — kineetiline energia, mille omandab elektron, läbides elektrivälja potentsiaalivahega 1 volt. Kasutatakse ka suuremaid ühikuid: kiloelektronvolti [keV], mis võrdub 1000 elektronvoldiga, ja megaelektronvolti [MeV], mis võrdub 1 000 000 elektronvoldiga.¹

Laboratooriumi tingimustes saab anda laetud osakestele suurt, tuumareaktsioonide tekitamiseks vajalikku energiat eriseadmetes, mida nimetatakse kiirendajateks.

Ilmneb, et tuuma kogu sideenergia on seda suurem, mida rohkem nukloneid on tuumas. Ühele nuklonile langev sideenergia aga muutub ebaühtlaselt, nagu nähtub juuresolevast tabelist. Ühele nuklonile langev sideenergia on kõige suurem Mendelejevi elementide perioodilise süsteemi keskpäigas asetsevatel elementidel, nagu näiteks krüptonil. Raskematel elementidel on ta väiksem. Ta on suur heeliumil ja väike liitiumil ning deuteriumil.

Ühtlasi on erisuguste aatomite tuumades erisugune ka ühele nuklonile langev mass. See on kõige suurem deutee-

¹ 1 MeV = $3,827 \cdot 10^{-14}$ kalorit.

| Isotoop | Isotoobi mass | Neutronite ja prootonite masside summa ¹ | Masside vahe | Kogu sideenergia miljonites elektronvoltides | Nuklonite arv tuumas | Ühele nuklonile langev mass | Nukloni keskmine sideenergia miljonites elektronvoltides |
|-------------------------------|---------------|---|--------------|--|----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ${}^1_1\text{H}^2$ | 2,01470 | 2,01705 | 0,00235 | 2,18 | 2 | 1,00735 | 1,09 |
| ${}^1_1\text{H}^3$ | 3,01700 | 3,02598 | 0,00898 | 8,33 | 3 | 1,00567 | 2,78 |
| ${}^2_2\text{He}^4$ | 4,00390 | 4,03419 | 0,03029 | 28,20 | 4 | 1,00098 | 7,05 |
| ${}^3_3\text{Li}^6$ | 6,01697 | 6,05131 | 0,3431 | 31,92 | 6 | 1,00283 | 5,32 |
| ${}^5_5\text{B}^{10}$ | 10,01618 | 10,08539 | 0,06921 | 64,4 | 10 | 1,00162 | 6,44 |
| ${}^8_8\text{O}^{16}$ | 16,00000 | 16,1361 | 0,13661 | 128,16 | 16 | 1,00000 | 8,01 |
| ${}^{10}_{10}\text{Ne}^{20}$ | 19,99877 | 20,17043 | 0,17186 | 154,4 | 20 | 0,99991 | 7,72 |
| ${}^{30}_{30}\text{Kr}^{82}$ | 81,939 | 82,695 | 0,756 | 712,58 | 82 | 0,9993 | 8,69 |
| ${}^{78}_{78}\text{Pt}^{196}$ | 196,039 | 197,690 | 1,651 | 1536,64 | 196 | 1,0002 | 7,84 |
| ${}^{83}_{83}\text{Bi}^{209}$ | 209,057 | 210,232 | 1,175 | 1623,93 | 209 | 1,0003 | 7,77 |
| ${}^{92}_{92}\text{U}^{235}$ | 235,109 | 237,024 | 1,915 | 1645,00 | 235 | 1,0004 | 7,00 |

¹ Tegelikult on siin võetud vesinikuaatomite massid, et arvud oleksid võrreldavad eelmise lahtriga, milles on võetud arvesse mitte ainult aatomituumade, vaid ka elektronide massid.

riumil, suur liitiumil ning tunduv uraanil ja teistel rasketel elementidel. Kõige väiksem on ühele nuklonile langeva massi väärtus Mendelejevi elementide perioodilise süsteemi keskpaigas asetsevatel elementidel (aatomkaalud 40 kuni 100).

Kui toimub protsess, milles ühele nuklonile langeva suurema massiga elementide aatomituumad muunduvad tuumadeks, milledeks mass ühe nukloni kohta on väiksem, siis toimub massi ja energia võrdväarsuse tõttu aatomienergia vabanemine. See energia kujutab enesest tuumareaktsioonist osa võtvate lõpp- ja lähtetuumade sideenergiate vahet.

3. Kuidas saada aatomienergiat

Aatomienergia saamiseks võib minna kahte teed. Esiteks võib kergeid, ühele nuklonile langeva suurema massiga elemente muundada ühele nuklonile langeva väiksema massiga elementideks, kasutades selleks nende elementide aatomituumade ühendamist. Niisuguste protsesside näideteks on vesiniku või deuteeriumi muundamine heeliumiks, liitiumituumade ja prootonite ühendamine, mis on seotud nende muundumisega heeliumituumadeks jms. Teine tee seisab raskete elementide tuumade, näiteks uraanituumade muundamises keskmise massiga kildudeks, näiteks niisuguste elementide nagu krüptooni ja lantaani tuumadeks. Uraaniaatomi tuum omab ühe nukloni kohta suuremat massi kui perioodilise süsteemi keskpaika kuuluvate elementide, eriti krüptooni ja baariumi aatomituumad.

Niisugused on aatomienergia saamise põhimõttelised võimalused. Seda liiki protsessid avastati füüsikute poolt kahekümnenda sajandi kolmekümnendatel aastatel. Ühte neist — liitiumi muundumist prootonite toimel heeliumiks — me juba kirjeldasime. 1938. aastal avastati teine protsess — uraaniaatomite tuumade jaotumine neutronite toimel kaheks lähedase massiga killuks. Kildude masside summa oli ligikaudu võrdne jaotuva uraanituumade massiga.

Aatomienergia saamiseks on aga vaja, et tuumade sünteesi (liitumise) või jaotumise protsess kulgeks spontaanselt, samuti nagu see toimub kivisöe põlemisel. Ühest kohast süüdatud söes levib põlemine spontaanselt, siirdudes ühelt aatomilt teisele. Peale tuumaprotsessi spontaanse levimise tingimuste on aga tarvis teada ka tuumamuun-

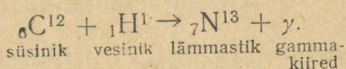
duste algamise tingimusi. Need tingimused leitigi teadlaste visa töö tulemusena. Tänapäeval kasutatakse tuumade sünteesi ja nende jaotumise protsesse aatomienergia saamiseks.

4. Heeliumi süntees looduses

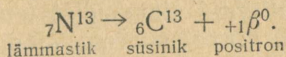
Tähtede ja Päikese koostisse kuulub suur kogus vesinikku ja heeliumi. Arvutused näitavad, et Päike oleks juba ammu kaotanud oma kuumuse, kui temas ei kulgeks protsesse, mis säilitavad tema temperatuuri. Need protsessid saavad olla ainult elementide sünteesi ja lagunemise reaktsioonid.

Teadlased oletavad, et üheks Päikesel ja tähtedel toimuvaks protsessiks on vesinikust heeliumi moodustumise reaktsioon. Vesinik, heelium, süsinik ja lämmastik on põhilisteks Päikese koostisse kuuluvateks elementideks. Umbes 50% tema koostisest moodustab vesinik.

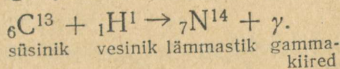
Vesinikust heeliumi moodustumise reaktsioon võib Päikesel kulgeda järgneva skeemi kohaselt. Süsinikuaatom ühineb prootoniga ja muundub radioaktiivse lämmastiku aatomiks:



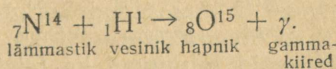
Radioaktiivse lämmastiku aatom laguneb:



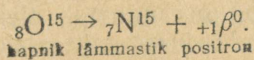
Moodustunud süsinikuaatom, mille mass on 13, ühineb omakorda prootoniga ja muundub lämmastikuaatomiks:



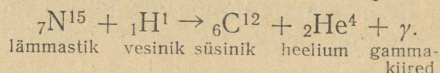
Lämmastikuaatom liidab enesega veel ühe prootoni ja annab radioaktiivse hapniku aatomi:



Radioaktiivse hapniku aatom laguneb, moodustades lämmastikuaatomi:



Saadud lämmastikuaatom, mille mass on 15, ühineb jälle prootoniga, moodustades süsinikuaatomi ja heeliumiaatomi:



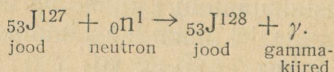
Lõpptulemusena jääb süsiniku 12 aatom muutumatuks, neljast vesinikuaatomist aga moodustuvad heeliumiaatom ja kaks positroni.

Kõik ülejäänud aatomid kaovad järjestikku toimuvate reaktsioonide tulemusel, nelja vesinikuaatomi ja heeliumiaatomi masside vahega samaväärne energia aga vabaneb. Tähtedel areneb see protsess spontaanselt, sest tema kulgemiseks on vajalik vesiniku- ja süsinikuaatomite olemasolu, mõne miljoni kraadini ulatuv temperatuur ja suur rõhk. Kõik need tingimused esinevad Päikesel ja teistel tähtedel.

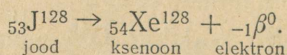
Me tõime ainult ühe näite tuumasünteesi kohta, mille puhul vabaneb energia. On ilmne, et looduses toimub kõrgete temperatuuride puhul tähtedel rida taolisi protsesse, mille suhtes me võime teha oletusi ja mida me võime püüda teostada Maal.

5. Uraani jaotumine

Me juba jutustasime sellest, et neutronite toimel mitmesugustele elementidele saadi terve rida radioaktiivseid elemente. Seejuures ilmnes, et enamikul juhtudel tekib neutronite toimele allunud elemendist tema isotoop, mille mass on ühe ühiku võrra suurem. Joodi pommitamisel näiteks tekib radioaktiivne jood:



Jood 128 minetab elektrone; tema poolestusperiood võrdub 25 minutiga. Minetades elektroni, muundub radioaktiivne jood järgmiseks perioodilise süsteemi elemendiks — ksenooniks:



Taolised reaktsioonid toimuvad ka teiste elementidega.

Oleks võinud oletada, et ka kõige raskemast looduslikust elemendist uraanist võib neutronite toimel moodustuda radioaktiivne isotoop, mis minetab elektroni ja muundub uraanile järgnevaks, looduses mitte leiduvaks elemendiks,

mille tuuma laeng on 93 ning mis asetseb perioodilise süsteemi 93. ruudus.

Juba esimesed uurimised näitasid, et uraanist tekib mitu radioaktiivset elementi.

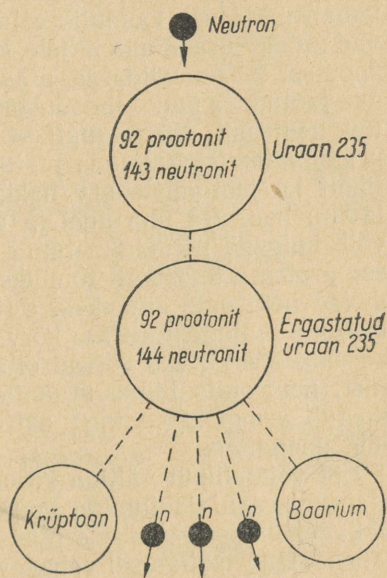
Algul teadlased oletasid, et need kõik on raskemad kui uraan, kuid see oletus ei osutunud õigeks. Selgus, et üks saadud elementidest on lantaani isotoop, teine aga baariumi isotoop. Seejärel leiti uraani neutronitega kiiritamisel saadud radioaktiivsete elementide hulgast joodi, ksenooni, krüptooni, broomi jne.

Kui kiiritada uraani neutronitega, siis tekivad elementide isotoobid, mille tuuma laeng on poolteist kuni kolm korda väiksem kui uraanituuma laeng. Kuidas saavad uraani neutronitega kiiritamisel tekkida niisugused elemendid?

Uraaniaatomite tuumad jaotuvad neutronite toimel kaheks suureks killuks, mis kujutavad enesest tuumasid laenguga 56 (baarium) ja 36 (krüptoon) või 57 (lantaan) ja 35 (broom), s. o. elementide

perioodilise süsteemi keskses osas asetsevate elementide tuumasid. Iga paari tuumalaengute summa võrdub uraani laenguga — 92-ga.

Eespool esitatust on selge, et niisuguse jaotumise tulemusel vabaneb tohutu energia, mis miljoneid kordi ületab kõige parema kütuse põlemisel vabaneva energia. Kui jaotuvad kõik ühes grammis uraanis leiduvad aatomituumad, siis vabaneb energia, mis võrdub 8 miljardi kilogrammeetriga ehk 20 miljardi kaloriga. Selle energiaga saaks tõsta 8000-tonnise koorma 1000 meetri kõrgusele või kuumutada 200 tonni vett 0 kraadilt 100 kraadini. Sellest ener-



Joon. 29. Uraani 235 tuuma jaotumise skeem. Jaotumisel moodustuvad kaks «kildu» (antud juhul krüptoon ja baarium).

giast piisaks, et 15 000 60-vatist elektrilampi saaksid põleda terve ööpäeva.

Uraaniaatomi tuum sisaldab rohkem neutroneid kui kahe temast moodustuva killu tuumad. Liigsed neutronid vabanevad. Katselisel teel on kindlaks tehtud, et iga uraaniaatomi tuuma jaotumisega kaasneb kahe kuni kolme neutroni vabanemine. On loomulik eeldada, et need neutronid toimivad uutele uraaniaatomitele, kutsudes esile nende jaotumise. Joonisel 29 on näidatud uraani 235 jaotumise skeem. Iga uue jaotumise puhul moodustuvad omakorda kaks kuni kolm uut neutronit, mis samuti võivad esile kutsuda järgmiste uraaniaatomite tuumade jaotumist. Neutronite arv ja järjekult ka jaotumiste arv hakkab sel juhul kasvama nagu laviin, haarates üha uusi ja uusi uraaniaatomeid. Seega võib kulgeda nõndanimetatud ahelprotsess. Selleks aga, et see protsess tegelikult toimuks, on vaja, et jaotumisel eralduvad neutronid kutsuksid esile uusi jaotumisi ega läheks kaduma mingisugustes kõrvalprotsessides. Niisugusteks kõrvalprotsessideks võivad olla neutronite lahkumine uraanist, neutronite toime uraanile 238, mille tagajärjel moodustub uraan 239, ning neutronite toime uraanis leiduvatele lisanditele.

Kui võimalikult vältida kõrvalprotsesse, siis hakkab kord alanud uraani jaotumine kulgema spontaanselt, kusjuures vabaneb suur kogus energiat. Sellega seotud küsimused lahendati ja jaotumisel vabaneva aatomienergia tegelik saamine muutus reaalseks tõelikkuseks.

6. Tuumareaktor

Teadlastel õnnestus konstrueerida rida seadmeid aatomienergia saamiseks, mis vabaneb uraani ja teiste taoliste elementide tuumade jaotumisel. Neid seadmeid hakati nimetama tuumareaktoriteks (-kateldeks). Esimene tuumareaktor lasti käiku juba 4 aastat pärast uraanituumade jaotumisprotsessi avastamist, s. o. 1942. aastal.

Tänapäeval on loodud ja töötab rida tuumareaktoreid. Üheks kõige levinumaks ja praktiliselt kõige tähtsamaks reaktoriks on looduslikul uraanil töötav reaktor. Loodusliku uraani koostisse kuuluvad kolm isotoopi:

U^{238} (99,28%), U^{235} (0,714%) ja U^{234} (0,006%).

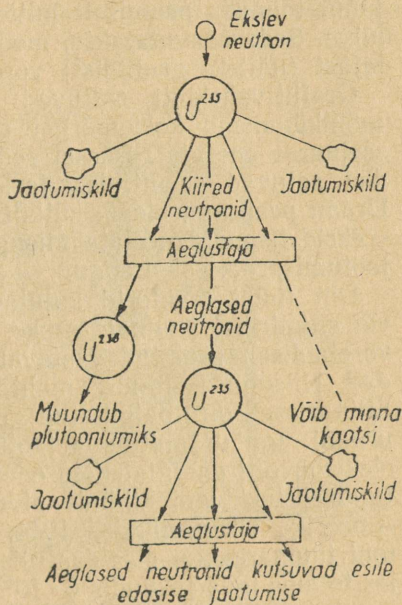
Uraani jaotumisprotsessi uurimine näitas, et jaotumisele alluvad peamiselt U^{235} tuumad. Nende jaotumine toimub hõlpsamini aeglaste neutronite toimetel. U^{238} tuumad jaotuvad ainult kiirete neutronite toimetel ja jaotumine toimub suhteliselt harva. Tõenäosus U^{238} tuumade jaotumiseks neutronite toimetel on ligikaudu 1000 korda väiksem kui U^{235} tuumade jaotumise tõenäosus. U^{234} leidub segus niivõrd väikeses koguses, et teda ei pruugi arvestada, sest ta ei mõjuta jaotumisprotsessi.

Puhta uraani tükis algab jaotumine spontaanselt uraanituumade sisemise ebapüsivuse mõjul¹ või kosmiliste kiirte poolt moodustatud juhuslike neutronite toimetel. Esimesel jaotumisel eraldunud neutronid võivad hõlpsasti lennata väljapoole uraanitüki piire või neelduda mingisuguses kõrvalprotsessis. Jaotumisprotsess sel juhul edasi ei arene, vaid lakab; seepärast on vaja, et uraani mass oleks suur — suurem teatud (kriitilisest) väärtusest, mille

puhul suurem osa neutroneid suudab astuda reaktsiooni uraaniga. Uraanitükis, mille mass on kriitilisest väiksem, jaotumisprotsess arenema ei hakka, sest jaotumisel eralduvad neutronid lahkuvad uraanitüki piiridest ja protsess sumbib. Uraanitükis, mille mass on kriitilisest suurem, hakkab kord alanud jaotumisprotsess arenema üha kasvava kiirusega, sest eralduvad neutronid avaldavad toimet uutele uraaniaatomitele.

Selleks, et U^{235} tuumade jaotumise reaktsioon kulgeks paremini, tuleb neutroneid aeglustada. See saavutatakse

¹ Tuuma nõndanimetatud spontaanne jaotumine avastati 1940. aastal nõukogude füüsikute G. N. Flerovi ja K. A. Petržaki poolt.



Joon. 30. Uraani 235 jaotumise ahelreaktsiooni skeem.

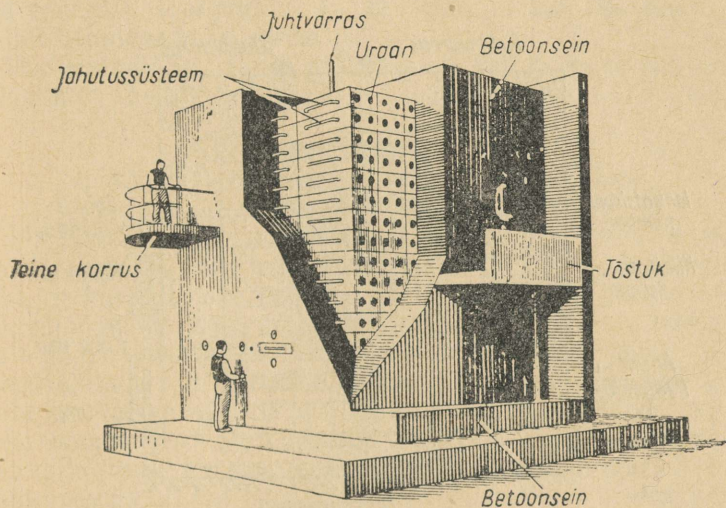
uraani paigutamise teel neutronite aeglustajasse — grafiiti või raskesse vette. Kokkupõrgetel süsiniku- või vesiniku- aatomitega kaotavad neutronid energiat — aeglustuvad (vt. joon. 30) ilma süsinikuaatomitega reageerimata. Aeglustamist tuleb aga sooritada nii, et neutronid ei puutuks energია kaotamise vältel kokku uraaniga, sest vastasel juhul toimuks peamiselt mitte jaotumine, vaid U^{239} tekkimine. Seda saavutatakse, moodustades uraanist ja aeglustajast (näiteks grafiidist) võre.

Grafiit-vahekihti sattuvad neutronid sooritavad selles mõnikümmend kokkupõrget süsinikuaatomitega, kaotades seejuures energiat. Pärast seda väljuvad neutronid grafiidist, satuvad uraani sisse ja kutsuvad esile uusi jaotumisi. Uraan peab aga olema küllalt puhas, sest vastasel juhul võiksid lisandid neelata niisuguses koguses neutroneid, et jaotumisprotsessi arengut — ahelreaktsiooni — ei toimu.

Üht tüüpi reaktorid kujutavad enesest grafiitsilindreid või silindrilisi anumaid raske veega, millesse on ühtlaselt, võretaoliselt asetatud vastaval viisil paiknevad uraanivarud. Niisuguse silindri maht ulatub mõne kuupmeetri. Silindrisse on paigutatud mõnikümmend tonni puhast uraani. Iga uraanituuma jaotumisel vabaneb 200 miljonit elektronvolti energiat. See energia muundub reaktoris jaotumisel tekkivate kildude pidurdumise toimel soojuseks. Ameerika Ühendriikides 1944. aastal konstrueeritud Clintoni tuumareaktor sisaldas niisuguse koguse uraani, et selles toimus igas sekundis $6 \cdot 10^{16}$ jaotumist, s. o. temas lagunes igas sekundis 23,5 miljondikku grammi uraani, kusjuures vabanes $11,2 \cdot 10^{18}$ miljonit elektronvolti ehk 1800 kilovatti energiat. Kui seda energiat ei oleks tuumareaktorist välja juhitud, siis oleks ta võinud panna selle plahvatama. Jahutamiseks juhitakse reaktorist (vahetult uraanist) torusid mööda läbi vett või mingit teist jahutavat vedelikku. Vesi kuumeneb kõrge temperatuurini ja teda võib juhtida soojusvahendajasse, et saada auru, millega on kerge käitada aurumasinaid või -turbiine. Ameerika tuumareaktorid aga tegelikult seda soojust ära ei kasuta, sest nende eesmärgiks on toota plutooniumi — materjali aatomirelva jaoks. Peale selle pole see soodus ameerika monopolistidele, kelle valduses on teist liiki energiaallikad.

Koos soojuse eraldumisega kasvab tuumareaktoris üha neutronite hulk ja järelikult ka jaotumiste arv sekundis. Seetõttu võib tuumareaktor plahvatada, kui osa eralduva-

test neutronitest ei neeldu kõrvalistes ainetes. Niisugusteks neutronite neelajateks — reaktsiooni kiiruse reguleerijateks — on kadmiumi sulamist või boorterasest vardad. Kadmium ja boor reageerivad hõlpsasti neutronitega. Kui vardad on sukeldatud reaktori sisse, siis reaktsioon lakkab, sest kogu jaotumisel tekkivate neutronite liig neeldub kadmiumis. Kui vardaid hakata välja nihutama, siis reaktsioon pidevalt kiireneb. Saab valida niisuguse varraste asendi,



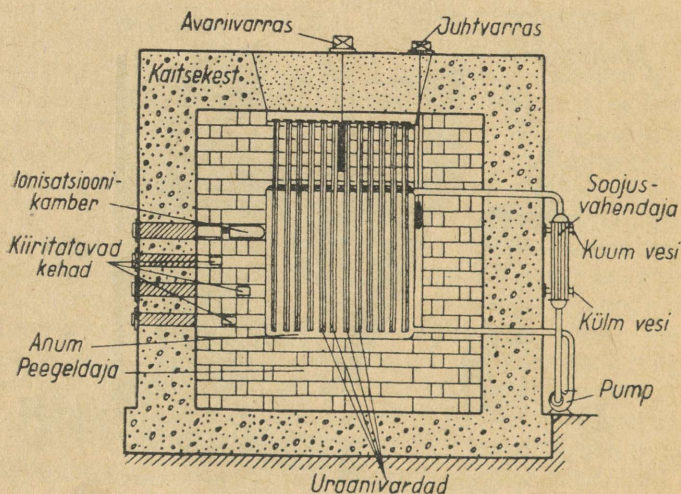
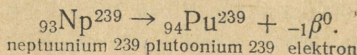
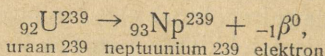
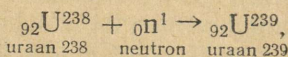
Joon. 31. Tuumareaktori skemaatiline välisvaade.

mille puhul tuumareaktor töötab ohutult, ja säilitada seda asendit automaatselt seadme abil, mis sukeldab vardaid reaktori sisse, niipea kui neutronite eraldumise kiirus või uraani temperatuur ületab teatud normi. Siin on meil tegemist aatomienergia vabastamise reguleeritava protsessiga.

Jaotumise tulemusena moodustub tuumareaktoris suures koguses radioaktiivseid isotoope ja eraldub palju neutroneid. Et inimeste viibimist tuumareaktori läheduses ohutuks muuta, ümbritsetakse reaktor betoonist kaitseseinaga, mille paksus ulatub mõne meetrini. See sein neelab neutroneid ja radioaktiivsete elementide kiirgust.

Tuumareaktoris kogunevad jaotumise tulemusena jaotumissaadused — radioaktiivsed isotoobid, mida saab ära kasutada teaduses, tehnikas ja sõjaasjanduses. Peale selle

moodustub tuumareaktoris neutronite toimel uraanist 238 plutooniumi.



Joon. 32. Tuumareaktori skeem.

Jaotumissaadused häirivad edasist reaktsiooni kulgu tuumareaktoris. Nad neelavad neutroneid ja peatavad jaotumisprotsessi — tuumareaktor šlakkub, mistõttu uraanivardad tuleb asendada uutega.

Uraanivarras, millesse on kogunenud jaotumissaadusi ja plutooniumi, võetakse tuumareaktorist välja ja lahustatakse happes. Lahusest sadestatakse jaotumissaadused ja plutoonium, tootes sellega jaotuvat materjali — plutooniumi — ja puhastades uraani jaotumiskildudest. See eraldamise protsess on keerukas ja kallis, sest suures koguses uraanis sisaldub kaduvväike hulk plutooniumi. Eraldamine toimub täielikult automatiseeritud tehases, sest see protsess on inimeste tervisele ohtlik. Et saada päevas 1 kilogramm plutooniumi, tuleb ehitada suur tuumareaktor, mis

vaabastab tohutus koguses energiat. Niisugune reaktor sisaldab paljusid tonne uraani. Tuumareaktoris, mille võimsus on 1000 vatti, võiks saada 1 kilogrammi plutooniumi alles 3000 aasta jooksul. Plutoonium ja radioaktiivsed isotoobid, mis tekivad tuumareaktori töötamisel, on väärtuslikud ained. Plutooniumi saab kasutada uraani 235 asemel tuumakütusena, sest ta jaotub samuti nagu uraan 235 neutronite toimel, eraldades seejuures mõne neutroni ja suures koguses energiat. Joonistel 31 ja 32 on kujutatud ühe tuumareaktori üldvaade ja skeem.

Plutooniumi ja uraani 235 taoliselt käitub ka tooriumist tehislikult saadav uraan 233.

7. Kiirete neutronitega töötav tuumareaktor

Me teame, et uraaniaatomite jaotumine toimub mitte ainult aeglaste, vaid ka kiirete neutronite toimel, kuid selleks, et kiire neutron kutsuks esile uraanituuma jaotumise, on vaja, et ta läbiks uraaniaatomite tuumade seas tunduvalt pikema tee kui aeglane neutron. Järelikult oleks võimalik ehitada tuumareaktor, milles neutroneid ei aeglustata, kuid see tuleks ehitada niisugusena, et kiire neutron kohtaks oma teekonnal tunduvalt suuremat arvu uraani 235 aatomite tuumi kui tavalises looduslikus uraanisegus. Seda võib saavutada, kui kasutada mitte looduslikku uraani isotoopide segu, vaid vääristatud uraani (looduslikku uraani, millele on lisandatud uraani 235) või puhast uraani 235.

Reaktorid, mis töötavad vääristatud uraani ja kiirete neutronitega, võivad olla väikesemõõtmelised. Niisugune reaktor sisaldab ainult mõne kilogrammi vääristatud uraani. Reaktori jahutamine võib sel juhul toimuda metalliga — vedela naatriumiga. Naatriumi sulamistemperatuur on 98°. Jahutusvedeliku temperatuur niisugust tüüpi reaktoris sisestumisel on ligikaudu 300°, sealt väljumisel aga ligikaudu 500°.

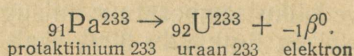
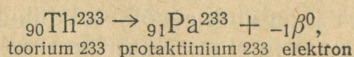
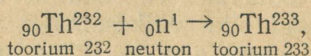
8. Tuumareaktor kütuse taastootmisega

Suurt praktilist huvi pakub nõndanimetatud paljundav tuumareaktor, mis töötab kiirete neutronite ja uraani 235 abil vääristatud loodusliku uraaniga. Selles reaktoris on neutronite kadu viidud miinimumini. Reaktori keskmes aset-

seb uraan 235 või uraaniga 235 väärstatud looduslik uraan. Seda ümbritseb looduslikust uraanist kest, millele omakorda järgneb kaitsesein. Reaktori jahutamine võib samuti toimuda vedela naatriumiga. Protsessi reguleerimine toimub boori sisaldavast terasest varraste abil. Osa uraani 235 jaotumisel vabanevatest neutronitest kulub jaotumisprotsessi edasiarendamiseks, neutronite liig aga reageerib looduslikust uraanist koosnevas kestas sisalduva uraaniga 238. Selle reaktsiooni tagajärjel moodustub uraanist 238 plutooniumi. Et iga uraani 235 aatomituum minetab jaotumisel 2—3 neutronit, reaktsiooni jätkamisele kulub üks neutron, neutronite kadu aga pole suur, siis ühinevad üks või rohkem neutronit uraani 238 tuumadega, moodustades plutooniumi.

Seega niisuguses reaktoris kaob uraan 235 ja tekib suures koguses plutooniumi. Loodusliku uraaniga töötavas tuumareaktoris tekib samuti plutooniumi, kuid vähem, kui tarvitatakse ära uraani 235. Plutooniumi võib välja ammutada ja teda võib kasutada uraani 235 asemel tuumakütusena. Sel teel saab teoreetiliselt kogu uraani muundada plutooniumiks — tuumakütuseks, ja järelikult võib tuumakütuse kogus põletamise käigus tegelikult mitte väheneda, vaid teda tekib juurde. Ära tarvitatakse uraani 238, seda aga leidub looduses niisugustes kogustes, mis võivad pikka aega varustada inimkonda energiaga.

Uraani 238 asemel võib tarvitada looduses veel rohkem levinud elementi tooriumi, mis haarab neutroni ja teeb läbi rea muundusi, andes nende muunduste tulemusel uraani 233.



Viimane jaotub samuti nagu uraan 235, eraldades neutroneid, ja ta võib olla tuumakütuseks. Seega saab tuumakütusena tarvitada uraani 235, uraani 233 ja plutooniumi 239, nende tootmise lähtematerjalidena aga uraani 238 ja tooriumi 232. Kõik need elemendid on radioaktiivsed. Nad lagunevad — ehkki aeglaselt —, levitades alfaosakesi. Kõige vähem püsikindlal neist — plutooniumil 239 — on

aga poolestusperiood 24 000 aastat ja sajandite vältel pole tema kadu jaotumise tagajärjel märgatav. Nende elementidega tuleb ümber käia ettevaatlikult, sest nad on alfa-kiirguse allikateks.

9. Aatomienergia inimese teenistuses

Tuumaprotsessid varjavad eneses loendamatu rikkusi; nad rajavad inimkonnale õnneliku tuleviku.

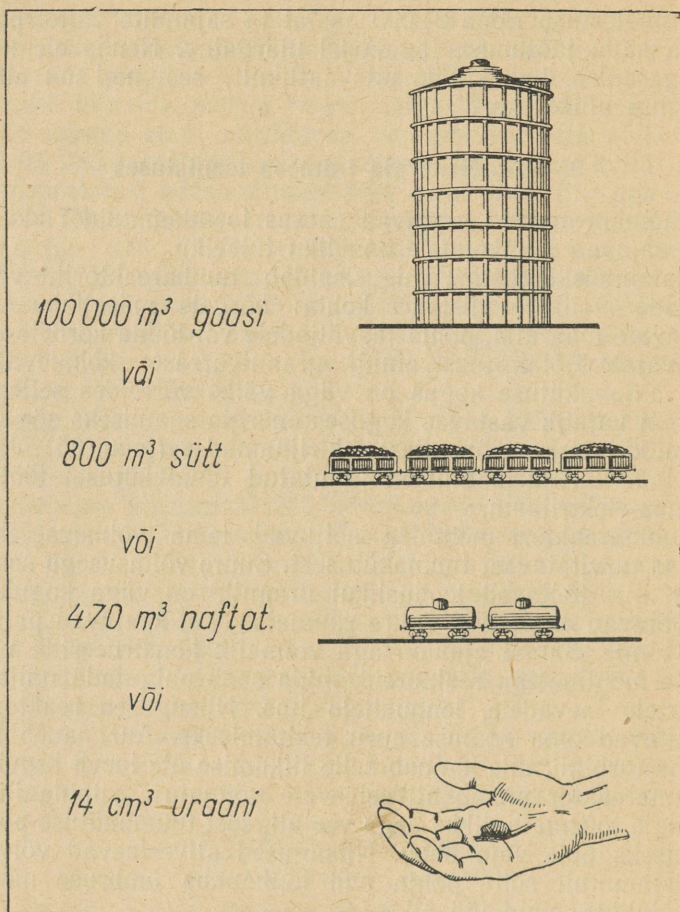
Aatomielektrijaama, mis sisaldab tuumareaktorit, võib ehitada maakera mistahes kohta: kõrgele mäestikku või sügavale maa alla, põhja jääväljadele või lõuna kõrbesse. Ta vajab töötamiseks ainult uraanivarraste kohalevedu. See aatomikütuse kogus on väga väike võrreldes sellega, mis on vajalik vastavas koguses energia saamiseks söe või teiste kütustega töötavates elektrijaamades (joon. 33). Joonisel 34 on skemaatiliselt kujutatud tuumakütusel töötav allmaa-elektrijaam.

Tuumareaktori mõõtmed sõltuvad tema võimsusest ja temas tarvitavast tuumakütusest. Suure võimsusega seadmed, mis töötavad looduslikul uraanil, on väga kogukad ja võtavad enese alla suure ruumala. Nad kaaluvad paljusid tonne. Samal ajal on aga võimalik konstrueerida väikeste mõõtmetega reaktoreid, mida saab paigutada näiteks suurtele laevadele, lennukitele jms. Niisugused reaktorid kulutavad oma soojuse auru tekitamiseks. Aur paneb liikuma turbiini, mis kannab selle liikumise üle laeva kruvile. Tuumareaktor annab allveelaevale võimaluse viibida ilma pinnale tõusmata pikka aega vee all, sest tuumakütuse põletamiseks pole vaja õhku. Niisugused allveelaevad võivad takistamatult sõita põhja- või lõunanaba ümbruse meredes, läbides neid jää all.

Aatomilõhkeainete lõhkevõime on nii suur, et nad on suutelised purustama mägesid ning looma uusi teid jõgedele. Seda jõudu võib inimene ära kasutada maakera looduse ümberkujundamiseks inimkonna hüvanguks, kõrbe muutmiseks õitsvateks aedadeks.

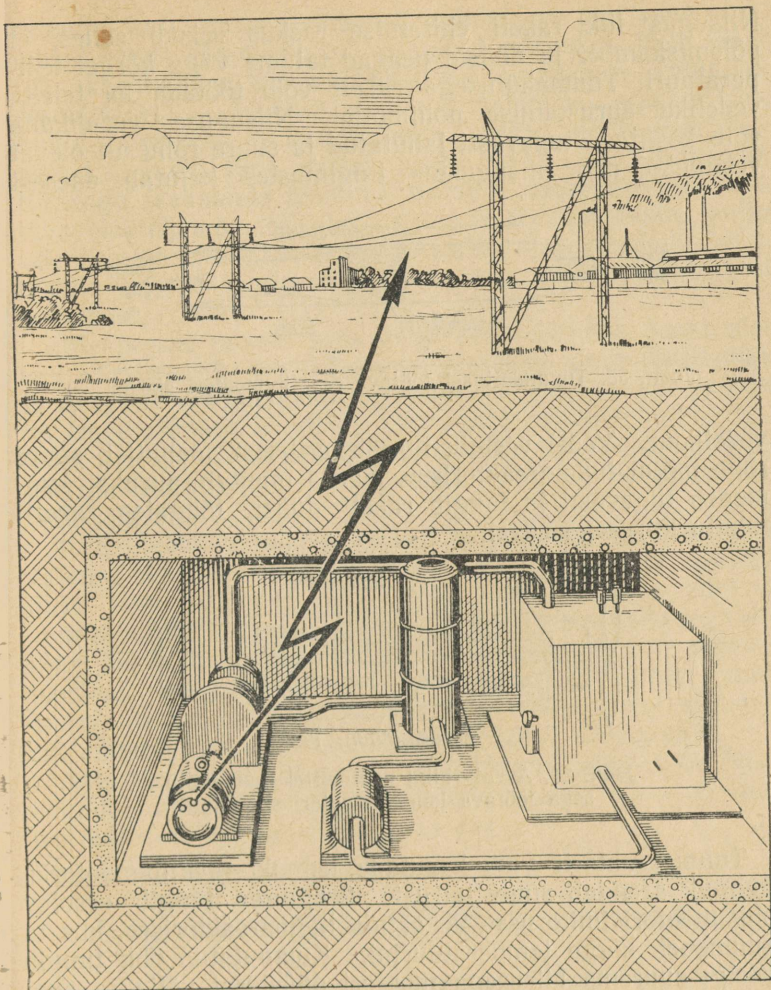
Mandreid ületavate ja planeetidevaheliste lendude tulevik on seotud tuumakütusega. Võib ligikaudselt kujutleda lennukite ja raketide mootoreid, mis tarvitavad kõige kontsentreeritumat kütust — tuumakütust.

Planeetidevaheline laev peab arendama tohutut kiirust (11,2 kilomeetrit sekundis), et pääseda välja Maa külge-



Joon. 33. Joonisel näidatud kogused mitmesuguseid kütuseid ja 14 cm³ uraani (kõigi tuumade täielikul jaotumisel) annavad ühe ja sellesama koguse energiat.

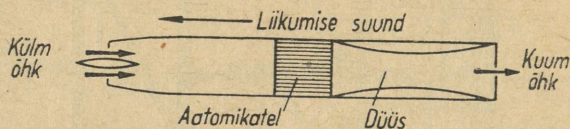
tõmbe piirkonnast. Niisuguse kiiruse võib saavutada raketiga, mis kasutab tuumakütust. Rakett liigub tagasilöögi jõu mõjul — samasuguse jõu mõjul, mis avaldub suurtüki või püssi laskmisel. Rakett kujutab enesest suletud anumat, mille põhjas on ava. Läbi selle ava tungivad gaasid, mis tõukavad raketti edasi. Gaasid tekivad põlemisel. Rakett täidetakse põleva vedelikuga ja vedela hapnikuga. Vedelik



Joon. 34. Tuumaelektrijaam (maa-alune).

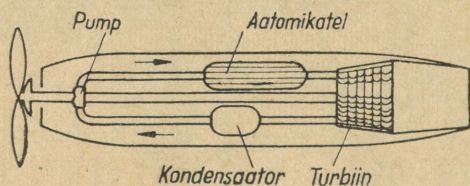
muutub põlemisel gaasiks, mis tungib suure kiirusega raketi avadest (düüsidest) välja, sundides raketti edasi liikuma. Põlemisprotsessi võib raketis asendada uraani 235 või plutooniumi jaotumine. Sel juhul piisab väikesest lõhustuva materjali kogusest võrreldes põleva materjali ja vedela hapniku kogusega, et raket läbiks pika vahemaa.

Niisugust liiki raketi ehitamise raskus seisab selles, et põlemiskamber ja düüsid peavad taluma väga kõrget temperatuuri. Tuumakütusega rakett võib töötada ka teisisi, vedeliku aurustamise põhimõttel. Niisuguse vedelikuna võib kasutada tugevasti jahutatud ja suure rõhu all olevat vesinikku, mis niisugustes tingimustes kujutab enesest



Joon. 35. Tuumakütusel töötava reaktiivmootori skeem.

vedelikku. Vedel vesinik tungib erilisest mahutist suure rõhu mõjul tuumareaktorisse, kus ta muutub auruks, kuumeneb tugevasti ja tungib raketi düüsi, tõugates raketti tohutu kiirusega edasi.



Joon. 36. Auruturbiini põhimõttel tuumakütusega töötava lennukimootori skeem.

Tuumareaktorit võib kasutada lennuki reaktiivmootoris. Lennuk arendab suurt kiirust. Seejuures tungib esolev õhk mootori imitorusse ja satub tuumareaktorisse, kus ta kuumeneb kõrge temperatuurini. Kuumutatud õhk tungib veelgi suurema kiirusega mootori düüsidest välja ja sunnib lennukit edasi liikuma. Mootori skeem on toodud joonisel 35.

Lennukile võib paigutada ka tuumareaktori jahutamisel saadava auruga töötava turbiini. Turbiin paneb pöörlema lennuki propelleri. Niisuguse mootori skemaatilist ehitust kujutab joonis 36.

Aatomienergia laialdane kasutamine rahulikel eesmärkidel pole enam mägede taga.

Viimase 15 aasta kestel lahendati paljud aatomienergia

rahuliku kasutamise küsimused. Nõukogude teadlased samusid nende küsimuste lahendamisel esirinnas. Meie maal juba kasutatakse aatomilõhkeainete lõhkejõudu rahulikel eesmärkidel — looduse ümberkujundamise eesmärkidel. Suure heameele ja rahuldusega võtsid nõukogude inimesed 1. juulil 1954. aastal vastu NSV Liidu Ministrite Nõukogu teadaande maailma esimese aatomienergia töötava elektriijaama käikulaskmisest ja tööstest teiste, palju võimsamate elektriijaamade ehitamise alal. Maailma kõigi maade rahvad hindavad kõrgelt seda meie aja suurimat sündmust.

«Me peame meeles seda kuupäeva,» kirjutas poola ajaleht «Trybuna Ludu». «Teda tähistatakse suure tööstusliku ja tehnilise revolutsiooni algusena, mille tähendust praegu on isegi võimatu kujutleda. Esmakordselt inimkonna ajaloos hakkas tööstuslikel eesmärkidel kasutatav aatomienergia teenima mitte sõda, mitte hävitust, mitte surma, vaid inimest.»

1955. aasta jaanuaris teatas Nõukogude valitsus oma valmisolekust anda rahvusvahelistele organitele teaduslikku informatsiooni NSV Liidus ehitatud aatomielektriijaama kohta ja osutada teistele riikidele teaduslik-tehnilist ning tööstuslikku abi teaduslik-eksperimentaalsete baaside loomisel uurimistööde arendamiseks tuumafüüsika valdkonnas ja tuumareaktorite projekteerimisel ning ehitamisel aatomienergia kasutamiseks rahulikel eesmärkidel.

Aatomienergia töötava elektriijaama ehitamine Nõukogude Liidus kõneleb sotsialistliku korra võrreldamatust eelistest kapitalistliku korra ees.

V. AATOMIENERGIA SÕJALINE KASUTAMINE

1. Aatomipomm

Me nägime, et kui uraaniaatomite jaotumist tuumareaktoris mitte reguleerida kadmiumvarraste abil, kui mitte neelata liigseid neutroneid, siis hakkab ajaühikus jaotuvate uraaniaatomite arv lakkamatult kasvama ja muutub lõpuks nii suureks, et tuumareaktor vabaneva soojuse mõjul plahvatab. Kui eeldada, et ühe tuuma jaotumine toimub sajamiljondiku sekundi vältel ja iga jaotu-

mine annab kaks neutronit, mis kutsuvad esile uute tuumade jaotumise, siis jaotuvad 88 tsükli vältel ehk ligikaudu ühe miljondiku sekundi jooksul kõik ühes kilogrammis uraanis sisalduvad aatomid, s. o. $2,5 \cdot 10^{24}$ aatomit. Siit on selge, et uraani jaotumist võib ära kasutada plahvatuste tekitamiseks. Ameerika imperialistid haarasidki kohe kinni mõttest kasutada uraani jaotumist ära oma inimvaenulikel eesmärkidel.

1945. aastal purustati Jaapani linnad Hirošima ja Nagasaki suure purustusjõuga pommide — aatomipommide — abil, mis heideti alla Ameerika Ühendriikide sõjalennukitelt.

Aatomipommi plahvatusele Hirošima linna kohal eelnes aatomipommi katsetamine Ameerika mandril. 16. juulil 1945. aastal lõhati New Mexico kõrbemaastikul esimene aatomipomm.

Aasta-aastalt hakkas Ameerika Ühendriikide tööstus tootma ja koguma aatomipomme, Ameerika imperialistid aga hakkasid ähvardama aatomisõjaga Nõukogude Liitu ja kõiki rahuleeri, demokraatia ja sotsialismi maid.

Nõukogude teadlased kiskusid Ameerika imperialistide käest aatomipommi tootmise monopoli ära. Meile on tuttav Nõukogude valitsuse teadaanded selle kohta, et NSV Liit tunneb ka vesinikupommi tootmise saladust. Vesinikurelva tootmises saavutasid nõukogude inimesed niisugust edu, et mahajäänuks osutus sel alal mitte Nõukogude Liit, vaid Ameerika Ühendriigid.

Vaatamata Nõukogude Liidu korduvatele ettepanekutele aatomi- ja teiste massilise hävitamise relvade keelamiseks, jätkavad Ameerika Ühendriigid aatomi- ja vesinikupommide tootmist ning katsetamist.

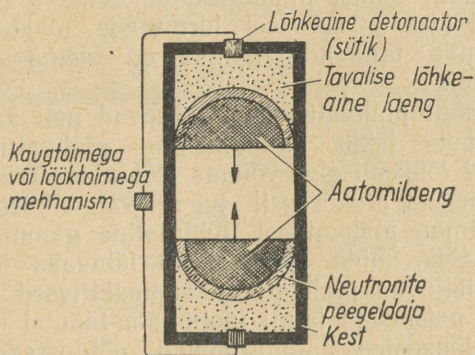
Kuidas on siis ehitatud aatomipomm?

Tuletame meelde, et tegelikult jaotub ainult uraan 235, uraan 238 aga häirib jaotumisprotsessi, sest ta haarab neutroneid, moodustades plutooniumi. Siit järeldub, et lõhkeaineiks on puhas uraan 235. Isotoopidel aga on niivõrd lähedased omadused, et uraani 235 uraanist 238 eraldada on erakordselt raske. Teadlastel õnnestus siiski leida rida menetlusi uraani 235 eraldamiseks uraanist 238. Üks niisugustest menetlustest seisab selles, et kui lasta gaasulist uraanheksafluoriidi läbi rea järjestikku seisvate poorsete vaheseinte, siis tungivad kergemat uraani 235 sisaldavad molekulid läbi niisuguste vaheseinte hõlpsamini.

Vastavalt liikumisele läbi järjestikuste vaheseinte eraldub uraan 235 uraanist 238.

Uraani 235 heksafluoriidi ja uraani 238 heksafluoriidi gaasilist segu tuleb lasta läbi tohutu arvu niisuguste poorsete vaheseinte, et toimuks eraldumine ja saadaks puhas uraani 235 heksafluoriid.

On ka teisi menetlusi uraani isotoopide eraldamiseks, kuid me ei hakka neid kirjeldama, et mitte viia lugejat kõrvale põhiküsimusest.



Joon. 37. Aatomipommi põhimõtteline skeem.

Kui metalsest uraanist 235 valmistada kera, mille mõõtmed on üle kriitilise, siis see kera plahvatab silmapilkselt, kui aga uraani 235 mass on alla kriitilist, siis jääb ta rahu-likult püsima. Kui nüüd võtta kaks tükki uraani 235, milledest kummagi mass on kriitilisest väiksem, nende mass kokku aga kriitilisest suurem, siis saab neid tükke eraldi säilitada kuitahes pikka aega.

Kuid piisab nende tükki kokkuviiemisest, et kutsuda esile plahvatust. Tükid tuleb ainult liita kiiresti, sest juba siis, kui nad on teineteisest teataval kaugusel, algab jaotumise ahelreaktsioon ja kogu uraan 235 paiskub laiali enne, kui suudab jaotuda tunduv osa uraaniaatomeist; täieliku plahvatuse asemel tekib osaline. Seepärast ümbritsetakse aatomipomm kõvast metallist paksu kestaga. Kahe uraanitüki kiire ühinemine saavutatakse tavalisest lõhkeainest lisalaengu abil. Vajalikul hetkel toimub lisalaengu plahvatus ja kaks uraanitükki lendavad pommi

sees suure kiirusega teineteisele vastu. Nende liitumisel toimub aatomiplahvatus. Joonisel 37 on kujutatud aatomipommi skeem. Uraani 235 asemel võib kasutada ka plutooniumi või uraani 233.

Aatomipommil on suur purustusvõime.

Kui aatomipommi lõhkemisel jaotuksid kõik ühes kilogrammis uraanis 235 sisalduvad aatomituumad, siis vabaneks energia, mis vastab 20 000 tonni trinitrotoluooli (tro-tüüli) plahvatusesele.

Aatomipommi toimet puhutakse ameerika ajakirjanduse poolt kõigiti üles, et sel teel hirmutada maailma suure aatomipommide tagavaraga, mis on olemas Ameerika imperialistidel.

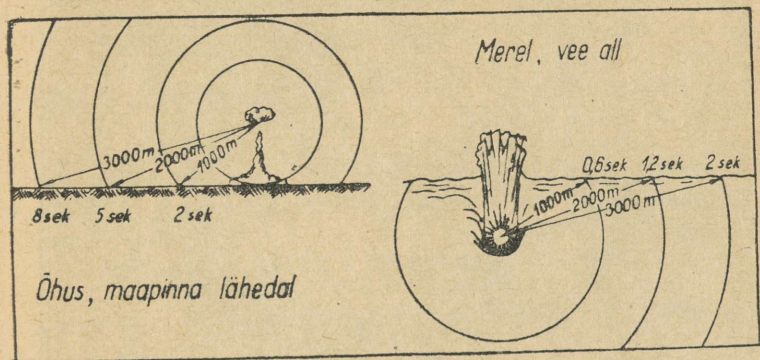
Aatomipommi plahvatuslega kaasnevad neli kahjustavat tegurit. Esiteks tekib aatomipommi plahvatusel nagu fugasspommi lõhkemiselgi võimas lööklaine. Teiseks kaasneb plahvatuslega erakordselt tugev valguskiirgus. Kolmandaks toimub plahvatusel lühiajaline gammakiirte ja neutronite levik, mida nimetatakse läbivaks kiirguseks. Neljandaks hajuvad plahvatusel radioaktiivsed jaotumissaadused ja paiskuvad laiali jaotumata jäänud uraani või mõne teise lõhkeaine aatomituumad, põhjustades õhu ja maastiku radioaktiivset nakatust.

Kaks esimest kahjustavat tegurit on tingitud sellest, et aatomipommi plahvatusel (ühe kilogrammi uraani kõigi tuumade jaotumisel) vabaneb miljondike sekundite kestel väikeses ruumalas 20 000 miljardit kalorit energiat. Suurem osa sellest energiast muundub esialgu soojuseks, mille tagajärjel toimub silmapilkne kuumenemine ja kogu pommi aines muutub hõõguvaks auruks. Selle tulemusena moodustub tulekera, mille temperatuur võrdub mitme miljoni kraadiga ja milles esineb ülikõrge rõhk. Kuumenenud ja tulekerasse suletud gaasid paisuvad kiiresti. Tulekera kasvab ja surub teda ümbritsevat õhku kokku.

Kokkusurutud õhk hakkab liikuma koos tulekera välispiiriga, siis aga kisub end sellest lahti ja jätkab suure kiirusega edasiliikumist. Kokkusurutud õhu rindele järgneb hõrenduse rinne. Moodustub lööklaine. Plahvatuskoha lähedal on tema liikumiskiirus üle ühe kilomeetri sekundis, ulatudes seega mitme tuhande kilomeetrini tunnis. Edasi hakkab kiirus pidevalt vähenema ja jõuab heli kiiruseni. Joonisel 38 on esitatud lööklaine leviku skeem.

See skeem näitab, et olles näinud aatomiplahvatuse sähvatust, võib veel jõuda ohutusse varjupaika.

Lööklaine võib purustada kaitseehitisi ja hooned, paisata ümber sõidukeid jne. Inimesed saavad seejuures kannatada peamiselt kaudsetel põhjustel — majade ja teiste ehitiste purunemise tagajärjel.



Joon. 38. Aatomiplahvatuse lööklaine levimise kiirus.

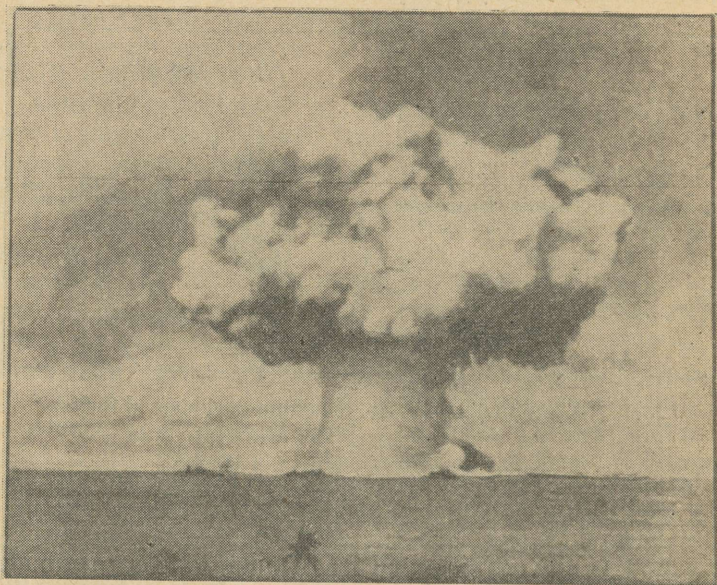
Lööklaine toimel võivad hoonete ja ahjude purunemise ning elektrijuhtmestiku ja gaasitorude riknemise tagajärjel tekkida tulekahjud. Lööklaine toime raadius ja purustuste määr sõltuvad maastiku iseloomust, kaitse- ja muude ehitiste olemasolust ning kõrgusest, millel aatomipomm plahvatab. 20 000-tonnise trotüüliekvivalendiga aatomipommi plahvatusel Hirošimas ja Nagasakis said varjestamata inimesed lööklainest vigastusi umbes 750—800-meetrise raadiuse ulatuses.

Aatomipommi lõhkemisel maa all toimub maavärinaga sarnanev maa vappumine. Purunemised tekivad seejuures pinnase vappumise ja nihkumise tõttu. Tugev maavärin sarnaneb miljoni aatomipommi plahvatusega.

Aatomipommi lõhkemisel vee all tekib samuti lööklaine, mis levib veelgi suurema kiirusega kui õhus ja on suurema purustusvõimega. 400-meetrise raadiuse ulatuses võivad laevad saada vigastusi ja vajuda põhja. Suurte (kuni 1,5-kilomeetriste) kauguste ulatuses tekivad mehhanismide vigastused. Vigastuste määr sõltub laeva kaugusest plahvatuses paigast.

Eriti tugevat mõju võib tähele panna süvaveeplahvatu-

sel. Seejuures moodustuvad plahvatuse saadused tungivad pinnale ja paiskuvad suure jõuga üles, kiskudes enesega kaasa vett. Seejärel sööstab kogu veehulk alla, tekitades niinimetatud baaslaine. Joonisel 39 on toodud aatompommi allveeplahvatuse ülesvõte.



Joon. 39. Aatompommi allveeplahvatuse üldvaade.

Ereda valgusesälvatuse tõttu kaasneb aatompommi plahvatusega valguskiirguse kahjustav toime. Ühe kümne miljonidiku sekundi pärast on 10 kilomeetri kaugusel valgus 100 korda tugevam päikesevalgusest. Valgus kannab ära ligemale kolmandiku kogu plahvatusel vabanevast energiast. Tulekera jahtub kiiresti. 15 kümne miljonidiku sekundi pärast on tema temperatuur kõigest 5000°, 10 sekundi pärast ta aga kustub. Valguskiirguse kahjustav toime sõltub kaugusest plahvatuspaigani. Põlevad materjalid, puitesemed, värv jms. süttivad valguskiirguse toimel ja söestuvad. Metsas, stepis või asulates on võimalik tulekahjude tekkimine, kuid tekkinud tulekahjud sumbuvad sageli lööklaine toimel, mis puhub leegi ära. Inimeste paljastel kehaosadel, mis on pööratud plahvatus-

paiga suunas, tekivad põletushaavad. Aatomiplahvatuse valguse toimimisel silmadele on võimalik ajutine nägemise kaotus. Valguse toime ulatub mõne kilomeetri kaugusele, kuid ta sõltub tugevasti atmosfääri seisundist. Lume- ja vihasaju korral, udu puhul ning muudel tingimustel, mil atmosfäär pole läbipaistev, väheneb valguse toime tunduvalt. Valguse toime tugevus sõltub kaugusest plahvatuskohani. Valguse toime kestab kõigest mõni sekund. Plahvatus on nähtav enne, kui valguskiirguse energia saab tekitada kahju. See on tingitud asjaolust, et algul toimib valguskiirgus molekulidele tulekera lähedal, purustades neid molekule, ja alles teatava ajavahemiku möödumisel valgus nagu rebiks end ümbritseva õhu molekulide vaangistusest lahti. Molekulidele toimimisel muutub valguskiirguse lainepikkus. Seni, kuni lainepikkus on alla 1860 ongströmi, toimib valgus molekulidele, levides molekulilt molekulile. Kui aga valguse lainepikkus muutub 1860 ongströmist suuremaks, siis hakkab ta levima kiirusega 300 000 kilomeetrit sekundis.

Aatomipommi valgustoime eest on hõlpus varjuda mistahes tükke taha, mis kaitseb valguse vahetu toime eest. Valgus levib sirgjooneliselt, mistõttu valguskiirguse eest kaitsevad seinad, kaevikute kaldad, soomus ja isegi rõivad. Näinud aatomiplahvatuse sähvatust, tuleb viibimata varjuda.

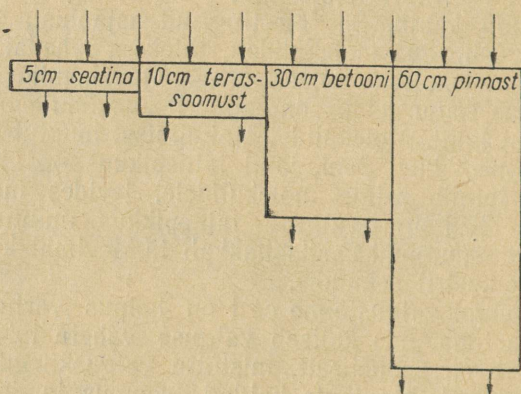
Aatomipommi veealuse või maa-aluse plahvatuse puhul valguse toime puudub.

Jahtudes tõuseb tulekera pruuni pilvena kiiresti ülespoole 10—15 kilomeetri kõrgusele.

Aatomipommi plahvatusel tekib tuumakiirgus, mille koostisse kuuluvad alfa- ja beetaosakesed, gammakiired ning neutronid. Alfa- ja beetaosakesed kaotavad kokkupõrgetel aatomitega kiiresti oma energia ja neelduvad plahvatuspaiga lähedal. Neutronid ja gammakiired, mida nimetatakse läbivaks kiirguseks, võivad aga levida tunduvatele kaugustele (üle kilomeetri). Läbiv kiirgus kannab ära mitu protsenti plahvatuse energiast, kuid tunduval kaugusele levib ainult väike osa sellest kiirgusest, umbes 1%, kuna ülejäänud neutronid ja gammakiired neelduvad aatomites plahvatuspaiga lähedal.

Läbiv kiirgus toimib inimeste ja loomade organismile, kutsudes esile niinimetatud kiiritushaiguse. See haigus lõpeb enamasti tervistumisega, võib aga lõppeda ka sur-

maga. Kiiritushaiguse aste sõltub kiirituse annusest, mida mõõdetakse röntgenites. Röntgen on niisugune kogus gammakiirte energiat, mis tekitab kuupsentimeetris õhus 0° ja 760-millimeetrise rõhu puhul umbes 2 miljardit ioonipaari. Ionisatsioon võib põhjustada keha üksikute rakude või üksikute kudede tegevuse häireid, mis tekitabki haiguse. Ühekordne kiirguse annus, mis võrdub 100—200 röntgeniga, põhjustab suhteliselt kerget, tervistumisega



Joon. 40. Mitmesuguste materjalide paksused, mis on vajalikud gammakiirte annuse 10-kordseks vähendamiseks.

lõppevat haigestumist, suured annused aga võivad esile kutsuda tõsiseid haigestumisi.

Kõige kaugemale levivad gammakiired. Neutronid avaldavad tugevat toimet niisugustel kaugustel, kus löökaine, valguskiirguse ja gammakiirte toime on palju ohtlikum ning neutronid tegelikult ei loo täiendavat ohtu. Gammakiired ja neutronid levivad peamiselt sirgjooneliselt, kuid nende toimel ainele ilmuvad hajutatud, igas suunas levivad kiired.

Läbiva kiirguse annust saab vähendada, kasutades kaitsevahendeid. Mitmesugused materjalid vähendavad kiirguse tugevust erisuguselt. Mida suurem on materjali erikaal, seda tugevam on tema kaitsetoime. Ligikaudu võib lugeda, et erisugused materjalid avaldavad ühesugust toimet sel juhul, kui nende kihid on ühesuguse raskusega. Et vähendada gammakiirte annust 10 korda, on vaja var-

jet 5 sentimeetri paksusest seatinast, 10 sentimeetri paksusest terassoomusest, 20—30 sentimeetri paksusest betoonist või 50—60 sentimeetri paksusest pinnasekihist. Joonisel 40 on näidatud gammakiirte nõrgenemine mitmesugustes materjalides. Isegi lumi võib olla läbiva kiirguse eest kaitsvaks materjaliks. Aine läbimisel toimub gammakiirte ja neutronite neeldumine. Nad aeglustuvad kokkupõrgetel aatomituumadega, eriti vesinikuaatomite tuumadega, ja neelduvad tuumareaktsioonide tagajärjel.

Seetõttu kasutatakse kaitseks neutronite eest vesinikku sisaldavaid aineid (pinnast, betooni). Aeglustunud neutronite neelamiseks on kõige parem kasutada boori, mis neutronite toimel tekkiva tuumareaktsiooni tagajärjel annab boori püsikindla isotoobi.

Rõivad ei kaitse läbiva kiirguse toime eest.

Läbiv kiirgus ei kahjusta masinaid, kuid neutronid võivad esile kutsuda niinimetatud sundradioaktiivsuse keemilistes elementides, mis kuuluvad pinnase, toiduainete, vee ja paljude nende toimepiirkonnas leiduvate esemete koostisse. Fotofilm särítub ja klaas tuhmub läbiva kiirguse toimel.

Kiirguse toime sõltub tugevasti kaugusest plahvatuspaigani. Kauguse suurenemisel kaks korda väheneb kiirguse annus neli korda; kui kaugus suureneb 5 korda, siis väheneb annus 25 korda. Kiirguse annus on pöördvõrdeline plahvatuspaiga kauguse ruuduga.

Primaarne tuumakiirgus lõpeb aatomipommi lõhkemisest ühe sekundi möödumisel. Ta on ohutu isegi väljaspool varjendit kahe kilomeetri kaugusel plahvatuspaigast.

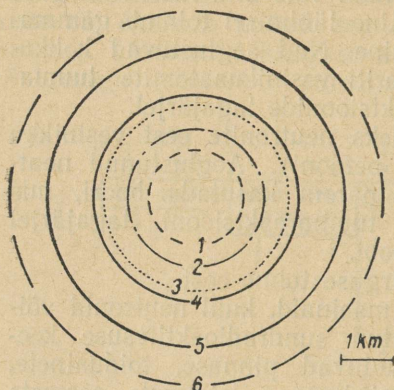
Väiksematel kaugustel võib saada kiirguse eest kaitset varjumise teel varjenditesse, kaitseehitistesse, majadesse jms.

Primaarne läbiv kiirgus aatomipommi lõhkemisel vee all või maa all maapealsetele objektidele toimet ei avalda.

Joonisel 41 on antud aatomipommi mitmesugust liiki toime võrdlevad raadiused.

Aatomipommi plahvatusel nakatub maastik radioaktiivsetest isotoopidest. Uraani ja plutooniumi jaotumise saadused on enamasti radioaktiivsed isotoobid. Jaotumata jäänud uraan ja plutoonium on samuti radioaktiivsed. Radioaktiivseid isotoope tekib peale selle ka neutronite toimel pinnases sisalduvatesse elementidesse — ränisse, alumiiniumisse, naatriumisse ja teistesse. Kõik need radioaktiiv-

sed isotoobid kiirgavad beeta- ja gammakiiri. Seega muutub radioaktiivsetest isotoopidest nakatatud maastik ohtlikuks. Nakatub pinnas, nakatuvad kaitseehitised, õhk ja vesi. Nakatuse olemasolu saab kindlaks teha eriliste dosimeetrite abil.



Joon. 41. Aatomipommi õhus, linna kohal lõhkemisel avalduvate mitmesugust liiki toimete võrdlevad raadiused (Ameerika andmetel): 1 — lõõklaine toimel tekkivate täielike purustuste piir; 2 — väga ohtliku, 400-röntgenise annusega kiirgusala piir; 3 — 100-röntgenise annusega kiirgusala piir; 4 — lõõklaine toimel tekkivate suurte purustuste ja tugevate põletuste piir; 5 — lõõklaine toimel tekkivate keskmiste kahjustuste ja mõõdukate põletuste piir; 6 — lõõklaine toimel tekkivate osaliste kahjustuste piir.

Kui aatomipomm plahvatab õhus, siis kandub suur osa radioaktiivseid isotoope üleskerkiva pilvega ära ja hajub seejärel tunduva ajavahemiku möödumisel suurele maa-alale. Selle tagajärjel võib nakatus plahvatuse piirkonnas olla tähtsusetu ega takista lahingutegevust. Kui plahvatus toimub maa pinnal või maa all, siis ulatub radioaktiivne nakatus plahvatuspaigast 400–500-meetrise raadiusega piirkonda ja maastik nakatub tugevalt. Veealusel plahvatusel paiskub põhikogus radioaktiivseid aineid koos veega õhku ja langeb seejärel alla, nakatades plahvatus piirkonna ja läheduses olevad laevad. Ühtlasi haarab vees sisalduv (soola koostisse kuuluv) naatrium neutroneid ja

muutub radioaktiivseks isotoobiks. Et suuremal osal radioaktiivsetest isotoopidest — jaotumissaadustest ja neutronite toimel kulgenud tuumareaktsioonide produktidest — on väikesed poolestusperioodid, siis nende aktiivsus väheneb kiiresti ja kiirguse annus kahaneb järsult.

Eriti ohtlik on radioaktiivsete ainete sattumine suu ja hingamisteede kaudu organismi. Samuti on ohtlik ka katmata kehaosade määrdumine radioaktiivsete isotoopidega. Nahal ja eriti limaskestadel võivad radioaktiivse kiirguse toimel tekkida haavandid. Kõige ohtlikumateks isotoopideks on organismi sattumisel niisugused alfakiirgajad,

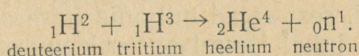
nagu näiteks plutoonium, sest alfaosakestel on tunduvalt suurem ioniseerimisvõime kui beetaosakestel ja gamma-kiirtel.

Lahingumasinad radioaktiivsete ainete kiirguse toimel kannatada ei saa. Ainult fotoplaadid särituvad. Kui lahingumasinad on radioaktiivsete ainetega määrduvad, siis võivad neid masinaid kasutavad inimesed kiirituse tagajärjel kannatada radioaktiivsete isotoopide kandumisel nahale või organismi.

Radioaktiivsed ained tuleb tingimata kõrvaldada, viies läbi desaktivatsiooni või sanitaarkorrastuse.

2. Vesinikupomm

Me nägime, et Päikese kõrge temperatuur säilib tuumareaktsioonide tagajärjel. Kas ei saaks taolisi reaktsioone ära kasutada sõjalistel eesmärkidel? Selleks, et kulgeks vesinikust heeliumi moodustumise protsess, on vaja kõrget, mitme miljoni kraadist temperatuuri ja suurt rõhku. Niisugused tingimused esinevad maa peal ainult aatompommi plahvatusel. On ilmne, et kui aatompomm ümbritseda näiteks deuteriumi ja triitiumi seguga ning kõik see mahutada tiheda massiivse kesta sisse, siis kutsub aatompommi plahvatus esile termotuumareaktsiooni — vesinikust heeliumi moodustumise:



Sellel tuumareaktsioonil vabaneb tohtu kogus energiat, mis reageeriva aine kaaluühiku kohta ligikaudu kümnekordselt ületab uraani jaotumisel vabaneva energia. Tuumareaktsiooni energia muundub soojuseks. Reaktsiooni piirkonnas säilib väga kõrge temperatuur ja deuteriumi ning triitiumi ühinemine levib aatomilt aatomile. Vesinikupommis täidab aatompomm omamoodi sütiku ülesannet (joon. 42).

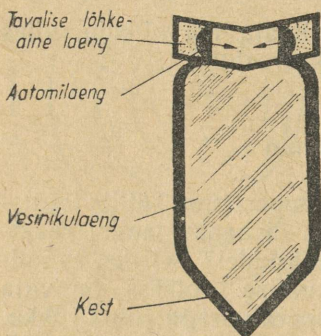
Taalisi reaktsioone tuntakse palju ja neid kõiki nimetatakse termotuumareaktsioonideks.

Triitiumi saadakse tehislikult, kiiritades tuumareaktoris liitiumi neutronitega. Deuteriumi sisaldub väga väikestes kogustes looduslikus vesinikus ja selle ühendites. Vee kestval lagundamisel elektrivooluga võib saada niinimetatud

rasket vett, mille koostisse kuulub deuteerium. Raskest veest on võimalik saada vaba deuteeriumi.

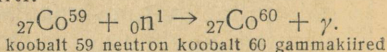
Siit on selge, et deuteerium ja eriti tritium on väga kallihinnalised tooted.

Pomm, milles kasutatakse termotuumareaktsiooni, võib erinevalt aatomipommist olla väga suur ja järelikut võib tema toime olla tunduvalt tugevam aatomipommi toimest.



Joon. 42. Vesinikupommi ehituse põhimõtteline skeem.

Vesinikupommi plahvatuslega kaasnevad needsamad kahjustavad tegurid, mis esinevad aatomipommi plahvatuselgi: lööklaine, valguskiirgus, läbiv kiirgus ja radioaktiivne nakatus. Kui vesinikupommi kest valmistada metalsest koobaltist, siis toimivad pommi lõhkemisel eralduvad neutronid koobaltile ja moodustavad radioaktiivse koobalti:



Imperialistid propageerivad avalikult vajadust valmistada sõjaks, milles leiaksid kasutamist aatomi- ja vesinikurelv. Iga avantüür, mis on seotud uue maailmasõja vallapäastmisega, lõpeb agressorile paratamatult halvasti, sest sajad miljonid inimesed kõigis maades võitlevad sel juhul lõpuni agressiooni vastu, olles täielikult veendunud oma ürituse õigsuses. Kui sõjaõhutajad julgevad teostada oma kuritegelikke kavatsusi, siis ei hukku «maailma tsivilisatsioon», kui palju see ka uue agressiooni tagajärjel kannataks, vaid hukub mädanenud kapitalistlik süsteem, mis on oma aja juba ära elanud!

3. Radioaktiivsed ründaained

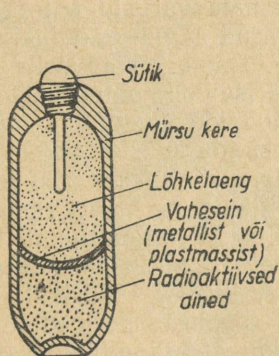
Nagu oli öeldud, võib inimorganismi sattunud radioaktiivsete elementide kiirgus esile kutsuda tõsiseid haigestumisi ja isegi põhjustada surma. Ohutu on ainult väike kiiritus, mis ei ületa teatud normi.

Kahtlemata võivad maailma valitsemise kättevõitmisest unistavad imperialistid kasutada peale aatomi- ja vesiniku-

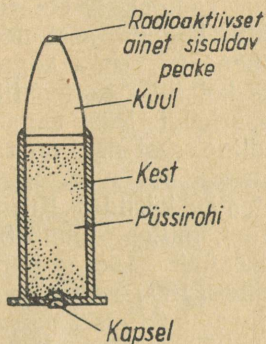
pommi ühe massilise hävitamise vahendina ka radioaktiivseid ründeaineid.

Radioaktiivseid isotoope — uraani ja plutooniumi jaotumissaadusi — tekib väga suurtes kogustes tuumareaktori-tes — aatomikateldes, kus nad on tootmise jääkideks.

Radioaktiivseid ründeaineid võib kasutada vedelikena, suitsudena või pulbritena. Viimased kujutavad enesest radioaktiivsete ainetege immutatud poorseid tahkeid aineid. Neid on võimalik segada liimivate koostisosadega, mis kleepuvad rõivaste, soomuse ja relvade külge. Radioaktiiv-



Joon. 43. Radioaktiivseid aineid sisaldava mürsu ehituse skeem.



Joon. 44. Radioaktiivse ainega varustatud kuul.

seid ründeaineid võib kasutada ka koos keemiliste ründeainetega ülimürgiste ühendite näol.

Radioaktiivsete ründeainetega võib täita lennupomme, mürske, torpeedosid, miine jms.

Radioaktiivsete ründeainete kasutamise tagajärjel tekib nagu aatomiplahvatuselgi maastiku ja õhu radioaktiivne nakatus.

Joonistel 43 ja 44 on kujutatud radioaktiivseid aineid sisaldava mürsu ja kuuli ehituse skeemid, mis on ära toodud välismaa ajakirjanduses. Niisuguste kuulidega ja mürsukildudega haavata saamine on seotud radioaktiivsete ainete verre sattumisega. Radioaktiivsete ainetege täidetud süütepommid ja mürsud on ohtlikud selle poolest, et tulekahjude kustutamine on niisuguste süütevahendite kasutamise puhul raskendatud radioaktiivsete ainete kiirguse ja nende õhus sisaldumise tõttu.

Kõige tõenäolisem on gammakiirgust levitavate isotoopide kasutamine. Radioaktiivsed ained, mis tekitavad alfa- ja beetakiirgust, on ohtlikud ainult nende sattumisel nahale või hingamisteede ja seedekanali kaudu organismi sisse.

Inimeste viibimine radioaktiivsetest ainetest nakatatud maastikul pole lahinguolukorras välditav. Mõningatest allpool selgitatavatest ohutuseeskirjadest kinnipidamisel on nakatatud maastikul võimalik jätkata lahingutegevust ja siisugust maastikku võivad läbida sõjaväed.

Suuri radioaktiivsete ründeainete varusid pole rahuajal võimalik koguda, sest need varud lagunevad lakkamatult ja vähenevad seega kogu aeg. Enamik sõjaliseks kasutamiseks kõlblikke radioaktiivseid isotoope omab väikest poolestusperioodi. Pika eaga isotoopide kogumine on vähe tõenäoline, sest neid on raske saada suurtes kogustes.

Radioaktiivse elemendi aktiivsust mõõdetakse erilistes ühikutes — kюриides. Kюри on siisugune kogus radioaktiivset ainet, milles toimub 37 miljardit aatomituuma lagunemist sekundis. Üks gramm raadiumi, mille poolestusperiood on umbes 1600 aastat, omab aktiivsust 1 kюри, kuna aga 1 kюри radioaktiivset naatriumi (poolestusperiood 15 tundi) võrdub kaalult ligikaudu ühe kümnemiljondiku grammiga. Mida suurem on radioaktiivse isotoobi poolestusperiood, seda suurem on selle isotoobi ühe kюри kaal.

Vastupidi, eri isotoopide võrdsetel kaalulistel kogustel on seda suurem aktiivsus, mida väiksem on nende poolestusperiood. Seega võib radioaktiivsete ründeainete tunduvate koguste kaal olla väike.

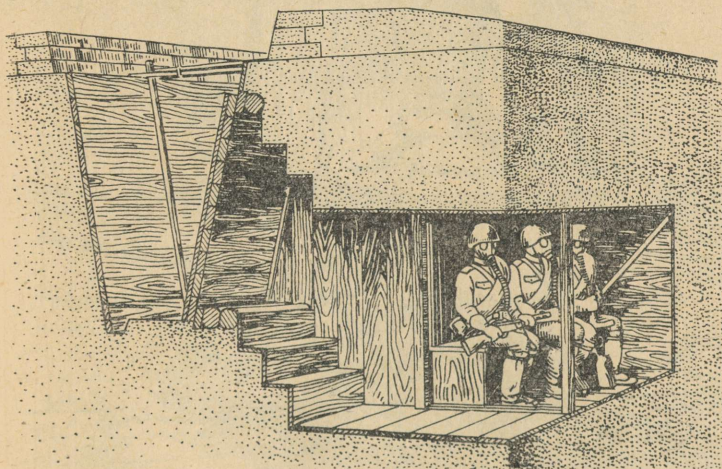
Radioaktiivsed ründeained osutuvad järelikult iseenesest kompaktselt relvaks, kuid nende tootmine, vedu, säilitamine ja rakendamine lahingupaigas nõuavad personali kaitsmist kiirguse eest. Seetõttu tuleb radioaktiivsed ründeained sulgeda massiivsetesse metallkonteineritesse.

Me juba rääkisime, et radioaktiivne kiirgus neeldub mitmesugustes materjalides. Alfa- ja beetakiired neelduvad seejuures tunduvalt hõlpsamini. Gammakiired tungivad läbi suurte paksuste, kuid ka nemad võivad neelduda või nõrgeneda paksudes ainekihtides.

4. Mõningaid aatomirelva eest kaitsmise vahendeid ja viise ¹

Aatomirelv ei loo tingimusi, milledes sõjategevuse jätkamine muutuks võimatuks. Lahinguülesande täitmine on sõdurite ja ohvitseride põhikohustuseks.

Aatomiplahvatuse lööklaine erineb fuggasspommi plahvatuse lööklainest ainult tugevuse ja levimiskauguse poolest. Seetõttu vähendavad aatomipommi lööklaine purus-



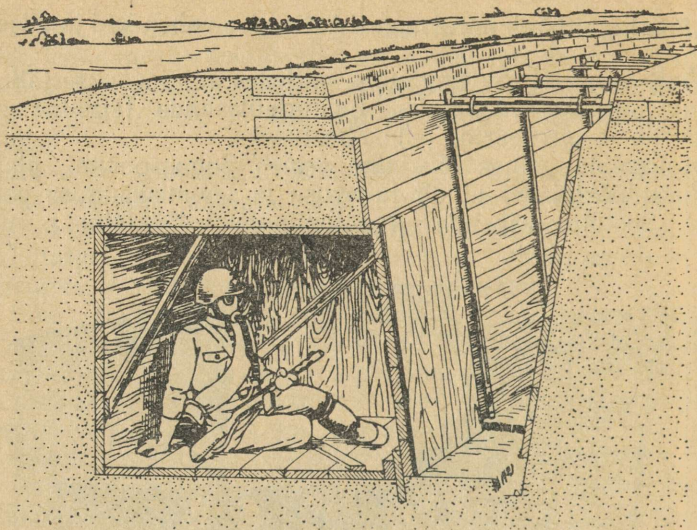
Joon. 45. Rinnatisealune blindaaž varjumiseks aatomiplahvatuse eest.

tavat toimet igasugused kaitseehitised ja maastiku kurrud, kuid kaitseehitised peavad sel juhul olema palju vastupidavamad. Aatomiplahvatuse valgustoime on ohtlik ainult plahvatuspaiga läheduses ja sellest teatavas kauguses katmata kehaosade olemasolu korral. Valguskiirguse eest kaitsevad täielikult kaitseehitised, lahingumasinad jms.

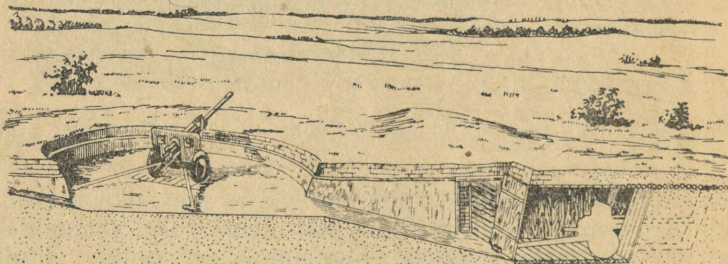
Kaitseks läbiva kiirguse toime eest võib kasutada suletud kaitseehitisi, maastiku kurde, kaevikuid, kraave, nõlvakuid jms.

Joonisel 45 on kujutatud rinnatisealune blindaaž, mis kindlalt kaitseb inimesi aatomirelva toime eest. Joonisel

¹ Aatomikaitsevahendeid on siin käsitletud mitte tsiviilelaniku, vaid sõjaväelase seisukohast. *Toim.*



Joon. 46. Rinnatisealune orv ühele võitlejale varjumiseks
aatomiplahvatuse eest.



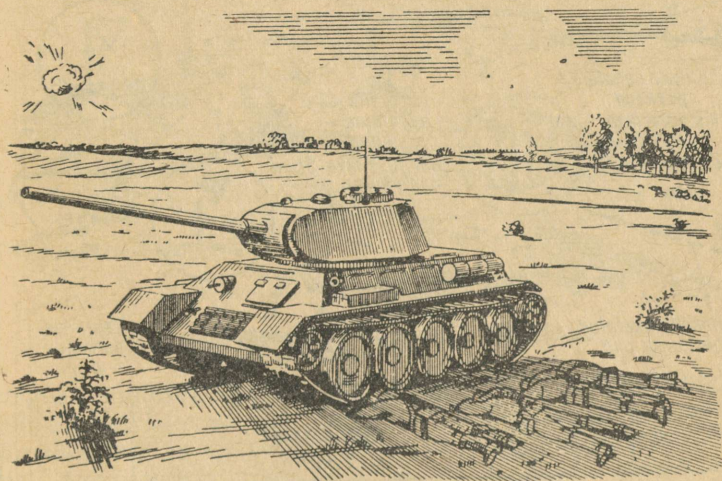
Joon. 47. Kaevik varjendiga suurtükile aatomiplahvatuse puhuks.

46 on toodud rinnatisealune orv üksiku võitleja kaitsmiseks aatomirelva eest. Aatomirünnaku puhul on oluline kaitsta lahingumasinaid. Joonisel 47 on näidatud varjend suurtükile aatomirünnaku ajaks. Spetsiaalsete varjendite puudumisel võib ära kasutada maastiku kurde või soomusmasinaid (joon. 48).

Radioaktiivsete ainete sattumise eest organismi ja nahale

kaitsevad võitlejaid gaasitorbik ja kaitserõivastus (kaitse-keep, sukad, kindad jne.), s. o. individuaalsed keemiakaitsevahendid. Tuleb mees pidada, et toiduaineid ja vett on vaja tingimata kaitsta radioaktiivsete ainete eest, säilitades need hermeetiliselt suletud nõudes või hoolikalt mähituna veekindlasse riidesse.

Inimese poolt radioaktiivse kiirguse toimetsoonis saadud kiirguseannus on seda suurem, mida pikem on selles tsoonis viibimise kestus. Väikese ajavahemiku vältel kiirgustsoonis viibimine võib olla ohutu.



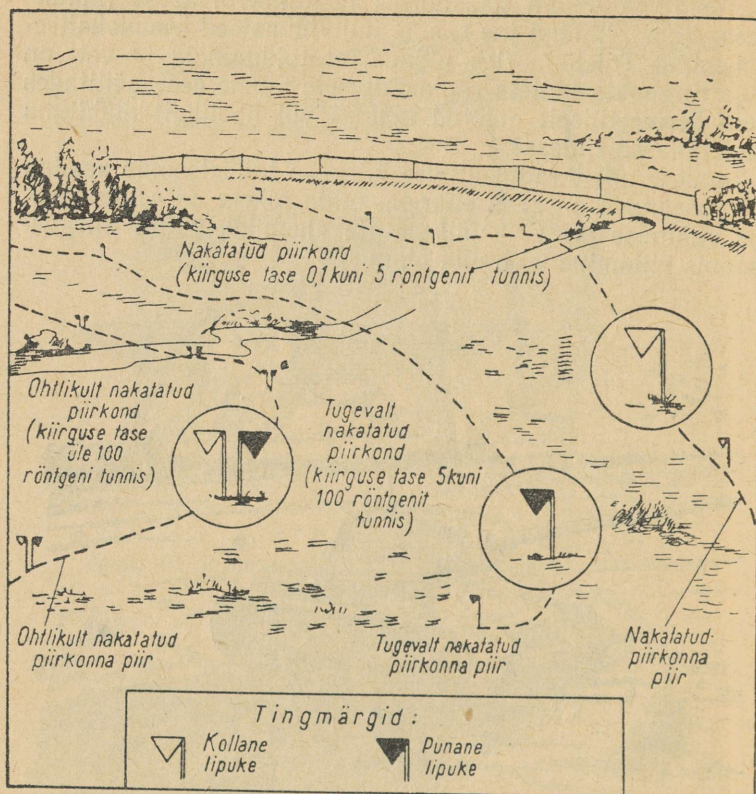
Joon. 48. Varjumine tanki taha aatomiplahvatuse puhul.

Seetõttu võib lahingutegevus radioaktiivsetest ainetest nakatatud tsoonis jätkuda. Nakatatud piirkondi võivad läbida lahingumasinad ja sõjaväed. Niisuguse läbimise puhul on võimalik radioaktiivsetest ainetest nakatumine, mistõttu inimesed peavad kasutama kaitserõivastust ja -jalatseid.

Nakatatud maastikupiirkonnad tähistatakse hoiatusmärkidega.

Joonisel 49 on näidatud hoiatusmärgid ja nende märkide paigutus maastikul.

Isegi tsoonis, kus kiirguse tase ulatub mitmekümne



| Hoiatusmärgid | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Eeskirjade kohased | | | Juhuslikult materjalist valmistatud | | |
| Kiirguse tase | | | Kiirguse tase | | |
| üle 0,1 röntgeni tunnis | üle 5 röntgeni tunnis | üle 100 röntgeni tunnis | üle 0,1 röntgeni tunnis | üle 5 röntgeni tunnis | üle 100 röntgeni tunnis |
| | | | | | |
| Lipukesed metallvarrastel | | | Vineerist või laudadest kilbid | | |

Joon. 49. Radioaktiivsetest ainetest nakatatud maastikupiirkondade piiride tähistamine hoiatusmärkidega.

röntgenini tunnis, on umbes tunnise kestusega viibimine ohutu.

Aatomipommi lõhkemine ja maastiku radioaktiivsete rüндаainetega nakatumine võib toimuda ootamatult. Võitlejate tegutsemise kiirusest ja osavusest sõltub nende tervis ja elu. Näinud aatomisähvatust, tuleb suurima kiirusega varjuda või võtta lööklaine, valguskiirguse ja läbiva



Joon. 50. Kaevumine nakatatud maastikul.

kiirguse suhtes kõige ohutum asend. Umbes 20 sekundi möödumisel kaovad kõik kahjustavad tegurid peale maastiku nakatuse ja on võimalik jätkata lahinguülesande täitmist. Lahingumasinates tuleb ainult sulgeda luugid ja vaatepilud, nende liikumine aga võib jätkuda, kui nad ei asu erilises varjendis.

Kui on vaja tegutseda nakatatud tsoonis, siis tuleb rakendada kõiki vahendeid, mis võiksid vähendada kiirguse ja nakatuse ohtlikkust.

Niisugusteks vahenditeks on gaasitorbik ja kaitserõivastus. Nakatatud maakoht tuleb läbida kiiresti, seal ei tohi süüa ega suitsetada, sest sellega võivad radioaktiivsed ained organismi sattuda. Nakatatud tsoonis ei tohi puudutada mingeid esemeid. Kaevumise vajaduse puhul tuleb heita allalaotatavale matile ja kõrvaldada maapinna pealmine kiht, heites selle ettevaatlikult allatuult. Seejuures ei tohi tolmutada. Rinnatis tehakse nakatamata mullast. Joonisel 50 on näidatud võitleja kaevumine nakatatud maastikul.

Lahingumasinad läbivad nakatatud maastiku suletud luukide ja vaatepiludega ning väljalülitatud ventilaatoritega, võitlejad aga peavad olema gaasitorbikutes ja kaitserõivastes.

Kui maastik, ehitised, relvad, lahingumasinad või inimesed on radioaktiivsetest ainetest nakatatud, siis tuleb teostada desaktivatsioon.

Desaktivatsioon teostatakse radioaktiivsete ainete vee või pesemisvahendite abil mahapesemise teel, samuti mahahõõrumise või ärakaapimise teel, liivajoaseadiste abil (mürgmenetlusel) jms. Puhastusmaterjalid muutuvad desaktivatsioonil radioaktiivseks ja nad tuleb matta maasse.

Inimesed peavad võtma seljast kaitserõivad ja tegema läbi sanitaarkorrrastuse; seejuures kõrvaldatakse inimese keha pinnalt kõik radioaktiivsed ained.

Real juhtudel on otstarbekas matta nakatatud esemed maasse. Vahel tuleb nad jätta selleks eraldatud kohta, et toimuks radioaktiivsete elementide lagunemine. Aeg, mille vältel neid seal hoitakse, sõltub rakendatud isotoobi poolestusperioodist.

VI. RADIOAKTIIVSETE ELEMENTIDE RAKENDAMINE KIIRGAJATENA

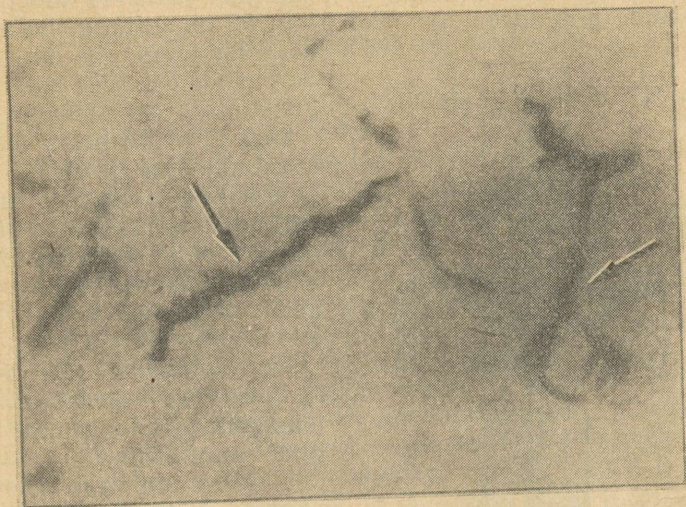
Radioaktiivsed elemendid levitavad alfa-, beeta- ja gammakiiri. Radioaktiivsete elementide kiirgus on leidnud laialdast rakendamist teaduses ja tehnikas. Selles peatükis me käsitleme radioaktiivsete elementide rakendamist kiirgajatena.

1. Kiirgus tehnikas

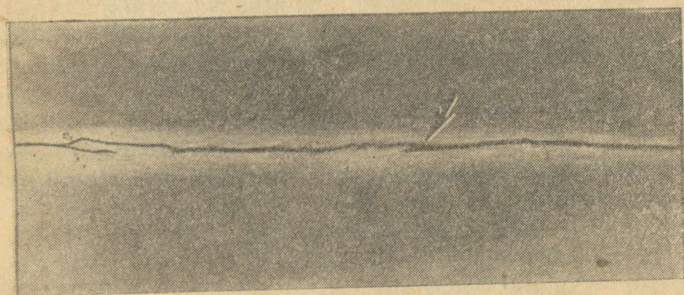
Kuidas heita pilku metallesemesse? Kuidas leida temas tühikuid, pragusid, gaasimullikesi jne.?

Läbipaistmatute kehade läbivalgustamiseks kasutati kuni viimase ajani ainult röntgenikiiri, kuid tööstuses kasutatavad röntgeniseadmed võimaldavad läbi valgustada ainult kuni 5 sentimeetri paksusi detaile. Raadiumi gammakiired tungivad suuremasse sügavusse, kuid raadium on kallis ja tema kasutamine pole seetõttu leidnud laialdast levikut. Rida tehisradioaktiivseid isotoope, eriti koobalt 60, võivad eduga asendada röntgeniseadmeid ja raadiumi. Niisuguste

tehisradioaktiivsete isotoopide abil saab läbi valgustada suuremamõõtmelisi, kuni 30 sentimeetri paksusi detaile. Läbivalgustamisega saab avastada defekte metallides,



Joon. 51. Gammakiirte abil tehtud ülesvõte pronksrõngast; on näha kahanemistühikud.

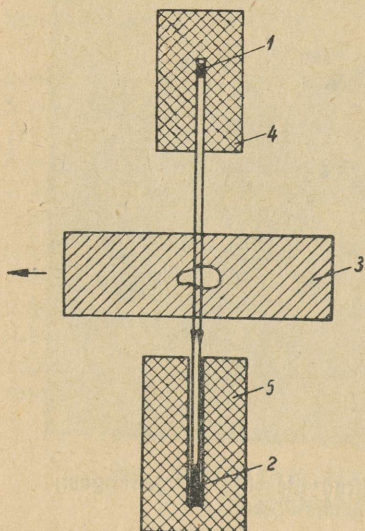


Joon. 52. Gammakiirte abil tehtud ülesvõte keevisliitest; on näha pragu.

pragusid masinaelementides, tühikuid, mullikesi ja ebaühtlusi valatistes, kindlaks teha keevisliidete ühtlust ja kvaliteeti ning lahendada rea teisi küsimusi.

Gammakiirtega läbivalgustamisel asetatakse ühele poole detaili kiirguse allikas, teisele poole aga fotofilm. Detaili

materjal tõkestab gammakiiri, kuid kohtades, kus esinevad tühikud ja praod, tõkestuvad kiired vähem ja filmile sattudes säritavad seda ebaühtlaselt. Ilmutamisel muutuvad filmil nähtavaks tumedad jooned, mis vastavad metallis olevatele pragudele. Joonistel 51 ja 52 on esitatud metall-



Joon. 53. Loendaja abil toote kontrollimise skeem: 1 — radioaktiivne preparaat, 2 — loendaja, 3 — toode, 4 ja 5 — seatinaplokid.

detailide fotod, mis on saadud nende detailide läbivalgustamisel gammakiirtega.

Defekte detailides saab avastada ka loendaja ja gammakiiri kiirgava preparaadi abil, nagu seda näitab joonis 53. Loenduse intensiivsus suureneb järsult, kui metallis loendaja kohal leidub pragu või tühik.

Kui alfakiiri levitavat radioaktiivset ainet segada tsinksulfiidiga, siis niisugune segu helendab pimedas. Teda panevad helendama alfaosakesed, mis kokkupõrgetel tsinksulfiidi molekulidega põhjustavad valgusesähvatusi. Miljooneid niisuguseid sähvatusi tajub silm pideva helendamisenä. Helendavad segud koosnevad tavaliselt 10 000 osast tsinksulfiidist ja 1

osast raadiumist. Niisugused helendavad segud võivad pidevalt helendada sajandeid. Neid kantakse niisuguste riistade osutitele ja numbrilaudadele, mida tuleb jälgida pimedas, ja nad helendavad rohekalt. Kui helendavat segu vaadelda pimedas mikroskoobiga, siis võib näha pideva helendamise asemel üksikuid tähekeste taolisi sähvatusi.

Reas tootmisharudes kogunevad masinaosade hõõrdumise tõttu elektrilaengud. See nähtus esineb näiteks tekstiilimasinate puhul riide või niitude liikumisel masinas. Kogunenud laengud võivad tekitada sädemeid, neist aga võib puhkeda tulekahju. Seetõttu kerkib vajadus laengute kõrvaldamiseks masina töötamisel. Seda saavutatakse hõlpsasti, kasutades radioaktiivseid elemente, millede kiirgus

ioniseerib õhku. Radioaktiivne element paigutatakse hõõrduvate osade lähedusse ja laengud kanduvad elektrijuhiks muutunud õhu kaudu masinast ära.

2. Kontrollriistad tootmises

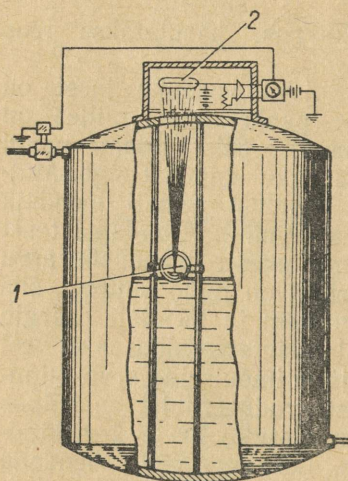
Radioaktiivsete elementide kiirgust kasutatakse reas automaatsetes kontrollriistades.

Kujutlege metallpaaki, milles oleva vedeliku taset on tarvis teada. Paigutame sellesse paaki ujuki, milles on väike kogus radioaktiivset elementi. Siis täidame paagi teatud tasemeni ja kinnitame vedeliku kohale Geiger-Mülleri loendaja. Vaatleme, mitu loendust annab loendaja minutis vedeliku niisuguse taseme puhul. Alandame taset 10 sentimeetri võrra ja määrame uuesti loenduste arvu minutis. Et ujuki kaugus loendajast on nüüd suurem, siis on loendajasse sattuv kiirgus nõrgem ja loendaja märgib väiksema arvu loendusi. Edasi alandame vedeliku taset veel 10 sentimeetri võrra, loendame jälle impulsside arvu minutis ja nii edasi. Pärast niisugust gradueerimist on hõlpus minutis saadavate loenduste (impulsside) arvu järgi kindlaks teha vedeliku taset paagis. Loendaja võib ühendada riistaga, mis vahetult näitab vedeliku taset. Kui loendaja ühendada automaatseadmete süsteemiga, mis on ühenduses vedelikku paaki laskvate klappidega, siis suleb loendaja juurdevooluklapi, kui vedeliku tase paagis tõuseb üle normi (joon. 54).

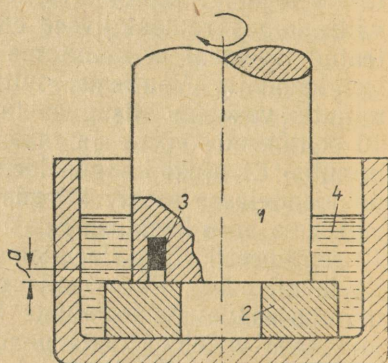
Mitmepuudane mehaaniline vasar lööb alasil lebava metalli pihta, vasara tõusmisel aga vahetavad töölise välelad käed sepistatavaid detaile, pööravad ja kohendavad neid. Kui tööline kogenematuses või mõnel muul põhjusel viivitab ja sel hetkel vasar langeb, siis võib viimane töölist vigastada. Radioaktiivsete elementide kiirgus aitab seda õnnetust vältida. Kui vasara kohale kinnitada loendaja, töölise sõrme aga panna radioaktiivset ainet sisaldav sõrmus ja loendaja ühendada automaatseadmega, mis lülitab vasara välja, kui löögitoonis esineb radioaktiivsust, siis muutub töö ohutuks. Taolisi loendajaid võib rakendada ka real teistel juhtudel, mil esineb vajadus mootori automaatseks peatamiseks töölise keha ohtliku asendi puhul.

Sisepõlemismootor käitab elektrijaama generaatorit; tema kolbide liikumine kandub pidevalt üle hoorattale. Kuidas

aga masinat peatamata teada saada, kas pole saabunud aeg kolvi või kolvirõngaste vahetamiseks, kas need pole kulumise tagajärjel kõlbatuks muutunud? Selleks otstarbeks võib kasutada radioaktiivseid elemente, mis on suutelised andma aegsasti signaali kulunud detailide vahetamise vajaduse kohta. Masina hõõrduvasse pinda puuritakse



Joon. 54. Ujukiga vedeliku taseme mõõtja: 1 — ujuk radioaktiivse preparaadiga, 2 — loendaja.



Joon. 55. Detaili kulumise kontrollimine radioaktiivse elemendi abil: 1 — liikuv detail, 2 — liikumatu detail, 3 — radioaktiivne element, 4 — õli.

väike auk ja sellesse paigutatakse radioaktiivset elementi nii, et viimase välispind oleks sellises sügavuses, millest kaugemale on detaili kulumine ohtlik.

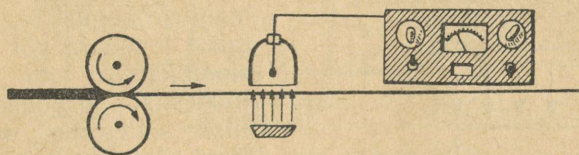
Joonisel 55 on kujutatud radioaktiivse elemendi paigutus hõõrduvas masinaosas. Kui kulumine ületab lubatava sügavuse, siis satub masina määrdõlisse radioaktiivset isotoopi, mida on hõlpus avastada õlitussüsteemi paigutatud loendaja abil.

Sel teel saab kontrollida vastutusrikaste masinaosade kuluvust juhtudel, kus see pole võimalik vaheü vaatluse teel.

Kujutleme torujuhet, mida mööda pumbatakse üksteise järel suurele kaugusele näiteks erisugust sorti mineraal-

õlisid. Kuidas korraldada nii, et üks õli ei saaks vastuvõt-
 jas seguneda teisega, kui ülepumpamine toimub pidevalt?
 Radioaktiivsete elementide kiirgus aitab lahendada ka selle
 ülesande. Kahe õlisordi vahele valatakse vedelikku, mis
 sisaldab radioaktiivset ainet. Toru väljeots ühendatakse
 dosimeetrilise riista loendajaga sidestatud klapi-
 ga, mis suunab voolava vedeliku uude vastuvõtjasse, niipea kui
 riist reageerib temast radioaktiivse vedeliku möödavoola-
 misele.

Analoogiliselt saab radioaktiivse kiirguse abil kontrol-
 lida tööstuslike heitvete voolamist läbi puhastusfiltrite.
 Selleks segatakse heitvete väike kogus filtri poolt neelata-



Joon. 56. Valtside vahelt väljuva metall-lindi paksuse
 kontrollimine radioaktiivse preparaadi ja loendaja
 abil.

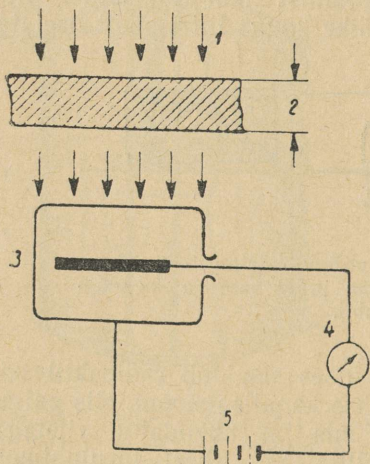
vat mürgist ainet, mille koostises sisaldub radioaktiivseid
 aatomeid. Kui heitvesi juhitakse kanalisatsiooni, siis paigu-
 tatakse filtri taha loendaja, mis on ühendatud riistaga,
 mille abil vedeliku vool lülitatakse ühest torujuhtmest
 ümber teise. Niipea kui filtrist hakkab läbi tungima
 mürgist ainet, registreerib loendaja radioaktiivsete aato-
 mite olemasolu heitvees ja paneb tööle ümberlülitusauto-
 maadi.

Õhuke lõputu metall-lint väljub masina valtside vahelt.
 Radioaktiivne «silm» jälgib tähelepanelikult toodetava lindi
 kvaliteeti ja paksust. See «silm», mis kujutab enesest beeta-
 osakesi kiirgavat radioaktiivset elementi, paikneb ribake-
 sena ühel pool, loendaja aga teisel pool jooksvat linti. Iga-
 sugune lindi paksenemine avaldab mõju loendajale, sest
 beetakiired neelduvad lindi seda suuremal määral, mida
 paksem on lint. Kui loendaja reguleerida teatud loendus-
 kiirusele, mis vastab nõutavale lindi paksusele, ja ühendada
 ta valtsidega seostatud automaadiga, siis kutsub iga pak-
 senemine esile loenduskiiruse vähenemise ning sunnib
 automaati vähendama valtside vahekaugust. Vastupidi, lindi

ülemäärane õhenemine kutsub esile loenduskiiruse suurenemise ja loendajaga seostatud automaat eemaldab valtse teineteisest (joon. 56).

3. Mõõteriistad

Nüüd pole raske kujutleda riista mistahes plaatide pak-



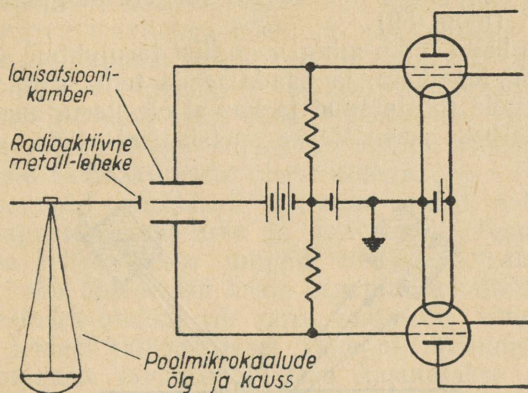
Joon. 57. Paksusemõõtja skeem: 1 — kiirgusvoog, 2 — mõõdetav ese, 3 — ionisatsioonikamber, 4 — paksust näitav riist, 5 — elektri-
voolu allikas.

osaliselt neelduvad. Neeldumine on seda suurem, mida paksem on materjal. Tõkkest läbi tunginud gammakiirte kogust registreeritakse loendaja või ionisatsioonikambri abil. Enne mõõtmist gradueeritakse riist sellesama materjali järgi. Esialgu paigutatakse loendaja ja gammakiirte allika vahele 1 millimeetri, seejärel 2 millimeetri, 4 millimeetri jne. paksune tõke, märkides iga kord üles riista näidu. Pärast seda paigutatakse seadmesse tundmatu paksusega plaat ja leitakse riista näidu järgi tema paksus. Kasutades beetakiiri, saab suure täpsusega mõõta õhukeste plaatide paksust.

Raadiolambid võimaldavad konstrueerida suurt arvu riistu kõige mitmekesisemateks otstarveteks. Suure tähtsuse on tänapäeval omandanud raadiolokatsioon. Raadiolokatsioonijaamad sisaldavad tohutu koguse raadiolampe. Niisuguste jaamade jaoks on eriti vajalikud väga lühikese süütekestusega gaaslahenduslambid. Süütekestuse lühendamiseks pannakse lampide sisse väikestes kogustes radioaktiivset koobaltit, mis oma kiirguse ioniseeriva toimega tunduvalt lühendab lambi süütekestust.

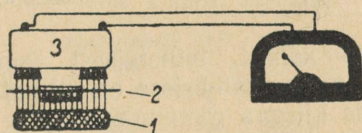
Kaalud on ülimal määral täpsed riistad, ilma milleta on

raske kujutleda tänapäeva keemia- ja füüsikalaboratooriumi. Nende täpsusest ja tundlikkusest sõltuvad suurel määral paljude katsete tulemused. On konstrueeritud palju



Joon. 58. Radioaktiivsete kaalude skeem.

mitmesugust tüüpi kaalusid. Üheks neist on kaalud, mille tundlikkust suurendatakse radioaktiivsete elementide kiirguse abil 100 korda. Kaalu õla külge kinnitatakse radioaktiivne preparaas, tema kohale aga paigutatakse loendaja. Tasakaalu puhul registreerib loendaja teatud arvu impulsse. Tasakaalu häirimine kutsub esile loendatavate impulsside vähenemise, mis nähtub erilisel riistalt, mille järgi saab tasakaalu taastada (joon. 58).

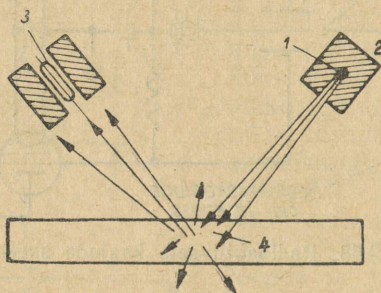


Joon. 59. Riist pindalade mõõtmiseks: 1 — radioaktiivne preparaas, 2 — mõõdetav ese, 3 — loendaja.

Raske on kiiresti leida keeruka kujundi pindala. Kasutades radioaktiivseid elemente, õnnestus konstrueerida riist niisuguste pindalade mõõtmiseks. See võimaldab minuti murdosa vältel mõõta kõige keerukama kujundi pindala. Mõõtmiseks lõigatakse vastav kujund paberist välja ja paigutatakse riista võrgule, mis asetseb alfakiirguse allika ja ionisatsioonikambri vahel. Ionisatsioonikamber on ühendatud osutiga, mille skaala on gradueeritud nii, et alfakiirgaja ja ionisatsioonikambri vahel takistuse puudumisel seisab osuti nullil, täielikult kaetud võrgu puhul aga skaala-

jaotusel, mis vastab võrgu pindalale ruutsentimeetrites. Kui võrgul asetseb paberist kujund, siis see takistab osa alfakiirte pääsu ionisatsioonikambrisse ja osuti hälbib sellele skaalajaotusele, mis vastab võrgule paigutatud paberi pindalale (joon. 59).

Kuidas heita pilku mingi metallist torujuhtme sisse, ilma seda katki tegemata, ja saada teada tema seisundit? Kas see toru pole roostetanud ja kas ei ole karta avariid? Selleks otstarbeks kasutatakse spetsiaalset riista, mis koos-



Joon. 60. Skeem seina paksuse kindlakstegemiseks kiirguse hajumise järgi: 1 — radioaktiivne preparaat, 2 — seatinast konteiner, 3 — loendaja, 4 — toru.

neb kahest, teineteisest seatinaga isoleeritud kambrist. Esimesse kambrisse on mahutatud radioaktiivne preparaat, mis kiirgab gammakiiri, teise aga loendaja. Gammakiired suunatakse preparaadist läbi diafragma kitsa kimbuna torule, tungivad sellest läbi ja hajuvad. Osa gammakiiri peegeldub ja satub loendajasse. Toru selles kohas, kus metall on korrosioonist, tühikutest ja pragudest rikkumata, registreeritakse peegeldumine täpselt teada oleva impulsside arvuna loendajas, kui aga toru on korrosiooni tagajärjel rikutud, siis loendus suureneb, ja seda rohkem, mida suuremad on vigastused, sest kiirgus neeldub sel juhul torus vähem (joon. 60).

4. Radioaktiivsete kiirguste kasutamine arstiteaduses

Juba radioaktiivsuse avastamise koidikul pandi tähele, et raadiumi kiirgus võib esile kutsuda raskeid, kaua mitte-

tervistuvaid, põletushaavadega sarnanevaid keha kudede kahjustusi. Järgnevatel aastatel õnnestus kindlaks teha, et ta eriti tugevalt toimib kudedele, mis on kahjustatud vähkkasvajast. Vähkkasvajasse hakati sisestama raadiumi- või radoonipreparaatidega nõelu ja real juhtudel õnnestus saavutada tervistumist sellest raskest haigusest. Raadiumi-kiired toimivad röntgenikiirte taoliselt, kuid raadiumi abil on hõlpsam kiiritada keha väikest piirkonda. Tehisradioaktiivsuse avastamisega kujunes võimalus asendada raadiumi teiste radioaktiivsete elementidega.

Mitmesugused organismi sattunud ained salvestuvad keha erisugustesse osadesse ja kudedesse. Teades, mis-sugustesse kehaosadesse mingid elemendid salvestuvad, võib sooritada ühtede või teiste organite kohalikku kiiritamist, sisestades makku või verre vastavaid aineid, mille koostises leidub radioaktiivset isotoopi. Mõningate kilpnäärme haiguste ravimisel näiteks kasutatakse röntgenikiirte asemel radioaktiivset joodi.

Real juhtudel neelavad kasvajakunduvates kogustes ühtesid või teisi aineid. Radioaktiivse fosfori abil õnnestus tõestada, et vähkkoed erinevad normaalsetest kudedest fosfori neelamise poolest. See nähtub alltoodud tabelist.

| K u d e | Ühe grammi aktiivsus | |
|------------------------|----------------------|----------|
| | normaalsel koel | vähkkoel |
| Neerud | 276 | 264 |
| Maks | 381 | 318 |
| Kopsud | 138 | 63 |
| Rinnanäärmed | 11,5 | 44 |
| Ribid | 17,8 | 288 |
| Kolju | 108 | 330 |

Ravimudad, radoonivannid ja radioaktiivsed allikad on toonud kergendust tuhandetele haigetele. Looduslike radioaktiivsete vete ja mudade kasutamine põhineb kiirguse poolt organismile avaldataval toimel. Vene teadlased A. P. Sokolov, V. I. Baranov, J. S. Ššepotjeva, J. S. Burkserd ja teised on ära teinud suure töö radioaktiivsete allikate uurimisel, professor V. I. Baranov aga tegi ettepaneku kasutada tehislikke radoonivanne, mis asendavad looduslikke radioaktiivseid vesi.

Me räägime radioaktiivse kiirguse tervistavast toimest, kuid tuntakse ka tema kahjulikku toimet organismile. Ka seda toimet saab siiski real juhtudel rakendada inimeste kasuks. Näitena võib tuua põllumajandusloomade sigitusvõimetuks muutmist radioaktiivsete elementide kiirguse toimel.

Palju suuremal määral kui inimese ja looma kudedele toimib radioaktiivsete elementide kiirgus mikroorganismidele. Seetõttu saab radioaktiivseid elemente rakendada transpordi ja kaubanduse ning varumise alal toiduainete säilitamiseks.

Kiirguse toimet inimeste ja loomade organismile uurivad tänapäeval laialdaselt paljude maade teadlased.

5. Kiirguse keemiline toime

Radioaktiivsete elementide kiirguse toimel muutuvad tunduvalt paljude ainete omadused ja koostis. Ühed neist aineist lagunduvad, teised, vastupidi, polümeriseeruvad (nende molekulid ühinevad). Vesi näiteks lagundub kiirguse toimel vesinikuks ja hapnikuks. Enamik orgaanilisi ühendeid lagundub, minetades vesinikku, süsihappegaasi ja süsinikoksüüdi. Mõned ained teevad läbi niisuguseid muundusi, mille tulemusena tekivad plastilised materjalid. Kiirguse toimel muutuvad meile tuttavate ainete omadused, näiteks muutub kautšuki plastilisus. Tänapäeval oletatakse, et nafta on tekkinud looduslike radioaktiivsete elementide kiirguse toimel orgaanilistele hapetele.

Need faktid töötavad uurijatele suuri võimalusi radioaktiivsete ainete kiirguse ärakasutamisel ainete muundamiseks, uute materjalide saamisviiside loomiseks ja vanade materjalide omaduste muutmiseks.

LÖPPSÕNA

Radioaktiivsed elemendid leiavad viimastel aastatel meie maal üha laialdasemat rakendamist teaduses, arstiteaduses ja tehnikas. Selles raamatus on kirjeldatud ainult kõige lihtsamaid näiteid radioaktiivsete elementide rahulikuks otstarbeks kasutamisest. Radioaktiivsed elemendid peavad muutuma inimese sõbraks, abistama teda materiaalsete ja

vaimsete väärtuste loomisel. Ei tohi aga unustada, et nad võivad muutuda sõjaõhutajate kätes inimkonna suurimaks nuhtluseks. Ei tohi unustada ka seda, et aatomienergia rahulikul otstarbel kasutamine ise veel ei saa kõrvaldada tema sõjalisel otstarbel kasutamise ohtu, sest tuumareaktor annab üheaegselt elektrienergiat ja aatomilõhkeainet. Ainult aatomirelva rakendamise keelamine ja range rahvusvahelise kontrolli sisseseadmine sellest keelust kinnipidamise üle saavad anda võimaluse aatomienergia täisväärtuslikuks ärakasutamiseks rahulikel eesmärkidel.

Ан. Н. Несмеянов
РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ

На эстонском языке

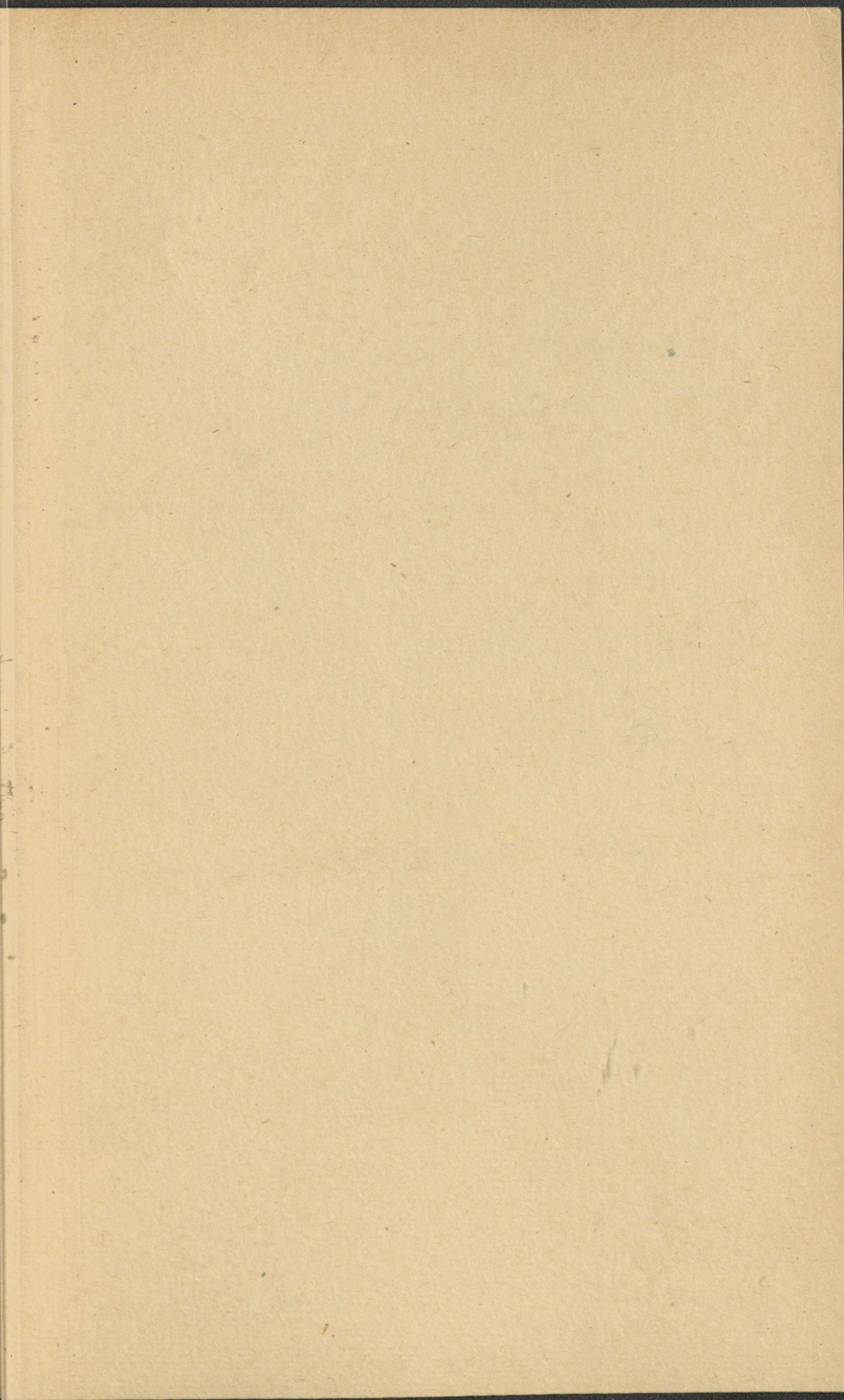
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маантээ 10.

*

Toimetaja R. Toming
Tehniline toimetaja I. Vahtrre
Korrektorid H. Peel ja Ü. Rattur

Ladumisele antud 14. III 1956. Trükkimisele antud
3. V 1956. Paber 54×84, $\frac{1}{16}$. Trükipoognaid 7,5. Formaa-
dile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 6,15. Arvutuspoog-
naid 6,30. Trükiarv 8000. MB-03288. Tellimise nr. 711.
Trükikoda „Pioneer“, Tartu, Kastani tn. 38.

Hind rbl. 1.90



Rbl. 1.90