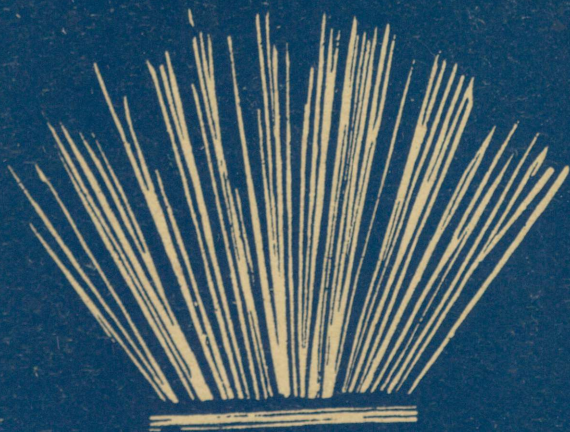


POPULAARTEADUSLIK
SARI

K. B. Zaborenko

RADIOAKTIIVSUS



2/25749

A-16558 IV

K. B. ZABORENKO

RADIOAKTIIVSUS



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1955

Originaali tiitel:

К. Б. Заборенко

Радиоактивность

Под редакцией проф. В. И. Баранова

Государственное Издательство

технико-теоретической литературы

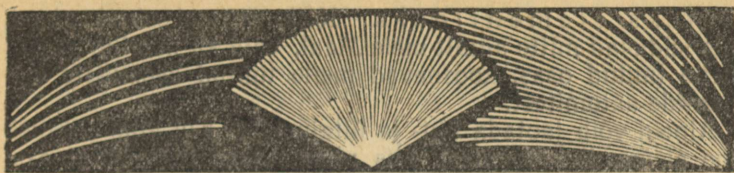
Москва 1953

Tõlkinud H. Norman

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

25749



SISSEJUHATUS

Radioaktiivsuse uurimisel on suur rahvamajanduslik ja teaduslik tähtsus. Radioaktiivsuse tundmaõppimine võimaldas tungida sügavamale aine ehituse saladustesse, läheneda Maa päritolu ja ea kindlakstegemisele, vallutada tegelikult aatomienergia, avastada uusi keemilisi elemente jne.

Küsimus, kuidas ja millest on ehitatud kõik ained looduses, huvitas inimesi juba igivanadel aegadel. Muistse Kreeka mõtteteadlased oletasid kaks ja pool tuhat aastat tagasi, et kõik maailmas esinevad ained koosnevad üliväikestest nähtamatutest osakestest — a a t o m i t e s t. Kreeka keelest tõlgituna tähendab sõna aatom «jagamatu».

Hiljem jäid vanaaja mõtteteadlaste ja filosoofide vaated unustusse ja alles XVIII sajandil hakkas suur vene teadlane M. V. Lomonossov uuesti arendama õpetust aatomitest. Ta väitis, et «kõik ained — kivid, vesi, puit, õhk — koosnevad üliväikestest nähtamatutest osakestest — aineteradest». Edaspidi tõestati aatomite olemasolu katseliselt. Aatomid on äärmiselt väikesed. Nad pole nähtavad isegi kõige tugevamas mikroskoobis. 1 cm pikkusele joonele mahub 100 miljoni aatomit. Aatomi kaal on tähtsusetult väike. Vesinikuaatom näiteks kaalub 0,000 000 000 000 000 000 000 0017 grammi.

Eri elementide aatomid erinevad üksteisest. Rauaatomid on näiteks umbes 56 korda, seatina-atomid aga 207 korda raskemad vesinikuaatomitest. Erisuguse ehituse tõttu on erinevatel aatomitel erinevad omadused. See pärast on arusaadav, et ka erinevatest aatomitest koosnevad ained erinevad oma omadustelt üksteisest.

Õppides eraldama eri liiki aatomeid, tegid teadlased kindlaks, et erinevaid aatomeid pole kuigi palju; kokku on teada umbes sada erinevat aatomiliiki, mida nimetatakse keemil-

listeks elementideks. Kõik mitmekesised ained, mis leiduvad mitte ainult meie Maal, vaid ka maailmaruumi meile tuntud osas, koosnevad meile tuntud keemiliste elementide aatomitest.

Aineid võib jaotada liht- ja liitaineteks. Kui aine koosneb ühe elemendi aatomitest, siis nimetatakse teda lihtaineks; kui aga aine koosneb mitme elemendi aatomitest, nimetatakse teda liitaineks. Liitaine kõige väiksemaid osakesi nimetatakse molekulideks. Molekulid koosnevad mitmest aatomist.

Aja jooksul on keemikud õppinud saama nii liht- kui ka liitaineid.

Juba ammu on inimesed püüdnud ühtesid elemente teisteks muundada. Nii kulutasid keskajal alkeemikud palju energiat selleks, et muuta elavhõbedat kullaks. Tol ajal aga ei võinud nad seda saavutada. Seepärast tekkis arvamus, et elemente ja järelikult ka aatomeid pole võimalik üksteiseks muundada. See arvamus juurdus nii tugevasti, et XIX sajandi lõpuni loeti aatomeid mittemuunduvateks osakesteks. Nüüd aga, kus on avastatud ja tundma õpitud radioaktiivsus, me teame, et selline järeldus oli väär.

Elementid muunduvad looduses vahetpidamatult. Aatomite spontaanse lagunemise nähtus, s. t. radioaktiivsus, avastati XIX sajandi lõpul. See avastus võimaldas inimesel tungida aine ehituse kõige sügavamatesse saladustesse. Radioaktiivsuse-nähtuste tundmaõppimine tõestas selgesti mitte ainult aatomite olemasolu, vaid ka nende muundumisvõimet.

Tänapäeva aatomitehnika võimaldab ühe elemendi aatomeid kunstlikult teise elemendi aatomiteks muundada. On võimalik näiteks muundada elavhõbedaaatomeid kulla-aatomiteks, s. t. teostada keskaja alkeemikute unistust.

Radioaktiivsuse tundmaõppimine viis teadlasi veel teise tähtsa järelduseni. Ilmnes, et aatomite sisemuses peitub määratu suur energia. Vene akadeemik V. I. Vernadski kirjutas juba varsti pärast radioaktiivsuse avastamist: «Pole kaugel aeg, mil inimene saab enda kätte aatomienergia, sellise jõuallika, mis võimaldab tal korraldada oma elu nii, nagu ta seda soovib.»

Mitmesuguste maade suure uurijatearmee pikaajaline, kannatlik ja visa töö võimaldas tundma õppida aatomimaailma keerukaid seaduspärasusi ja lõppes aatomisisese energia vallutamisega.

Käesolevas raamatukeses jutustamegi radioaktiivsuse avastamisest, elementide kunstlikust muundamisest, Maa peal tundmatute elementide saamisest, aatomienergia vabanimisele viivatest protsessidest ja aatomiteaduse muudest saavutustest.

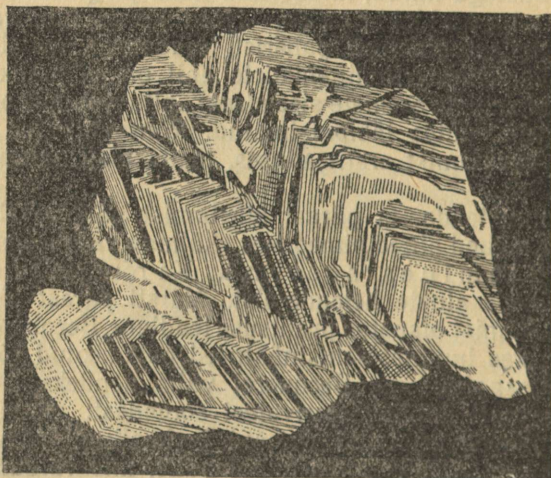
1. URAANIKIRED

XIX sajandi lõpul avastas saksa füüsik Röntgen erakordsete omadustega kiired, mida tema nime järgi hakati nimetama röntgenikiirteks. Need kiired tungivad läbi mitmesugustest ainetest: paberist, laudadest, metallplaadidest, elavkudedest. Röntgenikiirte abil on võimalik saada ülesvõtteid selliste esemete sisemisest ehitusest, mis on tavalise valguse suhtes läbipaistmatud. Röntgenikiired leidsid laialdast kasutamist arstiteaduses, teaduslikel uurimistel ja tehnikas.

On ammu teada, et pärast kiiritamist päikesevalgusega hakkavad mõned ained pimeduses «külma» valgusega helendama, s. t. l u m i n e s t s e e r i m a. Ka röntgenikiired tekitavad mõnede ainete helendamist. Varsti pärast röntgenikiirte avastamist otsustas prantsuse teadlane Becquerel välja selgitada, kas luminesentsnähtused pole seotud röntgenikiirte väljasaatmisega. Becquerel valis nendeks katseteks ühe tugevasti lumineseerivatest sooladest: uraanisoola suured kollased kristallid (uraani ja kaaliumi väävelhapu sool). Ta asetas selle soola fotoplaadile, mis valguse mõju vältimiseks oli keeratud musta paberisse. Plaat koos soolaga seisis terve päeva päikese käes. Pärast ilmutamist leiti plaadilt tume laik. Need katsed näisid kinnitavat oletust, et lumineseeriv kristall saadab välja röntgenikiiri.

Edaspidi siiski selgus, et soola valgustamine ei mõjuta jäljendi tekkimist fotoplaadil. See avastati juhuslikult: mõne päeva jooksul polnud pilves ilma tõttu võimalik katseid teostada. Uraanisool seisis need päevad koos fotoplaadiga pimedas kapis. Kui Becquerel ilmutas plaadi, nägi ta oma imetuseks, et see oli sellelt kohalt, kus seisis uraanisool, muutunud. Seejuures oli plaat isegi tumedamaks muutunud kui esimesel katsel. Pärast seda toimetas teadlane katseid pimeduses, ilma uraanisoola päikesevalgusega eelnevalt kiiritamata; järjekindlalt märkas ta, et plaat tumenes seda tugevamalt, mida kauem uraanisool temaga kokku puutus.

Hiljem pandi tähele, et ka teised uraani sisaldavad ained põhjustasid fotoplaadi tumenemist, sõltumatult sellest, kas sool oli luminesitseeriv või mitte, kas teda eelnevalt kiiritati päikesevalgusega või mitte. Iga uraani sisaldav aine kutsus esile fotoplaadi tumenemise. Joonisel 1 on kujutatud fotoplaati, mis on ilmutatud pärast seda, kui selle vastu suruti uraani sisaldava maagitüki poleeritud pind. Heledad kohad vastavad uraani paigutusele maagitükis.



Joon. 1. Uraanimaagi tüki jäljend fotoplaadil.

Nende katsete puhul pani Becquerel'i eriti imestama asjaolu, et uraani võime fotoplaate mõjutada ei vähenenud aja jooksul sugugi. Üks ja sama uraaniproov tekitas ööpäeva jooksul samasugust plaatide tumenemist nagu aasta tagasi.

1896. aastal avaldas Becquerel oma katsete tulemused koos oletusega, et uraan saadab välja mingisuguseid erilaadilisi kiiri, mis põhjustavad nähtava valguse eest kaitsitud fotoplaatide tumenemist.

Uraanikiirte kõige tähelepanuväärsemaks omaduseks on see, et nad tekivad spontaanselt, ilma mingi mõjutuseta inimese poolt, samal ajal kui näiteks röntgenikiirte saamiseks tuleb kulutada suurel hulgal elektrienergiat.

2. MARIE CURIE TÖÖD

Saladuslikud uraaniikiired tõmbasid endale Pariisis Becquereli laboratooriumis töötava noore poola keemiku Marie Curie-Sklodowska tähelepanu. Ta otsustas välja selgitada nende kiirte loomuse. Selleks oli kõigepealt tarvis leida kindel ja kiire viis kiirguse mõõtmiseks.

Juba Becquerel märkas, et uraaniikiired nagu röntgenikiiredki mõjutavad ümbritsevat õhku nii, et see hakkab elektrit juhtima. Uraaniikiired mõjutavad nimelt õhu koostisse kuuluva lämmastiku ja hapniku molekulile. Selle tagajärjel tekivad positiivseid ja negatiivseid elektrilaenguid kandvad osakesed. Neid osakesi nimetatakse ioonideks. Uraani sisaldava aine lähedal tekib õhu igas kuupsentimeetris sadu tuhandeid ioone. Niisuguses ioniseeritud õhus kaotavad elektriliselt laetud kehad kiiresti oma laengu. Laengu kadumise protsessi on hõlpus jälgida ammust ajast tuntud riista abil, mida nimetatakse elektroskoobiks.

Elektroskoobi peamiseks osaks on metallvarb, mis ulatub läbi isoleeriva korgi karbikese keskkoha. Karbikesse paigutatakse mõõdetavaid proove. Korgist välja ulatuva ülemise varvaosa külge on kinnitatud väga õhuke kuld- või alumiiniumleheke. Lehekese kaitseks õhuliikumise eest ümbritseb lehekest hoidva varva ülemist osa metallanum, milles on aknake lehekese asendi vaatlemiseks.

Kui puudutada elektroskoobi varba traadiga, mis on ühendatud elektripatarei ühe poolusega, kuna patarei teine poolus on maandatud, omandavad varb ja leheke elektrilaengu. Et samanimeliselt laetud kehade vahel tekivad tõukejõud, siis kaldub liikuv leheke varvast eemale ja jääb niisugusesse asendisse pikemaks ajaks — elektroskoop on laetud. Niipea aga, kui paigutada elektroskoopi uraani sisaldavat ainet, hakkab metall-leheke kiiresti varvale lähenema — elektroskoop hakkab laengut kaotama. Põhjuseks on asjaolu, et uraaniikiired tekitavad õhus suure hulga laetud osakesi — ioone. Need ioonid, millede laeng on vastupidine varva ja lehekese omale, tõmbuvad viimaste külge. Selle tagajärjel väheneb varva ja lehekese laeng ning järelikult ka nende vaheline tõukejõud. Leheke hakkab pidevalt varvale lähenema — elektroskoop kaotab laengut. Mida rohkem ioone tekitavad uraaniikiired, seda kiiremini kaotab elektroskoop oma laengu. Sel viisil võimaldab elektroskoop hinnata ainete ioniseerimisvõimet.

Sellist riista kasutades võrdles Marie Curie mitmesuguste erineval määral uraani sisaldavate ainete ioniseerimisvõimet. Ta leidis, et ioniseerimisvõime sõltub aine uraanisisaldusest. Kõige suurema ioniseerimisvõimega oli metalliline uraan.

Tehti kindlaks, et välismõjutused ei muuda uraani kiirgamisintensiivsust. Metallilise uraani tükki kuumutati punase hõõgumiseni, jahutati vedela õhu temperatuurini (-180°), allutati kõrgetele rõhkudele, paigutati kõige tugevatesse elektri- ja magnetiväljadesse, kuid kõik see ei muutnud sugugi uraani ioniseerimisvõimet. Uraanikiirte eraldumine jätkus kogu aeg sama intensiivsusega.

Marie Curie otsustas kontrollida, kas mõnede teiste ainete aatomitel pole samasuguseid omadusi nagu uraaniaatomitel. Mõõtes sadade mitmesuguste ainete ioniseerimisvõimet, tegi ta kindlaks, et ka metall toorium ja kõik selle ühendid saadavad välja uraani kiirgusega sarnanevat kiirgust.

Oma katsete andmete võrdlemisel jõudis Marie Curie järeldusele, et nähtamatu kiirguse spontaanse väljasaatmise võime on omane mitme elemendi aatomitele. Ta nimetas selle omaduse radioaktiivsuseks. See sõna on tuletatud ladinakeelsest sõnast «radius», mis tähendab kiirt. Nimetusega «radioaktiivsus» kriipsutatakse alla, et uraani- ja tooriumi-atomite poolt välja saadetavad kiired levivad igas suunas sirgjooneliselt nagu nähtav valgus, röntgenikiired ja muud kiirguseliigid.

Varsti avastas Marie Curie veel ühe märkimisväärse asjaolu: kahe uraani sisaldava loodusliku mineraali — uraniiniidi ja kalkoliidi — radioaktiivsus oli veel suurem metallilise uraani omast. Nii ilmnnes, et Jahhimovi leiukohast (Tšehhoslovakkias) saadava uraniiniidi kiirgamisintensiivsus on neli korda suurem puhta uraani kiirgamisintensiivsusest. See sundis oletama, et uraniiniit ja kalkoliit sisaldavad tundmatut elementi, mis on veel suurema radioaktiivsusega kui uraan. Keemilise analüüsiga tehti kindlaks, et tundmatut elementi leidub nendes mineraalides mitte üle 1%.

Et veenduda, kas on õige oletada uue tundmatu radioaktiivse elemendi olemasolu, mis põhjustab mõnede mineraalide suurt radioaktiivsust, valmistas Marie Curie kunstlikult samasuguse koostisega aine, nagu seda on looduslik mineraal kalkoliit (uraani ja vase fosforhapu sool). Kunstlikul mineraalil ei ilmnunud kõrgendatud radioaktiivsust. See näitas, et loodusliku kalkoliidi kõrgendatud radioaktiivsus

on tingitud mingi elemendi sisaldumisest temas, mis on suurema radioaktiivsusega kui uraan.

Seda uut elementi hakkas Marie Curie otsima koos oma mehe, füüsiku Pierre Curie'ga.

3. POLOONIUMI JA RAADIUMI AVASTAMINE

Curie'de abielupaaril seisis ees äärmiselt raske töö. Ükskõik millise elemendi eraldamine, mida maagis leidub õige väikesel hulgal, on juba iseendast väga raskeks ülesandeks. Uue elemendi kohta aga polnud teada midagi peale tema oletatava suure radioaktiivsuse. See ainus tuntud omadus oli tundmatu elemendi otsimisel suunanäitajaks. Et seda elementi märgataval hulgal eraldada, tuli kümneid kilogramme maaki koostisosadeks lahutada, seejärel aga hoolikalt mõõta iga osa radioaktiivsust. Seda rasket tööd tegid uurijad äärmiselt ebasoodsates tingimustes. Nad töötasid ruumis, mida ei saanud nimetada laboratooriumiks ja kus puudus ka kõige elementaarsem sisustus. Niiskus ja järsud temperatuurikõikumised moonutasid näitused täpsetel riistadel, millede abil toimetati ainete ioniseerimisvõime määramist.

Kõikidest raskustest üle saades saavutas Curie'de abielupaar edu. 1898. aasta aprillis avaldasid nad esialgse teadaande selle kohta, et uraanimaagis peab leiduma uut elementi. Juba sama aasta juulis aga eraldasid nad maagist vismutiühendeid, mis osutusid tugevalt radioaktiivseteks. Marie Curie oletas, et just maagist eraldatud vismutiühendites leidub uut radioaktiivset elementi, mille ta nimetas polooniumiks.

Peale vismutiühendite eraldasid Curie'd veel baariumiühendeid, mis samuti osutusid tugevasti radioaktiivseteks. See lubas oletada, et maagis leidub veel teist tundmatut elementi, mis eraldub koos baariumiga. See element nimetati raadiumiks. Raadiumi avastamisest teatas Curie'de abielupaar 1898. aasta detsembris. Raadiumi kiirgus sarnaneb uraani kiirgusega, kuid raadiumi ioniseeriv toime on uraani omast paljusid kordi suurem. Edasi tehti kindlaks, et raadiumi nagu uraanigi kiirgamisintensiivsus ei vähene praktiliselt aja jooksul, energiat aga eraldab raadium uraanist märksa rohkem.

Tol ajal ei suutnud füüsikud ja keemikud seletada energia

pidevat väljasaatmist radioaktiivsete elementide poolt. Kaheldi koguni raadiumi kui elemendi olemasolu, sest raadiumi suudeti avastada ainult kiirguse järgi, kuna puhtal kujul ei saadud seda eraldada. Et tõestada raadiumi olemasolu, oli tarvis seda eraldada füüsikaliste ja keemiliste omaduste kindlakstegemiseks piisaval hulgal.

4. RAADIUMI SAAMINE

Puhta raadiumi eraldamine kaalutaval hulgal osutus äärmiselt keerukaks: selleks tuli maaki töödelda mitte kilogrammide, vaid tonnide viisi. Curie'd teadsid juba, et ei maksa loota Prantsuse valitsuse ega Prantsuse Teaduste Akadeemia abile. Maaki katseteks ei olnud, osta aga kallist uraanimaki teadlased oma rahaga ei suutnud. Siis otsustasid nad kasutada tööstuse jäätmeid. Teades, et polonium eraldub uraanimaagi töötlemisel koos vismutiga, raadium aga koos baariumiga, palusid Curie'd saata neile pärast uraani eraldamist järele jäävaid maagijäätmeid. Jahhimi linnatehastes heideti need jäätmed kõrvale; seepärast anti Curie'de abielupaarile terve tonn jäätmeid tasuta. Kui see väärtuslik saadetis jõudis Pariisi, alustasid Curie'd selle töötlemist. 20-kilogrammiste kogustena laadisid nad maaki tørtesse, kuumutasid seda sooda ja hapetega, segasid, valasid ümber suuri vedelikukoguseid ning mõõtsid iga saadud lahuse ja sademe radioaktiivsust. Lõpuks hakkasid nad saama üha suurema radioaktiivsusega preparaate. Varsti viisid uurijad läbi omavahelise tööjaotuse: Pierre hakkas uurima raadiumi omadusi, Marie aga jätkas raadiumisoolade saamist. Kord õhtul astus Marie Curie laboratooriumi ja peatus nagu võlutuna ebatavalise vaatepildi ees: raadiumilahusega täidetud kausikesed helendasid pehme sinise valgusega. Selle valguse juures oli isegi võimalik lugeda. Raadiumikiirte poolt tekitatav helendus sarnaneb tugeva luminesentsiga. Baariumi ja raadiumi kloorisoolade segu esimestes kogustes, mis olid saadud maagist, sisaldas liiga palju baariumi. Algas vaevanõudev töö baariumisoolade eemaldamiseks. Baariumi mitte sisaldavate raadiumisoolade valmistamiseks kulutas Marie Curie 45 kuud. Lõpuks eraldas ta ühest tonnist uraniniidist umbes 0,1 grammi raadiumi kloorisoola, mis välimuselt veidi meenutas keedusoola. Raadiumisoola radioaktiivsus ületas miljoneid kordi uraani

radioaktiivsuse. Raadiumi kloorisoolast sai Curie metallilise raadiumi. Nõukogude Liidus sai puhtaid raadiumisooli esmakordselt akadeemik V. G. Hlopin 1921. aastal.

5. RAADIUMI OMADUSED

Raadium kujutab endast pehmet hõbevalget metalli, mis õhu käes kiiresti tuhmub. Välimuselt ja keemilistelt omadustelt ei erine raadium ja tema soolad palju baariumist ja selle sooladest.

Raadiumi ebatavalised omadused on tingitud tema tugevast radioaktiivsusest. Raadiumisoolad helendavad pimeduses. Raadium saadab välja nähtamatuid kiiri, milliseid on võimalik ayastada mitmesugusel viisil. Kui paigutada raadiumisoola kübemekese kõrvale musta paberisse mähitud fotoplaat, siis osutub plaat juba lühikese aja järel valgustatuks, s. t. muutub ilmutamisel mustaks.

Raadiumi nähtamatu kiirguse mõjul helendavad tsinksulfiidi või tsüaanoplaatinahapu baariumiga kaetud ekraanid pimeduses samuti nagu röntgenikiirte mõjul.

Raadiumi ioniseerimisvõime on erakordselt suur. See võimaldab avastada üliväikesi raadiumikoguseid. Kui näiteks jaotada mõni milligramm raadiumi võrdselt kõikide maakeral elavate inimeste vahel, siis on ka seda üliväikest raadiumikogust võimalik iga inimese juures avastada.

Raadiumi kiirgus tekitab raadiumi lähedal asuvates ainetes mitmesuguseid muundumisi. Nii omandab näiteks värvitu klaas mitmesugused värvitoonid, kuna valge läbi paistva teemandi pinnal tekib musta grafiiti. Raadiumikiired lagundavad vett tema koostisosadeks — vesinikuks ja hapnikuks — ning tekitavad peale selle osooni ja vesinikühlapendit. Kõik need muundumised toimuvad raadiumi kiirguse energia arvel.

Suurtes doosides on raadiumi kiirgus inimese tervisele ohtlik. Esimesena veendus selles Becquerel. Loengule minema hakates pani ta raadiumisoolaga täidetud torukese vestitaskusse. Mõni tund hiljem tundis ta võrdlemisi tugevat põletust. Et kontrollida raadiumi mõju nahale, hoidis Pierre Curie oma kätt raadiumi kiirguses ja kirjeldas siis üksikasjaliselt selle tagajärjel tekkinud nähtusi. Raadiumiga kiiritatud koht tõmbus algul punaseks ning hiljem

tekkisid haavandid ja kärnad, mis paranesid alles mõne kuu järel.

Arstide uurimused näitasid, et raadiumikiired mõjuvad eriti tugevasti kiirelt arenevatele kudedele. Seepärast on raadiumi õigel kasutamisel võimalik ravida vähkkasvajaid. Raadiumiga on võimalik ravida ka selliseid nahahaigusi, nagu sammaspool ja söötraüg. Uus raadiumiga ravimise viis juurdus kiiresti praktikasse ja sai küriiteraapia nimetuse. Raadiumi kiirgus mõjub ka taimedele. Suurte raadiumihulkade juuresolekul taimed hävivad. Väikeste raadiumidooside pinnasesse viimine põhjustab, vastupidi, taimede kiirendatud kasvu.

Märgime veel üht raadiumi tähtsat omadust. Raadiumipreparaatidel on alati kõrgem temperatuur kui neid ümbritseval keskkonnal. Seda märkas esimesena Pierre Curie. Ta mahutas torukese, mis sisaldas umbes 0,2 grammi raadiumisoola, kahekordsete seintega anumasse. Seinte vahelt oli õhk välja pumbatud, et takistada soojust ülekandumist ümbritsevasse ruumi. Teise samasugusesse anumasse paigutati toruke baariumisoolaga. Mõlemasse anumasse asetatud termomeetrid näitasid erinevat temperatuuri. Raadiumisoolaga anumal oli temperatuur peaaegu kümne kraadi võrra kõrgem. Pierre Curie tegi kindlaks, et 1 gramm raadiumi eraldab tunnis 136 kalorit¹ soojust.

Teadlased jälgisid aasta vältel raadiumiproovi ega märganud muutusi selle kiirgamisintensiivsuses. Kuumutamine 2000 kraadini, jahutamine vedela õhu temperatuurini (—180°) ning elektri- ja magnetiväljade mõju ei põhjustanud raadiumi kiirgamisvõime muutumist; raadium jätkas pidevalt suurt energiat omavate kiirte väljasaatmist. Tekkis meelitatav perspektiiv: eraldada suurel hulgal raadiumi ja kasutada seda soojusenergia saamiseks. Seda pole aga võimalik teostada, sest maakide raadiumisisaldus on äärmiselt väike ja raadiumi eraldamine nõuab määratu suurt jõu-, raha- ja ajakulu.

Kuivõrd raske ja keerukas see on, nähtub sellest, et mitu tehast, mis organiseeriti mitmel maal alates 1910. aastast, tootsid aastas kokku kõigest 1—2 grammi raadiumi. Raadium kuulub kõige kallimate metallide hulka. 1 gramm raadiumi on erinevatel aegadel maksnud 100 000 kuni 400 000 rubla.

¹ Kaloriks nimetatakse soojushulka, mis on tarvilik 1 grammi vee soojendamiseks 1° C võrra.

6. RADIOAKTIIVSETE AINETE KIIRGUS

Mida kujutab endast radioaktiivsete ainete kiirgus? Selle kiirguse allikaks, nagu näitasid Curie'de abielupaari katsed, on mõnede elementide, näiteks uraani, tooriumi ja raadiumi aatomid. Oli juba teada, et suure energiaga kiirgus väljub aatomite sisemusest. Edasi oli tarvis välja selgitada raadiumi kiirguse loomus. Tekkis küsimus, kas raadiumi poolt välja saadetavad kiired ei kujuta endast aatomite osakesi?

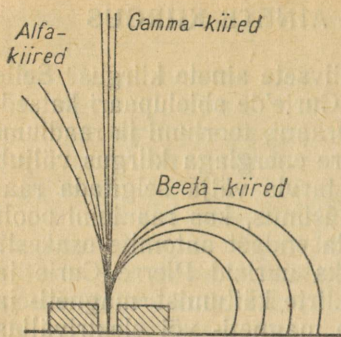
Sellele küsimusele vastamiseks uurisid Pierre Curie ja tema järel Rutherford raadiumikiirte käitumist magneti- ja elektriväljades. Kiirte käitumine magneti- või elektriväljas sõltub sellest, kas nad kannavad elektrilaengut või mitte. Kui kiirtel pole laengut, siis ei muuda väli kiirtekimbu suunda; laengu olemasolul aga kalduvad kiired kõrvale. Kiirte kõrvalekaldumise suund sõltub magneti- või elektrivälja suunast ja osakeste laengu märgist.

See uurimine tõi esile radioaktiivsete ainete kiirguse keeruka loomuse. Tugeva magneti pooluste vahel jaguneb radioaktiivsest ainest väljuv kitsas kiirtekimp kolmeks kimbuks, mis suunduvad vasakule, otse ja paremale (joon. 2). Otse suunduvad kiired nimetati gamma-kiirteks. Neid nagu röntgenikiirigi magnetiväli ei mõjuta. Kiired, mis kalduvad magnetivälja toimel tugevasti sinna poole, kuhu kalduvad negatiivselt laetud osakesed, nimetati beeta-kiirteks. Kiired, mis kalduvad kõrvale beeta-kiirtele vastupidises suunas, nimetati alfa-kiirteks¹. Nii lahutati radioaktiivsest ainest väljuv kiirgus kolme eri liiki kiirteks.

Järgnevate uurimistega tehti kindlaks, et raadiumi gamma-, beeta- ja alfa-kiired neelduvad tahketes ainetes erinevalt. Kui seatinast karbide, milles on raadiumi, kinni katta paberilehega, siis pole väljuvas kiirtekimbus enam alfa-kiiri, sest need neelduvad paberis. Beeta-kiirte kinnipidamiseks tuleb seatinast karbide kinni katta juba mitme paberilehega või mõne millimeetri paksuse alumiiniumplaadiga; gamma-kiired aga tungivad niisugusest alumiiniumpladist läbi ilma märgatava neeldumiseta. Gamma-kiirte neelamiseks on tarvilik võrdlemisi paks kiht neelavat ainet, milleks kõige paremini sobib seatina, sest seatina neelab tugevasti gamma-kiiri.

Vaatleme lähemalt iga kiirteliigi omadusi.

¹ Alfa, beeta ja gamma — kreeka tähestiku kolm esimest tähte.



Joon. 2. Magnetivälja mõjul jaguneb radioaktiivse aine kiirgus kolmeks osaks.

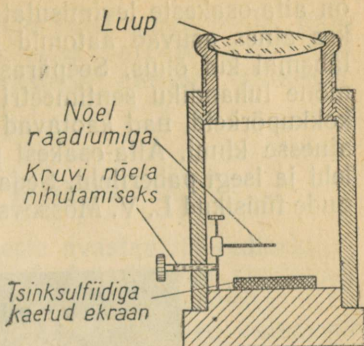
Gamma-kiired, nagu juba nimetasime, ei kaldu magnetiväljas kõrvale. Nad levivad ruumis valguse kiirusega, s. o. 300 000 kilomeetrit sekundis. Omadustelt sarnanevad gamma-kiired röntgenikiirtega, kuid on suurema läbitungimisvõimega. Kõige suurema läbitungivusega gamma-kiirte täielikuks neelamiseks on tarvis 15—20 sentimeetri paksust seatinakihti. Gamma-kiired võivad hävitada elusrakke, mistõttu nende pikemaajaline mõju on organismile kahjulik. Et kaitsta inimesi gamma-

kiirte mõju eest, hoitakse raadiumipreparaate erilistes paksude seintega seatinast anumates. Gamma-kiirte intensiivsus väheneb tugevasti kauguse suurenemisega. Kui kaugus raadiumipreparaadist suureneb kaks korda, väheneb gamma-kiirte mõju rohkem kui neli korda, kauguse suurenemisel viiekordseks aga üle 25 korra.

Beeta-kiired, mis kalduvad magnetiväljas tugevasti kõrvale, osutusid elektronide vooluks. Elektronid kujutavad endast üliväikesi negatiivselt laetud osakesi, mis kuuluvad kõikide aatomite koostisse. Radioaktiivsetest ainetest välja paiskuvatel elektronidel on suur kiirus. Mõnedel juhtudel läheneb elektronide kiirus valguse kiirusele. Mida suurem on elektronide kiirus, seda suurem on nende energia ja seda rohkem on tarvis ainet nende liikumise pidurdamiseks. Beeta-kiirte neelamiseks on vaja kuni 3 millimeetri paksusi metallplaate.

Alfa-kiired kalduvad magnetiväljas kõrvale märksa vähem kui elektronid, sest nende kiirus on väiksem, mass aga suurem kui elektronidel. Alfa-kiired kujutavad endast kiiresti liikuvate, positiivselt laetud osakeste voolu. Need osakesed on ligi 7000 korda raskemad elektronidest ja 4 korda raskemad kõige kergema gaasi — vesiniku — aatomitest. Alfa-osakesi on uuritud üsna põhjalikult. Huvitavad on katsed ühe alfa-osakese laengu suuruse määramiseks. Metallplaadile suunati alfa-osakeste vool ja määrati alfa-osakeste poolt plaadile üle kantud elektrilaengu suurus. Et

leida ühe alfa-osakese laengut, tuli plaadi laengu suurus jagada plaadile sattunud alfa-osakeste arvuga. Kuidas aga loendada plaadile sattunud alfa-osakesi? Selleks mõeldi välja erilisi riistu. Kasutati ära tsinksulfiidi võimet alfa-osakeste mõjul helendada. Üksikute alfa-osakeste poolt tekitatavaid valgusesähvatusi näha võimaldava riista ehitus selgub jooniselt 3. Nõel, mille tippu on kinnitatud õige väike hulk raadiumisoola, asetseb tsinksulfiidiga kaetud lumi-



Joon. 3. Spintariskoop.

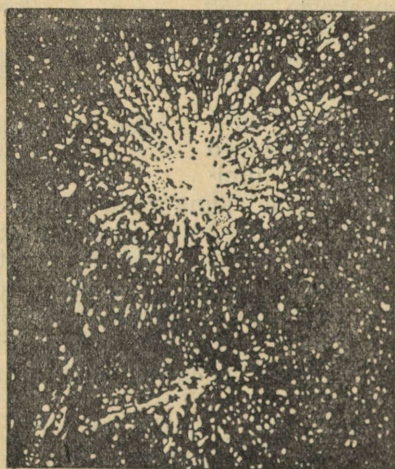
nestseeriva ekraani lähedal, kuna riista ülemisse ossa on kinnitatud luup. Iga alfa-osake, mis satub tsinksulfiidi kristallile, tekitab luubis hästi nähtava valgusesähvatus. Kui silm pimedusega harjub, võib jälgida erakordselt kaunist vaatepilti: tumedal foonil süttivad ja kustuvad heledad tähekesed. See riist nimetati spintariskoobiks (sõna «spintariskoop» on tuletatud kreekakeelsetest sõnadest «spinthēr» — «säde» ja «skopeō» — «vaatan»).

Spintariskoobi abil tehti kindlaks, et 1 gramm raadiumi saadab sekundis välja 37 miljardit alfa-osakest. Iga alfa-osakese laeng osutus kaks korda suuremaks elektroni laengust. Kui elektroni laengu suuruseks lugeda leppeliselt 1, siis on alfa-osakese laengu suuruseks 2.

Alfa-osakesed paiskuvad radioaktiivsest preparaadist välja igas suunas ja lendavad määratu suurte kiirustega. Kõige kiirematel neist ulatub kiirus 20 000 kilomeetrit sekundis. Sellise kiirusega on võimalik 20 sekundiga Maakeralt Kuuni lennata. Õhus liikudes aga kohtavad alfa-osakesed arvukaid takistusi — õhu koostisse kuuluvate gaaside molekulide. Iga kokkupõrge molekuliga vähendab alfa-osakese kiirust. Alfa-osakese energia kulub tema teele sattuvate molekulide ioniseerimiseks. Erinevatest radioaktiivsetest ainetest väljunud alfa-osakeste teekonna pikkus ehk, nagu öeldakse, levimisulatus on õhus seepärast kõigest 2—12 sentimeetrit. Kui vähendada molekulide arvu alfa-osakeste teel, siis suureneb nende levimisulatus.

Tahketes ainetes, näiteks metallides, paberis, klaasis jms.

on alfa-osakeste levimisulatus veel väiksem kui õhus. Tahkes aines asuvad aatomid ja molekulid üksteisele märksa lähemal kui õhus. Seepärast toimub alfa-osakestel kõigest mõne tuhandiku sentimeetri pikkusel teekonnal väga palju kokkupõrkeid, nad kaotavad kiiresti oma energia ja jäävad ainesse kinni. Alfa-osakesi peab kinni väga õhuke metallileht ja isegi paberileht. Seda arvesse võttes töötasid nõukogude füüsikud L. V. Mössovski ja A. P. Ždanov välja menet-



Joon. 4. Raadiumi alfa-osakeste jäljed fotoplaadi emulsioonis.

luse alfa-osakeste teekonna jälgimiseks võrdlemisi paksus fotoemulsiooni-kihis, kuhu eelnevalt on lisatud veidi raadiumisoola. Fotoemulsiooni koostisse kuuluvad broomhõbeda molekulid lagunevad alfa-osakeste toimel. Fotoplaadile teki-
vad üksikute alfa-osakeste teekondade varjatud, mõne mikroni¹ pikkused kujutised. Pärast ilmutamist on fotoplaadil näha lühikesi musti kriipse, mis pikkuselt vastavad alfa-osakeste levimisulatusesele. Plaati mikroskoobis vaadeldes on võimalik määrata iga osakese teekonna suunda ja pikkust.

Joonisel 4 on esitatud tugevasti suurendatud foto raa-

¹ Mikron on üks tuhandik millimeetrit.

diiumi alfa-osakeste jälgedest fotoplaadi emulsioonis. Raadiumikübemekesest igas suunas välja paiskuvate alfa-osakeste mõjul on fotoplaadile tekkinud mustad tähekesed. Fotol on need tähekesed valged.

7. AATOMI EHTUS

Alfa-, beeta- ja gamma-osakeste avastamine radioaktiivses kiirguses näitas, et aatom ei ole väikseim aineosake, vaid koosneb mingitest veel väiksematest osakestest.

Juba varem, enne radioaktiivsuse avastamist, veendusid teadlased korduvalt aatomite keerukas ehituses. Vene füüsik A. G. Stoletov märkas, et metallplaatide pinna valgustamisel omandavad need plaadid positiivse elektrilaengu. See toimub üliväikeste negatiivselt laetud osakeste — elektronide — vabanemise tagajärjel metalli pinnalt. Elektronid väljuvad ka hõõguvast traadist. Positiivselt ja negatiivselt laetud osakesed tekivad õhus röntgenikiirguse mõjul. Kõik need faktid kinnitavad elektriliselt laetud osakeste olemasolu aatomites. Aatomitel endil aga pole elektrilaengut. Aatomid on elektriliselt neutraalsed. Sellest lähtudes oletati, et aatomi koostisse kuuluvate elektronide negatiivset laengut peab kompenseerima sellega suuruselt võrdne positiivne laeng. Seda, kuidas elektrilaengud on aatomis paigutatud, võis ainult aimata.

Aatomi sisemusse võimaldasid pilku heita alfa-osakesed. Me rääkisime juba sellest, et alfa-osakesed läbivad väga õhukesti metallplaate. Selle nähtuse füüsikalise olemuse selgitamiseks tegi Rutherford järgmise katse. Kitsa alfa-osakeste kimbu suunas ta algul luminesceerivale ekraanile. Ekraanile tekkis väike hele täpp. Siis paigutas ta alfa-osakeste teele ühe tuhandiku millimeetri paksuse kuldlehekese. Pilt ekraanil muutus: hele täpp muutus suuremaks. Oli selge, et teatav hulk alfa-osakesi oli metalllehekese läbimisel oma esialgselt suunast kõrvale kaldunud, olles oma teel kohanud mingit takistust. Teadlane avastas ka valgusesärvatuse metalllehekese ette paigutatud ekraanil. Need särvatused võisid tekitada ainult alfa-osakesed, mis hõlpsalt järele muutnud oma liikumise suunda. Samuti nagu kuul tungib läbi puit-märklaua, kuid põrkab tagasi kuulikindlast teras-soomusest, tungib enamik alfa-osakesi hõlpsalt läbi aatomitega täidetud ruumist, ja ainult mõned nendest, kohates

läbitungimatuid aatomiosi, põrkavad tagasi. Kõiki neid tähelepanekuid polnud võimalik seletada vanade kujutlustega aatomitest kui osakestest, mille kogu ruumala on ühtlaselt täidetud ainega. Positiivselt laetud alfa-osakesed võivad muuta oma liikumise suunda ainult juhul, kui nad oma teel kohtavad suure massiga, samanimeliselt laetud osakesi.

See lihtne katse näitas, et aatom on keeruka ehitusega, et aatomis leidub peale osakeste ka «tühjust», mida alfa-osakesed hõlpsasti läbistavad, ja et aatomis leidub positiivselt laetud tihe moodustis — aatomituum, mille ruumala on võrdlemisi väike. Et positiivselt laetud aatomituumad on väikese ruumalaga ja asuvad üksteisest suhteliselt suurte kaugustel, siis suurest arvust alfa-osakestest, mis langevad metall-lehekesele, põrkavad ainult vähesed kokku aatomituumadega ja muudavad järsult oma liikumise suunda.

Aatomituumade tihedus on erakordselt suur. Kui oleks võimalik vesinikuaatomite tuumadega tihedalt täita üks kuupsentimeeter, siis kaaluks selline kuubike 100 miljonit tonni.

Kui kulla asemel paigutati alfa-osakeste teele mõni teine metall, siis ilmnes, et alfa-osakesed hajuvad sel juhul veidi teisiti. Leiti, et tuuma laengu suurus on erinevatel aatomitel erinev. Ühe ja sama keemilise elemendi aatomitel on ühesugune tuuma laeng. Kõige kergema elemendi — vesiniku — tuuma laeng võrdub suuruselt elektroni laenguga ja loetakse leppeliselt võrdseks 1-ga; heeliumituuma laeng on 2, raske metalli uraani tuuma laeng — 92.

Aatomid tervikuna ei ilmuta elektrilaengut, sest positiivselt laetud tuuma ümber liiguvad negatiivselt laetud elektronid. Elektronide kogulaeng elektriliselt neutraalses aatomis võrdub alati tuuma positiivse laengu suurusega.

Kõige lihtsama ehitusega on vesinikuaatomid. Vesinikutuuma ümber, mida nimetatakse prootoniks, tiirleb 1 elektron. Heeliumituuma ümber tiirlevad 2 elektroni, liitiumituuma ümber 3 elektroni jne.

Elektronid asetsevad aatomis tuumast võrdlemisi kaugel. Kaugus vesinikutuuma ja elektroni vahel on ligikaudu 5000 korda suurem tuuma läbimõõdust. Elektronide mass on tähtsusetu, mistõttu suurem osa aatomi ruumalast pole praktiliselt ainega täidetud. Peaaegu kogu aatomi mass on koonduanud tuuma.

Üks või mitu elektroni, mis asuvad tuumast kõige kaugemal, võivad aatomist võrdlemisi hõlpsalt lahkuda; tekkivad

positiivselt laetud aatomijääki nimetataksegi ioniks. Elektronid liituvad hõlpsalt mõnede aatomitega, moodustades negatiivselt laetud ioone. Sellised muundumised ei haara aatomituuma ja ei muuda seepärast aatomi loomust.

Nii selgitati aja jooksul välja aatomite ehituse põhijooned.

Et aatomite tegelik kaal väljendub äärmiselt väikeste arvudega, siis kasutatakse lihtsuse mõttes suhtelist aatomkaalu. Aatomkaaluks nimetatakse arvu, mis näitab, mitu korda on antud elemendi aatom raskem $\frac{1}{16}$ hapnikuaatomist. Hapnikuaatomi kaaluks loetakse leppeliselt 16 ühikut. Vesiniku aatomkaal on sellest lähtudes 1,008. Täisarvuni ümardatud aatomkaalu nimetatakse massiarvuks.

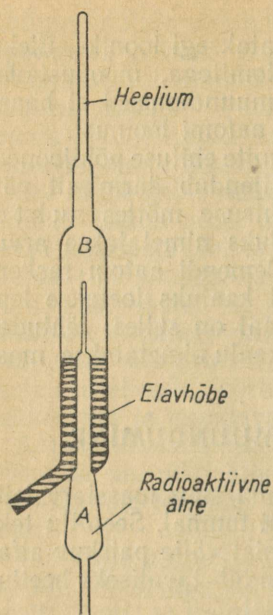
8. AATOMITE LOOMULIK MUUNDUMINE

Alfa-osakese massiarv on 4. Niisama suur massiarv leiti olevat ka kerge gaasi heeliumi aatomi tuumal. Seetõttu tekkis arvamus, et radioaktiivsest aatomist välja paiskuv alfa-osake, liitudes kahe elektroniga, muundub tavaliseks heeliumiaatomiks. Katse kinnitas seda oletust.

Joonisel 5 on esitatud skeem riistast, mille abil vaadeldakse alfa-osakeste heeliumiks muundumist. Algul pumbatakse torudest A ja B kogu õhk välja. Siis viiakse torusse A radioaktiivset ainet, mis saadab välja alfa-osakesi. Toru A ülemise otsa seinad tehakse nii õhukesed, et alfa-osakesed suudavad neid vabalt läbida ja torusse B tungida. Teatava aja möödudes katse algusest täidetakse toru B elavhõbedaga, jättes tühjaks ainult toru ülemise otsa. Uurimine näitab, et torusse B koguneb gaasilist heeliumi.

Aatomi ehituse tundmaõppimisel tekkis uusi küsimusi. Kui alfa-osakesi, s. t. heeliumituumasid paiskavad välja raadiumaatomid, mis toimub siis seejuures viimastega? Ilmselt peab toimuma raadiumiaatomite lagunemine ja nende muundumine mingi teise elemendi aatomiteks. Raadiumiaatomite sellist muundumist kinnitasid katsed.

Marie Curie ning tema järel ka teised teadlased märkasid juba radioaktiivsuse uurimise algperioodil, et raadiumi või tooriumi lähedal asuvad kehad muutuvad radioaktiivseteks. Seda nähtust hakati nimetama kunstlikuks radioaktiivsuseks. Et selgitada kunstliku radioaktiivsuse põhjust, otsustas Soddy koguda raadiumi ümbritsevat õhku ja kindlaks teha, kas see on radioaktiivne. Selle õhu radioaktiivsuse



Joon. 5. Riist, mille abil tõestati alfa-osakeste heeliumiks muundumine.

avastamiseks kasutati mineraali villemiiti (tsinksilikaat), mis on võimeline radioaktiivsete ainete kiirguse mõjul helendama. Katse teostati järgmiselt: klaastoruga, milles asus raadium, ühendati kraaniga varustatud klaastoru, mis oli täidetud villemiitükikestega (joon. 6). Kraani avades pumbati õhk esimesest torust villemiidiga täidetud torusse. Pimeduses oli selgesti näha, kuidas villemiit hakkas kohe pärast õhu sisseviimist helendama.

Vaatluste jätkamisel avastasid teadlased väga huvitava nähtuse: villemiidi helendus ei osutunud püsivaks, vaid vähenes aja jooksul märgatavalt. See näitas, et ka õhu radioaktiivsus torus vähenes. Peale selle, kui katset korrati kohe pärast õhu väljapumpamist raadiumiga torust, siis villemiit ei helendanud. Helendus tekkis ainult siis, kui raadiumi sisaldav toru seisis suletult mõned päevad.

Nende katsete puhul kohtusid uurijad mitte ainult radioaktiivsuse kiire muutumisega, vaid isegi selle tekkimise ja kadumisega. Oletati, et raadiumist tekib uus gaasiline radio-

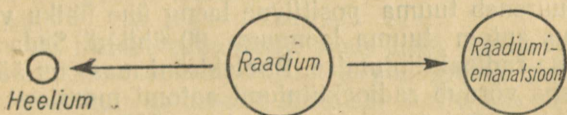


Joon. 6. Raadiumi ümbritsevasse õhku koguneb radioaktiivset gaasi, mis kutsub esile villemiidi helendamist.

aktiivne aine, mis läheb koos õhuga teise torusse ja põhjustab seal villemiidi helendamist. Seda radioaktiivset gaasi hakati nimetama raadiumiemanatsiooniks, mis tähendab «raadiumist välja voolav» (seda gaasi nimetatakse ka radooniks).

Raadiumiaatom ilmselt lõhkeb, heites seejuures välja alfa-osakese ja muutudes raadiumiemanatsiooni aatomiks. Tekkinud aatom võib omakorda laguneda, paisates välja uue alfa-osakese. Sellega ongi seletatav villemiidi helendamine raadiumiemanatsiooni juuresolekul.

Nende katsete põhjal tekkis mõte, et radioaktiivsus on seotud aatomite lagunemisega ja nende muundumisega teiste ainete aatomiteks. See idee oli täiesti uus ning julge ja vajas ümberlõkkamatuid tõestusi, sest tol ajal arvati, et ühe elemendi aatomid ei saa muunduda teise elemendi aatomiteks. Oli tarvis tõestada, et raadiumiemanatsioon on tõepoolest keemiline element.



Joon. 7.

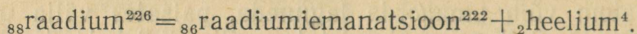
Urijate käsutuses oli umbes 0,001 milligrammi gaasi, mille ruumala ei ületanud 0,1 kuupmillimeetrit, kuid isegi nii väikesest hulgast raadiumiemanatsioonist piisas teadlastele tema aatomkaalu määramiseks. Raadiumiemanatsiooni aatomkaal on 222; see on nelja ühiku võrra väiksem raadiumi aatomkaalust. Edasised katsed näitasid, et raadiumiemanatsioon ei ühine teiste elementidega. Niisuguste omadustega gaase nimetatakse inertseteks gaasideks. Teeme väikese arvutuse. Raadiumi aatomkaal on 226, tuuma laeng on 88. Lagunemisel paiskab raadiumituum välja alfa-osakese, mille mass on 4, laeng aga 2 ühikut. Seejuures tekib uus aatom, mille tuuma laeng on 2 ühiku, aatomkaal aga 4 ühiku võrra väiksem kui raadiumiaatomitel. Järelikult peab raadiumiemanatsiooni aatomitel tuuma laeng olema 86 ühikut ja massiarv 222 ühikut. Katseliselt saadi samad arvud.

Raadiumiaatomite lagunemise tagajärjel tekivad seega uute keemiliste elementide — raadiumiemanatsiooni ja heeliumi — aatomid (joon. 7).

Selliste atomaarsete muundumiste lühendatud ülesmärkimiseks näidatakse tavaliselt elemendi nimetuse kõrval vasakul all tuuma laengut, paremal ülal aga massiarvu.

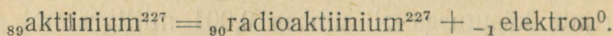
Raadiumi raadiumiemanatsiooniks ja heeliumiks muun-

dumise protsessi võime seega üles kirjutada järgmise võrrandina:



Uraani-, tooriumi- ja polooniumiaatomid paiskavad lagunemisel samuti välja alfa-osakesi. On aga olemas ka radioaktiivseid elemente, mis lagunemisel kiirgavad beeta-osakesi, s. t. suure kiirusega liikuvaid elektrone. Selliste elementide hulka kuulub aktiinium, mis avastati varsti pärast raadiumi avastamist. Aktiiniumiaatomite tuuma laeng on 89, massiarv aga 227 ühikut. Radioaktiivse muundumise hetkel toimub aktiiniumituumas keerukas protsess, mis lõpeb negatiivselt laetud elektroni väljapaiskumisega. Selle tagajärjel suureneb tuuma positiivne laeng ühe ühiku võrra ja tekib uus aatom tuuma laenguga 90 ühikut. Seda hakati nimetama radioaktiiniumiks. Et elektroni mass on äärmiselt väike, siis võrdub radioaktiiniumi aatomi massiarv praktiliselt lähteatomi massiarvuga, mis on 227.

Aktiiniumi radioaktiivse muundumise protsessi võime üles kirjutada järgmiselt:



Tuum, mis on välja paisanud alfa- või beeta-osakese, saadab peaaegu alati veel välja teataval määral energiat, kiirates gamma-osakesi.

9. D. I. MENDELEJEVI TABEL JA ELEMENTIDE MUUNDUMINE

Keemiliste elementide omadused sõltuvad nende aatomite ehitusest. Selle looduseaduse avastas suur vene teadlane D. I. Mendelejev 1869. aastal.

Andeka uurija juurdlev vaim püüdis visalt aru saada, miks keemiliste elementide suures peres üksikute elementide omadused väga suurel määral üksteisest erinevad. Et leida erinevuste põhjust, koondas ta rühmadesse niisuguseid elemente, mille keemilised ja füüsikalised omadused olid ühesugused, ja võrdles terveid rühmi. Metallid naatrium ja kaalium näiteks on omadustelt väga sarnased, kuid erinevad teravalt metalloididest kloorist ja joodist. Paigutades aatomkaalu suuruse järgi ritta kõik tol ajal tuntud ele-

mendid, märkas teadlane, et ühesuguste keemiliste omadustega elemendid korduvad kindla elementide arvu järel.

D. I. Mendelejev koostas tabeli, milles ühesuguste keemiliste omadustega elemendid asetsevad vertikaalsetes tulpades (rühmades). Selliseid rühmi oli kokku 8.* Perioodilise süsteemi esimeseks elemendiks on vesinik, sest tema aatomid on kõige kergemad. Teisel kohal oli Mendelejevi tabelis heelium, kolmandal liitium jne. kuni viimase tol ajal tuntud, 92. elemendini — uraanini.

Tabeli mõned kohad jättis D. I. Mendelejev tühjaks, olles arvamusel, et nendesse tuleb paigutada tol ajal veel tundmatud elemendid.

Edasiste uurimistega tehti kindlaks, et keemiliste elementide omadused on perioodilises sõltuvuses tuuma laengu suurusest.

Elemendi järjekorranumber Mendelejevi tabelis ehk, nagu nüüd öeldakse, Mendelejevi arv näitab tuuma laengu suurust ja järelikult ka aatomi koostisse kuuluvate elektronide arvu. Vesinikuaatomi tuuma laenguks on näiteks 1, heeliumituuma laenguks 2, uraanituuma laenguks aga 92. Need elemendid asuvad elementide perioodilise süsteemi 1., 2. ja 92. ruudus. Igal elemendil on Mendelejevi tabelis oma koht. Elemendi asukoht perioodilises süsteemis aga määrab tema keemilised omadused.

Raadium asetus perioodilises süsteemis 88. kohale, mis asub II rühmas. Raadiumist kõrgemal asetseb samas rühmas baarium. Seepärast on raadium ja baarium keemilistelt omadustelt sarnased. Element nr. 89 — aktiinium — asub perioodilise süsteemi III rühmas, element nr. 90 — toorium — IV rühmas, element nr. 91 aga — protaktiinium — V rühmas. Perioodilise süsteemi lõpus VI rühmas, asub element nr. 92 — uraan.

D. I. Mendelejev oletas, et on olemas uraanist raskemaid elemente. Ta väitis, et kui leidub selliseid elemente, siis nende arv pole kuigi suur. See väide leidis kinnitust. Käesoleval ajal tuntakse elemente kuni järjekorranumbrini 98.

Alates elemendist nr. 83 kuni viimase praegu tuntud elemendini nr. 98 on kõikide elementide aatomid radioaktiivsed. Radioaktiivsust on avastatud ka mitmel elemendil, mis asuvad perioodilise süsteemi keskel. Pole kahtlust, et lähe-

* Üheksanda, nn. null-rühma elemente (inertseid gaase) Mendelejevi ajal ei tuntud. *Toim.*

mas tulevikus avastatakse veelgi praegu püsivaks peetavate aatomite lagunemist.

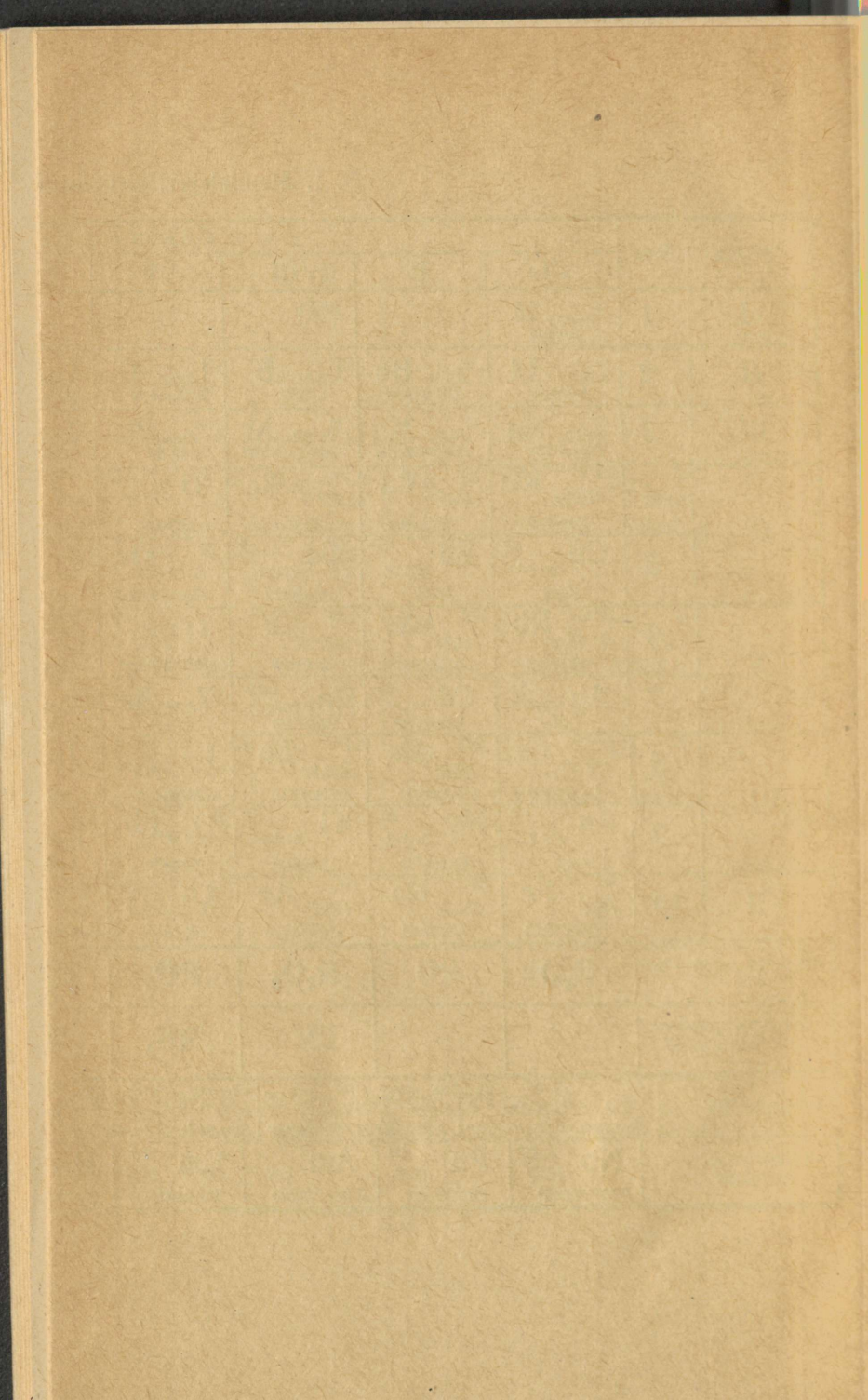
Radioaktiivsete elementide asukohtade tundmaõppimine perioodilises süsteemis viis isotoopide avastamisele. Kui uraniniidist eraldati tugevasti radioaktiivne element ioonium, siis ei leidunud sellele tabelis kohta. Iooniumi omadused osutusid samasugusteks kui varem tuntud elemendil nr. 90 — tooriumil. Mingite keemiliste menetlustega ei suudetud iooniumi tooriumist eraldada. Keemikud pidid tunnistama, et ioonium ja toorium on elemendid-kaksikud, mis teineteisest erinevad radioaktiivsuse määralt: iooniumiaatomid lagunevad palju kiiremini tooriumiaatomitest. Ioonium tuli mahutada perioodilise süsteemi samasse ruutu, kus asus toorium. Niisuguseid elemente hakati nimetama isotoopideks, mis tähendab «samakohalised». Isotoopide olemasolu põhjus suudeti selgitada alles pärast aatomite tuumade ehituse tundmaõppimist.

1932. aastal väitis nõukogude füüsik D. D. Ivanenko, et aatomite tuumad koosnevad mitte ainult prootonitest, vaid ka neutronitest. Leppelistes ühikutes on prootoni laeng ja mass 1 (täpsemalt 1,0081). Prootonid on vesinikuaatomite tuumad. Neutronitel on peaaegu niisama suur mass (1,0089) kui prootonitel, kuid neil puudub elektrilaeng. Kõikide elementide aatomite koostisse kuuluvad ühesugused elementaarosakesed: prootonid, neutronid ja elektronid. Prootonite arv tuumas määrab tuuma laengu. Elemendi järjekorranumber perioodilises süsteemis võrdub seega tema aatomi tuumas leiduvate prootonite arvuga, kuna massiarv näitab, mitu prootonit ja neutronit kuulub isotoobi tuuma koostisse. Teades tuuma laengut ja massiarvu, on seega võimalik arvutada tuuma koostisse kuuluvate neutronite arvu. Heeliumituuma laeng näiteks on 2, massiarv aga 4. Järelikult kuuluvad heeliumituuma koostisse kaks prootonit ja kaks neutronit.

Isotoopide aatomite tuumades võib neutronite hulk olla ühe ja sama prootonite arvu puhul erinev. Kõikidel tooriumi isotoopidel, sealhulgas ka iooniumil, on järjekorranumbriks 90, kuid tooriumi- ja iooniumiaatomite massiarvud on erinevad — tooriumil 234, iooniumil aga 230. See on seletatav sellega, et kummagi isotoobi tuumas on 90 prootonit, kuid neutronite arv on erinev: tooriumil on neid 144 ja iooniumil 140. Tuumade koostisse kuuluvad prootonid kannavad samanimelist elektrilaengut ja seepärast peaksid nad üksteisest eemale tõukuma. Sellele vaatamata ei lagune tuumad oma

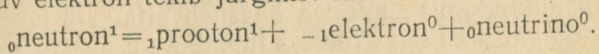
D. I. Mendelejevi elementide perioodiline süsteem

Perioodid	Read	Elementide rühmad								0				
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
I	1	¹ _{1,0080} H Vesinik							(H)	² _{4,003} He Heelium				
II	2	³ _{6,940} Li Liitium	⁴ _{9,013} Be Berüllium	⁵ _{10,82} B Boor	⁶ _{12,010} C Süsinik	⁷ _{14,008} N Lämmastik	⁸ _{16,0000} O Hapnik	⁹ _{19,00} F Fluor		¹⁰ _{20,183} Ne Neoon				
III	3	¹¹ _{22,997} Na Naatrium	¹² _{24,32} Mg Magneesium	¹³ _{26,97} Al Alumiinium	¹⁴ _{28,06} Si Räni	¹⁵ _{30,98} P Fosfor	¹⁶ _{32,066} S Väavel	¹⁷ _{35,457} Cl Kloor		¹⁸ _{39,944} Ar Argoon				
IV	4	¹⁹ _{39,096} K Kaalium	²⁰ _{40,08} Ca Kaltsium	²¹ _{45,10} Sc Skandium	²² _{47,90} Ti Titaan	²³ _{50,95} V Vanaadium	²⁴ _{52,01} Cr Kroom	²⁵ _{54,93} Mn Mangaan	²⁶ _{55,85} Fe Raud	²⁷ _{58,94} Co Koobalt	²⁸ _{58,69} Ni Nikkel			
	5	²⁹ _{63,54} Cu Vask	³⁰ _{65,38} Zn Tsink	³¹ _{69,72} Ga Gallium	³² _{72,60} Ge Germaanium	³³ _{74,91} As Arseen	³⁴ _{78,96} Se Seleen	³⁵ _{78,916} Br Broom			³⁶ _{83,7} Kr Krüptoon			
V	6	³⁷ _{85,48} Rb Rubiidium	³⁸ _{87,63} Sr Strontsium	³⁹ _{88,92} Y Ütrium	⁴⁰ _{91,22} Zr Tsirkoonium	⁴¹ _{92,91} Nb Niobium	⁴² _{95,95} Mo Molibdeen	⁴³ ₍₉₉₎ Tc Tehneetsium	⁴⁴ _{101,7} Ru Ruteenium	⁴⁵ _{102,91} Rh Roodium	⁴⁶ _{106,7} Pd Pallaadium			
	7	⁴⁷ _{107,880} Ag Hõbe	⁴⁸ _{112,41} Cd Kadmium	⁴⁹ _{114,76} In Indium	⁵⁰ _{118,70} Sn Tina	⁵¹ _{121,76} Sb Antimon	⁵² _{127,61} Te Telluur	⁵³ _{126,92} J Jood			⁵⁴ _{131,3} Xe Ksenoon			
VI	8	⁵⁵ _{132,91} Cs Tseesium	⁵⁶ _{137,36} Ba Baarium	⁵⁷ _{138,92} La* Lantaan	⁷² _{178,6} Hf Hafnium	⁷³ _{180,88} Ta Tantaal	⁷⁴ _{183,92} W Volfram	⁷⁵ _{186,31} Re Reenium	⁷⁶ _{190,2} Os Osmium	⁷⁷ _{193,1} Ir Iriidium	⁷⁸ _{195,23} Pt Plaatina			
	9	⁷⁹ _{197,2} Au Kuld	⁸⁰ _{200,61} Hg Elavhõbe	⁸¹ _{204,39} Tl Tellium	⁸² _{207,21} Pb Seatina	⁸³ _{209,00} Bi Vismut	⁸⁴ ₍₂₁₀₎ Po Poloonium	⁸⁵ ₍₂₁₁₎ At Astatiin			⁸⁶ ₍₂₂₂₎ Rn Radoon			
VII	10	⁸⁷ ₍₂₂₃₎ Fr Frantsium	⁸⁸ _{226,05} Ra Radium	⁸⁹ ₍₂₂₇₎ Ac Aktiinium	⁹⁰ _{232,12} Th Toorium	⁹¹ ₂₃₁ Pa Protaktiinium	⁹² _{238,07} U** Uraan							
Kõrgemad soolatekitavad oksüüdid		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₅	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄					
Kõrgemad gaasilised vesinikühendid					RH ₄	RH ₃	RH ₂	RH						
* Lantaniidid	⁵⁸ _{140,13} Ce Tseerium	⁵⁹ _{140,92} Pr Praseodüüm	⁶⁰ _{144,27} Nd Neodüüm	⁶¹ ₍₁₄₇₎ Pm Prometium	⁶² _{150,43} Sm Samaarium	⁶³ _{152,0} Eu Euroopium	⁶⁴ _{158,9} Gd Gadoliinium	⁶⁵ _{159,2} Tb Terbium	⁶⁶ _{162,46} Dy Düsproosium	⁶⁷ _{164,94} Ho Holmium	⁶⁸ _{167,2} Er Erbium	⁶⁹ _{169,4} Tu Tuulium	⁷⁰ _{173,04} Yb Üterbium	⁷¹ _{174,99} Lu Luteetsium
** Transuraan-elementid	⁹³ ₍₂₃₇₎ Np Neptuunium	⁹⁴ ₍₂₃₉₎ Pu Plutoonium	⁹⁵ ₍₂₄₁₎ Am Ameriitsium	⁹⁶ ₍₂₄₂₎ Cm Küürium	⁹⁷ ₍₂₄₃₎ Bk Berkelium	⁹⁸ ₍₂₄₄₎ Cf Kalifornium								



koostisosadeks. Neid hoiavad koos erilised tuumajõud, mis mõjuvad väga väikestel kaugustel. Need tõmbejõud tuumaosakeste vahel on mitu miljonit korda suuremad jõududest, milliseid me kohtame igapäevases elus.

Ebapüsivates radioaktiivsetes aatomites toimuvad aegajalt protsessid, millede puhul tuumast paiskub välja kas elektron või kahest prootonist ja kahest neutronist koosnev alfa-osake. Elektronid ja alfa-osakesed tekivad tuumasisesel muundumise hetkel ja paisatakse tuuma energia arvel määratu suure kiirusega välja. Elektroni väljapaiskumine vastab neutroni prootoniks muutumisele. Seejuures kandub osa tuuma energiast üle laenguta osakesele, mille mass on äärmiselt väike ja mida nimetatakse neutrinoiks. Tuumast välja paiskuv elektron tekib järgmise muundumise arvel:



Elektroni väljapaiskumisega suureneb tuuma positiivne laeng 1 võrra, kuna massiarv jääb muutumatuks.

Missuguse koha aga võtavad endale perioodilises süsteemis radioaktiivse muundumise tagajärjel tekkinud elemendi aatomid? Sellele küsimusele on hõlpus vastata, kui kasutada «nihkereeglit». Kui radioaktiivne aatom kiirgab välja alfa-osakese, mille laeng on 2 ja massiarv 4, siis tekib uus aatom, mille laeng on 2 ühiku, massiarv aga 4 ühiku võrra väiksem kui lähteatomil. See element asetub perioodilises süsteemis kohale, mis asub kahe ruudu võrra lähteelemendist vasakul.

Kui radioaktiivne isotoop kiirgab välja beeta-osakese, mis viib kaasa negatiivse laengu ja väga väikese massi, siis massiarv ei muutu, kuna uue elemendi aatomi tuuma laeng kujuneb ühe ühiku võrra suuremaks lähteatomi tuuma laengust. Uus aatom asetub perioodilises süsteemis ühe ruudu võrra lähteatomist paremale. Gamma-kiirguse puhul massiarv ja tuuma laeng ei muutu.

10. RADIOAKTIIVSED PEREKONNAD

Vaatame, millised radioaktiivsed muundumised toimuvad uraaniaatomitega, enne kui tekivad püsivad aatomid. Nagu teame, algas uraani radioaktiivsuse tundmaõppimine kujutiste saamisega musta paberisse mähitud fotoplaatidel. Seejärel tehti kindlaks, et uraan kiirgab välja alfa-osakesi.

Alfa-osakesed aga neelduvad paberis plaatideni jõudmata. Järelikult tekitavad plaatide tumenemist teiste radioaktiivsete elementide kiirgused. Keemilisel teel läks korda eraldada uraanist ainet, mis saadab välja beeta-kiiri. See oli uus radioaktiivne element, mis omadustelt sarnanes tooriumiga. Sellele pandi nimeks uraan X_1 . Et määrata selle elemendi kohta perioodilises süsteemis, rakendame nihkereeglit. Uraaniaatomid tuuma laenguga 92 ja massiarvuga 238 peavad pärast alfa-osakese väljasaatmist andma elemendi, mille tuuma laeng on 90 ja massiarv 234. Perioodilises süsteemis peab see asuma kahe ruudu võrra uraanist vasakul, s. t. ruudus, kus asetseb toorium. See on järelikult veel üks tooriumi isotoope.

Muundumine ei lõpe aga sellega. Tuumas toimub veel mitmeid muundumisi, millega kaasneb alfa- või beeta-osakeste väljapaiskumine. Protsess jätkub kuni püsiva seatinaisotoobi tekkimiseni. Uraanist 238 tekkinud elemendid moodustavad uraani 238 radioaktiivse perekonna.

Radioaktiivsete muundumiste tundmaõppimise tulemusel purunes vana kujutus aatomite muutumatuses. Osutus võimalikuks kindlaks teha ühtede või teiste aatomiliikide päritolu. Mõned aatomid osutusid esivanemateks, teised nende järglasteks. Uraaniaatomid on emaaaineks, millest tekivad iooniumi-, raadiumi- ja polooniumiaatomid ning veel hulk teisi; neid elemente leiamegi uraanimaakides. Uraanimaakides leidub alati veel ka seatina isotoopi massiarvuga 206, mis on uraani perekonna aatomite muundumise lõpp-produktiks. Uraaniaatomid massiarvuga 235. on teise radioaktiivse perekonna esivanemateks. Sellesse perekonda kuuluvad protaktiinium, aktiinium, aktiiniumi gaasiline emanatsioon ja muud elemendid. See rida lõpeb mitte-radioaktiivse seatina-isotoobiga, mille massiarv on 207.

Ka toorium moodustab radioaktiivse perekonna. Üks selle perekonna liikmetest — raadiumi isotoop mesotoorium-1 — võib asendada raadiumi selle praktilisel kasutamisel. Tooriumi radioaktiivsed muundumised lõpevad mitteradioaktiivse seatina-isotoobiga, mille massiarv on 208.

11. RADIOAKTIIVSE LAGUNEMISE SEADUS

Lagunevate aatomite arvu kindlakstegemisel avastasid teadlased radioaktiivse lagunemise seaduse. Radioaktiivsete

elementide aatomite lagunemise protsess ei toimu kõikide aatomitega üheaegselt. Aatomite üldarvust laguneb igas sekundis ainult teatav osa. Mida ebapüsivamad on aatomid, seda suurem osa neist laguneb ühesuguste ajavahemike vältel. Iga radioaktiivne aatom muundub varem või hiljem püsivamaks aatomiks.

Uraani ja tooriumi taoliste elementide hulk ei muutu praktiliselt paljude aastate vältel. Need on pikaealised elemendid. On aga ka niisuguseid radioaktiivseid elemente, nagu näiteks toorium C', mille olemasolu kestab ainult üks tuhandik sekundit. Need on lühiealised elemendid.

Sekundis lagunevate aatomite arv sõltub aatomite esialgsest hulgast. Mida rohkem on aatomeid, seda rohkem neid ka laguneb. Igas sekundis laguneb ühesugune osa antud radioaktiivse elemendi aatomitest. Igas sekundis lagunevate aatomite protsent sõltub tuumade püsivusest ja seda nimetatakse lagunemiskonstandiks. Lühiealistel elementidel on lagunemiskonstandid palju suuremad kui pikaealistel. Seepärast on hakatud radioaktiivse elemendi püsivuse iseloomustamiseks kasutama poolestusajaks nimetatavat suurust. Poolestusaeg on ajavahemik, mille vältel laguneb pool aatomeid esialgsest arvust.

Raadiumiemanatsiooni aatomite arv kahaneb poolele 3,8 päevaga. Raadiumiemanatsiooni poolestusajaks on järelikult 3,8 päeva. Kahe poolestusaja, s. o. 7,6 päeva möödudes jääb järele $\frac{1}{4}$ esialgsest aatomite arvust, kolme poolestusaja, s. o. 11,4 päeva möödudes $\frac{1}{8}$ jne. On hõlpus arvutada, et 38 päeva, s. o. kümne poolestusaja möödudes jääb järele kõigest $\frac{1}{1024}$ võetud aatomite arvust, s. o. alla 0,1%. Raadiumiemanatsiooni hulga nii kiiret kahanemist tuleb arvestada selle aine kasutamisel raviotstarbeks.

Niisugustel pikaealistel elementidel nagu uraan ja toorium on poolestusajad väga suured. Uraani poolestusaeg on näiteks 4,5 miljardit aastat. See tähendab, et ajaühikus lagunevate uraaniaatomite protsent, s. t. lagunemiskonstant, on väga väike. Määratu suurest arvust uraaniaatomitest, mis sisalduvad 1 grammis uraanis (umbes 3 000 000 000 000 000 000 000), laguneb igas sekundis 12 000 aatomit. Lagunenud aatomite arv on nii kaduvväike, et uraani kaalu vähenemist lagunemise arvel pole võimalik avastada inimese vältel.

1907. aastal kinkis Marie Curie ühele Pariisi instituudile 1 grammi raadiumi. Nüüd on sellest möödunud 48 aastat

ja raadiumi hulk on kahanenud kõigest 20 milligrammi võrra 1590 aasta järel, s. o. 3497. aastaks, jääb sellest raadiumikogusest järele pool grammi.

12. RADIOAKTIIVNE TASAKAAL

Meenutame, et raadiumiemanatsiooniga teostatud katsetel, mida kirjeldasime eespool, oli emanatsiooni allikaks raadium. Esimestel päevadel koguneb raadiumiemanatsiooni kiirelt, hiljem aga aeglasemalt. Kuu aja möödumisel saavutab raadiumiemanatsiooni hulk maksimaalse väärtuse ja ei muutu siis enam. Teatavast raadiumihulgast on võimalik saada nii palju raadiumiemanatsiooni, kui palju seda koguneb ühe kuu jooksul. Millega on see seletatav? Oletame, et eemaldati täielikult kogu raadiumiemanatsioon, mis oli kogunenud nõusse, kus asub raadium. Raadiumi lagunemine jätkub aga endise kiirusega ja tekivad uued emanatsiooniatomid. Emanatsioon on ise samuti radioaktiivne. Mida rohkem emanatsiooniatomeid on jõudnud tekkida, seda rohkem neid ka laguneb. Mõne aja pärast tekib olukord, mille puhul igas sekundis tekib niisama palju emanatsiooniatomeid, kui neid laguneb. Seejuures emanatsiooniatomite üldarv enam ei muutu. Niisugust olukorda nimetatakse radioaktiivseks tasakaaluks.

Radioaktiivse tasakaalu puhul on aeglasemalt laguneva elemendi hulk suurem kiiremalt laguneva elemendi hulgest. Iga elemendi hulk, mis vastab radioaktiivse tasakaalu olukorrale, on seda suurem, mida suurem on tema poolestusaeg. Raadiumi poolestusaeg on 200 000 korda suurem raadiumiemanatsiooni poolestusajast. Kõige suurem raadiumiemanatsiooni hulk, mis võib eralduda 200 milligrammist raadiumist, on 0,001 milligrammi.

Et tekiks radioaktiivne tasakaal pikaajaliste ja lühiajaliste radioaktiivsete elementide vahel, on tarvilik ajavahemik, mis on umbes kümme korda suurem lühiajalise elemendi poolestusajast. Raadiumiemanatsiooni tekkimisel raadiumist näiteks saabub tasakaal umbes kuu aja pärast, sest raadiumiemanatsiooni poolestusaeg on 3,8 päeva.

Raadium ja poloonium tekivad uraani arvukatel muundumistel. Uraani poolestusajaga võrreldes (4,5 miljardit aastat) on raadiumi poolestusaeg väike (1590 aastat). Seepärast ei leidu maakides raadiumi rohkem kui 0,34 grammi 1 tonni

uraani kohta. Polooniumi poolestusaeg on 140 päeva. Uraaniga tasakaalus oleva polooniumi hulk on tuhat korda väiksem kui vastav raadiumi hulk. Siit nähtub, miks Marie Curie suutis ainult avastada polooniumi radioaktiivsuse, kuid ei saanud seda elementi kaalutavates kogustes.

13. RADIOAKTIIVSED ELEMENDID LOODUSES

Raadiumi, uraani ja tooriumi rikkad leiukohad on võrdlemisi haruldased. Väikestes kogustes seevastu on neid elemente leitud peaaegu kõikides kivimites, muldades ja vetes. Tavalised kivimid sisaldavad tonni kohta 0,006 grammi uraani, 0,015 grammi tooriumi ja miljardiku grammi raadiumi. Jõevees tuleb 1 liitri kohta umbes 0,0005 miljardikku grammi raadiumi. Õhus leidub samuti teatav hulk radioaktiivseid elemente — gaasilisi emanatsioone ja nende lagunemisprodukte.

Maa-aluste vete radioaktiivsus on mõnes kohas tavalisest kõrgem. See tuleneb radioaktiivsete elementide väljauhtumisest sügaval asetsevatest kihtidest. Selliste vete radioaktiivsuse uurimine aitab avastada radioaktiivsete elementide rikkaid leiukohti.

Tuleb märkida, et paljudes kuurortides esineb kõrgendatud radioaktiivsusega vett ja õhku. Kaukaasia mineraalveeallikad sisaldavad raadiumiemanatsiooni, mesotooriumi ja radiotooriumi. Raadiumiemanatsioonist kõige rikkamates vetes leidub tuhat korda rohkem radioaktiivset gaasi kui tavalises vees. Sellise vee 1 liitris kiirgab raadiumiemanatsioon sekundis umbes 4000 alfa-osakest. Raadiumi leidub ka taimedes. Viinamarjapõõsastes on raadiumi hulk kümme korda suurem kui teistes taimedes. Ka inimese organismis on avastatud raadiumi. On kindlaks tehtud, et inimese kehas — peamiselt luustikus — sisalduv raadium kiirgab iga sekundis umbes 200 alfa-osakest.

Toodud näidetest selgub, et raadiumi hulk on kõikides looduslikes ainetes väike. Kui aga võtta arvesse uurimisele kättesaadava maakoore¹ määratu suurt massi, siis ilmneb, et raadiumi üldine sisaldus maakooses on umbes 100 miljonit tonni. Raadiumi radioaktiivse lagunemise arvel saab Maa

¹ On kokku lepitud lugeda maakooreks maakera osa, mis ulatub maapinnast 16 kilomeetri sügavusele.

igas sekundis niisama palju soojust, kui palju seda eraldub 3 miljoni tonni kivisöe põlemisel.

Uraani ja tooriumi looduslikud varud on miljoneid kordi suuremad raadiumi ning tuhandeid kordi suuremad kulla ja plaatina varudest. Ka kaalium on nõrgalt radioaktiivne. Ta eraldab aga palju soojust, sest tema hulk maakooses on väga suur.

Kõikide radioaktiivsete elementide poolt eraldatav soojus mängib suurt osa maakera sisemuses toimuvates protsessides. Radioaktiivsete elementide poolt eraldatava soojuste osatähtsuse selgitamisega tegeles juba 1922. aastal Moskva ülikooli professor A. P. Sokolov.

Maa saab pidevalt määratu hulga soojust Päikeselt. See soojus aga ei levi sügavamale kui 20 meetrit maapinnast, mis moodustab vähem kui $\frac{1}{100000}$ Maa raadiusest. Maapinna temperatuur sõltub vahekorras Päikeselt saadava soojuste hulga ja Maa poolt maailmaruumi kiiratava soojuste hulga vahel.

Maa sisemuses toimuvatest soojuslikest protsessidest võib saada ettekujutuse näiteks temperatuuri muutumise järgi puuraugus. On leitud, et Maa sisemusse tungimisel tõuseb temperatuur umbes 3° võrra iga 100 meetri kohta. Varem oletati, et selle soojuste allikaks on omal ajal tulivedelas olekus olnud Maa seni veel hangumata südamik. Maa temperatuuri võib aga seletada ka radioaktiivsete elementide leidumisega temas. Kui oletada, et radioaktiivsete elementide sisaldus on kogu maakera ulatuses ühesugune ja vastab nende kontsentratsioonile maapinnal, siis peaks nende poolt eraldatava soojuste hulk olema ligi sada korda suurem, kui see on tegelikult. Seepärast arvatakse, et radioaktiivsete elementide sisaldus on maakera sisemuses märksa väiksem kui maapinnal.

Huvitavaid järeldusi tehti meteoriitide — planeetidevahelisest ruumist Maale langevate kehade — uurimisel. Tutatakse kivi- ja raudmeteoriite. Keemikud leidsid, et meteoriitide koostisse kuuluvad samad keemilised elemendid, mida leidub Maa peal, ja ligikaudu samasugusel hulgal nagu Maa peal. Meteoriitidest on leitud ka radioaktiivseid elemente. Radioaktiivsete elementide hulk kivimeteoriitides erineb vähe nende hulgast maakooses, raudmeteoriitides aga ei ole radioaktiivseid elemente peaaegu üldse. See asjaolu kinnitab arvutustest tehtud järeldusi. Maa südamik koosneb peamiselt rauast ja ei sisalda radioaktiivseid elemente. Maa väline

kivikest — maakoor — on seevastu rikas radioaktiivsetest elementidest. Mõni miljon aastat tagasi oli radioaktiivsete elementide sisaldus maapinnas ja järelkult ka nende poolt eraldatava soojuse hulk veel suurem kui praegu.

14. AATOMITE KUNSTLIK MUUNDAMINE

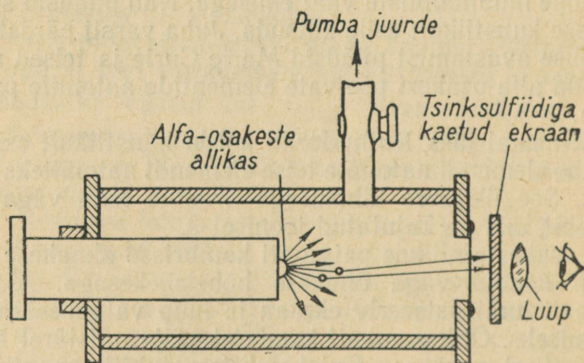
Sedamööda kuidas kogunes teadmisi radioaktiivsusest, ei rahuldunud teadlased enam ainult aatomite imetlusväärsete looduslike muundumiste vaatlemisega. Nad püüdsid selliseid protsesse kunstlikult esile kutsuda. Juba varsti pärast radioaktiivsuse avastamist püüdsid Marie Curie ja teised uurijad kasutada alfa-osakesi püsivate elementide aatomite purustamiseks.

1919. aastal läks Rutherfordil korda kunstlikult esile kutsuda ühe elemendi aatomite teise elemendi aatomiteks muundumist. See üllisuure tähtsusega avastus tehti väga lihtsa riista abil, mis on kujutatud joonisel 8.

Alfa-osakeste allikas paigutati kambrisse aknakese vastu, mis oli kaetud väga õhukese hõbelehekesega. Aknakese taha seati lumineestseeriv ekraan ja luup valgusesähvatusete vaatlemiseks. Ohk pumbati kambrist välja, misjärel kamber täideti mingi gaasiga. Kui kambrisse juhiti hapnikku või süsihappegaasi, siis ekraan ei helendanud, sest alfa-osakeste allika kaugus ekraanist oli suurem alfa-osakeste levimisulatusest gaasis. Kui aga kamber täideti lämmastikuga, siis tekkisid ekraanil üksikud heledad valgusesähvatused. Need sähvatused võisid tekkida osakestest, mille levimisulatus oli suurem neid tekitanud alfa-osakeste levimisulatusest. Hiljem tehti kindlaks, et nendeks osakesteks olid alfa-osakeste poolt lämmastikuaatomitest välja löödud killud. Nende kildude laengu ja massi mõõtmine näitas, et need olid väga suure kiirusega liikuvad prootonid, s. t. vesinikutuumad. Et vesinikku kambris ei olnud, siis võisid vesinikutuumad tekkida ainult alfa-osakese neelanud lämmastikuaatomitest. Kui silmas pidada seda, et lämmastikutuumade järjekorranumber on 7, massiarv aga 14, siis peab alfa-osakese temasse viimine andma tuuma, mille laeng on 9, mass aga 18. Selline tuum on fluoril, kuid see pole püsiv ja heidab kohe välja prootoni. Seetõttu vähenevad tuuma laeng ja massiarv 1 võrra, s. t. tekib tuum laenguga 8 ja massiarvuga 17. Nii saadi kunstlikult hapniku haruldane isotoop. Suuremal osal

looduses leiduvatest hapnikuaatomitest on massiarv 16. Tuuma laengu muutumine tähendabki ühe elemendi aatomi teise elemendi aatomiks muundumist.

Vilsoni kambris võib näha lämmastikuaatomi hapnikuaatomiks muundumist. Vilsoni kambriks nimetatakse riista, mis võimaldab jälgida üksikute laetud osakeste liikumist. Selles kasutatakse üleküllastatud veeauru võimet ioonidel kondenseeruda. Riista peamiseks osaks on silindriline kamber, mis on pealt kaetud klaasiga, kuna silindri alumiseks põhjaks on liikuv kolb. Kambris olev õhk küllastatakse vee-



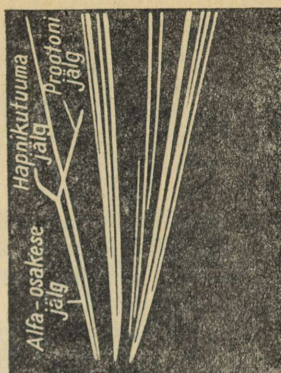
Joon. 8. Riist, mille abil õnnestus esmakordselt vaadelda lämmastikuaatomite hapnikuaatomiteks muundumist. Lämmastikust välja löödud prootonid jõuavad ekraanini.

auruga. Kui nihutada kolbi kambriest väljapoole, siis suureneb järsult auru ruumala ja seoses sellega langeb tema temperatuur. Temperatuuri alanemisele vaatamata aga ei eraldu seejuures liigne niiskus, vaid veeaur satub üleküllastatud olekusse. Kui juhtida niisuguse auru sisse osakesi, mis tekitavad oma liikumisel ioone, siis kujunevad need ioonid tsentriteks, mille ümber kondenseerub üliväikeste piisakesena liigne niiskus. Kambri valgustamisel näeme sel hetkel kolvi tumedal foonil peeneid hõbedasi jooni (uduniite), mis näitavad osakeste liikumise teid.

Selle brošüüri esikaanel on näidatud polooniumi alfa-kiirte jäljed vilsoni kambris.

Et alfa-osake tekitab oma teel palju ioone, siis jätab ta endast vilsoni kambris jämeda jälje. Protoni mass ja laeng

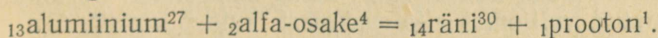
on väiksemad kui alfa-osakesel ja seepärast tekitab prooton vähem ioone ning tema jälg kambri on peenem. Onnestunud ülesvõtete saamine vilsoni kambrist pole aga sugugi lihtne. Paljudest alfa-osakestest pörkavad aatomite tuumadega kokku ainult väga vähesed. Tuleb teha tuhandeid ülesvõtteid, et tabada tuumareaktsiooni momenti; 23 000 fotost andsid ainult kaheksa soovitud tulemusi. Üks niisugustest ülesvõtetest on esitatud joonisel 9. Peale mitme alfa-osakese jämedate jälgede näeme üht peenemat jälge, mis kuulub lämmastikust välja löödud prootonile, ja lühikest jämedat jälge, mille on tekitanud hapniku isotoop massiarvuga 17.



Joon. 9. Vilsoni kambris saadud ülesvõte. Lämmastiku hapnikuks muundumine.

Need Rutherfordi katsed avasid teadusele uue lehekülje — aatomite kunstliku muundamise.

Loomulike radioaktiivsete aatomite muundumisel eraldub energiat. Seepärast on radioaktiivsete ainete temperatuur kõrgem ümbritseva keskkonna temperatuurist. Tahtmatult tekkis küsimus, kas ei eraldu energiat ka aatomite kunstlikul muundamisel? Aatomite kunstliku muundamise kõikidel tol ajal teostatud juhtudel energia aga ei eraldunud, vaid neeldus. Esimeseks kunstlikuks tuumareaktsiooniks, mille puhul eraldus energiat, oli alumiiniumituumade lagundamine alfa-osakeste abil. Seejuures tekib prooton ja räni isotoop massiarvuga 30:



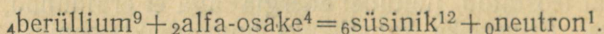
Tehti kindlaks, et alumiiniumituumade kunstlikul lagundamisel tekib energiat rohkem kui raadiumiaatomite loomulikul lagunemisel. 1 grammi alumiiniumi lagunemisel tekib soojushulk, mida võib saada 700 kilogrammi parima kivisöe põletamisel. Alumiiniumi räniks muundava tuumareaktsiooni energiat pole aga võimalik praktiliselt ära kasutada. Lugu on selles, et 125 000 alfa-osakesest kutsub ainult üks esile alumiiniumituumade lagunemise, kuna ülejäänud alfa-osakesed ei pörka tuumaga kokku. Positiivselt laetud alfa-

osakesed kulutavad alumiiniumiaatomitega kohtumisel osa oma energiast nende aatomite ioniseerimisele. Neid alfa-osakesi aga, millel läheb korda tungida alumiiniumituumale õige lähedale, tõukab tuum tugevasti eemale ja nad lendavad kaares tuumast mööda. Ainult vähestel alfa-osakestel õnnestub tungida tuuma sisse ja esile kutsuda tuumareaktsiooni. Näiteks selleks, et esile kutsuda küllalt suure hulga alumiiniumiaatomite räniaatomiteks muundumist ja saada sel viisil küllalt suurt soojushulka, tuleks terve aasta vältel pommitada alumiiniumi 2000 tonni raadiumi poolt kiirratavate alfa-osakestega.

20 aasta vältel töötati paljudes laboratooriumides aatomite alfa-osakestega lagundamise kallal, kuid tulemused olid võrdlemisi väikesed. Suure tähtsusega tuumafüüsika edasisele arenemisele oli neutronite avastamine. Neutroni mass on peaaegu võrdne prootoni massiga, kuid tal puudub elektrilaeng.

1930. aastal märkasid uurijad berülliumi pommitamisel raadiumi poolt kiirratavate alfa-osakestega uut erakordsete omadustega kiirgust. Selle kiirguse energia oli väga suur: «berülliumikiired», nagu neid algul nimetati, tungisid läbi nii paksudest seatinakihtidest, mida ei suutnud läbida ei röntgeni- ega gamma-kiired. Hiljem, 1932. aastal tõestati, et berülliumi kiirgus koosneb kiiresti lendavate neutronite voolust.

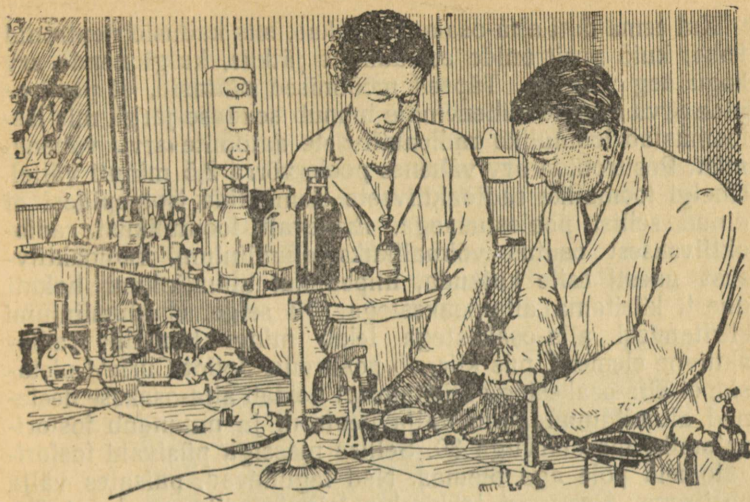
Berülliumist neutronite saamisele viiva tuumareaktsiooni skeemi võime üles kirjutada järgmiselt:



Neutronite avastamine andis uurijaile võimsad mürsud aatomituumade pommitamiseks. Alfa-osakeste abil pole aga võimalik saada küllalt suurt hulka neutroneid. Berülliumile suunatud miljonist alfa-osakesest kutsub ainult üks esile neutroni ilmumise.

15. TÄHELEPANUVÄÄRNE AVASTUS

Uute teede otsimine neutronite saamiseks viis 1934. aastal kunstliku radioaktiivsuse avastamisele. Raadiumiinstituudi laboratooriumis Pariisis õnnestus Frédéric Joliot-Curie'l ja tema abikaasal Irene Joliot-Curie'l, Marie Curie tütre, valmistada kunstlikult radioaktiivseid aatomeid



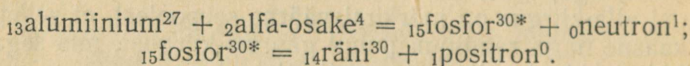
Joon. 10. Radioaktiivseid aatomeid sai esmakordselt 1934. aastal kunstlikult abielupaar Irene ja Frédéric Joliot-Curie. Joonisel on näidatud Irene ja Frédéric Joliot-Curie töötamas.

(joon. 10). Nad töötasid puhta polooniumi väga aktiivse preparaadiga, mille oli valmistanud Marie Curie. Polooniumi alfa-kiirgus on märkimisväärne seepoolest, et sellega ei kaasne nagu raadiumi puhul gamma-kiirgust, mis segab kõikide tekkivate kiirguste vaatlemist.

Neutronite tekkimisele viivate reaktsioonide otsimisel pommitasid teadlased alfa-osakestega mitmesuguseid aineid. Neutroneid avastatigi, kui pommitusobjektiks oli alumiinium. Et lähemalt uurida, missugused osakesed tekitab alumiiniumiaatomite pommitamisel alfa-osakestega, kasutasid Joliot-Curie'd vilsoni kambrit ja märkasid jälgi kergetest osakestest, millede mass võrdus elektronide massiga. Nende osakeste laengu määramist võimaldas nõukogude teadlase D. I. Skobeltsõni meetod, mis näeb ette vilsoni kambri magnetivälja loomist. Kergete osakeste suuna muutumine magnetiväljas osutas sellele, et nad on laetud positiivselt. Osakesed, mis massilt võrduvad elektronidega, kuid kannavad positiivset laengut, olid avastatud vähe aega enne Joliot-Curie'de abielupaari katseid ja neid hakati nimetama positronideks.

Kui eemaldati alfa-osakeste allikas, siis kadusid neutronid kohe, kuid positronide eraldumine jätkus, kuigi nende arv kogu aeg vähenes. Täpsed mõõtmised näitasid, et positronide arvu ajaline vähenemine toimub seaduse järgi, mis iseloomustab loomulike radioaktiivsete aatomite arvu vähenemist. Positronide arv vähenes poole võrra 2,5 minuti vältel. Ühelgi loomulike radioaktiivsete elementide isotoopidest ei olnud sellist poolestusaega. Erinevalt loomulikust radioaktiivsusest osutus võimalikuks alumiiniumi radioaktiivsust uuesti esile kutsuda, niipea kui alumiiniumi hakati uuesti kiiritama alfa-osakestega. Oli selge, et alumiiniumi kiiritamisel alfa-osakestega tekib mingi kunstlik radioaktiivne element, mis kiirgab positrone. Joliot-Curie'd oletasid, et alfa-osakestega kiiritamisel heidab alfa-osakese neelanud alumiiniumiaatom välja neutroni ja muundub fosforiaatomiks massiarvuga 30. Sellise massiga püsivaid fosforiaatomeid pole aga olemas. Nad lagunevad, paisates välja positrone. Positroni tekkimine toimub selle arvel, et üks prooton muundub tuumas neutroniks, mille tagajärjel tekib räniaatom, s. o. ühe ühiku võrra väiksema tuumalaenguga elemendi aatom.

Alumiiniumiaatomitega toimuvad muundumisi on võimalik lühidalt üles kirjutada järgmiselt (ebapüsivaid aatomeid märgitakse tavaliselt tähekesega):

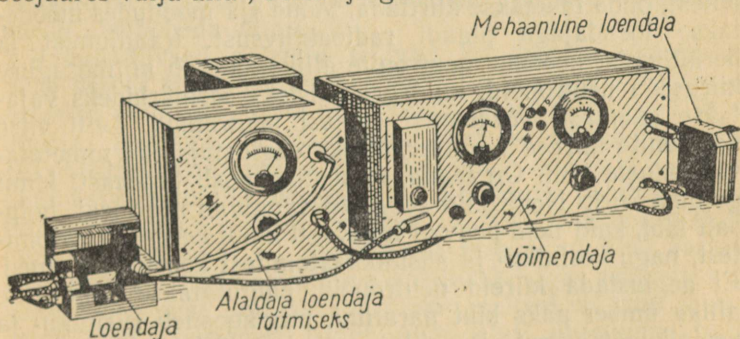


Radioaktiivse fosfori tekkimist alumiiniumi kiiritamisel alfa-osakestega oli tarvis tõestada keemilisel teel. Määratust hulgast alumiiniumiaatomitest tekib fosforiaatomeid mittekalaalutaval hulgal. Nendest aatomitest ei piisa, et eraldada fosforit alumiiniumist tavalise keemilise analüüsi meetoditega. Peale selle on fosforiaatomid radioaktiivsed ja lagunevad, muundudes räniaatomiteks. See protsess sarnaneb loomulike radioaktiivsete aatomite lagunemisega ja toimub 2,5-minutilise poolestusajaga. Juba poole tunni möödudes kiiritamise lõpust on radioaktiivne fosfor kadunud.

Et jälgida ebapüsivate radioaktiivsete fosforiaatomite käitumist, lisati kiiritatud alumiiniumile teatav hulk tavalist punast fosforit. Radioaktiivse ja tavalise fosfori aatomid segunesid. Siis viidi alumiinium ja fosfor üle sooladesse. Niisugusest segust saadud fosforisool sisaldab nii radio-

aktiivseid kui ka mitteradioaktiivseid fosforiaatomeid. Katsetes kinnitasid fosforiaatomite tekkimist alumiiniumi kiiritamisel alfa-osakestega. Fosforisoola sade osutus radioaktiivseks, alumiiniumisool aga mitteradioaktiivseks. Sellega oli tõestatud radioaktiivsete fosforiaatomite tekkimine.

Kunstliku radioaktiivsuse avastamine on käesoleva sajandi üheks tähtsaimaks avastuseks. See avastus võimaldas saada radioaktiivseid isotoope perioodilise süsteemi kõikidest elementidest. Kunstlikult hakati saama radioaktiivseid elemente, mis muunduvad teisteks elementideks, saates seejuures välja alfa-, beeta- ja gamma-kiiri.



Joon. 11. Ioniseerivate osakeste loendaja ja loendusseadme üldvaade.

Radioaktiivsete ainete kiirguse avastamiseks ja mõõtmiseks kasutatakse laialdaselt loendajateks nimetatavaid riistu, mis võimaldavad loendada radioaktiivsete elementide poolt kiiratavaid üksikuid osakesi. Loendaja kujutab endast alumiiniumtoru, mille telgjoonele on pingule tõmmatud volframtraat. Traat on kinnitatud isolaatoritele. Toru on täidetud erilise hõrendatud gaaside seguga. Kõrgepingepatarei abil tekitatakse traadi ja loendaja kere vahele tugev elektriväli. Torus leiduv gaas ei juhi elektrivoolu, mistõttu lahendust ei toimu. Kui aga torusse tungib mingi suure energiaga osake, siis tekitab see suure hulga ioone (positiivse või negatiivse laenguga osakesi). Elektriväljas suureneb ionide liikumiskiirus ja nad tekitavad omakorda uusi ioone. Suur hulk ioone liigub kiiresti vastasmärgiliselt laetud kere ja traadi suunas. See tekitab hetkelise vooluimpulsi, mida on võimalik registreerida. Pinge vähenemise tõttu traadi ja kere vahel lahendus katkeb. Kaduvväikese sekundi-murdosa

möödudes taastub pinge elektripatareiga ühendatud traadil ja loendaja võib reageerida järgmistele osakestele. Tekkivat nõrka voolu saab võimendada ja registreerida telefoni, mehaanilise loendaja ning teiste riistade abil. Ühe loendus-seadme üldvaade on toodud joonisel 11.

Neutronite kasutamine andis väga tõhusaid tulemusi uute radioaktiivsete elementide saamisel. Vastavate katsete tehnika on väga lihtne. Neutronite allika saamiseks tuleb segada neutronite saamiseks vajalikke aineid, näiteks berülliumipulbrit ja raadiumisoola. Neutronite allikas paigutatakse plaadikese lähedale, mis on valmistatud sellest aimest, mida tahetakse kiiritada. Mõne aja möödudes mõõdetakse loendajaga plaadi radioaktiivsust. Raadiumist ja berülliumist koosnev neutronite allikas annab mitmesuguse kiirusega neutroneid, kuid praktilisteks eesmärkideks vajatakse enamasti võrdlemisi aeglasi neutroneid. Leiti viise neutronite kiiruse reguleerimiseks aeglustajateks nimetatavate ainete abil. On teada, et seatina peab tugevasti kinni gamma-kiiri. Neutronid seevastu tungivad seatinast hõlpsalt läbi, kuid neid peavad tugevasti kinni kergetest aatomitest, nagu vesiniku- ja süsinikuaatomitest koosnevad ained. Et aeglustada kiireid neutroneid, paigutatakse neutronite allika ümber paks kiht parafiini, mis koosneb süsiniku- ja vesinikuaatomitest. Parafiini sattudes põrkavad neutronid kokku kergete elementide aatomitega ja nende kiirus vähe-neb.

Neutroni kokkupõrkamisel vesinikutuumaga tekib sama-sugune pilt, nagu seda võib näha piljardilaul. Teatava kiirusega liikuma pandud piljardipall, põrgates vastu teist palli, paneb selle liikuma, kusjuures tema enda liikumine aeglustub. Otsese kokkupõrke puhul jääb esimene pall täiesti seisma, kuna teine omandab esimese kiiruse. Paljude aatomite tuumad neelavad aeglasi neutroneid hõlpsamalt kui kiireid. Erinevust kiirete ja aeglaste neutronite toimes on võimalik demonstreerida radioaktiivse hõbeda tekkimise näite varal. Kui paigutada hõbeplaadike neutronite allika lähedale ning seejärel lähendada loendajale, siis on märgata radioaktiivse hõbeda nõrka kiirgamist. Kui aga ümbritseda neutronite allikas paksu parafiinikihi-ga, mis vähendab neutronite kiirust, siis suureneb hõbeda radioaktiivsus sadu kordi.

Neutronite mõju hõbedatuumadele kuulub huvitavat tüüpi tuumareaktsioonide hulka. Hõbedatuumama sattunud neutron viib tuuma ergutatud olekusse. Sellest ergutatusest aga ei

piisa, et põhjustada raske osakese kaotamist tuuma poolt. Liigne energia eraldub gamma-kiirguse näol. Hõbedatuuma laeng seetõttu ei muutu, kuid tekib ebapüsiv radioaktiivne hõbedatuum. Elektrone kiirates saavutab see tuum uuesti püsiva oleku.

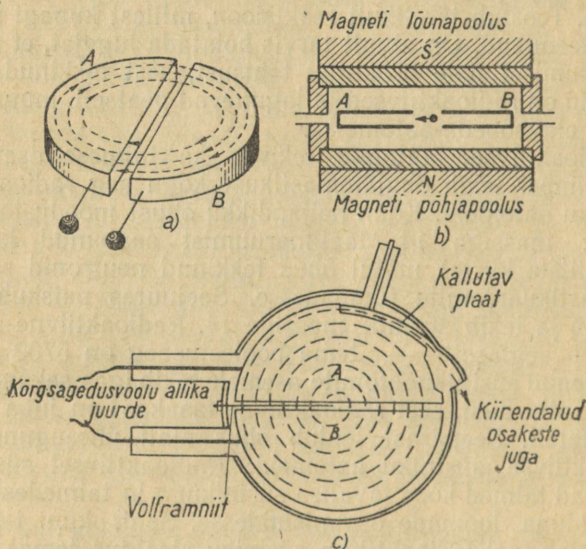
Arvukate tuumareaktsioonide hulgas tuntakse selliseid, mille tagajärjel elavhõbeda-aatomid muunduvad kulla-aatomiteks. Teostub järelkult reaktsioon, millest kunagi unistasid alkeemikud. On ainult tarvis hoiatada lugejat, et sellisel muundumisel pole praktilist tähtsust, sest tekkinud kulla-aatomid on radioaktiivsed ja lagunevad peatselt, muundudes uuesti elavhõbeda-aatomeiks.

Radioaktiivsed aatomid tekivad ka inimese osavõtuta. Meie ümber tekib õhulämmastikust kogu aeg radioaktiivse süsiniku aatomeid. Kolm neljandikku õhust moodustab lämmastik massiga 14. Maailmaruumist saabunud kiirguse (kosmiliste kiirte) mõjul õhus tekkinud neutronid satuvad lämmastikuaatomite tuumadesse. Seejuures paiskub välja prooton ja tekib süsinik massiga 14. Radioaktiivne süsinik laguneb aeglaselt — tema poolestusaeg on 5700 aastat. Lagunenud süsinikuaatomite asemele tekib igas sekundis nii-sama palju uusi, sest radioaktiivne tasakaal on juba ammu saavutatud. Seepärast leidub õhus alati ühesugune hulk radioaktiivse süsiniku aatomeid. Radioaktiivset süsinikku neelavad taimed koos tavalise süsinikuga ja taimedest satub see toiduna loomade organismidesse. Seni, kuni taim või loom elab, on radioaktiivse süsiniku sisaldus temas sama-sugune kui õhus. Pärast organismide hukkumist hakkab radioaktiivse süsiniku sisaldus nendes vähenema. See annab võimaluse kindlaks teha, kui kaua on maa sees viibinud mitmed sajandid tagasi hukkunud taimed ja loomad.

16. KUNSTLIKUD TUUMAMÜRSUD

Kõikide eelkirjeldatud menetluste puhul kasutati ebapüsivate isotoopide kunstlikuks valmistamiseks mürskudena kas loomulike radioaktiivsete elementide alfa-osakesi või nende abil saadavaid neutroneid. Uurijate kasutuses oleva radiumi hulk on võrdlemisi väike. Seepärast on väike ka mürskude — alfa-osakeste — arv. Peale selle on alfa-osakeste oluliseks puuduseks see, et nendele mõjuvad tuumale liginemisel suured tõukejõud. Tekkis mõte kasutada mürskudena

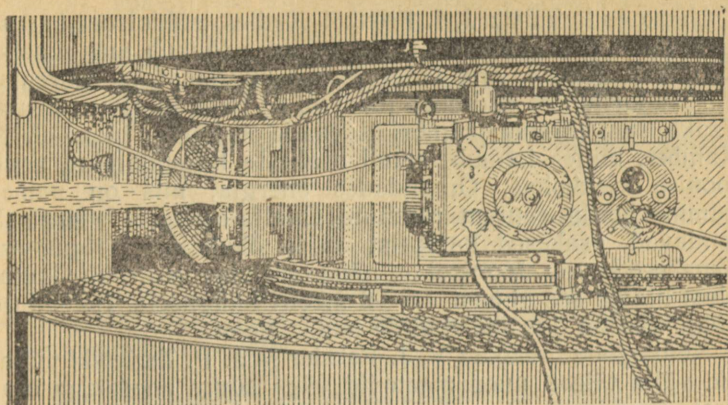
väikeste laengutega osakesi: prootoneid või deutroneid (raske vesiniku tuumad massiga 2 ja laenguga 1). Neid laetud osakesi on võimalik saada määratu suurel hulgal, mõjutades elektronidega vesinikuaatomeid. Elektrone pole raske saada: neid paiskab välja hõõguv volframniit. Ühest kuupsentimeetrist vesinikust saadakse prootoneid rohkem,



Joon. 12. Tsüklotroni kiirenduskamber: a) kambri pooled A ja B; b) nende asend magneti pooluste vahel; c) osakese teekond kiirenduskambris (näidatud punktiiriga).

kui eraldub alfa-osakesi 10 grammist raadiumist aasta vältel. Et kasutada prootoneid mürskudena aatomituumade pommitamiseks, tuleb neile anda suur kiirus. Seda saavutatakse erilistes keerukates seadmetes. Kõige rohkem kasutatakse laetud osakestele suurte kiiruste andmiseks tsüklotrone. Tsüklotronis rakendatakse teravmeelselt elektri- ja magnetiväljade mõju laetud osakesele, mis võimaldab saada kitsast suure energiaga kiirte kimpu.

Tsüklotroni peamiseks osaks on lame silindriline karp, mis on mööda diameetrit pooleks lõigatud. Karbi pooled on teineteisest veidi eemale nihutatud ja asetsevad võimsa magneti



Joon. 13. Tsüklotroni kiirenduskambri üldvaade. On näha kiirendatud deutronite mõjul tekkinud helendav kiirtekimp.

väljas. Karbi mõlema poole vahele tekitatakse vahelduv elektriväli. Karbi sees elektrivälja ei ole. Karbi keskel asuv hõõguv volframniit saadab välja laetud osakesi ja põhjustab karbis oleva gaasi ionisatsiooni. Laetud osakesed liiguvad püsiva magnetivälja mõjul karbipooltes mööda ringjoone kaart. Kui nad jõuavad karbipoolte-vahelise piluni, suureneb elektrivälja mõjul nende kiirus. See kordub palju kordi, sest elektriväli muutub kogu aeg selliselt, et osakesed tõmbuvad selle karbipoolte suunas, mille poole nad liiguvad, ja tõukuvad eemale sellest poolest, millest nad väljuvad. Iga ringiga suureneb osakeste liikumise raadius, nii et nad liiguvad mööda spiraali. Et osakesed ei kaotaks kiirust õhuaatomitega kokku põrgates, on õhk tsüklotroni kiirenduskambrist välja pumbatud. Teekonna lõpul kallutab laetud plaat osakesed kõrvale ja nad väljuvad õhukesest vilgukivist akna-kese kaudu kitsa kimbu näol, mis suunatakse kiiritatavale esemele.

Mida suurem on tsüklotroni kamber ja mida tugevam on püsiv magnetiväli, seda suurema kiiruse võivad osakesed saavutada. Sel viisil sunnitakse laetud osakesi liikuma tsüklotronis magnetivälja mõjul mööda spiraali, kuna elektrilised jõud tõukavad neid tagant, andes neile järjest suuremat ja suuremat kiirust. Tsüklotroni tähtsamate osade paigutus ja laetud osakese teekond on kujutatud joonisel 12.

Nõukogude füüsik J. I. Frenkel võrdles tsüklotroni karussellitaolise pöördkiigega, millel inimene tõukub maapinnast korduvalt eemale, arendades järjest suuremat ja suuremat kiirust, kusjuures suureneb pidevalt ka tema kaugus tulbast. Tsüklotroni kiirenduskambri üldvaade on toodud joonisel 13. Kamber, milles toimub laetud osakeste kiirendamine, asub joonise keskkohas. Omandades energia, mis on umbes kümme korda suurem raadium C alfa-osakeste energiast, lendavad osakesed kambrit välja õhukesest vilgukivist aknakese kaudu. Joonisel on näha helendav deutronite kimp; õhus ulatub see aknast 1,5—2 meetri kaugusele. Helenduse põhjuseks on õhu molekulide ionisatsioon.

Nõukogude füüsikud V. J. Veksler ja J. P. Terletski töötasid välja täiesti uued meetodid väga suure energiaga osakeste saamiseks. Omapärase «aatomikahurväe» abil on võimalik saada 25—30 korda suurema energiaga alfa-osakesi kui loomulike radioaktiivsete muundumiste puhul, kuna elektronidele on võimalik anda valguse kiirusele lähedasi kiirusi.

Suure energiaga osakeste kunstlikult loodud võimsad vood andsid võimaluse saada suure hulga nii radioaktiivseid kui ka püsivaid uusi isotoope.

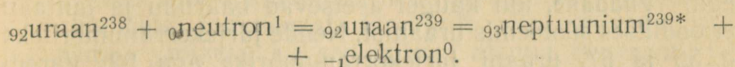
17. TRANSURAAANID.

Pärast elementide perioodilisuse seaduse avastamist D. I. Mendelejevi poolt hakkas teadlasi huvitama küsimus, kas on olemas elemente raskemate tuumadega kui uraan ja missugused on nende elementide omadused. Neid tol ajal veel tundmatuid elemente hakati nimetama transuraanideks. Tehti palju katseid transuraanide avastamiseks looduslikes tingimustes, kuid kõik need lõppesid tulemusteta.

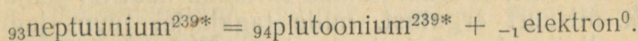
Transuraane saadi kunstlikult käesoleva sajandi neljakümnendail aastail alles pärast neutronite ja kunstliku radioaktiivsuse avastamist. Katseliselt tehti kindlaks, et uraaniaatomid massiarvuga 238 võivad neutronitega kiiritamisel viimaseid neelata ja muunduda uraanist raskemate elementide aatomiteks. Suurest hulgast uraani 238 aatomitest teeb sellise muundumise läbi ainult väike osa. Et oleks võimalik märgata transuraanide tekkimist, kiiritati neutronitega suuri uraanikoguseid. Neutroneid saadi kergetest berülliumituumadest laetud osakeste mõjul, millele oli

võimsas tsüklotronis antud suur kiirus. Esimesena avastati element nr. 93 massiarvuga 239. See nimetati neptuuniumiks, millega taheti alla kriipsutada, et see asub kaugemal uraanist (meie päikesesüsteemis järgneb planeet Uuranile planeet Neptuun).

Neptuunium tekib uraanist 239, kui selle tuumast paiskub välja beeta-osake:



Neptuunium 239 on radioaktiivne ja saadab välja beeta-osakesi. Selle tagajärjel tekib element nr. 94 — plutoonium, mille aatomkaal on 239:



Plutoonium 239 heidab välja alfa-osakesi. Ta kuulub pika-ajaliste elementide hulka, sest tema poolestusaeg on 24 000 aastat. Plutoonium on eriti tähtis sellepärast, et teda on võimalik kasutada aatomienergia saamiseks.

Märgatavate plutooniumikoguste saamiseks töötas võimas tsüklotron mitmeid kuid; neutronitega kiiritati sadu kilogramme uraani. Tulemusena saadi umbes üks milligramm plutooniumi. See oli esimene kaalutav kogus kunstlikku elementi. Töötamiseks äärmiselt väikeste ainekogustega oli tarvis eriseadmeid.

Järgnevaid transuraane saadi raskete tuumade pommitamisel suure energiaga osakestega. Meile tuntud elementide arv suurenes 98-ni: element nr. 95 — ameriitsium, nr. 96 — kütürium, nr. 97 — berkelium, nr. 98 — kalifornium. Kõik transuraanid osutusid radioaktiivseteks.

Perioodilise süsteemi lõpus asuvate elementide aatomite ebapüsivuse põhjuseks on tugevad elektrilised tõukejõud tuuma koostisse kuuluvate prootonite vahel.

Pole kahtlust, et transuraane leidis kunagi maakeral, kuid nad on jõudnud oma lühikese ea tõttu kaduda.

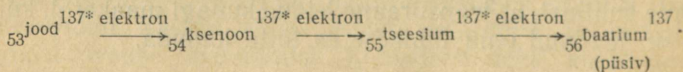
18. URAANI JAGUNEMINE

Kohe pärast radioaktiivsuse avastamist hakkas teadlasi huvitama aatomienergia praktilise kasutamise küsimus.

1939. aastal tehti tähtis avastus — pandi tähele uraani-

tuuma jagunemist kaheks suureks killuks. Kiiritades uraani neutronitega, et saada transuraane, märkasid teadlased senitundmatute radioaktiivsete isotoopide tekkimist. Algul oletati, et need on transuraanid. Kui aga tehti kindlaks nende keemiline loomus, siis leiti, et raskete elementide asemel on tegemist perioodilise süsteemi keskel asuvate elementide — lantaani ja baariumi — radioaktiivsete isotoopidega. Vaadake, kui kaugel asetsevad baarium ja lantaan perioodilises süsteemis uraanist. Nende järjekorranumbriteks on 56 ja 57, uraani järjekorranumbriks aga 92. Varem oli kõikide tuumareaktsioonide puhul saadud elemente, mis asusid lähtelemendi lähedal. Perioodilise süsteemi keskel asuvate elementide tekkimine uraanist näis ebatavalisena. Püstitati oletus, et uraanituuma sattunud neutron põhjustab tuuma ülisuurt ergutust, mille tagajärjel tuum jaguneb kaheks ligikaudu võrdseks osaks: näiteks baariumiks ja krüptoniks või lantaaniks ja broomiks. Uraanituuma igal jagunemisel tekivad kaks kildu, millede kogulaeng on võrdne uraanituuma laenguga (92). Uraanituuma positiivselt laetud killud tõukuvad tugevasti teineteisest eemale ja lendavad laiali suure kiirusega, mis ulatub $\frac{1}{20}$ -ni valguse kiirusest — 15 000 kilomeetriini sekundis. On teada umbes 300 mitmesugust isotoopi, mis tekivad uraanituumade jagunemisel. Uraanituumade kildude energia on väga suur ja seda võib praktiliselt ära kasutada.

Suurem osa uraanituumade jagunemisel tekkinud kildudest sisaldab liiga palju neutroneid. Elektrone välja heites muunduvad need killud püsivamateks isotoopideks. Tavaliselt esineb mitu sellist muundumist, kusjuures tekib terve ahel radioaktiivseid elemente. Kui näiteks peaks tekkima jood massiarvuga 137, siis kiirgub välja elektron ja tekib radioaktiivne ksenoon; viimane muundub radioaktiivseks tseesiumiks, millest aegamööda tekib püsiv baariumi-isotoop:



Pandi tähele, et jagunevate tuumade arv suureneb järsult uraanisoola kiiritamisel aeglaste neutronitega.

Uraanituumade jagunemine võib kulgeda ka spontaanselt, ilma et toimuks eelnevat neutronitega kiiritamist. Seda nähtust läks korda avastada nõukogude teadlastel K. A. Petržakil ja G. N. Fljorovil. Niisugune jagunemine toi-

mub aga 10 miljonit korda harvemini kui uraani 238 aatomite tavaline lagunemine, mille puhul tuumadest paiskuvad välja alfa-osakesed.

Läheme tagasi neutronite poolt tekitatava uraanituumade lagunemise protsessi juurde. Pöörame tähelepanu väga tähtsale asjaolule. Tuuma lagunemise esilekutsumiseks on tarvilik üks neutron, kuid lagunemisel vabaneb kaks-kolm neutronit. Need suure kiirusega neutronid võivad põhjustada uute tuumade lagunemist. Järelikult võib uraanituumade lagunemise protsess, kui see on kord alanud, iseseisvalt jätkuda. Kui üks neutron kutsub esile kolme neutroni vabanemise, siis põhjustavad viimased omakorda üheksa neutroni ilmumist; edasi vabaneb neid 27 ja siis ikka rohkem ning rohkem. Algab uraanituumade laviinitaoline ehk, nagu öeldakse, ahellagunemine, millega kaasneb määratu suure energiahulga vabanemine.

Uraani lagunemisenergia on miljoneid kordi suurem raadiumi lagunemisenergiast. Ühe grammi uraani lagunemisel vabaneb 10 miljonit kilokalorit soojust, mida jätkuks 100 tonni 0° C juures oleva vee keemaajamiseks. Sama energiahulga saamiseks tuleks põletada 3 tonni kivisütt.

Aatomienergia saamine pole aga kaugeltki lihtne. Tuleb silmas pidada seda, et uraaniaatomid pole kõik ühesugused. Maakidest saadav uraan koosneb kolmest isotoobist massiarvudega 238, 235 ja 234. Ülekaalus on uraani 238 aatomid, kuna uraani 234 aatomeid esineb 17 000 korda, uraani 235 aatomeid aga 140 korda vähem uraani 238 aatomeist. Ühes kilogrammis uraanis sisaldub kõigest 7 grammi uraani 235. Uraani 235 aatomid jagunevad neutronite toimel märksa hõlpsamalt kui uraani 238 aatomid. Sel ajal kui uraani 238 aatomid jagunevad ainult kiirete neutronite toimel, põhjustavad kergema isotoobi, s. o. uraani 235 aatomite lagunemist nii aeglasel kui ka kiirel neutronid.

Nõukogude teadlased J. B. Hariton ja J. B. Zeldovitš kirjeldasid 1940. aastal tingimusi, millistel juba üksainus uraani sisse sattunud neutron kutsub esile paljude uraanituumade lagunemise iseseisvalt areneva ahelreaktsioonina. Kõigepealt tuleb võtta küllalt suur tükk uraani, et vähendada nende neutronite arvu, mis väljuvad uraanist, ilma et nad oleksid kohtunud ühegi tuumaga, s. o. ilma et nad oleksid suutnud esile kutsuda ühtegi lagunemist. Peale selle vajatakse eriti puhast uraani. Isegi kõige väiksemad kogused kõrvalaineid põhjustavad neutronite neeldumist.

Neutronite kohtumine uraani 238 aatomitega lõpeb enamasti neutroni neeldumisega ja neptuuniumiaatomi, seejärel aga plutooniumiaatomi tekkimisega. Tekib võimalus ahelprotsessi katkemiseks. Kõige lihtsam on esile kutsuda uraani 235 aatomite jagunemise ahelreaktsiooni. Looduses aga seda isotoopi puhtal kujul ei leidu, vaid ta esineb koos uraaniga 238. Seepärast tuleb uraani 235 eraldada suurtest uraani 238 kogustest. Kaalult vähe erinevate uraani-isotoopide — uraani 235 ja uraani 238 — aatomite eraldamine on väga raske, kuid keerukate seadiste abil, mis töötasid pidevalt terveid kuid, õnnestus siiski saada puhast uraani 235. Puhta uraani 235 saamine läks väga kulukaks.

Plahvatuse vältimiseks võib puhast uraani 235 säilitada ainult väikeste tükkidena, millede ruumalad on väiksemad kriitilisest ruumalast. Kui tüki ruumala ületab kriitilise väärtuse, siis algab spontaanselt uraani ahellagunemine ja toimub plahvatus. Need, kes on viibinud mägedes, võisid seal näha, kuidas langev kivi tõmbab enesega kaasa teisi ja kuidas peatselt tekib määratu suur laviin, mis pühib kõik oma teelt. Nii toimub see ka küllalt suures puhta uraani 235 tükis, kus spontaansel jagunemisel tekkinud neutronid kutsuvad esile uusi jagunemisi ja lagunemisprotsess omandab kiirelt kasvava, laviinitaolise iseloomu.

Paljude uraani 235 tuumade hetkeline lagunemine tekitab plahvatuse. Et toimuks plahvatus, on tarvis kiiresti kokku viia kaks uraani 235 tükki, millede üldruumala on suurem kriitilisest ruumalast. Plahvatuse energia paremaks ärakasutamiseks paigutatakse tuuma-lõhkeaine, s. o. uraani 235 tükid, raskeltsulavast metallist valmistatud paksu kesta sisse. Suurem osa jagunemisel tekkinud kildude ja neutronite energiast muundub soojusenergiaks. Plahvatuse kohal tõuseb temperatuur miljonite kraadideni, s. o. läheneb Päikese sisemiste osade temperatuurile. Ained, millest koosneb kest, jõuavad seejuures aurustuda. Järsult tõusev gaasirõhk ulatub mitme miljoni atmosfäärini ja tekitab tugeva plahvatuslaine. Plahvatusega kaasneb hele valgusesähvatus, mis on nähtav umbes 200 kilomeetri kaugusele.

Plahvatuse energiat on võimalik edukalt kasutada tugevate kivimite või kõva pinnase purustamiseks tunnelite ja kanalite kaevamisel või muuks otstarbeks.

19. AATOMIENERGIA AEGLANE VABANEMINE

Peale tuuma-lõhkeaine hetkelise plahvatuse leiti aatomienergia vabastamiseks veel teine, praktiliseks kasutamiseks tähtsam tee, mis võimaldab reguleerida aatomienergia eraldumise intensiivsust, vältides seejuures plahvatust.

Peame siin silmas aatomienergia aeglast eraldumist aatomikatlas.

Selle asemel, et lahutada looduslikku uraani isotoopideks, otsustati seda kasutada sellisena, nagu seda saadakse maagist. Sel puhul jääb ära uraani isotoopide lahutamise erakordselt raske ja keerukas operatsioon ning aatomienergia saamiseks on võimalik kasutada kogu looduslikku uraani, mitte ainult tema isotoopi massiarvuga 235. Peale selle tekib aatomikatlas uus element — plutoonium, mille aatomituumad, nagu uraani 235 tuumadki, jagunevad nii kiirete kui ka aeglaste neutronite mõjul.

Uraanituumade spontaanse jagunemise tagajärjel tekkinud neutronid võivad esile kutsuda uraani 235 tuumade jagunemist. Uraani 235 tuumade jagunemisel tekkinud neutronite saatus on mitmesugune. Neutronid kohtavad oma teekonnal suurt hulka uraani 238 aatomeid. Nende tuumadega kokkupõrkamise tagajärjel väheneb neutronite kiirus. Teatava keskmise kiirusega neutronid võivad neelduda uraani 238 tuumades. See protsess viib edasiseks jagunemiseks vajalike neutronite arvu vähenemisele. Et vähendada neutronite neelamist uraani 238 tuumade poolt, tuli neutronite teele paigutada tõkkeid, mis tugevasti vähendasid nende kiirust. Neutronite kiirust vähendavad ained koosnevad kergeatest aatomitest. Selliseks aineks võib olla raske vesi, mis sisaldab raske vesiniku aatomeid massiarvuga 2, või grafiit, mis koosneb süsinikuaatomeist. Et muud kõrvalised aatomid ei neelaks neutroneid, peavad uraan ja aeglustusained olema hästi puhastatud lisanditest.

Et looduslikus uraanis on uraani 238 aatomeid märksa rohkem kui uraani 235 aatomeid, siis teatav osa neutroneid neeldub vältimatult uraani 238 tuumades. See osutub aga isegi kasulikuks, sest uraanist 238 tekib plutoonium 239, mis on samuti nagu uraan 235 võimeline aheljagunemiseks. Kui uraani 235 jagunemise tagajärjel tekkinud kolmest neutronist üks lahkuu uraanitüki piiridest, teine neeldub uraani 238 tuumas, kolmas aga satub järgmisse uraani 235 tuuma, siis jagunemisreaktsioon jätkub.

Töötavas aatomikatlas muundub jagunemiskildude ja neutronite määratu suur energia soojusenergiaks. Eralduva soojuse hulk on nii suur, et seadme jahutamiseks on vaja väga palju vett. Üht Ameerikas ehitatud aatomikateldest jahutati näiteks Columbia jõe veega. Vesi soojenes sel määral, et sellega oleks võidud kütta tuhandeid kortereid. Seda soojust aga ei kasutatud üldse. Ameerika seadmed töötasid eranditult plutooniumi saamiseks sõjalistes huvides.

Uraanikatla võimsus sõltub uraani 235 tuumade jagunemiste arvust, mistõttu uraanikogus katlas peab olema suur. Ka aeglustajat peab olema palju, sest neutronite kiiruse vähendamiseks vajaliku määraneni peab iga neutron umbes sada korda kokku pörkama aeglustaja kergete aatomitega.

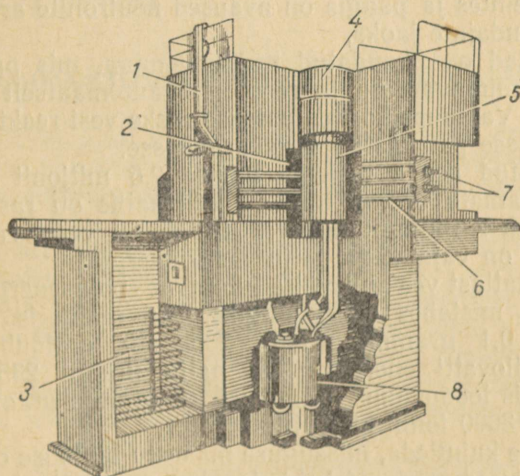
Võrdlemisi väikesed uraanitükid on uraanikatlas ühtlaselt paigutatud suure ruumalaga aeglustaja — grafiidi või raske vee — sisse.

Neutronite kadude vähendamiseks ümbritsetakse aatomikatel paksu grafiidikihtiga. Uraanikatla töötamist on vaja kogu aeg juhtida, sest jagunevate uraanituumade arv võib muutuda liiga suureks, mille tagajärjel võib tekkida plahvatus. Katla töötamise intensiivsuse reguleerimiseks kasutatakse metall kadmiumist vardaid, sest kadmium neelab tugevasti neutroneid. Kui neutronite arv muutub liiga suureks, nihutatakse vardaid automaatselt katla sisse ja vähendatakse sellega reaktsiooni kiirust. Katla töörežiimi pidev kontrollimine toimub loendajate abil, mis määravad neutronite hulka. Kui neutronite arv muutub liiga suureks, lülitab loendaja sisse mehhanismi, mis nihutab kadmiumvardad liigsete neutronite neelamiseks vajalikule kaugusele. On arvutatud, et katla radioaktiivne kiirgus võib olla võrdväärne miljoni kilogrammi raadiumi kiirgusega. Kiirguse mõjul lagunevad vesi ja muud ained ning muutuvad metallide omadused. Kõike seda tuleb arvestada katla ehitus- ja jahutusmaterjalide valikul. Töötav aatomikatel annab neutroneid määratul hulgal, palju kordi rohkem sellest neutronite hulgast, mida on võimalik saada tsüklotronides kiirendatud laetud osakeste abil. Inimeste kaitsmiseks kiirguse eest ümbritsetakse aatomikatel paksude betoonseinte ja terassoomusega. Katla iga kuupmeetri kohta on vaja 100 tonni kaitsematerjali.

Tuumareaktori töötamisel tekkivaid neutroneid ja jagunemiskildude võimsat kiirgust võib kasutada kõige mitmekesisemate radioaktiivsete isotoopide saamiseks suurtes kogus-

tes. Selleks paigutatakse kiiritamisele tulevast materjalist vardad vastavatesse avadesse reaktoris.

Pärast seda, kui katlasse on kogunenud märgataval hulgal plutooniumi ja jagunemiskildusid, peatatakse jagunemisprotsess. Mõne aja möödudes, kui jagunemissaaduste radioaktiivsus on tunduvalt vähenenud, toimetatakse uraan tehasesse, kus sellest eraldatakse plutoonium. Kõiki töid katla sees peavad teostama kaugelt juhitud masinad-automaadid.



Joon. 14. Skeem uraanikatlast, milles aeglustajana kasutatakse rasket vett: 1 — ventilatsioonisüsteemi väljajuhtimistoru; 2 — grafiidist tagasiheitja; 3 — jahutaja esimene aste; 4 — pealmine kaitsekiht: puit, seatina ja kadmium; 5 — raske veega ja uraaniga täidetud paak; 6 — loendajate juurde viivad avaused; 7 — kiiritamistorud; 8 — raske vee reservuaar keldris.

Joonisel 14 on esitatud läbilõige uraanikatlast, milles aeglustajaks on raske vesi. Keskel asetseb 2-meetrise läbimõõduga alumiiniumpaak, mis sisaldab 7 tonni rasket vett. Paagi sees on umbes 60 alumiiniumtoru, mis on täidetud metallilise uraaniga. Igas torus on 35 kilogrammi uraani, mis tähendab, et uraani üldkaal on 2,1 tonni. Paaki ümbritseb neutronite tagasiheitja, mis on valmistatud grafiidist.

Grafiitseinte paksus on 70 sentimeetrit. Kaitseks kiirguse eest on grafiitseina taha püstitatud kõrge, 2 meetri paksune betoonsein. Ruumi seinad on kaetud terassoomusega ja kadmiumlehtedega.

Reaktoris tekkivat soojust juhib eemale kaheastmeline jahutaja. Rasket vett jahutatakse algul läbivoolava veega, seejärel aga õhuga. Tugev ventilaator puhub kogu aeg ruumist läbi värsket õhku ja eemaldab radioaktiivset tolmu ning gaase.

Kaitseseintes ja paagis on avauseid neutronite arvu määramiseks ja loendajate jaoks.

Loendajad on ühendatud mehhanismiga, mis paneb liikuma kadmiumvardaid ja reguleerib automaatselt seadme töötamist. Vajaduse korral lastakse raske vesi reaktori paagist keldrisse paigutatud tagavararõõruusse.

Kirjeldataud seade maksab umbes 2,5 miljonit dollarit, kaasa arvamata uraani hinda. Eriti kallid on raske vesi; see maksab 2 miljonit dollarit. Tavalisest veest raske vee saamiseks on vaja väga palju elektrienergiat.

Aatomikatlast vee abil välja juhitud soojusenergiat võib muundada mistahes energialiigiks. Kui reaktoris jaguneb ööpäevas 0,1 grammi uraani 235, siis eraldub umbes 100 000 kilovatti energiat. Nii palju uraani 235 leidub 14 grammis looduslikus uraanis; 1 kilogramm uraani asendab seega 3000 tonni kivisütt.

On kerge kujutleda, missuguse määratu tähtsuse omandavad niisugused seadmed kohtades, kus pole kütust ja kuhu seda on raske toimetada. Üks tuumareaktor võib varustada energiaga terveid raje. Aatomikütust on võimalik kasutada stratosfääri uurimiseks või planeetidevahelisteks lendudeks ette nähtud reaktiivmürskudes. Aatomikütus ei vaja hapnikku ja võtab võrdlemisi vähe ruumi. Tõsi küll, seni pole veel lahendatud küsimusi, mis puudutavad meeskonna kaitsmist kiirguse eest, jahutussüsteemi ja muud. Üldiselt annavad tööd aatomienergia kasutamise alal tugeva tõuke tehnika arenemisele: läheb tarvis uusi jõumasinaid, uusi, kõrgetele temperatuuridele vastupidavaid sulameid; laialdaselt hakkavad arenema automaatika ja kaugjuhtimine.

Peale plutooniumi saadakse tuumareaktorites palju mitmesuguseid radioaktiivseid isotoope. Osutus võimalikuks valmistada kunstlikult radioaktiivseid isotoope märksa suuremates kogustes kui tsüklotronide abil. Perioodilise süsteemi keskel asuvate elementide radioaktiivseid isotoope saadakse

vahetult uraanist. Iga gramm uraani 235 annab jagunemisel peaaegu 1 grammi radioaktiivseid kildusid. Mõningaid nendest isotoopidest pole võimalik saada teisel teel, sest nad sisaldavad palju liigseid neutroneid.

Tuumareaktorid võimaldavad valmistada suuri hulki radioaktiivseid isotoope kergetest elementidest, nagu süsinik, fosfor ja paljud teised.

Nii mitmekesiste radioaktiivsete isotoopide saamine suurtes kogustes avab laialdasi võimalusi nende kasutamiseks teaduses ja tehnikas.

20. RADIOAKTIIVSETE ELEMENTIDE KASUTAMINE

Käesoleval ajal ulatub tuntud isotoopide arv peaaegu tuhandeni ja umbes 700 nendest on radioaktiivsed. On saadud perioodilise süsteemi kõikide elementide radioaktiivseid isotoope.

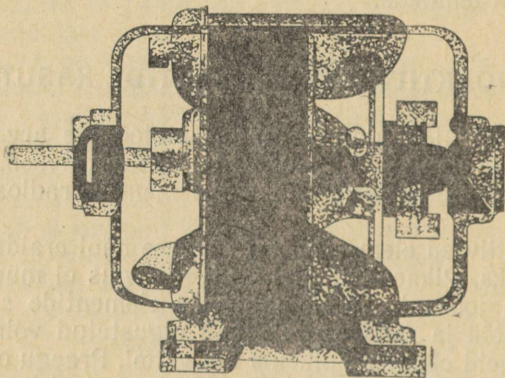
Radioaktiivsed elemendid on kiirguse näol eralduva energia allikaiks. Pikeaaliste elementide kiirgus ei muutu praktiliselt aja jooksul. Radioaktiivsete elementide saamiseks kulutatud töö ja raha on täielikult õigustatud võimalusega kasutada neid elemente pikema aja vältel. Praegu on võimalik saada kunstlikke radioaktiivseid elemente kogustes, mis annavad niisama suurt kiirgust kui kümned ja isegi sajad grammid raadiumi.

Radioaktiivseid elemente on võimalik laialdaselt kasutada teaduse ja tehnika mitmesugustes harudes. Kasutamisetarbest sõltuvalt valitakse sobiv element. Radioaktiivsete elementide kasutusala on väga mitmekesine. Toome siin ainult mõningaid näiteid radioaktiivsete elementide kasutamisest.

Radioaktiivseid elemente on võimalik kasutada tehnikas. Sageli on näiteks tarvis kontrollida metalleseme kvaliteeti, et veenduda defektide puudumises. Metallesemete läbivaatamist teostatakse tavaliselt röntgenikiirte abil. Nende asemel raadiumi või teiste radioaktiivsete elementide gamma-kiirguse kasutamisel on rida eeliseid. Raadium kiirgab pidevalt ja spontaanselt. Alati pole mugav ega võimalik kogukat röntgeniseadet vajalikku kohta toimetada, samal ajal kui radioaktiivse preparaadi ümberpaigutamine on väga lihtne. Meenutame, et raadiumi lagunemissaaduste gamma-kiirgus suudab läbi tungida palju paksematest metallikihti-

dest kui röntgenikiirgus. Kui metallese on liiga paks, kuid selle sees on kanal, siis on gamma-kiirguse allikat peaaegu alati võimalik paigutada eseme sisse; röntgenitoru aga on peaaegu võimatu sellistel juhtudel kasutada.

L. V. Mõssovski ettepanekul, kes oli üks esimesi raadiumi uurijaid Nõukogude Liidus, hakati raadiumi kasutama metallesemetest ülesvõtete tegemiseks. Keeruka röntgeniseadme asemel tuleb sel juhul tehasesse toimetada väikesesse klaastorusse suletud preparaat ja selle abil teha üles-



Joon. 15. Gamma-kiirte abil saadud ülesvõttel on näha elektrimootori sisemised osad.

võtteid vajalikest esemetest. Joonisel 15 näeme gamma-kiirguse abil saadud ülesvõtet elektrimootorist.

Läbivalgustamiseks ja metallis esinevate defektide avastamiseks võib suure eduga kasutada koobalti ja iriidiumi radioaktiivseid isotoope. Nende ainete väikesed kogused annavad tugevamat kiirgust kui kümned grammid raadiumi.

Radioaktiivseid elemente saab kasutada esemete paksuse määramiseks, toodangu kvaliteedi kontrollimiseks, radio-lokatsioonilampide süttimisaja vähendamiseks ja muuks otstarbeks.

Laialdaselt kasutatakse radioaktiivseid elemente sisaldavaid värve. Nii omab suurt tähtsust raadiumi kasutamine helendavate segude valmistamiseks. Segu valmistatakse tsinksulfiidist, millele on lisatud veidi vaske. Selle põhiainega segatakse õige väike hulk raadiumi (1 osa raadiumi 10 000 osa segu kohta). Pimeduses helendab selline segu roheka valgusega. Helenduse põhjuseks on tsinksulfiidi

kristallide arvukad valgusesähvatused raadiumi alfa-kiirte mõjul. Kui vaatleme helendavat segu pimedas läbi luubi, siis näeme kaunist pilti, mis sarnaneb spintariskoobis nähtava vaatepildiga. Helendava seguga kaetakse nagu värviiga seadmete osi, mida on tarvis näha pimeduses, ajanäitajate ja kompasside numbrilaudu ning osuteid, aparaatide käepidemeid jms.

Radioaktiivseid elemente kasutatakse arstiteaduses ja bioloogias. Kohe pärast raadiumi avastamist koondus teadlaste tähelepanu selle kasutamisevõimalusele arstiteaduses. Raadiumi kiirgus mõjutab elusrakkude arenemist.

Eriti tugevasti mõjub raadium vähkkasvajate kiiresti arenevatele rakkudele. Haiguskolde kiiritamisel gamma-kiirtega lõpeb kasvaja rakkude arenemine. Kiiritamine peab aga toimuma täpselt määratud doosidena. Teatavat hulka raadiumi sisaldavad ampullid paigutatakse haigestunud koha lähedale. Haigestunud koha kiiritamisel on sageli märgata kasvaja kadumist ja seda ümbritseva sidekoe elutegevuse samaaegset suurenemist, mille tagajärjel hakkab tekkima granulatsioonkudet. See on väga tähtis retsidiivide ja metastaaside ravimisel, kui kirurgiline vahelesegamine pole võimalik.

Mõnedel radioaktiivsetel elementidel on võime koonduda teatavatesse organitesse või neelduda pahaloomulistes kasvajates. Kunstlike radioaktiivsete elementide kasutamine avab arstiteadusele laialdasi võimalusi. Radioaktiivse elemendi ohutut doosi on võimalik organismi viia kas toiduga või veeni kaudu; mõne aja pärast on radioaktiivne element koondunud vajalikku kohta ja seal toimub kohalik kiiritus. Teatava aja pärast kaob radioaktiivse elemendi kiirgus isenesest tema lagunemise tagajärjel. Sellise ravimisviisi puhul pole vaja ebameeldivat operatsiooni ampulli organismi viimiseks ja terved organid on kiirgusest isoleeritud.

Laialdaselt kasutatakse arstiteaduses radioaktiivsete mineraalvete ja mudade soodsat mõju organismile.

Nõukogude Liidu kuurortide looduslike vete ja mudade radioaktiivsuse uurimised, mida teostasid vene teadlased A. P. Sokolov, V. I. Baranov, J. S. Burkser, J. S. Štšepotjeva ja teised, aitasid kaasa kuurordilis-sanatoorse ravi arenemisele. Professor V. I. Baranovi ettepanekul hakati valmistama kunstlikke radoonivanne, mis asendavad loomulikke radioaktiivseid vesi.

Radioaktiivseid aatomeid nimetatakse tabavalt märgista-

tud aatomiteks, sest neid on hõlpus avastada teiste, mitte-radioaktiivsete aatomite hulgas. Märgistatud aatomid võimaldavad jälgida elementide osavõttu mitmesugustest protsessidest. Näiteks, et tundma õppida mingi elemendi jaotust looma organismis, tuli varem loom surmata ja teha keemilisi analüüse. Nüüd aga kasutatakse selleks märgistatud aatomeid, mis võimaldavad jälgida elusorganismis toimuvaid protsesse.

Erakorraliselt suurt kasu toovad radioaktiivsed elemendid mitmesuguste organite tegevuse tundmaõppimisel. Kuidas näiteks teada saada, kuivõrd täielikult omandatakse toitainet organismi või taime poolt? Missugune organ neelab suuremal määral haigetele inimesele sisse antud ravimit? Kui kiiresti liigub veri? Kõik need ja palju teisi küsimusi on võimalik lahendada radioaktiivsete elementide abil.

Sellesuunalised tööd on alles algamas, kuid juba on saadud huvitavaid tulemusi.

Radioaktiivseid aineid kasutades on hõlpus jälgida mitmesuguste elementide käitumist elusorganismis. Inimesele antakse näiteks juua radioaktiivset joodi sisaldavat preparaati. Juba poole tunni pärast näitab kaela juurde kilpnäärme kohale paigutatud loendaja, et peaaegu kogu jood on sinna koondunud. On tähele pandud ka seda, et joodi kiirgus mõjub soodsalt suurenenud kilpnäärmele.

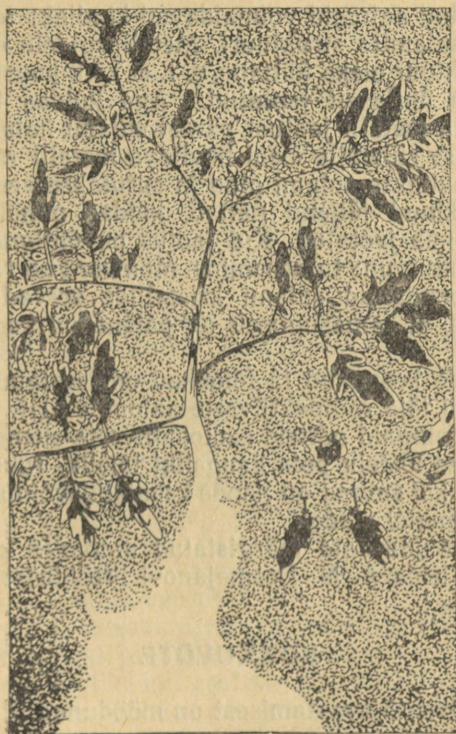
Teine näide. Inimesele antakse juua keedusoolalahust, mis sisaldab radioaktiivset naatriumi. Mõne minuti järel näitab kätte võetud loendaja, et veri on jõudnud toimetada radioaktiivse naatriumi kätte.

Vere liikumise kiirus võib olla mitmesugune: hüpertooniahaigetel on vere liikumise kiirus veresoonte ahenemise tõttu väiksem. Hüpertoonia ravimise tõhusust on võimalik kontrollida, mõõtes vere liikumise kiirust radioaktiivse naatriumi abil.

Radioaktiivse fosfori kasutamine näitas, et luustikus toimub organismi viidud fosfori ja selles oleva fosfori pidev vahetus. Peale selle kinnitasid need katsed ka varem tuntud asjaolu, et fosforit koguneb suurel hulgal peaaegusse.

Fosfor etendab tähtsat osa ka taimede elus. Kuidas teada saada, kuhu see rohkem koondub: juurestikku, lehtedesse või viljadesse? Radioaktiivsete aatomite abil on selle kindlaks tegemine väga lihtne. Tomatitaimi näiteks kastetakse radioaktiivseid soolasid sisaldava lahusega. Mõne aja pärast lõigatakse taim maha ja asetatakse fotoplaadile. Nii-

suguseid katseid tegi nõukogude agrokeemik A. A. Drobkov. Joonisel 16 on toodud tomati radiofoto: valged laigud näitavad radioaktiivsete aatomite suuremahulgalise kogunemise kohti.



Joon. 16. Tomatitaime radiofoto. Heledad kohad (plaadil olid need tumedad) näitavad radioaktiivsete aatomite kogunemiskohti.

Mürgistatud aatomeid kasutatakse edukalt ka keemilistel uurimistel.

Moskva ülikooli õppejõud V. I. Spitsõn kasutas juba 1918. aastal ühena esimestest mürgistatud aatomeid soolade lahustuvuse määramiseks. Mõned soolad lahustuvad vees nii vähe, et nende olemasolu lahuses pole võimalik kindlaks

teha kaalumise teel, nagu see toimub tavaliselt. Kui aga viia soolasse ühe tema koostisse kuuluva elemendi radioaktiivset isotoopi, siis on radioaktiivse kiirguse järgi võimalik avastada ja mõõta väga väikest lahuses olevat soolahulka. See meetod on laialdaselt levinud.

Märgistatud aatomid võimaldavad kindlaks teha ühendite ehitust ja sulamite struktuuri. Metallurgidele on tähtis, et sulami struktuur oleks ühtlane, s. t. et kõik koostisosad oleksid sulamis ühtlaselt jaotatud. Aga kuidas teada saada mingi kindla metalli jaotust pärast sulami hangumist? Selleks lisatakse sulamile meid huvitava metalli radioaktiivset isotoopi, lihvitakse sulami pind ja surutakse see vastu fotoplaati. Tekkinud jäljend näitab, kuidas nimelt on antud metall sulamis jaotatud. Kui jaotus on ühtlane, siis tekib igal pool ühesugune tumenemine. Mõnikord on radioaktiivne element koondunud sulami kristallide servadele. Sellest järeldatakse, et samasuguselt on paiknenud ka tema püsiv isotoop.

Nõukogude keemikud ja füüsikud on teostanud terve rea originaalseid töid radioaktiivsete aatomite alal.

Tõime mõningaid näiteid radioaktiivsete elementide kasutamisest. See loetelu pole kaugeltki täielik. Juba eelöeldust aga nähtub, kui suured on nende kasutamisevõimalused kõige mitmekesisematel aladel.

Täielikuma ülevaate märgistatud aatomite kasutamisest võib lugeja leida A. N. Nesmejanovi brošüürist «Märgistatud aatomid»¹.

KOKKUVÕTE

Radioaktiivsuse avastamisest on möödunud üle viiekümne aasta.

Selle aja vältel on inimesed palju teada saanud aatomite loomusest, on jaotanud aatomid eri liikidesse, on kindlaks teinud nende suuruse ja kaalu. Raadiumi alfa-osakesed võimaldasid purustada aatomituumasid ja kindlaks teha nende ehituse ning omadused. Inimesed on õppinud kunstlikult läbi viima aatomite kujunemise ja lagunemise protsesse, mis toimuvad maailmaruumis.

Radioaktiivsed elemendid etendavad tähtsat osa meie planeedi elus. Mitmekesised maakeral toimuvad geoloogili-

¹ Несмеянов, А. Н., Меченые атомы, Гостехиздат, 1952.

sed protsessid on tingitud radioaktiivsete elementide poolt eraldatavast energiast.

Õppides muundama ühtesid aatomeid teisteks, said teadlased maakeral seni mitte eksisteerinud keemilisi elemente. Neid kunstlikke radioaktiivseid elemente kasutatakse juba nüüd arstiteaduses, füüsikas, keemias ning teaduse ja tehnika teistel aladel. Pole kahtlust, et tulevikus leiavad radioaktiivsed elemendid veel laialdasemat rakendamist.

Käesoleval ajal maakeral mitte leiduvate keemiliste elementide loomine — uute elementide süntees — kujutab endast teaduse määratu suurt saavutust. See moodustab uue ajajärgu teaduse arenemises.

Aatomites on avastatud ammendamatud energiavarud. Uraani jagunemise avastamine ja aatomienergia praktiline kasutamine kuuluvad samuti tänapäeva teaduse tähtsaimate saavutuste hulka.

Aatomienergia kasutamine sai võimalikuks tänu mitme maa teadlaste väsimatutele uurimistele. Saavutusi aatomienergia alal kasutatakse aga eri maades erinevalt. Meil, Nõukogude Liidus, on nad rakendatud kommunismini ülesehitamiseks, kapitalistlikes maades aga uue maailmasõja ettevalmistamiseks. Teise maailmasõja aastail, kui Nõukogude Armee ja nõukogude rahvas kandsid kogu raskust võitluses saksa fašismiga, valmistas Ameerika valitsus palavlikult aatomipomme. Ja esimesi aatomipomme heitsid imperialistlikud kiskjad kaitseta linnadele Jaapanis, kuigi selleks polnud sõjalist vajadust.

Meie päevil pole aatomienergia probleem ainult teaduslikuks või tehniliseks probleemiks. Eelkõige on see poliitiline probleem, mis on tihedalt seotud rahu, selle tugevdamise ja kaitsmise probleemiga. Ja pole juhus, et suurim eriteadlane tuumafüüsika alal, kommunist Frédéric Joliot-Curie, seisab Ülemaailmse Rahunõukogu eesotsas, mis ühendab kõiki hea tahtega inimesi võitluseks rahu eest.

Nõukogude Liidus leiab aatomienergia laialdaselt rakendamist rahuliku ülesehitustöö grandioossete ülesannete lahendamisel. Aatomienergia kasutamine nõuab tööstuse tunduvat ümberehitamist ja uute tehnika-alaste küsimuste lahendamist, mida võimaldab ainult meie sotsialistliku riigi plaanimajandus.¹ Meie maa sammub rahulikult ja

¹ 27. juunil 1954. aastal lasti meie maal käiku esimene aatomi-elektrijaam. *Toim.*

kindlalt mööda arenguteed, mille talle on kätte näidanud Nõukogude Liidu Kommunistlik Partei.

Progressiivne nõukogude teadus on suurel määral kaasa aidanud aatomeid ja radioaktiivsust käsitleva teaduse arenemisele.

Tuumafüüsika alal leidub veel palju lahendamata küsimusi. Nendest kõige tähtsamaks on tuumajõudude loomuse küsimus. Nende jõudude loomuse selgitamine annab võtme paljude loodussaladuste selgitamiseks ja tugevdab enneolematult inimese võimu looduse üle.

Tänapäeva teadus on avastanud materia ehituse keerukuse, selle mitmesuguste vormide muutuvuse. Üli-väikeste materiaosakeste tundmaõppimine tõestab hiilgavalt suure Lenini sõnu selle kohta, et loodus on lõputu.



SISUKORD

Sissejuhatus	3
1. Uraanikiired	5
2. Marie Curie tööd	7
3. Polooniumi ja raadiumi avastamine	9
4. Raadiumi saamine	10
5. Raadiumi omadused	11
6. Radioaktiivsete ainete kiirgus	13
7. Aatomi ehitus	17
8. Aatomite loomulik muundumine	19
9. D. I. Mendelejevi tabel ja elementide muundumine.	22
10. Radioaktiivsed perekonnad	25
11. Radioaktiivse lagunemise seadus	26
12. Radioaktiivne tasakaal	28
13. Radioaktiivsed elemendid looduses	29
14. Aatomite kunstlik muundamine	31
15. Tähelepanuväärne avastus	34
16. Kunstlikud tuumamürsud	39
17. Transuraanid	42
18. Uraani jagunemine	43
19. Aatomienergia aeglane vabanemine	47
20. Radioaktiivsete elementide kasutamine	51
Kokkuvõte	56

Toimetaja R. Toming.

Tehniline toimetaja E. Plaks.

Korrektorid:

E. Kask ja S. Kõiv.

Ladumisele antud 25. XI 1954.
Trükkimisele antud 26. I 1955.
Paber 54×84, 1/16. Trükiarv 8000.
Trükipoognaid 3,75 + 1 lisa.
Formaadile 60×92 kohaldatud
trükipoognaid 3,18. Arvutuspoog-
naid 3,3. MB-01021. Tellimise
nr. 3932. Trükikoda «Ühiselu»,
Tallinn, Pikk 40/42.

На эстонском языке.

Hind rbl. 1.10

2—3

Rbl. 1.10

A-16558

IV

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00498128 0