

J. HALDRE

**RAADIUM
JA
RADIOAKTIIVSUS**



**RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU 1941**

RAADIUM JA RADIOAKTIIVSUS



M. Curie

J. HALDRE

COPIA-A

UNIVERSITY OF TARTU

RAADIUM
JA
RADIOAKTIIVSUS



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU 1941



A-11902

9404

Peatoimetaja [REDACTED] Vastutav
toimetaja A. Laasi. Tehniline toi-
metaja J. Ots. Korrektor H. Pürkop.
MB-1249. Ladumisele antud 3. jaa-
nuaril 1941. Trükkimisele antud
12. veebruaril 1941. Paberi formaat
73 × 103. $\frac{1}{32}$. Laotihedus 1 trpg.
27 913. Trükipoognaid 5,75. Autori-
poognaid 4. Trükikoja tellimise nr.
34. Tiraaž 3100. Trükitud natsiona-
liseeritud „Noor-Eesti“ trükikojas,
Tartu, 21. juuni tänav 42, 1941.
Hind 4 rbl. 25 kop.

Ю. Халдре: «Радий и радиоактив-
ность». На эстонском языке. Эгос-
издат «Научная Литература», Тарту.

I. Radioaktiivsete ainete avastamine.

Ajalooline ülevaade. Vanast hallist ajast peale on inimõistust huvitanud loodusnähtuste tundmaõppimine. Seni kui ei suudetud neid seletada loomuliku nähtuste käiguna, pidi inimene neid müstifitseerima, elustama või hingestama kui midagi kõrgeamat, kui jumalust. Nii toimisid mitte üksnes primitiivsed koopaelanikud, vaid isegi Vana-Kreeka filosoofid, kes oma filosoofiliste mõttemõlgutustega siiski määratult on aidanud inimõistust arendada. On teada kreeka filosoofe, kes loodusnähtuste loomulikku seletust mitte tundes hingestasid elutut loodust. Nii omistatakse ühele neist, Thales'ele (a. 640 — 540 e. m. a.) ütlus: „Kõik on täis jumalaid.“

Inimsoo võimas areng on meil võimaldanud üha enam tungida looduse saladuste valdkonda, üha enam aru saada loodusnähtustest, olgu need kaugel asetsevad maailmad — taevatähed, või siis aine, millest me kõik koosneme. Igapäevaseist kogemusest nähtus, et taimed toituvad mullast, et seejuures on vajalik vesi. Samad taimed kõdunesid ja muutusid jällegi mullaks. Kuid samad taimed osutusid toiduks nii inimesele kui loomale. Viimaseid sigis ja kadus. Loomad kas söödi teiste poolt või kõdunesid looduse rüpes, muutudes taas mullaks. Toimus pidevalt aine metamorfoos, toi-

mus alaline muundumine aine vormis ja sisus. Nende nähtustega seoses olevad probleemid andsid palju materjali filosoofilisteks juurdlusteks. Tõsteti üles küsimus: millest ja mis viisil tekib maailm?

Aine alaline muundumine andis tõuke arvamisele, et on olemas üksainus algaine, mille lõpmatud muundumised moodustavad maailma. Algainest tekib kõik, kuid kõik muundub taas selleks. *Anaximandros* (a. 610 — 546 e. m. a.) nimetas maailma algaineks *apeironit*, s. o. jumalikku, seega väga ebamäärast ainet. *Anaximenes* (suri umb. a. 528 e. m. a.) tunnistas maailma algaineks õhu, *Thales* aga vee. *Empedokles* (a. 490 — 430 e. m. a.) kinnitas, et kõik maailmas koosneb neljast algainest ehk elemendist, milledeks on maa, vesi, tuli ja õhk. Kogu olemus on nende algainete segunemine ja lahutumine. Täpsema õpetuse algaine ehitusest andis *Leukippos* (umb. a. 445 e. m. a.) ja tema õpilane *Demokritos* (a. 460 — 360 e. m. a.), kes olid atomistliku materialismi loojad. Nende õpetuse järgi koosneb kogu maailm väga väikestest, jagamatuist aineosakestest, mida nad nimetasid aatomiks, kuna *atomos* tähendab 'jagamatu'. Demokritose arvates on realiteedis tegelikult olemas ainult aatomid ja tühi ruum. Tühjuses liikudes liituvad üksikud aatomid, haakuvad üksteisega ja moodustavad niimoodi kõik esemed. Ka hinge kujutles Demokritos üksikuist aatomeist koosnevana. *Epikuros* (a. 341 — 270 e. m. a.) eitas hinge surematust, sest aatomid, millest hing koosneb, hajuvad peale surma. Epikuros arendas Leukippose ja Demokritose aatomiõpetust, kinnitades, et aatomid on eri suuruse ja eri raskusega, tõstes esmakordselt esile aatomikaalu ja aatomi-ruumala mõiste.

Hiljemini vajub aine atomistlik õpetus unustus-
hõlma, et aga XIX sajandil jälle täies ulatuses esile
kerkida. Nimelt tähistas inglise õpetlane J. Dalton
aatomi nimetusega keemiliste algainete ehk elemen-
tide keemiliselt mitte enam jagatavaid, kõige väikse-
maid aineosakesi. Seega koosneb iga algaine, iga
keemiline element aatomeist, mis on jagamatud. See
J. Daltoni keemiliste elementide atomistliku struk-
tuuri õpetus osutus keemiliste protsesside selgitami-
sele ja seega keemia arengule väga soodustavaks.

Nagu näeme, on aine struktuur pakkunud rohkem
materjali esijoones filosoofilisteks juurdlusteks ja
vaidlusteks. Alles hilisem aeg on võimaldanud heita
pilku looduse varjatud varakambrisse. Siis selgus, et
aine peenehitusel on nii üllatavalt ilusaid üksikasju,
milliseid ainult loodus pakkuda suudab. Sellele kind-
lale arusaamisele jõudmine ei olnud inimsoole sugugi
kerge. Oldi pimedas olukorras, kes seisab ilusa maja
ees ja sellest midagi ei näe. Pidi õppima nägema aine
sisemusse.

XIX ja XX sajandi vahetus tõi endaga kaasa avas-
tusi, millede lõpptulemustele praegugi kaasa elame.
28. dets. 1895 esines Würzburgi ülikooli füüsika-
professor Wilhelm Konrad Röntgen teadaandega
x-kiirte avastamisest. Kaasaeglased nimetasid neid
kiiri röntgenikiirteks. Selle nime all on need kiired
praegugi tuntud. Neil kiirtel on eriline omadus läbida
kehi, mida ei suutnud varemini läbida ükski kiir. Sel-
lega algas suur avastuste ajajärk, mil löid vankuma
paljud senised tõekspidamised. Röntgeni avastus oli
kui lumepall, mis pani liikuma määratu lumelaviini.
Avastuse erilist tähtsust tõendab Röntgenile Nobeli
auhinna andmine.

Uus avastus äratas suurt huvi mitte üksnes laialdastes rahvakihtides, vaid tekitas elavat mõttevahetust ka teadlaste ridades, innustades paljusid neist uurima uusi nähtusi. Paljud õpetlased asusid uute nähtamatute, aga läbimisvõimeliste kiirte otsingule. Selle tulemusena avastas prantsuse füüsik A. H. Becquerel, et ka uraaniühendid omavad kiirgumisvõimet, kusjuures neil uraani- ehk nn. Becquereli kiirtel on suur läbimisvõime. Seega oli avastatud ka looduses leiduva uraanimaagi omadus välja saata läbimisvõimelisi kiiri, oli avastatud aine omadus iseendast kiirguda, omadus, mis on tuntud radioaktiivsuse n a.

Need teaduslikud uuringud said teerajajaiks raadiumi avastamisele. Oli vaid tarvis püsiva energiaga andekat uurijat, kes selle oleks teostanud. Nagu saatuse soovil jõudis poolatar Marie Curie, sündinud Sklodowska, 1897. a. lõpul oma ülikooliõpingutega nii kaugele, et ta otsis ainet oma doktoriväitekirjale. Selleks valis ta salapärase uraanikiirguse. See ala oli seda meelitavam, et siin avanesid laiad uurimisvõimalused.

Aga uuringute teostamine ei osutunud sugugi kergeks. Puudus ruum, kus oleks võinud toimetada tarvilikke katseid. Viimaks õnnestus tal oma mehe, prantsuse füüsiku Pierre Curie visal eestkostmisel saada kasutamiseks üks ruum Pariisi linna füüsika ja tööstusliku keemia ülikooli hoones. Ruum oli röske ja külm ning töötamine selles väga ebamugav, ja see ei olnud ainuke raskus. Tuli töötada sootuks uuel alal, tuli valida selleks ka vastavad uued uurimisviisid, neid üha kohastades ja täiendades.

Mida enam nad uurisid uraanikiirgust, seda mõis-

tatuslikumaks muutus uuritav nähtus. Seda ei saanud seostada ühegi teise tuntud nähtusega. Peagi veendus M. Curie, et sama võime iseenesest kiirguda on ka nn. tooriumiühendeil. Kõik teised ained, mis ei sisaldanud uraani või tooriumi, ei omanud sellist võimet.

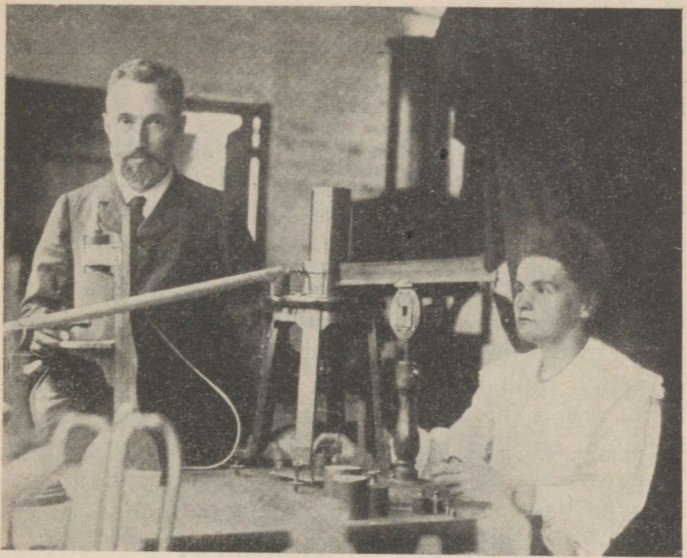
Jättes kõrvale kõik niisugused ühendid, mis ei sisalda ei uraani ega tooriumi ja järelikult ei kiirgu, asus M. Curie kogu energiaga uurima mitmesuguseid radioaktiivseid aineid. Varsti selgus, et on uraaniühendeid, mille radioaktiivsus on palju tugevam, kui seda võiks arvata uraanisisalduse järgi. Kuid täielikuks mõistatuseks oli, millest sõltub radioaktiivsete ainete eri tugevusega kiirgus. Selge oli ainult, et siin ei olnud tegemist mõõtmisvigadega. Samuti oli ilmne, et peale uraani ja tooriumi kõik teised senituntud elemendid ehk algained pole radioaktiivsed. Sellest tegi M. Curie julge järelduse, et eri tugevusega kiirguse põhjustab mingi senitundmatu element. Viimase rohkusest radioaktiivses aines sõltubki kiirgustugevus. Tuleks vaid seda ainet rohkem koguda.

Pierre Curie, kes oli seni oma abikaasa töid suure huviga jälginud ja tööle üksnes hea nõuga abiks olnud, jätab kõrvale oma isiklikud uuringud kristallidest. 1898. a. mai- või juunikuust peale töötab abielupaar Curie täie innuga, et tõestada M. Curie poolt püstitatud oletust. Juba sama aasta juulikuus selgus neile, et uuritav uraanimaak, nn. uraniniit, sisaldab kaht uut radioaktiivset ainet erineva kiirgustugevusega. Mitmesuguste katsete tulemusena eraldasid nad 1898. a. juulis väga radioaktiivse elemendi, mille M. Curie nimetas oma isamaa Poola auks *poloniumiks*. Sama aasta sügisel eraldasid nad teise, palju aktiivsema elemendi, nimetades selle *radiumiks*. Vastav teada-

anne avaldati Prantsuse Teaduste Akadeemia istungil 26. detsembril 1898.

Aga nii polooniumi kui ka raadiumi leidsid Curie'd väga vähesel määral. Nende sooviks oli koguda raadiumi niipalju, et võimalduks tema kui elemendi kindel tõendamine. Neil seisis ees väga raske töö, sest maagis leidub raadiumi 3000 kg uraani kohta ainult üks gramm. Oli vaja hankida suurel hulgal maaki ja vastavad tööruumid, kus oleks võimalik säärast suurt ainehulka läbi töötada. Senine ruum oli selleks kitsas. Pärast pikki otsinguid saadi sama ülikooli hoonetest üks, mida keegi ei tahtnud kasutada. Mainitud ruum oli kerge puuehitis klaaskatusega. Katus laskis vihma läbi, mistõttu töölaudadele olid tehtud vastavad märgid, et hoiduda asetamast märgitud kohtadele hinnalisi aparate, mida vihm oleks võinud rikkuda. Talvel valitses ruumis sageli pakane, suvel aga kasvuhuone palavus. Selles viletsas ruumis töötas abielupaar Curie neli töörohkset aastat.

Materjali hankimisega oli neil õnne. Toetudes oma oletusele, et kiirgus sõltub tundmatust elemendist — raadiumist, järeldasid nad, et kiirguv uraani-
maak sisaldab raadiumi ka peale seda, kui maagist eraldatakse uraan. Üheks radioaktiivsemaks uraani-
rikkaks maagiks osutus uraanpigimaak ehk urani-
niit, mida kasutati mõnesuguste värvide tootmiseks Joachimsthal'i värvitööstuses, tollaegses Austria-
Ungaris. Sel puhul säilivais jäätmeis pidi Curie'de
oletuse järgi leiduma raadiumi. Arvatavasti oli või-
malik osta neid jäätmeid odavamalt kui kallist urani-
niiti. Et Joachimsthali värvitööstus kuulus Austria-
Ungari riigile, siis pöördus abielupaar Curie viimase
valitsuse poole palvega müüa neile uurimise otstar-



Joon. 1. Marie ja Pierre Curie oma töötoas.

becks mainitud värvitööstuse jäätmeid. Austria-Ungari valitsus tuli sellele palvele vastu ja kinkis neile soovitud jäätmed, mis tol aastal olid jäänud juhuslikult kõrvale toimetamata. Curie'del tuli tasuda ainult veokulud.

Järgnesid aastad täis pidevat ja pingutavat tööd. Oli vaja jäätmed ümber töötada ja koguda nende radioaktiivset osa. Tuli olla ühtaegu nii füüsik kui ka keemik ja lihttööline (joon. 1). Radioaktiivse aine üha suuremal määral ja puhtamal kujul kogumisega üheaegselt toimus ka radioaktiivsuse täpsem uurimine.

1902. aastaks kogunes ligi üks detsigramm raa-

diumkloriidi. Sellest raadiumikogusest piisas, et määrata raadiumi kui elemendi olemasolu. Vastavad andmed avaldati 21. juulil 1902 Prantsuse Akadeemia istungil.

Abielupaari Curie uuringud äratasid ülemaailmelist tähelepanu. Saadud tulemused olid nii suure teadusliku tähtsusega, et 1903. a. määrati Curie'ele koos A. H. Becquerel'iga Nobeli auhind füüsika alal.

Eelnevaga on antud lühike ülevaade aine atomistliku ehituse vanaaegsest õpetusest ja peatunud raadiumi avastamisloo kirjeldamisel. Sellega on ühtlasi näidatud, millistes halvades tingimustes tuleb õpetlastel sageli töötada. Peale selle tuleb tähendada, et raadium on üks tähtsamaid radioaktiivseid aineid. Tema avastamine põhjustas peadpööritava, otse revolutsioonilise pöörde kõigis õpetusis, mis käsitlesid ainet — materiat, seda kõigi asjade alust.

Alljärgnevalt olgu toodud lühike ülevaade looduses esinevate radioaktiivsete ainete avastamisloost. Radioaktiivsete ainete rühmade põhiained uraan ja toorium olid ammu tuntud. Uraan avastati 1789. a. M. Klaproth'i ja toorium 1828. a. J. J. Berzelius'e poolt. Nende ainete radioaktiivsus avastati alles 1896. a. 1900. a. avastas E. Rutherford, et toorium eritab, s. o. emaneerib radioaktiivset gaasi, nn. tooriumiemanatsiooni. Samal aastal veidi hiljem avastas E. Dorn, et ka raadiumiühendid emaneerivad radioaktiivset gaasi, mis on tuntud raadiumiemanatsiooni nime all. Aastal 1905 — 1907 avastas O. Hahn radiotooriumi ja mesotooriumi. Mesotooriumi avastamine võimaldas ravi radioaktiivsete ainetega seada laiemale alusele, sest mesotooriumi soeta-

mine osutus hinnalt vastuvõetavaks. Järgnevail aastail avastati radioaktiivsete ainete ülejäänud laguproduktid. Viimasena avastati 1918. a. O. H a h n i ja L. M e i t n e r i poolt protaktiinium. Looduses esinevate radioaktiivsete ainete laguproduktid on kõik avastatud. Uuringud sel alal on rikastanud meie teadmisi ning avanud meile laiad võimalused edaspidiseks edukaks ning viljakaks tööks.

Tähtsamad raadiumi leiukohad. Vanimaks raadiumi leiukohaks on Joachimsthal, mille uraniidist, õigemini uraanivärvi tööstuse jäätmeist abi-elupaar Curie isoleeris esimese detsigrammi raadiumi. Joachimsthal on tüüpiline väike mägilinnake, mis asetseb Böömimaal Erzgebirges, kakskümmend kilomeetrit põhja pool maailmakuulsat Karlsbadi kuurorti. Asetsedes lõunasse laieneva oru mõlemal veerul 650 m kõrgusel, on Joachimsthal väga ilusa ümbrusega ja meelitab ligi nii talvel kui suvel rohkel arvul külalisi, pealegi asetseb tema lähedal Kesk-Euroopa kõrgeim koht 1027-meetrise kõrgusega.

Ammu enne raadiumi avastamist töötati Joachimsthali mäekaevanduses. Algul leiti hõbedat, mille tõttu aastal 1519 asutati sinna rahapada. Keskajal olid laialt tuntud Joachimsthali hõbetaalrid. Hiljemini arenes vismuti-, koobalti- ja tinatöötlus. Uraanpigimaagist toodeti väärtuslikke uraanivärve. Peale raadiumi avastamist leidsid uraanivärvi tööstuses tekkinud jäätmed otstarbekamat kasutamist, sest, nagu selgus, kogu raadium leidub just neis jäätmeis. Uraanpigimaak tuuakse mäe mitmesuguses sügavuses asetsevaist kihtidest, kuhu on raiutud kaevanduse käigud, mis on ühendatud tõstemehhanismi abil. Raadiumi toodetakse koha peal vastavas tööstuses.

Ülejäänud tähtsamad raadiumi leiukohad asetsevad kultuurikeskustest kaugel. Loodus on hoolikalt varjanud inimese eest rikkusi, asetades maavarad kohtadesse, kus neile ligipääs on äärmiselt raske.

Aafrika troopilises osas, Belgia Kongos on Katanga kõrgustikud rikkalikeks uraanimaagi leiukohtadeks. Sealsamas on ka rikkalikult leida kulda, vaske, rauda, seatina ja volframit. Katanga rikkusi kriipsutab alla asjaolu, et Aafrika oludes harva leiduvad raudteed läbivad just Katanga piirkonda ja hargnevad siin, hõlbustades siia kuhjunud rikkuste kasutamist. Tuhanded kilomeetrid raud- ja veeteed lahutavad seda troopilist piirkonda lähemast ookeanisadamast. Ainult mägimaa kõrgemad kohad on kõlblikud eurooplasele elamiseks, madalamad sisaldavad aga tuhat hädaohtu, milledest troopikahaigused moodustavad tähtsama osa. Kliima on seal kurnav ja tervisele äärmiselt kahjulik. Tööjõu moodustavad neegrid. Nende poolt kogutud uraanimaak veetakse suurtel Belgia Kongo laevadel Antverpeni, mille lähedal asetseb väike linnake Oolen, kus siis toimub raadiumi töötlemine uraniniidist. Selleks on seal sisustatud suured laboratooriumid, võibolla suurimad maailmas. Raske on troopikas uraani kogumine, pikk transport suurendab veelgi kulusid, ning raadiumi eraldamiseks maagist kulub peale selle $\frac{3}{4}$ aastat usinat tööd. Siit on arusaadav, miks on raadium nii kallis — kalleim aine maailmas.

Kolmas, viimati avastatud rikkalik raadiumi leiukoht asetseb Arktises, Kanadas, põhja pool naba-joont, Suur-Karujärve ümbruses. Vastupidiselt troopilisele kuumusele esinevad siin lumetormid, neli kuud valitseb arktiseöö ning talve keskmine temperatuur langeb alla — 50 kraadi C.

Kanada uraanimaagi avastamine on peatükk omaette. Peale hõbeda leidmist Suur-Karujärve piirkonnas jätkas Charles La Bine koos lendur Leigh Brintkell'iga hõbeda ja kulla otsimist lennukiga. Lennates 1930. a. suvel üle ääretu inimtühja maa-ala, mis suve tõttu oli lumevaba, avastas ta uraanimaagi. Selleks pidid nad sageli maabuma, mitte teades maabumis- ja startimisvõimalusi. Kulutulena levis teade uraanimaagi leidmisest ning lennukite eskaadrid saabusid Suur-Karujärve piirkonda. Igaüks tahtis teisest ette jõuda. Seejuures tekkis üksikute vahel kokkupõrkeid. On teada, et kahe aarete-otsija vahel arenes äge õhulahing ning mõlemad lennukid langesid põledes maha. Otsimised jätkuvad. Näib, et kogu Põhja-Kanada on ülimalt rikas maavarade poolest. Raadiumi on leitud Back Riveri ja ka Coopermine Riveri ümbrusest, mis moodustavad ühe laia terviku koos Suur-Karujärve piirkonnaga. Siin asetseb uraanimaak sageli maapinnal ja on niivõrra rikkalik, et raadiumikiirguse tugevus on põhjustanud surmajuhtumeid.

Esimene uraanimaagi korjamise keskus asutati Suur-Karujärve piirkonda, kust lennukitega transportitakse kogu uraanimaak Port Hope'i Ontario järve ääres. Kogu ühendus toimub lennukitega. Igal suvel saabub korraks Suur-Karujärve piirkonda ainuke selles piirkonnas liikuv aurik. Lennukitega toimetatakse tööliskonnale järele kõik vajalik. Talviste lumetormidega katkeb sageli pikemaks ajaks igasugune ühendus, välja arvatud ühendus raadio kaudu.

Port Hope asetseb 3500 miili kaugusel kaevandusist. Siia on koondatud Kanada raadiumi keskus, mis areneb üha suuremaks ja pretendeerib esimesele kohale maailmas. Suuris laboratooriumes toimub inten-

siivne tegevus, mida juhatab üks M. Curie kaastöolis-
test. Raadiumi eraldamine maagist kestab siin ainult
kaks ja pool kuud.

Rikkalikud uraanilademed ja võib-olla kiirendatud
raadiumieraldamise meetodid on võimaldanud raa-
diumi hinda alla suruda. Enne Belgia raadiumi turule
ilmumist maksis üks gramm raadiumi 700 000 krooni,
1939. a. võis seda aga saada juba 100 000 krooni eest.

Nõukogude Liidu laialdastel maa-aladel esineb
mitmes kohas raadiumi leiukohti. Nii on teada kae-
vandusi Ferghana oblastis, siis Tienšani mäestikis,
Uhtas ja Baikali ümbruses. Igatahes Liidu raadiumi-
tootmis-vabrikud varustavad Liidu haiglaid Nõu-
kogude raadiumiga.

II. Radioaktiivsete ainete omadusi.

Kiirgus. Võidakse küsida, mille poolest erine-
vad radioaktiivsed ained teistest. Vastus sellele on:
seepoolest, et nad iseendast kiirguvad. Eks põhjus-
tanud uraaniühendi läbitungimisvõimeline kiirgus
radioaktiivsuse avastamise. Sest tähendab ju sõna —
radioaktiivsus — aine võimet kiirguda. Raadiumi-
ühendid kiirgavad ilusat sinakat valgust. On teada,
et Marie Curie otse juubeldas, märgates esmakordselt
raadiumikiirgust. See kiirgus paneb helenduma pal-
jusid teisi esemeid. Nii kiirguvad heledalt teemandid,
kui neid asetada raadiumikiirgusse. Seda teeman-
tide omadust kasutatakse nende ehtsuse määramiseks.

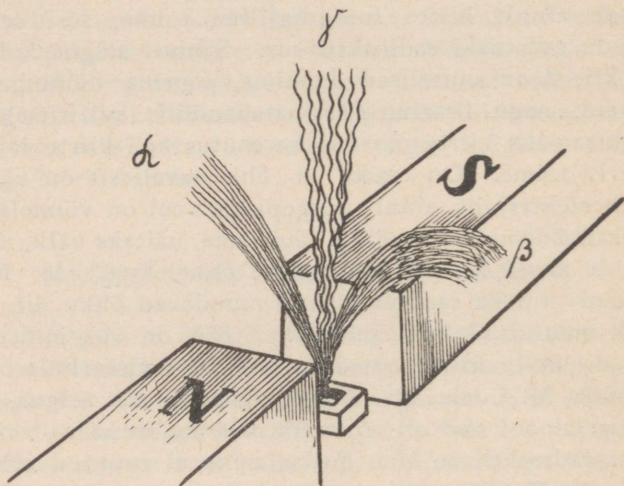
Kui aga asetada raadium mõnda pappkasti või
kesta, siis ei märka me enam ta kiirguvat valgust.
Millest on see tingitud? Kas lakkas raadium kiirgu-

mast? Või takistasid kastiseinad kiirte levimist? Kuid kuhu on jäänud läbimisvõimelised kiired? Või kiirgab raadium mitut eri liiki kiiri? Seega terve rida küsimusi — kes jõuab neile vastata. Kuid need ja paljud teisedki küsimused on juba vastust leidnud.

Uuringute alguses seisti tõesti mõistatuse ees, milles seisneb salapärane uraani- ja raadiumikiirgus. Õpiti tundma kiirgust ta toime kaudu. Esmalt oli teada ainult kiirte fotograafiline toime, sest selle kaudu avastuski radioaktiivsus. Samuti selgus kohe, et kiired on suutelised helkima panema mõningaid aineid, nagu baariumplatinatsüanüüri, sulfitit jne. Tähtsamaks kiirte omaduseks osutus aga kiirte ioniseeriv toime. On teada, et õhk tavaliselt on väga halb elektrijuht, ainult kõrgepinge vool on võimeline elektrisädemete näol õhku läbistama, näiteks välk, mis ei ole muud kui kõrgepingelise õhuelektri säde. Nii uraani- kui ka raadiumikiired muudavad õhku nii, et õhk muutub elektrit juhtivaks. Siis on õhk ioniseeritud. Selle kiirte omaduse — õhu ioniseerimise — kasutas M. Curie ära oma uuringuis, sest selgus, et ionisatsiooni abil oli võimalik määrata ka säärast väikest radioaktiivse aine hulka, mida ei suutnud avastada ükski teine uurimismeetod.

Kuna selgus, et raadiumikiired elektriliselt ioniseerivad õhku, siis arvati, et raadiumikiirtel peab olema midagi ühist elektriga. Arusaadav, et füüsikud asusid vastavate katsetega kindlaks tegema raadiumi kiirguse iseloomu. Kasutati selleks otstarbeks elektrivälja ja elektromagneti mõju kiirgusele. Järgnesid väga huvitavad katsed. Inglise füüsikul E. R u t h e r f o r d i l õnnestus selgitada raadiumi kiirguse koosseisu. Ta kasutas selleks tugevat elektromagnetit. Kui

asetada elektromagneti pooluste vahele riist raadiumiga (joon. 2), siis võib juba pimedas ruumis märgata raadiumikiirgust. Kasutades pappsirme, millele on tõmmatud kiht baariumplatinatsüanüüri, tsinksulfitit või mõnd teist fluorestseeruvat ainet, võime raadiumi kiirtekimpu uurides jälgida sirmi helenduses muutusi. Selgus, et elektromagnetit tööle rakendades paiskuvad



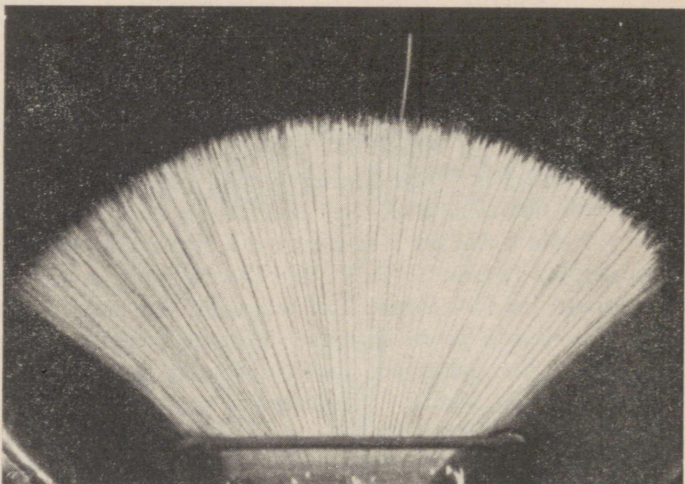
Joon. 2. Raadiumi α -, β - ja γ -kiired.

raadiumikiired osaliselt laiali. Väga tugev kiirte kimp paindub jõujoontest nõrgalt ühele poole. See kiirte kimp kaob, kui raadiumiriist katta paberiga. Teine kiirte kimp paindub aga jõujoontest teisele poole, kuna kolmas kiirte kimp jätkab oma endist teed jõujoontest läbi. Seega võis E. Rutherford kindlaks teha, et raadium kiirgab kolme liiki kiiri (joon. 2), mida

ta nimetas kreeka keele tähestiku kolme esimese tähega: α -(a l f a -), β -(b e e t a -) ja γ -(g a m m a -) kiirteks.

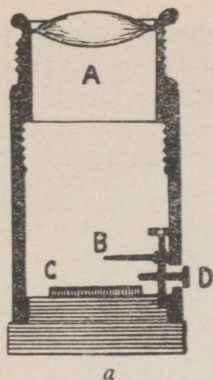
Enne kui edasi minna iga üksiku kiirgusliigi kirjeldamisele, olgu siinkohal mainitud veel üks erimeetod, millel on väga suured teened nii kiirguse kui ka aatomi uurimise alal. See meetod on tuntud W i l s o n i u d u k a m b r i m e e t o d i nime all. Nimelt pani inglise füüsik C. T. R. W i l s o n 1894. a. tähele mõningaid loodusnähtusi Šoti mägedes. Ta tahtis neid laboratooriumis järele aimata. Mägedes tekkiva udu järeleaimamine laboratooriumitingimuses panigi aluse Wilsoni udukambriale. Küllastades vastavas kinnises kambris õhku veeauruga, selgus, et üleküllastatud veeauruga õhk andis kambris tiheda udu, kui kambris temperatuuri või õhu survet sellekohaselt muuta. Surve suurusel olenes, kas tekib udu või tekivad veetilgad. Viimaseid tekib tavaliselt üksikult ümber mõningate punktide. Viimase nähtuse täpsem uurimine näitas, et veetilgad tekivad elektriliselt laetud aatomite ehk ionide ümber. Et α -, β - ja γ -kiired tekitavad ionisatsiooni, siis jätab iga üksik kiir läbikäidud teele endast järele ionide rea, mille ümber teatud tingimusil udu koguneb, kondenseerub ja nähtavaks muutub, niivõrra nähtavaks, et seda on võimalik isegi pildistada. Juba 1911. a. süüdis Wilson oma udukambri abil pildistada üksikuid α - ja β -kiirte teid.

α -kiired. α -kiired on kahe positiivse elementaarlaenguga laetud kehakesed, mis peale laengu neutraliseerimist osutuvad heeliumi aatomeiks. Heelium on võrdlemisi harva esinev gaas. Et ta on vesiniku järglane oma kerguse poolest ega ole plahvatusohtlik, siis on ta otsituim gaas õhulaevade jaoks. α -kehakesed



Joon. 3. α -kiirte tee Wilsoni udukambris.

paisatakse radioaktiivsest ainest eemale hiiglajõuga, mis annab kehakestele levimiskiiruse 1600 kuni 20 000 km/sek. Kuigi neil kehakesil on algkiirus enam kui 100 000 korda suurem kui brauningukuulil, on α -kiire läbimisvõime väga väike. Õhuke veekiht, isegi seebimulli sein on suuteline α -kehakeste lendu täielikult takistama. Nende kiirte teekond ehk ulatus õhus 15° C temperatuuris ja normaalõhurõhumisel on väike ja oleneb radioaktiivsest ainest. Nii paiskab raadium α -kehakesi 3,4 cm, toorium-C' aga 8,6 cm ulatusele. Nagu joon. 3 näha, on ühe ning sama radioaktiivse aine α -kiirtel teekond kõigil ühepikkune, välja arvatud ülesvõttel nähtavale tulnud ühe α -kiire teekond, mis on ülejäänuiist märgatavalt pikem. Antud



Joon. 4. Spintariskoop (a) ja stsintillatsioon (b).

juhul on tegemist ühe väga jõurikka α -kehakesega, mida aga harva esineb. Ülesvõtte on tehtud Wilsoni udukambri meetodi abil.

α -kiiri võib jälgida nn. stsintillatsioonimeetodi abil, mis seisneb selles, et α -kiired, langedes tsinksulfitile, tekitavad selles nähtava helenduse. W. Crookes konstrueeris erilise instrumendi — spintariskoobi (joon. 4, a), võib-olla ainukese riista, mida võib osta optikult ja mis sisaldab raadiumi. Spintariskoop koosneb metallsilindrist, mille ülemist otsa koos luubiga võib üles ja alla keerata. Läbi luubi (A) vaadates näeme nõela (B), mille terav ots on kastetud lahjasse raadiumisoola lahusesse.

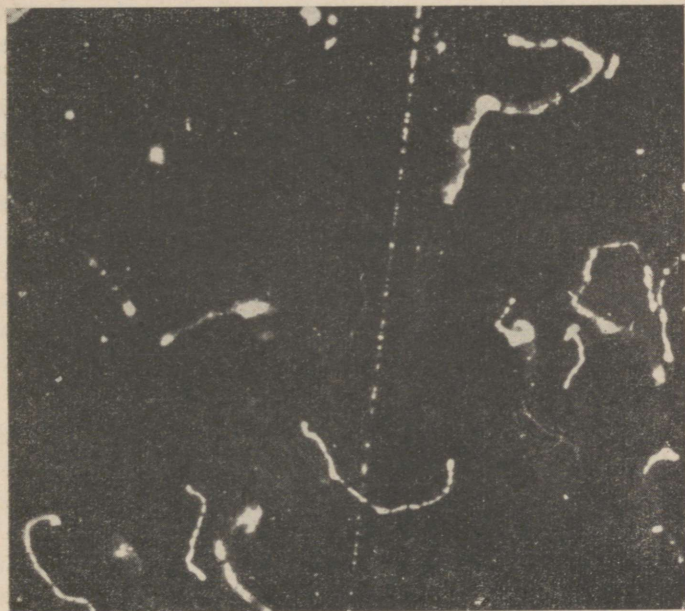
Seega on nõel kaetud väga õhukese raadiumi sisaldava kihiga. Spintariskoobi põhja on asetatud sirm (C) tsinksulfitiga. Vastava kruvi (D) abil nõela kaugust sirmist muutes näeme sirmil tugevamat või nõrgemat helendust, mis koosneb üksikuist üksteise järel

hetkeks helenduvaist täppidest. Iga täpi helendumise põhjustab üks α -kiir, mis on sattunud tsinksulfitile. Läbi luubi vaadates näeme sääraseid helenduvaid täppe väga palju, loendamatul arvul (joon. 4, b). Mõne aja pärast vaatlust korrates ei ole märgata mingit helendumise nõrgenemist. Kui iga aasta kord sirmi uuendada, siis ei märka vaatleja mingit muutust sirmi helenduses. Instrumendi omanik võib surra, ta perijad samuti, riigid võivad kaduda maa pealt, kuid α -kiirgus jääb ikka püsima, sirmi helendusel ei ole märgata muutust. Näib, et igavesti. Kas on see nii?

Et α -kiired ei ole suutelised läbima fotoplaati ümbritsevat paberit, siis radioaktiivsuse avastamisel ei omanud α -kiired mingit tähtsust. Suurem tähtsus radioaktiivsuse avastamisel on β -kiirtel.

β -kiired. Mitmesuguste füüsikaliste meetodite varal tehti kohe kindlaks, et β -kiired koosnevad elektronidest, mis paiskuvad radioaktiivsest ainekist kiirusega 80 000 kuni 290 000 km/sek. Seega saavutab β -kehake kiiruse, mis läheneb kõigi kiiruste maailmarekordile, mille saavutavad valguskiired (300 000 km/sek.). Joon. 5 on näha elektronide teid, mis on pildistatud Wilsoni udukambri abil.

Elektron oli õpetlastele juba varemini tuntud. Elektroni nimetus oli antud 1881. a. G. J. S t o n e y poolt negatiivset elektrit kandvaile kehakestele, mille massi kohta teati algul vaid niipalju, et see on äärmiselt väike. Arvati isegi, et elektronil puudub mass täielikult, et nad koosnevad ainult negatiivse elektri laengust. Iga elektron omab kindlat osa elektrist, s. o. kindlat elektrilaengut, mis võetakse elektrilaengu ühikuks, sest pole leitud ühtegi elektroni, mis



Joon. 5. β -kiirte tee Wilsoni udukambris.

oleks olnud väiksema laenguga. Elektroni laengut nimetatakse seepärast negatiivse elektri laengu algühikuks ehk negatiivse elektri elementarlaenguks. Negatiivse elektri algühikuid elektronide näol leidub vabalt metallides, kusjuures algühiku loomus ei olene ainelise koosseisu iseärasusest metallis. Sellepärast arvataksegi, et negatiivne elekter koosneb väga väikesist jagamatuist kehakesist — elektronidest, mida võib seepärast nimetada elektri aatomeiks.

Tähelepanuvääriv on asjaolu, et elektroni laeng

on täpselt niisama suur, nagu ioniseeritud vesiniku aatomil, s. o. kui vesiniku aatom on elektriliselt laetud. Vahe seisab vaid selles, et vesiniku aatom omab positiivset laengut, elektron aga negatiivset, kuid niisama suurt laengut. Algul ei oldud kindel, kas elektron koosneb ainult elektrilaengust või omab ta ka massi selle tavalises mõttes. Füüsikuil läks siiski korda määrata elektroni mass, mis osutus umbes 1840 korda väiksemaks kui vesiniku aatomi mass. Et aga vesiniku aatom pidi olema kõige kergem kõigist aatomeist, siis seisti mõistatuse ees, kuidas seletada vesiniku aatomist veelgi kergemate aineosakeste olemasolu.

γ -kiired. γ -kiired on sama lainelist laadi kui päikesekiired, raadiolained jne. Nende leviku kiirus on sama, mis valguskiirtel, s. o. 300 000 km/sek. γ -kiirte lainepikkus on väga lühike; see on rohkem kui 5 milj. korda lühem valguskiirte lainepikkusest. Kõigist radioaktiivse aine kiirtest on γ -kiirtel kõige suurem läbimisvõime.

Pallas Athena sünd. Ja nii kiirgub raadium päevast päeva, aastast aastasse. Samuti kiirgavad uraan, toorium ja teised radioaktiivsed ained. On vaja terve igavik, et raadiumikiirgus kustuks. Kuidas on see võimalik? Millega seletada salapärast kiirgust? Millega seletada, et üks aatom (raadium) paiskab endast teise elemendi aatomi (heelium)? Kas eraldub heelium raadiumist samuti kui Pallas Athena sündis Zeusi peast? Võiks kahelda, kas raadium on tõesti element, s. o. algaine, või on ta keemiline ühend, mitme elemendi aatomite segu. Kuid M. C u r i e on kõigi teaduslike meetoditega kaljukindlalt tõestanud,

et raadium on algaine. Selle teene eest määrati talle erakordselt Nobeli auhind. Raadium on tõesti suveräänne element, nagu seda on raud, vask ja palju teisi, mis on kogutud elementide perioodilisse süsteemi (tab. lk. 26).

Vene õpetlane D. Mendelejev 1869. a. ja temaga samaaegselt, kuid iseseisvalt saksa õpetlane L. Meyer korraldasid elemente nende keemiliste omaduste järgi ühte tabelisse (vt. tab. lk. 26), kus elementide järjestusse seadmisel oli suur tähtsus aatomikaalul. Hiljemini selgus küll, et aatomikaalul ei ole määravat tähtsust, küll aga teistel aatomi omadustel, mis avastasid vaid tänu radioaktiivsuse nähtuste selgitamisele. Selles tabelis leiavad koha 92 elementi. Iga element on tähistatud mingi sümboliga, mis koosneb kas ühest või kahest tähest selle elemendi ladina- või kreekakeelsest nimest. Nii on vesiniku sümboliks H, sest see on vesiniku ladinakeelse nimetuse *Hydrogenium* esimene täht. Heeliumi sümboliks ei ole mitte enam H, sest H tähendab vesinikku, vaid heeliumi sümboliks on võetud kaks tähte: He (*Helium*). Iga elemendi sümboli ees leidub elemendi järjekorra number, sümboli all aatomikaal. Sümbolite tähtsus seisneb selles, et nende tarvitamine lihtsustab keemiliste reaktsioonide märkimist. Elementide perioodilises tabelis toodud sümbolitega on tähistatud kõik elemendid, mida on suudetud seni avastada. Elementide hulgas asetseb 88. kohal raadium veel praegugi. Tähen-dab, et ka praegugi ollakse kindel, et raadium on algaine, on element, et raadium ei koosne teistest algainetest ei keemilise ühendi ega füüsikalise segu näol. Kui nii, kuidas siis seletada heeliumi tekkimist raadiumi aatomist? Seisukord näis tõesti mõistatuslikuks

Aatomite perioodiline süsteem (Mendelejevi tabel).

Period	Rida	Rühm I	Rühm II	Rühm III	Rühm IV	Rühm V	Rühm VI	Rühm VII	Rühm VIII		
I	1	1H 1,008								2He 4,00	
II	2	3Li 6,94	4Be 9,02	5B 10,82	6C 12,00	7N 14,00	8O 16,00	9F 19		10Ne 20,18	
	3	11Na 23,00	12Mg 24,32	13Al 26,97	14Si 28,06	15P 31,02	16S 32,06	17Ce 35,46		18Ar 39,94	
IV	4	19K 39,10	20Ca 40,07	21Sc 45,10	22Ti 47,90	23V 50,95	24Cr 52,01	25Mn 54,93	26Fe 55,84	27Co 58,94	28Ni 58,69
	5	29Cu 63,57	30Zn 65,38	31Ga 69,72	32Ge 72,60	33As 74,96	34Se 79,2	35Br 79,92		36Kr 82,9	
V	6	37Rb 85,45	38Sr 87,63	39Y 88,93	40Zr 91,22	41Nb 93,5	42Mo 96,0	43Ma 96,0	44Ru 101,7	45Rh 102,9	46Pd 106,7
	7	47Ag 107,88	48Cd 112,41	49In 114,8	50Sn 118,7	51Sb 121,76	52Te 127,5	53J 126,92		54X 130,2	
VI	8	55Cs 132,81	56Ba 137,36	57—71 Haruldased mullad	72Hf 178,6	73Ta 181,5	74W 184,0	75Re 186,31	76Os 190,9	77Ir 193,1	78Pt 195,23
	9	79Au 197,2	80Hg 200,6	81Te 204,39	82Pb 207,21	83Bi 209	84Po 210,0	85 —			86Em 222,0
VII	10	87 —	88Ra 225,97	89Ac 227	90Th 232,12	91Pa 231	92U 238,44				

kujunevat. 1898. a. avastati raadium, 1902. a. tõestas M. Curie, et raadium on algaine, ja alles 1903. a. seletasid inglise füüsikud E. Rutherford ja F. Soddy radioaktiivse kiirguse radioaktiivse aine aatomi lagunemisega. E. Rutherfordi ja F. Soddy radioaktiivse aine aatomi lagunemise teooria on osutunud väga viljakaks.

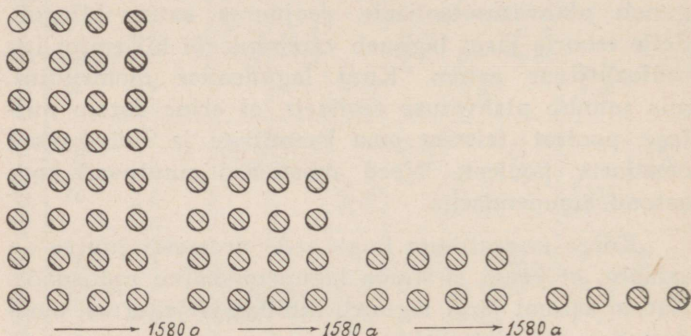
Aatomi lagunemise teooria. See teooria seletab radioaktiivse aine teise põhiomaduse. Aatom laguneb plahvatusetaoliselt, seejuures aatom kiirgub. Selle teooria järgi laguneb varemini või hiljemini iga radioaktiivne aatom. Kuni lagunemise momendini, mis toimub plahvatuse taoliselt, ei erine aatom millegi poolest teistest oma keemiliste ja füüsikaliste omaduste poolest. Need omadused muutuvad koos aatomi lagunemisega.

Kõige iseäralikum kogu selle protsessi juures on asjaolu, et keegi ei suuda lagunemiskäiku pidurdada. Aatom aatomi järel laguneb kindlas järjekorras, moodustades uusi aatomeid.

On arvatud, et 1 g raadiumi kiirgab ühe sekundi jooksul 37 miljardit α -kiirt. Et iga α -kiir tähendab ühe aatomi lagunemist, siis 1 g raadiumis laguneb igas sekundis 37 miljardit aatomit. See lagunemine toimub pidevalt. 25 aasta jooksul on 1% ja umbes 1580 aasta jooksul 50% raadiumist lagunenu. Ajavahemikku, mille kestel pool ainet laguneb, nimetatakse radioaktiivseks poolestusajaks. Poolestusaega näitab meile väga kujukalt joon. 6. Mida väiksem on poolestusaeg, seda radioaktiivsem on aine. Igal radioaktiivsel ainel on oma poolestusaeg. Vastavate arvestuste järgi muundub iga eraldatud raa-

diumihulk umbes 16 000 aasta pärast pliiks (seatinaks).

Miski ei muuda aatomite lagunemise käiku. On teada, et vedelas õhus, mille temperatuur on 190°C alla nulli, ei toimu ühtki keemilist protsessi. Kuid radioaktiivse aine kiirgus jätkub ka vedelas õhus takistamatult ning aatomid lagunevad endises tempos. Radioaktiivne aine soojeneb seejuures isegi tunduvalt. Kust tuleb soojus-energia? Kust võetakse kiirgus-



Joon. 6. Radioaktiivne poolestusaeg.

energiat? Kas kehtib veel materia ja energia jäävuse seadus, kui aatomid lagunevad, kui aine iseenesest soojeneb, ilma et energiat väljastpoolt juurde voolaks?

Kergem on küsida kui vastata. Algul ei osatudki vastata. Alles peale pikemaajalist radioaktiivsete nähtuste uurimist tuldi arvamisele, et küllap need nähtused on kuidagi seotud aatomi ehitusega. Aimati, et aatomil peab kindlasti olema eriline struktuur, mis lubab seletada radioaktiivseid nähtusi. Katsutigi aatomile anda säärane ehitus, mis võimaldaks vajaliku

seletuse. Aastal 1912 esitas E. Rutherford uue aatomi ehituduse õpetuse.

Millisena kujutab ta endale aatomit? Oma katseis α -kiirtega veendus E. Rutherford peagi, et α -kiirte teekond on sirgjooneline. Kuidas on see võimalik, kuna oma teekonnal pidi iga α -kehake kokku põrkama paljude sadade tuhandete aatomitega, milledest suurem osa on α -kehakesest suuremad ja raskemad? See oli küsimus, mille üle tuli mõelda. Olgu võrdluseks kuulide liikumine piljardilaual. Tõugatud kuul, kokku põrgates teise kuuliga, kaldub oma teekonnal esialgselt suunast kõrvale. α -kiire teekond on aga sirgjooneline. Igapäevased kogemused näitavad, et püssikuuli tee on ka sirgjooneline, puu läbimisel jätab ta augu järele, paisates ettesattunud aine kõrvale. Kas suudab α -kiir samuti paisata kõrvale kõik ettesattunud õhumolekulid ja -aatomid? Kõiki neid aatomeid teelt kõrvale paisates kaotaks α -kiir palju rutem oma liikumisenergia, kui see tavaliselt toimub. Tähendab, α -kiir ei suuda kõiki aatomeid oma teelt kõrvale paisata. Jäeb üle oletus, et α -kiir peab läbima paljusid aatomeid. See on aga siis võimalik, kui aatomis on palju tühja ruumi. Analoogilisi nähtusi tühja ruumi kohta leidub päikesesüsteemis, mille võib läbida kaugelt maailmaruumist ilmunud sabatäht ilma kokkupõrke katastroofi tekitamata. Ja E. Rutherford koostas aatomimudeli. Tema aatomimudel ei olnud sugugi täiuslik, lubas aga seletada radioaktiivseid nähtusi. Aja jooksul on seda aatomimudelit mitmeti täiendatud, mudeli ehitus on muutunud üsna keeruliseks, kuid põhiideed (põhiprintsiip) on jäänud siiski endiseks. Nüüdne aatomiõpetus on suur peatükk kauasest ja pidevast tööst, mis veel praegugi

jätkub. Paljud neist õpetlasist, kes on andnud uut aatomiõpetuse alal, on üldsusele tuntud ka Nobeli laureaatenadena.

Oma aatomi mikrokosmose ehitas Rutherford päikesesüsteemi makrokosmose plaani* kohaselt. Kõigile on tuttav meie päikesesüsteemi ehitus, kus aine on kogunenud peamiselt süsteemi keskel asetsevasse Päikesesse ja väga vähesel määral üksikuisse planeetidesse, nagu meie Maakera, Mars, Veenus jt. Selletaolist süsteemi kasutas Rutherford ka oma aatomimudeli koostamisel. Selle järgi koosneb aatom keskel asetsevast a a t o m i t u u m a s t ja selle ümber tiirlevaist elektronest. Kõige lihtsamaks aatomiks osutus vesinik — tema sisaldab kõige lihtsama tuuma, ühe massiühiku, mis on positiivselt laetud ja mille laeng on täpselt niisama suur kui elektronil, ainult selle vahega, et elektroni laeng on negatiivne. Seda kõige lihtsamat tuuma nimetas E. Rutherford p r o o t o n i k s, mis kreeka keeles tähendab 'esimene'. Nagu hiljemini selgus, leidub iga aatomi tuumas prootoneid. Tuuma ümber tiirlevad aga elektronid, moodustades aatomi e l e k t r o n k a t t e. Aatomi elektronkatte dimensioonid määravad aatomi ruumala suuruse.

Mikro- ja makrokosmos arvudes. Aatomi dimensioonid on tõesti väga väikesed, sest aatomi läbimõõtu arvestatakse ühe või mõnesaja miljonidiku sentimeetriga¹. 10 miljonit aatomit kõrvuti

1) Seda arvu kirjutatakse: $\frac{1}{100\,000\,000}$ cm = 10^{-8} cm. Hapniku aatomi läbimõõduks on $1,30 \cdot 10^{-8}$ cm; liitiumil $3,03 \cdot 10^{-8}$ cm; hõbedal $2,88 \cdot 10^{-8}$ cm; kaaliumil $4,50 \cdot 10^{-8}$ cm; süsiniku aatomid teemandis $1,54 \cdot 10^{-8}$ cm. Matemaatikud lihtsustavad väga suurte või väga väikeste arvude kirjutamist, vähendades kirjutamise vae-va: $10^{-8} = \frac{1}{100\,000\,000}$, kuid $10^8 = 100\,000\,000$, seega l järele tuleb

asetatuina moodustavad ühe millimeetri pikkuse rea. Aatom on seega tõesti mikrokosmos, „väike maailm“, võrrelduna päikesesüsteemiga — makrokosmosega, mille kõige kaugem planeet Pluto on 39,52 korda Päikesest kaugemal kui Maa. Maa pealt Päikeseni on isegi pikk teekond, 149 500 000 km. Ka aatomi „väikeses maailmas“ on materia koondunud aatomituuma, mille läbimõõt on ligikaudu niisama suur kui elektronkattes tiirleval elektronil, või ületab elektroni läbimõõdu mõnekordselt. Aatomi läbimõõt on aga 10 000 kuni 100 000 korda suurem elektroni, järelikult ka tuuma läbimõödust, mida arvestatakse 10^{-12} kuni 10^{-13} cm, s. o. üks kümnebiljondik osa sentimeetrist. Päikese läbimõõtu seevastu arvestatakse 1 391 000 km. Päikesesüsteemi läbimõõt on seega umbes 11,6 miljardit km, s. o. $11,6 \cdot 10^9$ km, aatomi läbimõõt aga 10^{-8} cm, s. o. sajamiljondik osa sentimeetrist. Nii päikesesüsteemis kui makrokosmoses ja aatomis kui mikrokosmoses on mõlemas tohutu palju tühja ruumi ja väga vähe materiat. Kuid meie Päikese süsteem loetakse väiksemate hulka. Materia tihedus päikesesüsteemis on väga väike, samuti väike on materia tihedus aatomis — ainult miljardik kuni biljondik osa aatomist on täidetud materiaga. On maailmu, kus materia on palju tihedam, kus aatomis tühja ruumi on vähem. Nii on 1935. a. andmetel Siiriuse kaksiktähe B tihedus 21 800 korda suurem vee tihedusest. On veelgi tihedama materiaga tähti.

kirjutada nii mitu nulli, kui suur on 10. kohal asetsev arv (nn. astmenäitaja). Nii $10^{12} = 1000\ 000\ 000\ 000$. Kui astmenäitajal on miinusmärk ees, siis asetatakse 1 nullidega niisuguse murru nimetajaks, mille lugejaks on 1. Näide: $10^{-12} = \frac{1}{1\ 000\ 000\ 000\ 000}$

Elektronis endas on ainet umbes 10 miljardit korda tihedamalt kui veetilgas. Kui elektron oleks nisutera suurune, siis kaaluks ta 100 tonni, s. o. niipalju kui reisurongi vedur. Ent aatomi tuumas on ainet vähemalt 1840 korda tihedamalt kui elektronis, sest elektroni mass on umbes 1840 korda väiksem prootoni massist. Kui nii edasi arvutada, siis saaksime väga huvitavad tulemused. Kui oleks võimalik kaotada aatomeis ja aatomite vahel asetsevat ruumala, täites selle ainega ning kokku surudes aine osakesi, siis võiks näiteks keskmise kasvuga inimesest saada vaid ühe tolmukübemekese, mille läbimõõt oleks vaevalt $\frac{1}{3}$ juuksekarva läbimõõdust. Kogu inimkond maakeral sääraselt tihendatult annaks vaid umbes 4 cm³, s. o. vähem kui teelusikatäie massi.

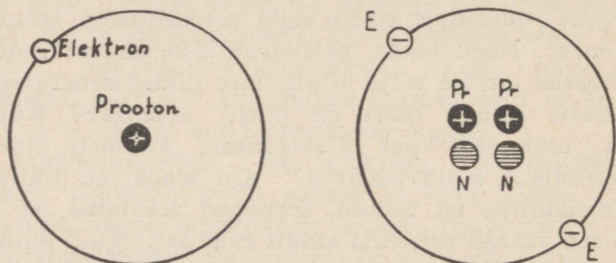
Aatominumber. Et elektron on negatiivse elektri algosake, peaks aatom ja ühes sellega kogu materia olema negatiivselt laetud. Nagu teada, on tavaliselt aatomid elektriliselt neutraalsed. Elektronkatte neutraliseerimiseks peab aatomituum olema positiivselt laetud. Aatomi tuumalaeng peab olema niisama suur kui tema ümber tiirlevate elektronide kogulaeng. Elemendid erinevadki üksteisest just oma aatomite erinevalt ehituselt, mis avaldub tuumalaengu ja järelikult ka tuuma ümber tiirlevate elektronide arvu erinevuses. Vesinikuaatomit peetakse kõige lihtsamaks, tema tuumalaeng on 1 ja tema tuuma ümber tiirleb 1 elektron. Heeliumil on vastavad arvud 2, raadiumil 88, uraanil 92. Seega on igal elemendil oma eri number, mis tähistab tuumalaengut ja tiirlevate elektronide arvu. See arv ongi **a a t o m i n u m b e r**. Elementide perioodilises tabelis on aatomid asetatud nende aatominumbri järjekorras.

Seega ei määra elemendi asukohta tabelis mitte aatomikaal, nagu varemini arvati, vaid aatominumber, mis tähistab elektronide arvu ja tuumalaengut. Seega on elementide perioodilisus tingitud aatomi struktuurist. Sellega on seletatav ka asjaolu, miks Ar asetseb Mendelejevi tabelis K ees, kuigi Ar aatomikaal on suurem K aatomikaalust. Ar ja K, mis asetsevad elementide perioodilises tabelis, on elementide sümbrid: Ar tähendab gaasi argoon ja K — kaaliumi.

Aatomituuma ehitusest. Radioaktiivsete ainete kiirguse uurimine tõstis esile aatomituuma ehituse küsimuse. Nagu teada, paiskuvad α -kehakesed radioaktiivseist aineist välja hiiglasuure liikumisenergiaga. Millisest aatomi osast on pärit α -kehake? Kindlasti tuumast, kuna elektronkate koosneb ainult elektronist. Kuid β -kiired? On teada, et β -kiirte liikumiskiirus on tohutu, seepärast arvatakse, et ka β -kiired võivad tuleneda ainult tuumast. Kuid kuidas seletada β -kiirte, elektronide tulenemist positiivselt laetud tuumast? Sellele ei ole lihtne vastust anda. Ainult pikkamööda õpiti tuuma ehitust tundma. Algul oletati, et aatomituum koosneb ainult prootoneist. Seejärel osutus vesiniku aatomi ehitus lihtsaks: tuum koosneb ühest prootonist, mille ümber keerleb üks elektron. Järgnevate aatomite ehitus osutus juba raskemaks. Need raskused lahenesid alles hiljemini koos teaduse arenemisega aatomifüüsika alal.

Tavaliselt võetakse prootoni kaal aatomikaalu algühikuks. Raskusi tekitas juba heeliumi aatomi mudeli koostamine. On teada, et heeliumi aatominumber on 2, järelikult tuumalaeng ja tuuma ümber tiirlevate elektronide arv on samuti 2, kuid samuti on teada, et heeliumi aatomikaal on 4. Kui

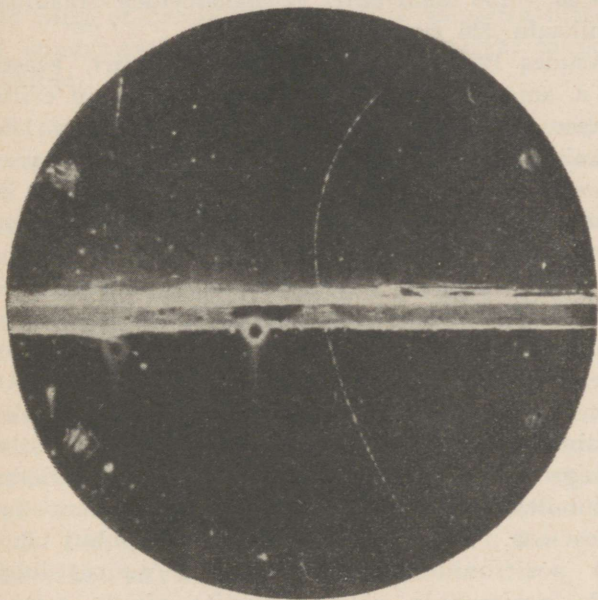
heeliumi aatomi tuum koosneks neljast prootonist, siis oleks ta aatomikaal küll 4, kuid tema positiivsete laengute arv oleks tõusnud samuti neljale. Et sää-
 rast vastuolu ületada, neutraliseeris E. R u t h e r -
 f o r d heeliumi aatomi tuumas 2 prootonit, asetades
 tuuma 2 elektroni. Hiljemini lahenes seisukord liht-
 salt. Inglise füüsik J. C h a d w i c k tegi 1932. a.
 katseliselt kindlaks kehakeste olemasolu, mida ta
 nimetas n e u t r o n e i k s. J. Chadwick'i andmeil



Joon. 7. Vesiniku ja heeliumi aatomi skeem.

on neutronil niisama palju massi nagu prootonilgi, kuid tal ei ole elektrilaengut, ta on seega elektriliselt neutraalne, millest on nimigi tuletatud. Neutroni avastamine avaldas ülimalt soodustavat mõju aatomi-
 tuuma ehituse uurimisele. Radioaktiivsete ainete
 lagunemisel ei tekkinud neutroneid, mistõttu oli ras-
 kusi neutroni päritolu küsimusega. Et neutroneid
 leidub rohkesti paljude tuuma muundumisreaktsioo-
 nide puhul, nagu need esinevad kunstliku radioaktiiv-
 suse juures, siis oldi kindel, et neutron peab tuuma
 moodustamisest osa võtma.

Neutroni olemasolu kindlakstegemine kergendas suuresti aatomituuma ehituse selgitamist. Nii ongi näiteks heeliumi aatomi tuuma koostis seletatav kahe prootoni ja kahe neutroniga. Seejuures prootonite arv määrab tuuma laengu, mis seob vastava arvu



Joon. 8. Positroni tee Wilsoni udukambris.

elektrone aatomi elektronkattes, määrates ühtlasi ka aatominumbrigi ($\text{He} = 2$). Prootonite ja neutronite kogukaal määrab aatomikaalu. Heeliumil on see arv $4 = 2$ prootonit + 2 neutronit (joon. 7). Raskeima elemendi uraani (U) aatomi tuum koosneb 92 prootonist (aatominumbrigi on 92) ja 146 neutronist (aatomini-

kaal on ümmarguselt $238 = 92 + 146$). Mendelejevi elementide perioodilises tabelis asetseb raadium 88. kohal. See tähendab, et raadiumi aatomi elektronkattes tiirlevad 88 elektroni, mille neutraliseerivad tuumas 88 prootonit. Tuumas peab asetsema veel $226 - 88 = 138$ neutronit, et moodustada raadiumi aatomikaalu 226 (ümmarguselt).

Asudes 1930. a. uurima kosmilisi kiiri, avastas 1932. a. ameerika füüsik C. D. Anderson erilise kehakese. Kosmiliste kiirtena tuntakse väga läbitungimisvõimelist kiirgust, mis tuleb maailmaruumist. Andersoni poolt kosmilistes kiirtes leitud kehakesel oli prootoniga võrdne laeng. Algul arvati, et ongi tegemist prootoniga. Läbides uurimisaparaadi pakse tinakihte, kaotas kehake osa oma energiast ja siis selgus, et on tegemist harukordse kehakesega, millel on elektroniga võrdne mass, kuid positiivse elektri elementaarlaeng. Neid kehakesi nimetas Anderson positronideks (joon. 8). Radioaktiivsete ainete lagunemisel ei ole täheldatud positroni, küll aga kunstliku radioaktiivsuse puhul. Ollakse veendunud, et ka positronid võtavad tuuma moodustamisest osa. Kunstliku radioaktiivsuse puhul täheldatud positronide kiirguse energia suurus lubab oletada positronide väljapaiskumist ainult aatomi tuumast. Positronide ja elektronide väljapaiskumine tuumast on omaette raske probleem. Nii teoreetilised kaalutlused kui ka eksperimentaalsed andmed räägivad selle poolt, et ei elektronid ega ka positronid ei esine tuumas vabalt, vaid et need kehakesed tekivad aatomituuma muundumisprotsessi puhul.

Mõningad nähtused β -kiirguse alal näitavad, et aatomi tuuma lagunemisel peale β -kiirte, s. o. elektro-

nide tekkimise tuleb arvestada veel ühe kehakese, nn. *n e u t r i n o* tekkimist. Sellele kehakesele omistatakse väga väikest massi, umbes nagu elektronile, kuid see kehake ei oma mingit laengut. Neid kehakesi ei ole kunstlike katsete juures veel täheldatud ja seda väga tõenäoselt sellepärast, et nad on neutraalsed ning et nende massi energia vähesuse tõttu nad ei suuda avaldada mingit registreerivat toimet või nähtust.

Nagu selgub, on mitte üksnes aatomil, vaid isegi aatomituumal komplitseeritud ehitus. E. R u t h e r f o r d i poolt oletatud tuum, mis pidi koosnema positiivselt laetud aine massist — prootonist, on muutunud suureks ehitiseks, kus ehitusmaterjal on väga mitmekesine. Selle materjali loendis leiame väga mitmesuguseid kehakesi, nagu prootoni, neutroni, elektroni, positroni, neutrino, mis peavad kuidagi moodustama aatomituuma hiigla-mikrokosmilise ehituse. Esimese mudeli andis E. Rutherford. Seda mudelit on korduvalt täiendatud. Eriti raskeks, kui mitte võimatuks, osutub raskete aatomite tuumamudeli koostamine. Püütakse anda lihtsustatud mudeleid. Üks neist oleks *alfa-mudel*, kus tuumas oletatakse alfa-rühmade olemasolu.

Alljärgnevalt on toodud süsiniku (C), hapniku (O), neooni (Ne), magneesiumi (Mg), räni (Si) ja väävli (S) aatomi andmed:

Aatominumber	6	8	10	12	14	16
Aatomisümbol	C	O	Ne	Mg	Si	S
Aatomikaal	12	16	20	24	28	32

Kas ei tundu, nagu koosneks iga aatom mitmest heeliumi aatomist? Hapniku aatomi loomiseks oleks tarvis seesmiselt liita 4 heeliumi aatomit: ${}^2_4\text{He}$.

Peale selle võtame vaatluse alla veel järgmiste elementide aatomid: fluor (F), naatrium (Na), alumiinium (Al) ja fosfor (P), kõrvutades nende aatominumbri ja aatomikaalu:

Aatominumber	9	11	13	15
Aatomisümbol	F	Na	Al	P
Aatomikaal	19	23	27	31

Iga järgneva aatomi saame, kui eelmise aatomi tuumale lisame ühe α -kehakese, mille tõttu suureneb aatominumber 2 ja aatomikaal 4 võrra.

Üldiselt arvatakse, et aatomituumas ei esine vabalt ei elektron ega ka positron, vaid et need kehakesed tekivad tuuma muundumisel. Seda väidet toetavad nii teoreetilised kaalutlused kui ka paljud eksperimentaalsed andmed.

Aatomi elektronkate ehitus. Selle kohta, kuidas on ehitatud aatomi elektronkate, on esitatud jällegi mitmeid teooriaid. On selge, et mikrokosmose struktuur on palju keerulisem makrokosmose omast. Ka uurimine on palju raskem. Keegi ei ole mikrokosmose ehitust näinud tervikuna, küll aga üksikuid fragmente, üksikuid osi.

Elektronkate teooria looja E. Rutherfordi järgi oli ükskõik, millistel teedel aatomituuma ümber tiirlevad elektronid. See oletus sattus aga mitmesugustele raskustele, mis tegi vajalikuks täiendavate teooriate tekkimise. Füüsikuil oli kerge välja arvu-

tada, mitu tiiru peab tegema elektron, mis asetseb teatud kauguses aatomituumast. Selgus, et elektron peab umbes 500—1000 biljonit korda sekundis ümber tuuma tiirlema. Et elektroni kui elektriliselt laetud kehakese ümber on elektriväli, siis elektroni tuuma ümber tiireldes peab ka elektriväli niisama palju kordi oma asukohta muutma. Seega elektroni tiirlemine kutsub esile elektrivälja alalise muutumise, s. o. võnkumise, mis peaks esile kutsuma elektromagnetilise lainetuse. Võngete sagedus 500—1000 biljonit korda sekundis vastab valguskiirte võnkumise sagedusele. Siit järgneb, et aatomite ümber tiirlevad elektronid peaksid püsivalt kiirguma. Kuid tegelikult aatomid ei kiirgu püsivalt, vaid ainult eri olukorras. Kuidas seletada siis tiirleva elektroni mittekiirgumist? See oli esimene raskus, mis tekkis aatomi elektronkatte ehituse süsteemi koostamisel.

Selle raskuse kõrvaldamiseks esitas tuntud taani füüsik N. B o h r juba 1913. a. elektronkatte ehituse uue teooria. Selle järgi ei saada elektronid elektromagnetilisi laineid seni, kuni nad püsivad oma teerajal, vaid aatom kiirgub siis, kui elektron hüppab ühelt teelt teisele. Elektroni asukoha katkendlikud muutused resulteeruvad kiirgusega. Bohri järgi liiguvad elektronid teeradadel, millel on erinev energianivoo. Igal teerajal, igal erineval kaugusel tuumast on vajalik erinev energiahulk, mis seob elektroni tuumaga. Võtkem näiteks kivi viskamine linguga. Mida pikemad on lingu paelad, seda rohkem jõudu tuleb tarvitada keerutamisel ja seda tugevama jõuga kistakse kivi eemale. Niisama on lugu elektronide tiirlemisega tuuma ümber. Mida kaugemal tuumast elektron tiirleb, seda suurem peab olema ta sideener-

gia tuumaga. Kui nüüd mõnelt seesmiselt teerajalt mingi asjaolu tõttu elektron välja paiskub, siis täitub tühjaksjäänud tee väga kiiresti elektroniga mõnelt kaugemalt teerajalt. See tähendab, et suurema side-energiaga (s. o. välimiselt) teerajalt hüppab elektron väiksema energiaga (s. o. sisemisele) teerajale. Seejuures vabaneb osa elektroni energiat, mis kiirguse näol aatomist väljub. See hüpe võib toimuda erinevaid teedelt teedele erineva energiahulga nivoo vahedega, seepärast omab ka kiirgus iga kord erinevat energiat, järelikult ka erinevat tugevust, s. o. erinevat lainepikkust, mida on võimalik täpselt määrata. Et selliste kiirguste lainepikkused näitavad kindlat korrapärasust, mis on igal algainel erinev, siis kiirte lainepikkuse uurimine ja määramine võimaldas füüsikutel kiirguse lainepikkuse järgi määrata kiirguvat algainet. Seega osutus selline kiirgus iseloomustavaks, s. o. karakteristiklikuks igale algainele, mistõttu seda kiirgust tuntaksegi karakteristikliku kiirguse nime all.

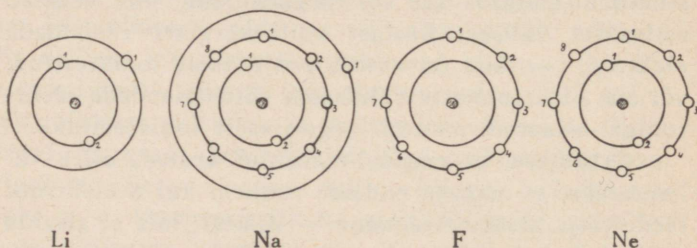
Uurimised algainete karakteristikliku kiirguse spektri alal põhjustasid elektroni teede liigitamise rühmadesse, mis üksteisele järgnevate kestadena ümbritsevad aatomituuma. Aatomituumale kõige lähemat kesta nimetatakse K-kestaks (Schale), II — L-, III — M-, IV — N-, V — O-, VI — P- ja VII — Q-kestaks. Bohri hüpotees — elektronkatte kestadesse jaotamine — võimaldas algainete karakteristikliku kiirguse spektri uurimist ja üles seada spektri tunnused iga algaine kohta. Spektri täpsemad uurimised näitasid üksikute karakteristiklike joonte lõhestumist üheks või mitmeks jooneks, mis asjaolu põhjustas suuri muutusi Bohri hüpoteesis. Neist tuleks

mainida hüpoteesi täiendamist õpetusega elektroni pöörlemisest enda telje ümber (spin), nagu Maakera pöörlemist enda telje ümber, elektroni ellipsikujulistest teedest jne. Arvatakse, et spektri kujundamisest võtab osa ka tuuma enda liikumine aatomis. Bohri hüpoteesi elektronkatte ehitusest tuleb seega võtta mitte kui midagi absoluutselt kindlat, vaid kui õpetust, mis ei ole täiuslik ja mida tuleb isegi parandada. See hüpotees lubas aga seletada mõnd füüsikalist kui ka keemilist nähtust. Füüsikaliste nähtuste all võiks siinkohal mainida kas või ionisatsiooni, mis seisneb selles, et välisest kestast võib kergesti eemaldada elektroni — siis on aatom positiivselt ioniseeritud, või siis elektronkatte väliskesta võib täiendada elektroniga — aatom muutub negatiivselt ioniseerituks.

Arvatakse, et eespool-mainitud kestad, olles väliskestaks, ei mahuta endasse rohkem kui 8 elektroni teed, välja arvatud esimene — K-kest, mis ei sisalda rohkem kui 2 elektroni teed. Kui aga elektronkatte väliskestad on maksimaalselt täidetud, siis sellised aatomid ei ole võimelised astuma keemilistesse ühendisse. Näib, et see on nii: heeliumil (He) on elektronkattes 2 elektroni (aatomnumber 2), seega K-kest on maksimaalselt täidetud; neonil (Ne) on 10 elektroni (aatomnumber 10), millest K-kestal 2 ja L-kestal 8, järelikult väliskest maksimaalselt täidetud; krüptonil (Kr) on 18 elektroni (aatomnumber 18), seega kolmandal, M-kestal 8 elektroni. On teada terve rida algaineid, mis ei anna teistega keemilisi ühendeid. Nende hulka kuuluvad O-rühma (vt. Mendelejevi tabelit lk. 26) elemendid, nagu He, Ne, Kr jne. Need istuvad kui erakud oma hütis, olles toppinud väliskestas kõik ukсед ja aknad kinni, et

katkestada igasugust suhtlemist välismaailmaga. Nende elektronkatete väliskestad sisaldavad ainult 8 elektroni, kuna seesmistes kestades võib olla ka rohkem kui 8 elektroni teed.

Kui väliskest on elektronidest küllastatud, siis numbri poolest järgneval aatomil on juba uus väliskest, mis sisaldab ainult ühe elektroni. Toome siinkohal liitiumi, naatriumi ja fluori aatomite elektronkatte lihtsa skeemi (joon. 9). Liitiumil (nr. 3) on

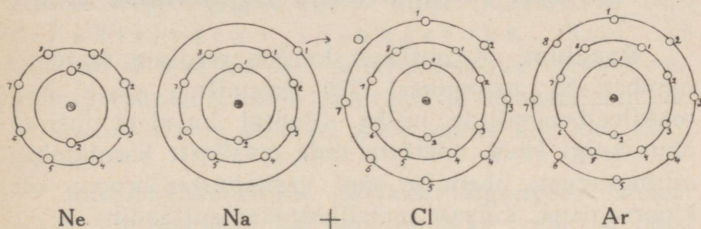


Joon. 9. Liitiumi, naatriumi, fluori ja neoni aatomi skeem.

L-kestas 1 elektron, Na (nr. 11) M-kestas 1 elektron, fluorigil (nr. 9) L-kestas 7 elektroni, kuna neoonil (nr. 10) oleks teine, s. o. L-kest maksimaalselt täidetud 8 elektroniga. Keemilise ühendi kujutamiseks vaatleme naatriumi ja kloori ühendit, NaCl, mis on kõigile tuntud lauasoolana. Naatrium, sisaldades väliskestas ühe elektroni, annab kergelt selle elektroni üle kloorile. Üleläänud elektron seob kahte aatomit väga tugevalt ühte (joon. 10). Mõlemad aatomid on selle ühise elektroni tõttu saanud väliskestad, mis sisaldavad ainult 8 elektroni teed. Üks neist on muutunud näiliselt neooniks, teine argooniks ja on seega

kaotanud kõik oma tähelepanu välismaailmale. Näib, et keemilised ühendused võivad toimuda säärate aatomite või aatomihulkade vahel siis, kui seejuures nende väliskestad küllastuvad elektronide teedega.

Kuidas aatomite elektronkate tegelikult välja näeb, seda ei saa keegi täpselt öelda — sest keegi ei



Joon. 10. Keedusoola keemilise ühendi skeem.

ole aatomi elektronkatet näinud ega ole ette näha mingit võimalust seda nähtavaks teha ilma aatomit lõhkumata.

Ja aatomi lõhkumiselgi jääb elektronkate ikka nägemata. On küll püstitatud mitmesuguseid hüpoteese elektronkatte ehituse kohta. Need hüpoteesid põhinevad füüsikalistel nähtustel, mida aatom esile kutsub. Kuid need hüpoteesid ei tee elektronkatet nähtavaks. Võiks arvata, et selleks, et elektroni teid aatomis näha, peab inimene muutuma väga väikeseks, umbes aatomi suuruseks. Kui inimene saaks end vähendada 15 kuni 20 miljardit korda, siis võiks ta rännata aatomite kõikuval pinnal ja aatomite alalise liikumise tõttu oma elu alatasa hädaohtu viies võiks ta aatomit lähemalt uurida vähemalt väljastpoolt. Ja

kui tal oleks kasutada hea pikksilm, mis tugevasti suurendab ja suuri kaugusi lähedale toob, siis võiks ta aatomist 100 000 korda väiksemaid kehakesi — elektrone — tiirlemas näha. Võib-olla ainult siis näeks ta aatomit tervikuna, näeks mikrokosmost.

III. Uraani radioaktiivne lagunemise rida.

Radium. Keemiliselt kuulub radium (aatominumber 88, aatomikaal 226, keemiline märk Ra) muldleelismetallide hulka. Puhtal kujul ei püsi ta õhus kuigi kaua, mistõttu teda tavaliselt kasutatakse mitmesuguste ühendite näol, vesilahustes broom- või kloorsoolana, kuivalt metallkestades sulfaadina.

Radiumiaatom paiskab aatomituumast α -kiire, muundudes ise radiumiemanatsiooniks ehk radooniks. Metall radium muutub kaheks gaasiliseks aineks. Seda on hõlpus kindlaks teha. Kui asetada radiumi õhukindlalt tühjaks pumbatud klaastorukesse, siis mõne aja möödudes võime spektraalanalüüsi abil kindlaks teha klaastorus kahe uue gaasi — heeliumi ja radiumiemanatsiooni ilmumist. Millest nad tekivad? Radiumiaatom paiskab lagunemisel endast α -kiire, s. o. heeliumi aatomituumat. Radiumi aatomi järelejääva osa aatomikaal on $226 - 4 = 222$ ja aatominumber $88 - 2 = 86$. Need andmed on radiumiemanatsiooni aatomil (vt. Mendelejevi tabel lk. 26).

Et radiumiemanatsioon on gaas, siis võib teda radiumist pumpamise abil hõlpsasti eraldada ja eraldi uurida. Ilmneb, et radiumiemanatsioon on

tugevasti radioaktiivne aine, sest ta poolestusaeg on lühike, umbes 3,825 päeva. 40 päeva jooksul häviks kogu emanatsioon, kui teda raadiumist juurde ei teki. Seda nähtust uurides satume huvitavale asjale — raadiumiemanatsiooni laguneb niisama palju, kui palju teda raadiumist pidevalt juurde tekib. Säärane järjekindlus valitseb kõigi looduses esinevate radioaktiivsete ainete vahel, mida nimetatakse radioaktiivseks tasakaaluks. Kuid see tasakaal ei teki üle-öö. Äsjavalmistatud värskes raadiumipreparaadis tekib raadiumi ja emanatsiooni vahel radioaktiivne tasakaal alles umbes ühe kuu möödudes.

Emanatsiooniatom paiskab lagunedes endast α -kiire, muundudes ise raadium-A-ks, mis on omakorda radioaktiivne aine, kuid esineb tahkes olekus, nagu kõik temale järgnevad aatomi lagunemissaadused, langedes emanatsiooni sisaldava nõu seintele. See sadestus seintel on tuntud radioaktiivse sadestise nime all.

Raadiumi tabel näitab raadiumi lagunemise saadusi. Tabelis on antud iga radioaktiivse aine aatominumber, aatomikaal, kiirguse iseloom ja poolestusaeg.

Aatomikaalu ja -numbrit välja arvutada on lihtne: iga α -kiir vähendab aatomikaalu 4 ühiku ja aatominumbrit 2 ühiku võrra. β -kiire kui elektroni kaal on võrreldes aatomikaaluga niivõrra väike, et aatomikaalu arvutamisel β -kiirt üldse arvesse ei võeta. Nagu teada, tähendavad aatominumbrid aatomituuma positiivsete laengute arvu. Kui aatomituumast välja paisatakse β -kiir, mille laeng on negatiivne ja mis aatomituumas sidus ühte positiivset laengut, siis suureneb tuuma laeng ühe vabaks saanud positiivse

Raadiumi tabel.

	Aatomi- number	Aatomi- kaal	Poolestus- aeg	Kiirte- liik
Raadium	88	226	1580. a. ¹	α
Ra-emanatsioon	86	222	3,825 d.	α
Raadium-A	84	218	3,05 d.	α
Raadium-B	82	214	26,8 min.	β, γ
Raadium-C	83	214	19,7 min.	α, β, γ
Ra-C ^I	84	214	1,5 · 10 ⁻⁸ sek.	α
Ra-C ^{II}	81	210	1,32 min.	β, γ
Raadium-D	82	210	22 a.	β, γ
Raadium-E	83	210	4,85 d.	β, γ
Raadium-F (poloonium)	84	210	136,5 d.	α
Raadium-G (plii)	82	206		

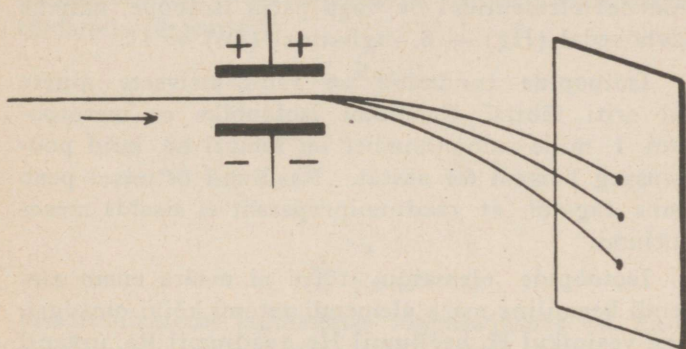
laengu ühiku võrra. Seega iga β -kiire väljapaiskamine suurendab aatominumbrit ühe võrra.

Isotoobid. Nagu raadiumi tabelist nähtub, omavad raadiumi lagunemise saadustest Ra-B, Ra-D ja Ra-G aatomituumad võrdset alglaengut, kuid erinevat aatomikaalu. Selliseid elemente, millel on tuumalaeng võrdne ja aatomikaal erinev, nimetatakse *isotoopideks*, mis kreeka keeles tähendab 'samakohalised', olles ühe numbri all ühel ning samal kohal Mendelejevi tabelis. Keemiliste omaduste poolest on isotoobid täielikult identsed, kuna algaine keemilisi omadusi määrab ta koht Mendelejevi tabelis. Radioaktiivsete elementide isotoopia nähtuse avastas F. Soddy 1905. a. Hiljemini selgus, et paljudel mitte-radioaktiivseil elementidel on isotoobid. Selle küsimuse lahendas F. W. Aston, mis

¹ a. = aasta; d. = päev; min. = minut; sek. = sekund.

teadusliku teene eest teda austati Nobeli keemiaauhinna.

Kuidas tuli Aston sellega toime? Aga kuidas sorteeritakse vilja? Läbi sõela lastes saab küll ühesuursi teri sõela alla, kuid mitte üheraskusi. Kergemad tuleb tuule jõul minema puhuda, siis saadakse üheraskusi teri. Ka Aston ehitas endale aatomite sorteerimise masina. Selleks rakendas ta tööle vaakuumtoru, kus uuritava aine aatomile gaasi-



Joon. 11. Astoni aatomite sorteerija.

taolises olekus antakse suur kiirus. Aatomite voolu mõjustati kas magneti- või elektriväljaga. Selleks tuli aatomite voolu lasta läbi volata elektromagneti pooluste vahelt või läbi pilu kahe metallplaadi vahel, milledest üht laeti positiivselt, teist negatiivselt (joon. 11). Elektri või magneti jõujooned toimivad aatomitele, kusjuures kergemad aatomid alluvad kergemini mõjustusele ja muudavad kergemini oma liikumissuunda kui raskemad aatomid. Kui nende teekonnale asetada avaustega kastikesed, siis igasse kasti

eraldi koguneksid üheraskused aatomid. Kastide asemele võib asetada fotoplaadi, millele langedes üksikud aatomid jäädvustaksid end pildistamisega. Nii toimis Aston isotoope uurides.

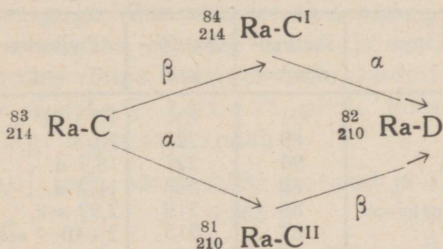
Isotoopide olemasolu seletab, miks mõnede elementide aatomikaal kaldub täisarvust väga tugevasti kõrvale. Näiteks kloori aatomikaal on 35,46; see on tingitud asjaolust, et tavaliselt leidub aatomikaaluga 35 neli korda rohkem aatomeid kui aatomikaaluga 37. Mõnedel elementidel on väga palju isotoope, näiteks elavhõbedal (Hg) — 8, inglistinal (Sn) — 11.

Isotoopide tundmine on radioaktiivsete ainete alal eriti tähtis. Raadiumi isotoobiks on mesotoorium I, mille aatominumber on samuti 88, kuid poolestusaeg kõigest 6,7 aastat. Raadiumi ostmisel peab olema tagatis, et raadiumipreparaat ei sisalda mesotooriumi.

Isotoopide olemasolu tõttu ei määra enam elemendi keemiline märk elemendi aatomi kõiki omadusi, nagu vesinikul H, heeliumil He, raadiumil Ra, uraanil U, jne. Et elemendi aatomit täpsemalt iseloomustada, selleks asetatakse tema keemilise märgi ette kaks arvu, milledest ülemine tähistab aatominumbrit, alumine aatomikaalu, nagu Mendelejevi tabelis. Seejärel märgime: vesiniku ${}^1_1\text{H}$, heeliumi ${}^4_2\text{He}$, raadiumi ${}^{88}_{226}\text{Ra}$, uraani ${}^{92}_{238}\text{U}$. Et vesinikul esineb isotoop, nn. r a s k e v e s i n i k, mille aatomituum on kaks korda raskem vesiniku aatomituumast, siis võimaldab üksnes mainitud märkimisviis eraldada harilikku vesinikku (${}^1_1\text{H}$) raskevesinikust (${}^2_1\text{H}$). Raskevesiniku aatomikaal on 2, tuumalaeng, s. o. aatominumber aga 1. Arvatavasti kõik on lugenud ajalehist

raskevesinikust ja raskeveest. Nagu harilik vesinik, keemiliselt hapnikuga ühinedes, annab hariliku vee, nii annab raskevesinik hapnikuga ühinedes raskevee. Seda raskevesinikku nimetatakse sageli ka deuteriumiks, sümboliga $\frac{1}{2}D$.

Raadiumi tabelist nähtub, et Ra-C lagunemine toimub kahesuguselt, Ra-C^I või Ra-C^{II} kaudu, et anda Ra-D. Esimesel juhul paiskub välja esmalt β - ja pärast α -kiir, teisel juhul on kiirguse järjestus ümberpööratud. Seda kahesugust lagunemisviisi võime tähistada järgmiselt:



Raadiumiaatomi lagunemise lõppsaaduseks on Ra-G, mis osutub pliiks (seatinaks), aatomikaaluga 206. Raadiumi tekib looduses pidevalt juurde uraanist, nagu seda näitab uraani tabel.

Uraani tabel.

	Aatomi- number	Aatomi- kaal	Poolestusaeg	Kiirgus
Uraan - I	92	238	$5 \cdot 10^9$ d.	α
Uraan - X _I	90	234	24 d.	β, γ
Uraan - X _{II}	91	234	1,15 min.	β, γ
Uraan - II	92	234	10^8 a.	α
Ioonium	90	230	10^5 a.	α
Raadium	88	226	1580 a.	α

Uraan annab aatomi järk-järgulisel lagunemisel raadiumi, viimane aga lõpp-produktina plii. Järelikult ka uraani aatomi muundumise lõppsaaduseks on samuti plii, aatomikaaluga 206.

Aktiinium. Nagu õpetlased on kindlaks teinud, leidub uraani sisaldavais kivimeis peale raadiumi veel aktiiniumi. Viimane on samuti radioaktiivne aine ja annab terve rea aatomi muundumise protsesse, mis on toodud aktiiniumi tabelis.

Aktiiniumi tabel.

	Aatomi- number	Aatomi- kaal	Poolestus- aeg	Kiir- gus
Protaktiinium	91	231	$1,2 \cdot 10^4$ a.	α
Aktiinium	89	227	20 a.	β
Radioaktiinium	90	227	18,9 d.	α
Aktiinium-X	88	223	11,2 d.	α
Aktiiniumiemanatsioon	86	219	2,92 sek.	α
Aktiinium-A	84	215	$2 \cdot 10^{-3}$ sek.	α
„ -B	82	211	36 min.	β, γ
„ -C	83	211	2,16 min.	α, β, γ
„ -CI	84	211	$5 \cdot 10^{-9}$ sek.	α
„ -CII	81	207	4,76 min.	α, γ
„ -D (plii)	82	207	—	—

Aktiiniumi saadakse protaktiiniumi aatomi lagunemisest, nii et protaktiiniumi aatomi lagunemise lõppsaaduseks on jällegi plii, kuid aatomikaaluga 207, mis on raadiumi lagunemise puhul saadud plii isotoobiks. Aktiiniumi rea aatomikaale arvesse võttes võib tulla otsusele, et protaktiinium ja aktiinium arenevad uraani isotoobist, mis oma lagunemisel ei anna raadiumi (võrdle uraani tabelis antud aatomite aatomikaale aktiiniumi tabeli omadega), küll aga protaktii-

niumi ja aktiiniumi. *Aston* avastas selle isotoobi ja nimetas ta aktinouraaniks.

Radioaktiivne ajanäitaja. Uraani ja uraani lagunemise lõppsaaduse — plii — kaalulist vahekorda on võimalik välja arvutada, sest radioaktiivne aatomite lagunemine toimub äärmiselt täpselt kindla aja järel. Seega osutub uraani aatomite radioaktiivne lagunemine täpseks ajanäitajaks, mille iga on miljardeid aastaid.

Kui Maa pealispind muutus kõvaks, siis sattus kivimite hulka uraani, mida paljudes kohtades võib leida praegugi. Osa uraanist on aegade jooksul muundunud seatinaks. Teades uraani ja seatina kaalulist vahekorda, võime määrata selle kivimi vanust, kui võtame aluseks *J. J. e a n s'i* poolt koostatud tabeli. Selle järgi 1 g uraani annab

100 milj. aasta pärast	0,985 g	uraani	ja	0,013 g	seatina
1000 „ „ „	0,865 g	„	„	0,016 g	„
2000 „ „ „	0,747 g	„	„	0,219 g	„
3000 „ „ „	0,646 g	„	„	0,303 g	„

Selle ajaarvestuse meetodi järgi loetakse vanemate kivimite eaks umbes 1400 miljonit aastat. Elu algust Maal arvestatakse sama ajameetodi alusel 300 kuni 1000 miljonile aastale. Taimestiku ja merekalade eluiga arvestatakse mitte rohkem kui 400—600 miljonile aastale. Ammu Maa pinnalt kadunud suurte roomajate, brontosauruste, hammastega lindude ajajärku arvestatakse umbes 140 kuni 200 miljonit aastat tagasi. Esiimesed imetajad pole mitte väga ammu ilmunud eluvõitluse areenile — seda aega hinnatakse kõigest 60 miljoni aastaga.

Raskem on Maa iga välja arvutada. *H. N. R u s -*

se l on uurinud laavamasside koostist. Oletades, et kogu plii laavamassis on tekkinud uraanist, ei tohiks radioaktiivse ajanäitaja järgi Maa vanus olla suurem kui 3000 miljonit aastat. Maa vanus peaks ennem väiksem olema, sest osa pliid on kindlasti pärit ajast enne Maa tekkimist.

IV. Tooriumi radioaktiivne lagunemise rida.

Mesotoorium. 1828. aastal rootsi keemiku J. J. Berzeliuse poolt avastatud toorium on osutunud radioaktiivseks aineks, mis annab rea radioaktiivseid aineid. Tähtsamaks tooriumimaagiks on monatsiitliiv, mida Brasiilias leidub külluses ja mis sisaldab umbes 4—5% tooriumoksüüdi. Tooriumi tarvitatakse gaasisukkade valmistamiseks. Selle tööstuse jäätmeist on võimalik eraldada mesotooriumi. Monatsiitliivast valmistatud mesotoorium sisaldab kuni 20% raadiumi, kuna monatsiitliiv sisaldab ka raadiumi. Mesotoorium ja raadium on isotoobid, s. o. nende aatominumber on üks ning sama, s. o. 88, kuigi nad on sootuks iseliiki ained ja järgnev radioaktiivne lagunemine annab erisuguseid saadusi. Mesotooriumi kasutatakse ravi otstarbeks. Eristatakse mesotoorium-I ja -II, millel on erinev poolestusaeg.

Toorium-X. Tooriumi reas teiseks väga tarvilikuks ravivahendiks on osutunud toorium-X, mida tema poolestusaja ja järgnevate lagunemisproduktide poolest võiks võrrelda raadiumiemanatsiooniga. Tooriumi radioaktiivne lagunemise rida on esitatud tooriumi tabelis.

Tooriumi radioaktiivne lagunemise rida lõpeb

Tooriumi tabel.

	Aatomi- number	Aatomi- kaal	Poolestus- aeg	Kiir- gus
Toorium	90	232	$1,7 \cdot 10^{10}$ a.	α
Mesotoorium-I	88	228	6,7 a.	β, γ
" -II	89	228	6,2 h (tundi)	β, γ
Radiotoorium	90	228	1,9 a.	α
Toorium-X	88	224	3,64 d.	α
Tooriumiemanatsioon	86	220	54,5 sek.	α
Toorium-A	84	216	0,14 sek.	α
" -B	82	212	10,6 sek.	β, γ
" -C	83	212	61 min.	α, β, γ
" -CI			10-11 sek.	α
" -CII			3,2 min.	β, γ
" -D (plii)	82	208	—	—

pliiga, mille aatomikaal on 208. On selgunud, et pliil on kolm isotoopi; radiumiplii aatomikaaluga 206, protaktiiniumiplii aatomikaaluga 207 ja tooriumiplii aatomikaaluga 208.

V. Kunstlik radioaktiivsus ja aatomiline süntees.

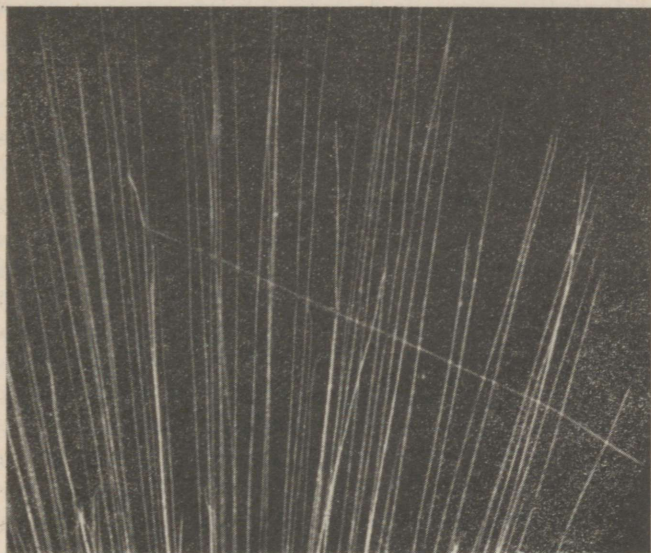
Uraani ja tooriumi radioaktiivsus näitab kujukalt, et ühest algaainest tekib uus algaine aatomituuma lagunemise teel. Näib, nagu täituks keskaegsete alkeemikute muistne unistus elementide muundumisest, mida nad taotlesid kulla valmistamise otsinguil. Mida ei suutnud saavutada alkeemikud oma müstiliselt sisustatud laboratooriumes, see toimub „vägeva looduse töökojas“ nagu iseenesest. Nii tekivad radiumist pidevalt heelium ja radiumiemanatsioon ning

lõpuks plii. Igasugused katsed mõjustada radioaktiivsete ainete muundumise kiirust või suunda nurjusid. Samaaegselt kerkis küsimus, kas on võimalik ka kunstlikult muundada aatomeid. Aja jooksul õnnestuski teadlastel tekitada uusi aatomeid, neid lammutades või liites. Aatomituumade lammutamisel tekivad raske- maist aatomeist kergemad, nagu see toimub iseenesest radioaktiivsete ainete juures. Aatomituumade liitmisel aga tekivad kergemaist aatomeist raskemad, mis nähtus on tuntud a a t o m i l i s e s ü n t e e s i nime all.

Aastal 1919 õnnestus E. R u t h e r f o r d i l muundada lämmastikuaatomit (${}_{14}^7\text{N}$), mis tavaliselt on püsiva ehitusega. Ta asetas radioaktiivse aine ühte ruumi lämmastikugaasiga ja märkas liikuva prootoni (${}_{1}^1\text{p}$), s. o. vesiniku aatomituumama (${}_{1}^1\text{H}^+$) ilmumist¹. Et vesiniku ligipääs väljastpoolt lämmastikugaasiga täidetud ruumi oli võimatu, siis oletas E. Rutherford, et ainult α -kiired võisid lämmastiku aatomituumast välja paisata prootoni, s. o. vesiniku aatomituumama. Seda E. Rutherfordi poolt esimesena sooritatud aatomi purustamise katsed tõestasid hiljemini vastavad uurin- gud Wilson'i udukambri abil (joon. 12).

Inglise füüsik P. M. S. B l a c k e t t pildistas aatomi purustamise. Selleks sooritas ta 23 000 pildis-

¹ Et prooton on vesiniku aatomituum, seega positiivselt laetud, erinedes neutraalses seisundis olevast vesinikuaatomist ainult positiivse laenguga, siis tähistatakse seda erinevust plussmärgiga (+) vastava elemendi sümboli kohal. Iga üksik plussmärk tähistab üht positiivset alglaengut. α -kiir erineb heeliumiaatomist kahekordse positiivse alglaenguga, mida tähistatakse kahe plussmärgiga. Negatiivset alglaengut tähistatakse miinusmärgiga (-). Nii tähistatakse elektroni: e^- ; positroni: e^+ .



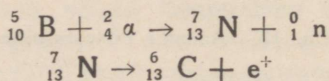
Joon. 12. Aatomi purustamine.

tust Wilson'i udukambri abil. Kogusummas 415 000 α -kiire teekonnal juhtus ainult kaheksal korral katastroof, mis lõppes lämmastikuaatomi purunemisega. α -kiire ja lämmastikuaatomi vahel toimus sel puhul järgmine reaktsioon: α -kehake tungis lämmastiku aatomituuma ja, ühinedes viimasega, paiskas sealt välja ühe prootoni: ${}_{14}^7\text{N} + {}_2^4\alpha \rightarrow {}_{17}^8\text{O} + {}_1^1\text{p}$. Peale märki \rightarrow on üles tähendatud toimunud reaktsioon. Wilsoni udukambri abil tehtud pildistusel näeme α -kiire liikumisteed jämeda joonena, mis hargneb järsku kaheks — üheks peenikeseks, mille tekitas

prootoni liikumine, ja teiseks lühikeseks ning jämedaks, mille tekitas hapniku isotoop (${}^8_{17}\text{O}$).

Neli aastat hiljem õnnestus E. Rutherfordil, pommitades alumiiniumi α -kiirtega, välja kutsuda prootonkiirgust. Sellele järgnes terve rida katseid teiste elementide aatomitega.

Erilise kuulsuse saavutas oma katsetega abielupaar Joliot-Curie. Frédéric Joliot ja ta naine Irène Curie, radiumi avastaja abielupaari Curie tütar, uurisid α -kiirte toimet booriaatomile. Nad leidsid, et kiiritusel saadud aine kiirgab ja jätkab kiirgamist veel hiljemini, saates välja positrone. Selle nähtuse kindlakstegemisega avastasidki nad 1934. a. nn. kunstliku radioaktiivsuse. Mõjustades boori α -kiirtega saavutasid nad radioaktiivse aine, mille aatom laguneb ja saadab välja positronkiiri, omades seejuures poolestusaega 14 minutit. See aatomi muundumisprotsess toimub järgmiselt ¹:



Selles katses ilmnevad mõningad suure tähtsusega asjaolud. Reaktsioon toimub kahes järgus. Esimeses järgus tekib ${}^7_{13}\text{N}$ ja ${}^0_1\text{n}$. Booriaatomi tuumas toimus α -kehakese toimel ümberkujunemine, mille tulemuseks saime neutroni kiirguse ja lämmastiku isotoobi. Ent saadud lämmastiku isotoop osutus ebastabiilseks ehk püsitu aatomituumaga elemendiks, mille aatomituum laguneb iseenesest ilma välise mõjuta, andes

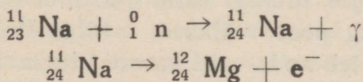
¹) Antud muundumisvalemis B, N ja C tähistavad Mendelejevi tabelis esinevaid elemente: boori, lämmastikku ja süsinikku. Märkid n, e⁺ tähistavad neutronit ja positroni.

süsiniku isotoobi (${}^{13}_6\text{C}$) ja positronkiirguse. Lämmastiku isotoop osutub aineks, millel on samad omadused kui raadiumil, s. o. nende mõlemate aatomituumad lagunevad iseenesest. Kui üks aine (raadium) omab loomulikku radioaktiivsust, siis teise aine omadust nimetati kunstlikuks radioaktiivsuseks.

Järgnevad katsed näitasid, et kiiritamise toimele tekivad elementidel püsitu aatomituumaga isotoobid. Viimased muunduvad iseenesest lagunemisel püsiva aatomituumaga elemendiks. Neid püsitu isotoope tähistas abielupaar Joliot-Curie „radio“ lisandamisega elemendi nimetuse ette. Nii tähendab radiolämmastik, et on tegemist radioaktiivse lämmastikuga, mille aatom evib radioaktiivse elemendi omadusi.

Oma katseiks kasutas abielupaar Joliot-Curie eriti tugevat raadiumpreparaati, mis andis ümmarguselt biljon α -kiirt sekundis. Iga kümne miljoni α -kiire kohta toimus üks tabamus, mis lõppes booriaatomi muundumisega radiolämmastikuks. Seetõttu õnnestuski saavutada radiolämmastikku vajalikus koguses, mis võimaldas seda keemiliselt määrata.

Kunstliku radioaktiivsuse teise näitena võiks tuua radionaatriumi tekkimist tavalise naatriumi (${}^{23}_{11}\text{Na}$) mõjustamisel neutronkiirtega (${}^0_1\text{n}$):



Toodud valem näitab kogu protsessi käiku. Neutron (${}^0_1\text{n}$) tungib naatriumi (${}^{11}_{23}\text{Na}$) aatomituumama, milles tekib tuumaehituse ümber-rühmitus. Selle tulemuseks on γ -kiirgus ja radionaatriumi (${}^{11}_{24}\text{Na}$) tekki-

mine. Viimane on naatriumi isotoop, mille aatomituuma lagunedes paiskub viimasest elektron, s. o. β -kiir (e^-). β -kiire tõttu tõuseb aatomituuma positiivsete laengute arv ühe võrra. Selle tulemuseks on aatomituum tuumalaenguga 12 ja aatomikaaluga 24, mis omadused on magneesiumi aatomituumal.

Kunstliku radioaktiivsusega algaineid on valmistatud juba õige rohkel arvul. Katsetamisel selgus, et peale 46. elemendi (Pd) α -kehakesed ei avalda raskemate aatomite juures enam mingit mõju. Ükski pommirünnak ei andnud tulemusi. Kas on siis raskema elemendi aatomituum teisiti ehitatud või on sel paremad pommitamised? Asi selgus üsna lihtsalt. Aatomituumad on, nagu teame, positiivselt laetud. Samuti on positiivselt laetud α -kehake. Kui ühelaadselt laetud kehakesed tõukuvad nad vastastikku eemale. See vastastikune tõuketung on seda suurem, mida suuremad on kehakeste elektrilaengud, s. o. mida suurem on aatominumber. Seega on raskemate elementide aatomituumadel niivõrra tugev tõuketung α -kehakesele, et viimase energiast ei piisa α -kiire tungimiseks raske elemendi aatomituuma. Aga mis siis juhtub, kui võtta kuuliks väiksema laenguga kehake, näiteks prooton? Selgus, et prootonikiirgust aatomite pommitamisel kasutades suudab prooton tungida isegi selliste aatomite tuuma, kuhu α -kiir ei pääse. On ju protoni laeng poole väiksem α -kiire elektrilaengust. Prootonile tuleb anda vaid vastav kiirus, s. o. ta tuleb varustada säärase energiakogusega, mis võimaldab ta tungimist kiiritatud aatomituuma. Kuid ka prootonkuulil on oma tegevuspiir. Kasutades kuulina protoni sugulast — isotoopi — raskevesinikku ehk deuteriumi $= \frac{1}{2} D$, saame aatomituumast sama vastastikuse

tõukuvuse kui prootoni puhul, kuid deuteeriumkuulid on kaks korda raskemad, seega aatomituuma mõjustamise jõud samuti tugevam. Deuteeriumikiirgusega võib mõjustada üle 30 elemendi rohkem kui prootoniga. Kuulidele tuleb anda vaid vastav kiirus. Kuidas seda teha?

Füüsikast teame, et vaakuumtorus, milles asetsevad mõlemad elektrodid, võib panna teatud õhuhõrenduse puhul ioniseeritud aatomeid väga kiiresti liikuma. Liikumiskiirus on seda suurem, mida suurem on elektrodide vaheline pinge. Valides vastava pinge, võime heeliumiaatomile anda sama kiiruse, mis on α -kiirel, saades nii kunstlikult valmistatud α -kiirguse, millel on samad omadused kui radioaktiivsuse puhul esineval α -kiirgusel. Samal põhimõttel toimides võib vesinikuaatomi tuumale — prootonile anda kiiruse, mis lubab prootonit kasutada aatomi muundamise protsessidel. Sama lugu on deuteeriumi kiirgusega. Selleks otstarbeks on konstrueeritud kõrgepinge-aparaate, mis suudavad anda enam kui miljon volti. Need kõrgepinge-aparaadid on väga mahukad, väga ruuminõudvad ja kallid. Kõrgeimaks sel viisil säävutatud pingeks on seni 2,5 miljonit volti. Kuid 2,5 miljoni voldisest pingest ei piisa kaugeltki, et läbi viia kõiki aatomi muundamise protsesse, sest aatomi tuumosade sideenergia nõuab märksa tugevama energiaga kuule. Seepärast on teretulnud iga uus idee, mille rakendamine võimaldab mikrokuulidele anda suuremat kiirust, seega suuremat energiat. Ameerika õpetlane E. O. Lawrence konstrueeris erilise masina, mis masinas liikvele pandud ioonidele lisab korduvalt uusi kiirendusi. Et kiirendusi suurendatakse tsükliliselt, siis nimetatakse masinat t s ü k l o -

t r o n i k s. Masina töölerakendamisel on endisega võrreldes palju paremusi, sest masinaga võib saavutada kuni 10 miljonit volti. Teoreetiliselt on võimalik saavutada veelgi suuremat kiirgumisenergiat, kuid senise konstruktsiooniga masinas purunevad seejuures üksikud osad. Kuigi masin tarvitab kohutavalt palju elektrienergiat, mis ulatub mitmekümnele kilovatile, annab masin ainult mõnisada vatti, mis aga arvutatult raadiumikiirgusele vastab umbes 1000 g raadiumile, mis kvantumit ei ole suudetud veel maailmas koguda. Masina kasutamine on lihtne, õpetlane võib asuda eemal, väljaspool hädadohtlike katsete ruumi. Ei ole ime, kui sellise tähtsa masina eest annetati Lawrence'ile Nobeli auhind. Ameerikas töötab kümneid Lawrence'i tsüklotrone.

Mida on saavutatud aatomituuma uurimistega? Millised on paljude õpetlaste töö tulemused sel alal? On selgunud, et on võimalik niisuguste mikrokuulidega kui α -kehake, prootoni- ja deuteriumikiirgus mõjustada aatomituuma. Samuti on selgunud, et aatomituuma mõjustamiseks on väga kohane neutron, sest see, evimata laengut, ei tõuku ühestki aatomituumast eemale. Neutron on võimeline tungima isegi raskeima aatomi, uraani tuuma; eriti aeglaselt liikuvad neutronid, asudes aatomituuma külge, kutsuvad esile tuuma reaktsiooni.

Milles seisneb see reaktsioon? Kiiritatud aatomituuma tunginud kehake võib sealt jälle kohe lahkuda, kuid võib sinna ka peatuma jääda, millele järgneb aatomituuma ümberkujunemine. Viimast nähtust nimetataksegi reaktsiooniks. Tuuma ümberkujunemise tagajärjel on tähele pandud mitmesugust kiir-

gust ja püsiva või püsitu tuumaga aatomi tekkimist. Viimasel juhul saadaksegi radioaktiivne aatom.

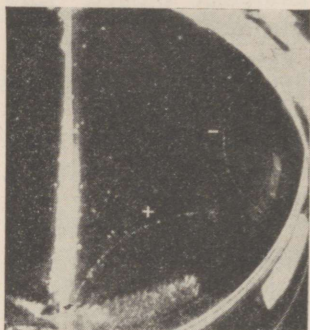
Aatomituuma muundumist on katsutud saavutada ka elektroni- ja positronikiirtega. Seni ei ole sel alal veel mingeid tulemusi saadud, arvatavasti küll seepärast, et nende kehakeste liikumisenergia ei ole selleks küllaldane, et tungida aatomituuma ja tekitada seal reaktsiooni. Selleks on tarvis aparate, mis suudaksid anda senisest veelgi suuremat pinget. Küll aga on saavutatud mõningaid tulemusi, kiiritades aatomeid γ -kiirtega. Terve rida katseid tõendab, et sel puhul tekib paljudel elementidel radioaktiivne aatom.

Millist praktilist eesmärki taotlevad katsed kunstliku radioaktiivsuse alal? Muidugi mitte seda, et soetada raadiumile aseainet, kuigi me elame praegu aseainete leiutamise ajajärgul. Senised saavutised ei luba seda lootagi, sest senileiutatud kunstlike radioaktiivsete ainete poolestusaeg on liiga lühike selleks, et neid võiks kasutada nende valmistamiskohast kaugemal. Küll aga võimaldavad kunstlikud radioaktiivsed ained jälgida füsioloogilisi protsesse organismis, sest radioaktiivse aine jälgimine organismis on kerge.

Uurimised aatomituuma muundumise alal ei ole praegu välja jõudnud laboratooriumiseinte vahelt. Uute elementide massiline valmistamine ei ole tänapäeva alkeemikuil veel läbiviidav. Raske on muidugi ennustada, mida toovad järgnevad katsed. Kuid ka senised tulemused on suure väärtusega. Meie teadmised täienevad ja meie arusaamine meid ümbritsevast maailmast laieneb. Nii mõnigi varemini täiesti mõistmatuks osutunud probleem selgib. Kuid see kõik on alles suure töö algus, mis õpetlasi ootab.

VI. Materia ja energia.

Wilsoni udukamber võib muinasjutte pajatada, ta võib neid isegi pildistada. Wilsoni udukamber näitab, kuidas γ -kiir, jalutades kambris oma tavalise kiirusega 300000 km/sek., äkki jaguneb kaheks meile tuntud kehakeseks — elektroniks ja positroniks (joon. 13). Et udukambrit mõjustatakse tugeva



Joon. 13. Elektroni ja positroni tekkimine.

elektromagnetiga, siis üks kehake pöörduv ühele ja teine kehake teisele poole magneti tungjoontest. Joonisel 13 on kehakeste lahkuminevad teed märgitud pluss- ja miinus-märkidega. Juba 1933. a. võis abielupaar J o l i o t seda nähtust jälgida. J. C h a d w i c k on Wilsoni udukambri abil pildistanud γ -kiire muundumist kaheks kehakeseks. γ -kiir kui energia kaob, asemele teki-

vad kiiresti liikuvad kehakesed γ -kiire leviku suunas. Kuidas see protsess täpselt toimub, kes võib seda öelda? Ainult et muundumine toimub aatomituuma piirkonnas. Mida tugevamad on γ -kiired, seda rohkem kutsuvad nad esile kehakeste paaride tekkimist. Kuid see ei ole veel kõik. 1934. a. täheldas T h i b a u d, et elektron ja positron kokku sattudes muutuvad γ -kiireks. Kehakesed kui niisugused kaovad ja muutuvad γ -kiireks, mis on elektromagnetiline lainetus, seega energia. Kuid kuhu kadus

mateeria, kuhu kadus neis kehakesis olev aine? Eks ole see kui muinasjutt? Kuskilt ilmub γ -kiir, energia erivorm, ja muutub mõningail tingimusil kaheks kehakeseks, mateeriaks, s. o. aineks. Samad kehakesed, aine osakesed võivad aga samuti kaduda, muutudes γ -kiireks, energiaks. See ei ole fantaasia ega muinasjutt — neid nähtusi on Wilsoni udukambri abil pildistatud.

Kuidas seletada seda nähtust? Kas ei tuleks siin pisut järele mõelda, mis on mateeria, mis on energia? Kas ei vii need mõttemõlgutused meid filosoofia valdkonda, kaugemale reaalsusest? Sugugi mitte, sest reaalset ilmunud nähtuste seletus saab olla ikkagi ainult reaalne.

Mis on teada mateeriast, s. o. aimest? Eks koosne kõik kehad mingist aimest. Kehadel, s. o. ainel on väga mitmesugused omadused. Eks õpita asja omaduste järgi tundma asja ennast. Nii on lood ainega. Kehade üks põhiomadus avaldub selles, et iga keha püsib kas paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt seni, kuni seda olekut ei muuda mõni väline põhjus. Selle kehade põhiomaduse — inertsit avastas G. Galilei ja täpsustas I. Newton. Inertsit mõõduks on mass, aine hulk kehas. Kehade inerts on niisama muutlik kui nende mass. Igapäevased kogemused näitavad, et kehade mass on proportsionaalne nende kaaluga. Seega võime kaalu abil võrrelda kehade massi. Igapäevasist kogemusist nähtub, et keha mass ei muutu, kui me ainet ära ei võta või juurde ei lisa. Seega on keha mass muutumatu suurus. Selle väite lükkas ümber A. Einstein oma relatiivsusteooriaga. Tema väitis, et keha mass muutub keha liiku-

des ja et keha mass muutub tunduvalt, kui kiirus läheneb valguse kiirusele.

Et keha liikuma panna, selleks tuleb kasutada välismõju, jõudu, s. o. energiat, sest energia kui kreekakeelne sõna tähendab jõudu. Pidevalt jõudu tarvitades võime keha panna liikuma üha suurema kiirusega, mis võib läheneda valguse liikumise kiirusele, mis on kõigi liikumiskiiruste maailmarekordiks.

Enne Einsteini relatiivsusteooria avaldamist tekkisid raskused elektroni massi määramisega. Neile raskustele tegi lõpu just relatiivsusteooria. Raskused seisnesid selles, et elektroni massi määrates saadi mitmesuguseid tulemusi, et üks ning sama kehake, elektron, omas eri olukordades erisugust massi, s. o. aine hulka. Nendeks eri olukordadeks olid elektroni liikumise erisugused kiirused. Vaakuum- ehk hõrendustorudes, kus õhurõhumine on väga väikeseks muudetud, saadakse katoodkiirte, s. o. elektronide vool, mille liikumise kiirus on vaakuumtorus valitsevast elektripingest ¹.

Elektroni liikumise kiirus vaakuumtorudes on igapäevaseid elunähtusi arvestades juba väga ebatavaline ja läheneb valguse kiirusele. Et elektroni massi määrati mitmesuguse pingega, järelkult elektroni liikumise mitmesuguse kiiruse puhul, siis oli arusaadav, et iga kord saadi elektronil isesugune mass. Sääraste ebatavaliste olukordade suhtes ei kehti tavalisi

¹ Kui pinge = 100 000 volti, siis elektroni kiirus = 164 500 km/sek.; kui pinge = 150 000 volti, siis elektroni kiirus = 191 000 km/sek.; kui pinge = 200 000 volti, siis elektroni kiirus 209 000 km/sek.

sed igapäevased elukogemused. Siin on tegemist olukordadega, kus tuleb arvestada Einsteini relatiivsusteooria seadusi. Kaufmanni ja teiste poolt ettevõetud mõõtmised näitavad, et liikuva elektroni mass oleneb liikumise kiirusest ja massi muutused vastavad relatiivsusteooria seadustele, nii et nende seaduste järgi on võimalik liikuva keha massi muutusi välja arvutada. Nii on kindlaks tehtud, et elektroni mass suureneb 13% võrra, kui elektroni liikumise kiirus tõuseb 150 000 km/sek. β -kiirel, s. o. elektronil, mis liigub 270 000 km/sek. kiirusega, on 2,5 korda suurem mass kui paigalpäisival või aeglaselt liikuval elektronil. Õige tugevaid β -kiirtel, liikumiskiirusega 297 000 km/sek., suureneb mass juba 7-kordseks. Kosmilistes kiirtes esinevate elektronide mass võib säraselt arvutades tõusta 2000-kordseks, mis juba võrdub aeglaselt liikuva või paigal püsiva prootoni massiga.

Keha liikumise kiiruse suurendamiseks tuleb keha mõjustada jõuga, s. o. kehale tuleb energiat lisandada, olgu see energia mistahes liiki. Energiahulga arvutamine toimub kõige lihtsamalt tööhulga järgi. Liikumise kiirus suureneb, kui keha energiat suurendame 1 kgm (kilogramm-meetri) võrra, samal ajal suureneb ka keha mass. Keha mass suureneb proportsionaalselt keha energia suurenemisega. On arvatud, et keha energia suurendamisega 1 kgm võrra keha mass suureneb $109 \cdot 10^{-15} \text{ g} = 0,000\,000\,000\,000\,109 \text{ g}$ võrra. Nagu näeme, on massi suurenemine väikeste energiahulkade — väikeste kiiruste juures niivõrra väike, et tavalises elus esinevad kiirused ei avalda massi suurenemisele mingit märgatavat mõju. Massi suurenemine tuleb märgatavalt esile alles suurte kiiruste,

suurte energiaannuste puhul. Sellepärast võib tundu-
dagi imelikuna väide, et keha mass võib muutuda vas-
tavalt energia hulga. Igale energiaannusele vastab
keha massi vastava suurenemisega. Kehale antud
energia vorm ei ole tähtis, küll aga energia hulk. Näi-
teks vee soojendamisel lisame veele soojusenergiat.
Varemini arvati, et vee mass jääb seejuures muutu-
matuks. Einsteini relatiivsusteooria alusel muutub
soojenemisel vee mass, s. o. vesi muutub raskemaks,
teiste sõnadega — „soojus kaalub“. 1 kg vee soojen-
damisel 1°C võrra tarvitame soojusenergiat 1 kcal
(kilokalor), vee mass suureneb sel puhul ainult
 $46 \cdot 10^{-12} \text{ g} = 0,000\,000\,000\,046 \text{ g}$ võrra, arv, mis iga-
päevases, tavalises olukorras on tõesti mittemärgatav.

Seega vastab teatud energiahulgale teatud kindel
hulk ainet. Kuid igal paigalpüsival kehal on samuti
mass. Tekib küsimus, kas ka paigalpüsiva keha mass
vastab mingile energiahulgale, mis keha aines on pei-
detud olukorras. Sellele küsimusele vastab relatiiv-
susteooria: keha mass vastab keha energiale. Rela-
tiivsusteooria lubab isegi välja arvutada keha kogu
energiat. Selle arvutuse järgi on massi energia ko-
hutavalt suur. Massi energia, mis on peidus 1 kg-s,
võrdub 25 miljardi kilovatt-tunniga. See oleks lige-
male sama energiahulk, mida annaks ehitusel olev
Kuibõševi hüdroelektrijaam aastas. 2 kg massi enei-
giast piisaks, et katta kogu Volga hüdroelektrijaa-
made aastane energiatoodang.

Kas ei ole toodud arvud küllalt ahvatlevad? Kas
ei sunni need arvud otsima võimalusi, kuidas vabas-
tada aines peidus olevat energiat. Üks tonn kõige
paremat kivisütt annab hapnikus põledes $5 \cdot 10^{16}$

ergi ¹, kuna sama kivisöe massi energia oleks $9 \cdot 10^{26}$ ergi, s. o. 18 miljardit korda rohkem. Kas ei oleks kasulikum kivisöes olevat süsinikku kasutada kas või toormaterjalina kunstiidi valmistamiseks, kuna energiat ammutaksime mõnest väiksema väärtusega aimest? Nende küsimuste lahendamisel on võrratu majanduslik väärtus ja neist ei või niisama mööda minna. Võib uskuda, et sel alal tehakse väga intensiivset tööd. Kuid oma loomuselt on need probleemid esijoones puhtteadusliku väärtusega, mistõttu probleemi lahenduski peab olema eeskätt puhtteaduslik.

Materia ja energia vastastikuste vahekordade selgitamisel võime sageli kohata olukordi, mis võivad näida võimatuina. Einsteini teooria väitis, et energia kaalub. Võiks küsida, kui palju kaalub üks päikesekiir? Selgus, et ei ole lihtne kaaluda päikesekiirt. Inglased korraldasid selleks 1919. a. 2 ekspeditsiooni, ühe Aafrikasse, teise Brasiiliasse. Astronoomid läksid kiirt kaaluma. 29. mail 1919 toimus päikese täisvarjutus, mis oli kõige täielikum Aafrikas ja Brasiilias. Astronoomide ülesandeks jäi selgitada, kas Päike tõmbab enda poole valguskiirt, nagu sisaldaks see endas massi. Selleks tuli mõõta otse Päikese taga asetsevaist tähtedest väljuvate kiirte paindumist päikese kohal. See mõõtmine oli võimalik ainult Päikese täisvarjutuse ajal. Astronoomid tegidki kindlaks, et Päike tõmbab mööduvat kiirt enda poole, nagu sisaldaks kiir mingit kindlat massi. Päikese külgetõmbejõu tõttu kiir paindus oma teelt pisut Päikese poole, mis asjaolu fikseeriti fotoplaa-

¹ Ergi täpne määratlus on kaunis keeruline. Lihtsalt öeldes on erg liikumisenergia, mis suudab 2 g raskusele kehale anda kiiruse 1 cm 1 sek.

dile. Pärastised arvestused näitasid, et Einsteinil oli õigus, et kiir kaalub. Ainult et kiir on väga kerge. On arvestatud, et 50 hobusejõuga töötava prožektori kiirgus 100 aasta vältel kaaluks kõigest 1 g. Niisama palju kiirgab Päikese pinnast 6 ruutsentimeetri suurune lapike 100 aasta vältel. Kui aga arvestada Päikese kogu pindala, siis kaalub Päikese kiirgus 250 miljonit tonni minutis, s. o. 650 korda rohkem kui Niagara joast jookseb vett 1 minuti jooksul. Kuigi üks kiir kaalub lõpmatu vähe, läheb ta valmistamine lõpmatu kalliks. Kui arvestada tänapäeva hinda 24 senti kilovatt-tunni eest, siis läheb 1 g valgust maksma 75 miljardit senti. Sedasama valgust saadab meile Päike iga päev tasuta kohale kokku 160 tonni kogu Maa kohta arvestatult. Kui palju tuleks Maal maksta Päikesele igapäevase valguse eest! Kuid Maa osasaak ei ole kuigi suur, kõigest pool miljardikku osa kogu Päikese kiirgusest. Päike talitab väga pillavalt, iga päev heidab ta maailmaruumi 360 miljardit tonni kiirt, jäädes ise seetõttu aasta vältel kõhnemaks kõigest 131 biljonit tonni.

Käesoleval sajandil on murranguline tähtsus nii teaduse kui ka igapäevase elu vallas. Inimkond on asetatud olukorda, kus ta peab oma tõekspidamist järsult muutma. Vanad kaljukindlad tõed purunesid nagu vürstide ja kuningate troonid. Vanad tõekspidamised asendatakse uutega, mis on suutelised edu näitama. Meie endised arusaamised materiasest on mõranenud, meie arusaamised materiasest on täienenud. Uued tõed tuleb meil kõigil omaks võtta, sest nad on edulised, viivad elu ja teadust edasi.

Üle 2000 aasta vanune tõde aatomi lagunematusesest on teie silmade all kokku varisenud. Algul tõi sel-

leks tõuke looduses esinev radioaktiivsus, hiljemini kunstlik radioaktiivsus. Neis protsessides muutus materia energiaallikaks. Asuti uurima materia ja energia vahetust ning kaaluti päikesekiirt kui ainet. Leiti, et massil on energia ja energial mass. Võiks öelda, et energia ja mass on üks ning sama, et mass ja energia on reaalsuse eri vormid.

Energiaallikad. Nii mõnigi võib küsida, kust võtab Päike selle tohutu suure energia, mida ta nii pillavalt kulutab. Keegi ei ole märganud, et Päikese energia seetõttu kahaneks. Õpetlased teavad isegi rääkida, et Päikese energia aja jooksul suureneb. See on tõesti probleem, mille lahendamine ei ole sugugi kerge.

Kui Päike koosneks parimast kivisöest, siis selle põlemisel vabanevast energiast jätkuks ainult 250 aastaks. Kuid Päike kiirgub vähemalt 2 miljardit aastat. Ka mitmed teised oletused ei andnud küsimusele õiget vastust.

Radioaktiivsuse avastamine tõi selle küsimuse lahendamisele mõningaid väljavaateid. Leiti, et raadium iseenesest soojeneb, et raadium on energiaallikas. On leitud, et kogu soojuse hulk, mida 1 g raadiumi annab lõplikul lagunemisel pliiks, on 3 700 000 000 väikest kalorit. Oli kindel, et raadiumis toimuvad muutused vabastavad selle energiahulga. Keemiast teati, et mitmete keemiliste ühenduste puhul saadakse tublisti energiat. Nii on teada, et kui ühendada 2 g vesinikku 16 g hapnikuga, siis selle reaktsiooni puhul saadakse 68 000 kalorit. Ja see reaktsioon keemias on üks tormisemaid, üks tugevamaid soojusenergia andjaid. Kuid mis on see ener-

giahulk selle kõrval, mida annab 1 g raadiumi lagunemisel pliiks? Kuid hoolimata viimasel teel saadud tohutust energiahulgast leidsid õpetlased, et loomulikust radioaktiivsusest ei piisa Päikese pillavale eluviisile. Päikesel peavad olema teised palju suuremad energia varaaidad. Tõenäose vastuse neile kahtlusele andis aatomituuma-energia uurimine.

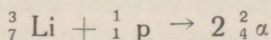
See oli pikk ja raske töö. Ega õpetlased kavatse nudki lammutada aatomituuma ja niimoodi vabastada seal peidus olevat energiat. Esimene aatomi purustaja E. R u t h e r f o r d olevat öelnud: „Anybody who was seeking for a source of power in atomic disintegration, was talking moonshine ¹.“ Sellest on palju aastaid mööda veerenud, palju tõhusat tööd tehtud. Tulemuseks on, et meieaegsed alkeemikud on aatomienergia jahil. Eespool kuulsime, et 1 kg massi annab $25 \cdot 10^9$ kWh, — see on tohutu energiahulk, mida võiks kasulikult tööle rakendada. Kel on vähegi tahtmist, võib kergesti arvutada, kui palju annab 1 g massi energiat selle mitmesuguses vormis, kui on teada, et $1 \text{ Wsek.} = 0,102 \text{ kgm} = 0,24 \text{ cal} = 10^7 \text{ ergi} = 0,378 \cdot 10^{-6} \text{ PSh}$ (hobusejõudu tunnis).

Kuigi katsed sel alal ei ole laboratooriumiseinte vahelt kaugemale ulatunud, räägitakse viimasel ajal üha sagedamini nn. u r a a n i m o o t o r i s t. On avastatud, et kui kiiritada uraani aeglaselt liikuvate neutronitega, siis uraaniaatom jaguneb peaaegu pooleks. See uraaniaatomi reaktsioon neutroni kiiritamisel andis mitte üksnes näpunäiteid uraaniaatomi tuuma ketitaolisest ehitusest, vaid juhtis ka tähele-

¹. Igaüks, kes otsib jõuallikat aatomite purustamises, on kuupaistest lobiseja.

panu sel puhul vabanevale energiale. Energia vabanemine uraani lammutamisel toimub väga kiiresti, plahvatuse taoliselt. Ei ole julgetud veel katsetada suurema hulga uraaniga, sest ei osata veel küllalt täpselt ette aimata tagajärgi. Reaktsiooni aeglustavalt mõjub vee ja kadmiumi lisamine uraanile. Võib-olla avaneb kord võimalus koostada uraanimootoreid kui tugevamaid energiaallikaid.

Päikeseenergia peamiseks allikaks peetakse aga aatomilist sünteesi, kusjuures kergemaist elementidest tekivad raskemad. Üheks niisuguseks sünteesiks on vesiniku ja liitiumi muundumine heeliumiks. 1 g vesinikku ja 7 g liitiumi muundudes heeliumiks annavad 385 000 000 000 kalorit. Reaktsioon sel puhul on järgmine:



Selle sünteesi juures väheneb pidevalt vesinik. Olemasolevast vesinikust Päikesel piisab aatomiliseks sünteesiks veel umbes 10 miljardit aastat. Nagu dr. Ernst Öpik arvutab, tõuseb Päikesel toimuva sünteesi tõttu nii Päikese kiirgus kui ka Maakera keskmine temperatuur, mis on praegu 15° kuni 20° C. Umbes 5000 miljoni aasta pärast on Maakera keskmine temperatuur samade arvutuste põhjal juba + 62° C.

Radioaktiivsuse uurimine on meid viinud aatomi ehituse uurimisele, on meile avanud mikrokosmose imetoreda struktuuri, on meil võimaldanud tungida energia varasalvedeni, mis ootavad vabastamise ja ratsionaalse kasutamise probleemi lahendamist. Palju tööd on juba tehtud, kuid ees on veel küllalt teha. Väljavaated ei ole tühised.

Radioaktiivsuse avastamine põhjustas raadiumi avastamise. Kes küll ei ole kuulnud raadiumist, kes ei tea, et raadiumi kasutatakse kõige kurjema vaenlase — vähktõve vastu? Kõik teavad seda.

VII. Raadiumikiirte bioloogiline toime.

Peaaegu igäiks meist on kuulnud või lugenud, et raadiumikiirtega ravitakse mitmesuguseid haigusi. Kuid kas keegi on mõelnud, mis toimub raadiumikiirte mõjul kehas, s. o. milline on raadiumikiirte bioloogiline toime? Raadiumikiirtel peab olema tõesti imevägi, et nendega võib ravida.

Me kuulsime α -, β - ja γ -kiirtest. Teatavasti on α - ja β -kiired liikuvad väikesed kehakesed, mis omavad suurt liikumisenergiat. On kindlaks tehtud, et α -kiire energia ületab β -kiire energia. Ent α -kiire mass on üle 7000 korra suurem β -kiire massist ja seepärast ei suuda α -kiir, võrreldes β -kiirega, tungida kuigi sügavale. Mis juhtub, kui katsume mõjustada elava organismi kudesid α - ja β -kiirtega? Koerakud, õigemini raku algosakesed — aatomid — satuvad α - ja β -kehakeste teele. Seejuures α -kehakesed peatuvad koeraku väliskihtides, β -kehakesed aga tungivad mõnevõrra sügavamale.

Võrdluseks olgu toodud järgmine näide. Pillume aiaplanku suurte kividega või tulistame seda revolvrist. Esimesel puhul kivid kriimustavad plangupinda, teevad selle konarlikuks ja hävitavad värvkatte. Teisel puhul aga revolvrikuulid tungivad aialaudadesse, tekitades plangupinnal väikesi augukesi. Sama juhtub ka kudedega α - ja β -kiirte toimel. α -kiirte kaudu

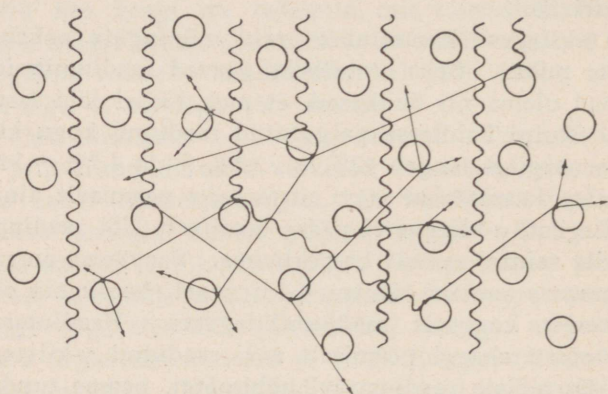
kannatavad välisrakud, β -kiirte puhul aga on toime pisut sügavam. Nagu revolvrikuuliga lastes võib surmata inimese, nii võib α - ja β -kehakestega pommitades hävitada rakke ja kudesid.

Ravi α -kiirtega on võimalik raadiumiemanatsiooni abil. Olenedes emanatsiooni kasutamise viisist võib α -kiirte toime osutada kas kohalikuks või üldiseks. α -kiirte toime väikese ulatuse tõttu on nende kasutamine väga piiratud, seda enam, et ravi puhul kasutatakse raadiumi erilisis hoidlais, mille seinad ei lase α -kiiri läbi.

β -kiirgust kasutatakse vaid mõningate nahahai-guste puhul. Seks otstarbeks peavad raadiumihoidla seinad olema nii õhukesed, et nad β -kiiri läbi laseksid. Kuigi hoidlasse paigutatud raadiumi kogu kiirguseenergiast langeb 92% α -, 3,3% β - ja 4,7% γ -kiirgusele, kasutatakse ravi otstarbeks peamiselt ainult γ -kiirgust, α -kiirgus ei pääse tavaliselt läbi raadiumihoidla seinte, samuti ka β -kiirgus. Seepärast on raadiumravis suurim tähtsus γ -kiirgusel, hoolimata oma väikesest kogusest raadiumikiirguses. Raadiumravi all mõistetaksegi peamiselt ravi raadiumi γ -kiirtega.

Et mõista raadiumravi põhimõtet, peame tundma γ -kiirte toimet. Milles seisab raadiumi γ -kiirte toime? Läbides keha jääb osa kiiri kudedesse peatumata, mis nähtust nimetatakse kiirte absorptsiooniks. Iga keha absorbeerib ehk neelab endasse kiiri. Võtame vaatlusele kiire kehast läbimise võimalused (joon. 14). Kiir võib läbida keha peatumatult. Kuid kiir võib keha läbimisel lennata ka mõne aatomi otsa. Mis juhtub viimasel puhul? Enamikul juhtudel põrkab γ -kiir kokku ühe elektroniga aatomi elektronkattes, paisates elektroni suure liikumisener-

giaga aatomipiirkonnast välja. Et sääraseid pörkeid γ -kiirte je elektronide vahel toimub üsna palju, siis ilmub kehas rohkel arvul suure kiirusega liikuvaid elektrone. Need elektronid satuvad oma teekonnal naaberaatomite elektronkattedesse ja paiskavad sealt omakorda välja elektroni, jätkates oma teekonda vähenenud kiiruse ja energiaga, sest osa energiast läks mainitud pörkel kaotsi. Seega on iga γ -kiire poolt elektronkattest väljapaisatud elektron võimeline omakorda



Joon. 14. γ -kiire absorptsioon kehas.

välja paiskama üht või mitut elektroni naaberaatomite elektronkattedest, vastavalt γ -kiirelt saadud energiale. Säärasel pörkel võib γ -kiir hävida, loovutades kogu oma energia elektronile. Seega on vastav kiir absorbeeritud. Kuid enamikul juhtudel kandub vaid osa γ -kiire energiast elektronile, kuna ülejäänud energia osaga liigub γ -kiir edasi kuni järgnevate pörgeteni elektronidega, mil kiire energia viimaks täielikult

loovutatakse elektronidele, s. o. kuni kiire energia täieliku absorptsioonini. Kirjeldatud nähtused, mis tekivad γ -kiire kehast läbimisel, ei ole mingi fantaaasia vili, vaid teadlaste poolt põhjalikult kontrollitud tõsiasi. Sääraseil pörkeil kandub γ -kiire energia aatomeile, tekitades aatomiehituses muutusi. Neil muutustel võivad olla väga suured tagajärjed. Nagu jääkiluke või lumetükike võib põhjustada lumelaviini, nii ka väikesed muutused aatomiehituses võivad anda määratu ulatusega tulemusi.

Üldiselt on kindlaks tehtud, et ainult absorbeeritud, s. t. kehha peatuma jäänud kiired avaldavad mõju raku elutegevusele. Sel puhul satuvad eluskoe algsakesed — aatomid — elektronide pommituse alla, millel, nagu igal pommitusel, on suuremad või väiksemad kahjustused, vastavalt pommituse, s. o. kiirituse tugevusele. Et selliste väikeste kuulidega nagu elektron võib purustada säärast hiiglaehitist nagu rakku, näitab, milline jõud peitub neis liikvele aetud elektronides. Toome alljärgnevalt mõned võrdlusandmed. Nagu kuulsime, on aatom 100 000 korda elektronist suurem. Aatomid aga omakorda ühinevad molekulideks. Valgumolekul on umbes 1000 korda aatomist suurem. Raku moodustamisest võtavad osa umbes miljard valgumolekuli. Ometi on kiirituse, s. o. elektronidega pommituse tulemuseks hiiglaehitise — raku hävimine. Kuidas on see võimalik?

Eelkirjeldatud muutusile aatomeis, mis toimuvad pörkeil γ -kiirtega, järgnevad mitmesugused muundused raku elulistest keskustes, nagu valgumolekulides jne. Paljud neist muundusist pole meie uurimisviiside ja -vahendite puudulikkuse tõttu täiesti jälgitavad. Seepärast puudub neist täpne ülevaade. Kuid nende

muunduste lõpptulemused kudedes ja rakkudes on üsna hästi tuntud.

Üldiselt võib kiiritusele järgnevaid muundusi jaotada üksikuisse järkudesse. Kõige esmalt ilmneb toime aatomipiirkonnas; seda nimetatakse kiirte füüsikaliseks toimeks. Sellele järgnevad mitmesugused nähtamatud ja ulatuslikud muundused, mis haaravad molekuli või isegi raku tervikuna. Sel puhul avaldub kiirte toime juba elusrakus ja -koes, olles peamiselt keemilist laadi. Seda nimetatakse kiirte bioloogiliseks toimeks.

Vaadeldes kiirituse tekitatud muundusi nende üksikuis järkudes nähtub, et raadiumikiirte toimel on kahjustav iseloom. Juba nende füüsikaline toime avaldub lõhkuvalt aatomi piirkonnas. Sellele järgnevad bioloogilised muundused, mis on mõnda aega nähtamatud; vastavat ajajärku nimetatakse kiirte toime peiteajajärguks. Peiteajajärgu vältel koes toimuvail protsessidel peab olema kahjustav iseloom, sest selle lõpptulemuseks on raku häving. Seejuures on huvitav märkida, et kord antud kiiritust ei saa enam olematuks teha. Kiiritusele järgnevad juba iseenesest protsessid, millede arenemist ei saa miski takistada.

Kiiritatud rakkudes leiame tunnuseid, mis tõendavad kiirte kahjustavat toimet nii raku ehitusele kui ka talitusele. Kahjustava toime suurus sõltub kiirte kogusest ehk doosist. Kui kiirte kogus ei olnud küllaldane, siis võib rakk veel pääseda hävingust. Igale rakuliigile vajaliku kiirte annuse ületamisel sureb kiiritatud rakk varem või hiljem. Ka üsna väikesed kiirte doosid on võimelised kahjustama eriti tundlikke rakke, kuna samal ajal vähemtundlikud

rakud ei reageeri kiiritusele sugugi. Võrreldes kiirte bioloogilise toime tulemusi üksikuis kudedes selgub, et kudedel on raadiumikiirte suhtes väga mitmesugune tundlikkus. Tundlikemate rakkude hulka tuleks arvata näiteks kõigile tuntud vere valgelibled, kuna punalibled on väga vastupidavad. Kuid ühe ning sama koe rakud ei ole kõik ühevõrra tundlikud. Paljunevad rakud on märksa tundlikumad mittepaljunevaist rakkudest. Samuti on tundlikumad need rakud, mis teostavad mingit talitlust, nagu süljenäärmerakud jt. Tähelepanekud on näidanud, et haiguslikel rakkudel (kasvajarakud, põletikulises olukorras viibivad rakud jne.) on suurem tundlikkus kui terve koe rakkudel. Selliseid näiteid võiks tuua üsna palju. Just neil tähelepanekuil põhinebki raadiumravi. Haiget kudet kahjustades me soodustame organismi võitlust haiguse vastu. Bioloogilisest küljest vaadates on raadiumi γ -kiirte toime sarnane röntgenikiirte toimega. See pärast uuringud ühe kiirteliigi toimest rikastavad arusaamist ka teise kiirteliigi toimest.

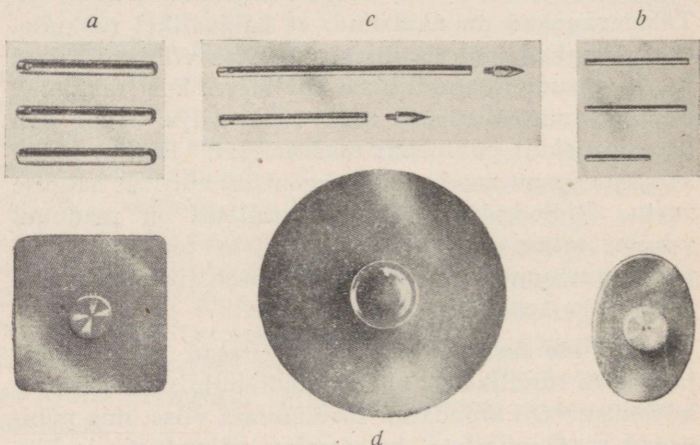
Paljude aastate vältel on selgitatud nii rakkude ja kudede tundlikkuse kui ka raadiumikiirte doosimise küsimust. On arendatud raadiumravi viise, mis põhinevad raadiumikiirte kasutamise võimaluste ja bioloogilise toime tundmisel.

VIII. Raadiumravi.

Kõigist radioaktiivseist aineist, mida kasutatakse ravi otstarbel, eelistatakse raadiumi, sest tema kiirgus on väga püsiv. Et raadiumi poolestusaeg on 1580 aas-

tat, siis võib raadiumikiirguse nõrgenemist ühe inimea vältel jätta arvestamata.

Raadiumravi alal, arvestades raadiumi kasutamise viise, on kujunenud järgmised üldisemad raviviisid: 1) kaugraadiumravi, mida saavad kasutada ainult mõned suuremad raviasutised, kus on raadiumi vähemalt 1 gramm; 2) lähisraadiumravi, mis leiab üldiselt laiemat kasutamist. Seda raviviisi kasutatakse ka meil.



Joon. 15. Raadiumihoidlad.

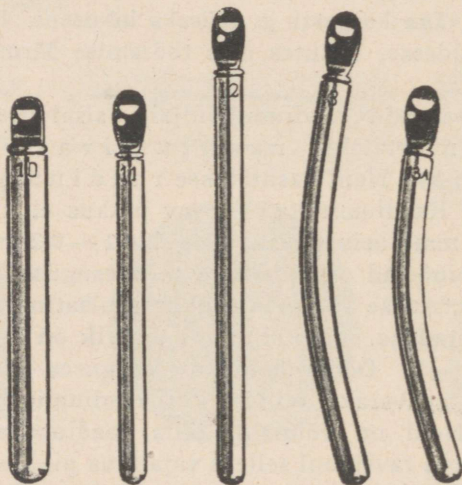
Et raadium ei läheks kasutamisel kaotsi, selleks asetatakse ta õhukindlaises metallhoidlaisesse, peamiselt platinast, mis on eriti vastupidav. Sääraste hoidlate maht ja seinapaksus on erinev. Suuremat raadiumikogust sisaldavaid hoidlaid nimetatakse raadiumitorukesteks. Nende pikkus on harilikult 10 või 20 mm, seinapaksus 0,5 kuni 1,0 mm

(joon. 15-a). Raadiumitorukesed sisaldavad tavaliselt 5 ja 10 või 6,66 ja 13,33 mg ning enam raadiumi. Harilikult ei kasutata raadiumi puhtal kujul, küll aga mõne ühendi näol. Neist ühendeist leiavad suurimat kasutamist raadiumbromiid või raadiumsulfaat. Viimast eelistatakse raadiumitorukeste ja teiste kõvade seintega hoidlate täiteks, sest sulfaadina ta ei lahustu, mis võiks juhtuda, kui hoidla seinas tekiks vaevalt-märgatav mõra. Raadiumbromiidina lahustuks hoidla sisaldas väga kergesti ja pääseks lahusega läbi mõra tööruumidesse, muutes neis töötamise äärmiselt ohtlikuks.

Väiksemaid raadiumihoidlaid, sisaldusega 1 mg ümber, nimetatakse r a a d i u m i r a k k u d e k s (joon. 15-b). Neid kasutatakse r a a d i u m i n õ e l t e täiteks. Raadiumiraku kiirgav pikkus ei ületa tavaliselt 10 mm; seinapaksus kõigub 0,1 — 0,2 mm ümber. Raadiuminõelad on vajalikud mitmesuguses pikkuses. Neid soetatakse vastavas pikkuses plaatinairiidiumist õõneskestadena, mille silm või teravik on ärakruvitav (joon. 15-c). Õõnesnõelu mitmesuguses pikkuses on odavam tagavaraks tellida kui raadiumiga täidetud nõelu. Neid on võimalik täita raadiumirakkudega, valides igal ravijuhul selleks vajalikus pikkuses õõnesnõelu. Peale selle kasutatakse raadiumi hoidmiseks veel õhukeste seintega p l a a t h o i d l a i d (joon. 15-d), peamiselt nahahaiguste ravi puhul. Plaathoidlate raadiumisisaldus kõigub tavaliselt 0,5 — 1 mg kuni 10 mg ühe ruutsentimeetri kohta. Nad asetatakse vahetult haigustunud kohale või kasutatakse kauguse andmiseks mõnemillimeetrise paksusega korkplaate.

Raadiumitorukesed paigutatakse erilistesse valgevasesse f i l t r e i s s e ehk k u r n a d e s s e, sein-

paksusega 0,5, 1,0 või 1,5 mm (joon. 16). Kurnasid soetatakse mitmesuguses pikkuses, mahutusega 1, 2 või rohkem raadiumitorukest. Ravi puhul valitakse neist sobivas pikkuses kurn, täidetakse raadiumitorukestega ja asetatakse haigustunud kohale, kus ta lastakse teatav aeg seista. Seismise aeg oleneb vajalikust kiirte doosist. Kiirte doos määratakse mitmel viisil, mille kirjeldamist siin ei luba ruumipuudus.

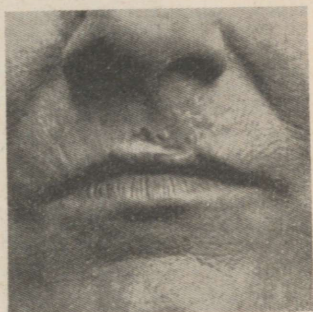
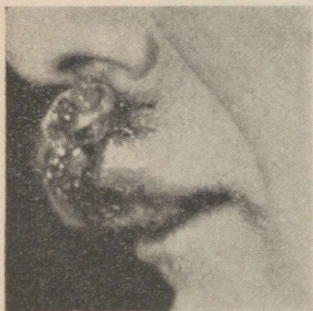


Joon. 16. Raadiumifiltrid.

Nüüd võtame vaatlusele küsimuse, millal saab raadiumravi kasutada. Me kuulsime, et raadiumikiirte bioloogiline toime avaldub tundlikumate rakude hävingus. Seega saab raadiumravi kasutada kõigil neil juhtudel, mil on tarvilik ja ka võimalik hävitada mõningaid koerakke, peamiselt just haigeid rakke,

sest need on terveist tundlikumad. Vastavalt sellele omadusele tarvitatakse raadiumravi igasuguste kasvaja-
jate, eriti vähktõve puhul.

Oma paigustuselt pakkus nahavähk raadiumravi ajastu alguses suurepärase võimaluse raadiumi bioloogilise toime uurimiseks. On selgunud, et kiirte toime tulemused olenevad vähi ehitusest, s. o. millistest rakkudest koosneb vähk. Seejärgi on mõned vähi-



Joon. 17. Ülahuule vähk enne ja pärast raadiumravi.

liigid tundlikumad kui teised. Paljude aastate töökogemused lubavad sageli koguni ennustada ravi tulemusi. Selleks on tarvis ainult teada, millise ehitusega on vähirakud, samuti vähi ulatus ja asukoht. Luule ja kõhrele siirdunud vähk on juba raskemini parandatav. Ülahuulel asetsev vähk (joon. 17) annab paremaid ravitulemusi kui alahuulel, sest alahuulevähk levib kergesti ja kiiresti lõuaaluseisse mahlanäärmeisse. Viimasel juhul on ravi tulemused sageli halvavad. Seepärast olgu iga haige kohuseks ilmuda võima-

likult varakult ravile. Mida varem, seda parem — ütleb vanasõna, ja see ei peta.

Nahavähi puhul kasutatakse lähisraadiumravi, kusjuures raadium asetatakse nõeltega vähikoosse või nn. m u l a a ž i g a (joon. 18) vähipinnale. Mulaaž valmistatakse tavaliselt vaha ja parafiini segust, mis laseb end hõlpsasti vormida haige kehaosale vastavalt. Mulaaži külge on kerge kinnitada raadiumitorukesti. Mu-



Joon. 18. Raadiumravi mulaažiga.

laaž asetatakse kohale ja nii võivad raadiumikiired raadiumitorukestest takistamatult kasvajat mõjustada, ilma et oleks karta torukeste kaotamist või teisale nihkumist.

Et ühe ning sama kasvaja rakud ei oma ühtlast tundlikkust, siis võivad mõned kasvaja rakud jääda

eluvõimelisteks ja hiljemini uuesti kasvama hakata. Et seda vältida, peab haige ilmuma korduvalt ravile. Kui haige määratud ajal korduvalt ravile ei ilmu, vaid hiljem, kui kasvaja end uuesti tunda annab, siis on juba liiga hilja. Arsti korralduste mittetäitmist karistatakse sageli surmaga — vähk ise karistab oma peremehe sõnakuulmatust. Ravilt lahkumisel antakse haigele õpetust, kuidas tal tuleb end ravida, mida haigele kohale määrada ja millal jälle ravile või ülevaatu- sele ilmuda. Õpetust täites aitab haige ise võidelda oma kasvajaga, seda mitte täites toob ta ainult endale kahju.

Suuõõne vähktõve peamiseks asukohaks on keel ja tonsillid (mandlid). Keelevähk, eriti keele ees- ja keskosas, on hõlpsasti ravitav raadiuminõeltega, keele tagaosas ja suulaemandleil ning kurgus aga tekitab ta mõningaid raskusi, nõudes üheaegset ravi röntgeni- ja raadiumikiirtega. Suurim raskus suuõõne vähktõve ravil tekib siis, kui on tegemist hilise juhuga, mil leidub vähisiirdeid lõuaaluseis koemahlanäärmeis. Stokholmis asuva maailmakuulsa raadiumikeskuse (Radiumhemmet) andmeil saadakse viimasel juhul siis parimaid tulemusi, kui suurenenud näärmeid eemaldatakse lõikuse teel niipalju kui võimalik ja sellele järgneb kaugraadiumravi. Niisama tarvilik on kirurgi abi algava häälepaela-vähktõve puhul, mil kilpkõh- resse tehtava avause abil on hõlpus raadiumi asetada vahetult vähile. Sel viisil on võimalik tervistada 90% haigusjuhte, mis on kõrivähi puhul väga suur arv. Seejuures säilib haige kõri nii, et haige saab kõnelda peaaegu niisama hästi kui vareminigi. Halvemad on tulemused söögitoruvähi puhul. Raadiumitorukesed, asetatuina söögitorru, suudavad esile kutsuda ajutisi

tulemusi, kuid ainult harva õnnestub haigel paraneda 1—3 aastaks.

Kõigist siseelundite vähktõve paigutusist allub kõige paremini raadiumravile naise suguelundeis esinev vähk, eriti emakakaelavähk. Teatavasti jaotatakse emakakaelavähi juhud nende arenemisastme järgi nelja astmesse. I astmes on vähk täiesti opereeritav, II astmesse kuuluvad juhud, mil operatsioon annab mõnikord tulemusi, mõnikord mitte, III astmes ei ole vähi lõikus enam võimalik, IV astmes on vähktõbi arenenud nii kaugemale, et siin parimaks abimeheks ja päästjaks on surm. Kiiritusravi, peamiselt kombineeritud röntgen- ja raadiumravi, võib isegi IV astme puhul anda ajutisi kergendusi, parimal juhul koguni tervistumisi 5 aastaks. Nii saavutas Cl. Regaud (Pariis) — 1%, Voltz-Döderlein (München) 1913. — 1926. a. 2,1% ja 1924. — 1926. a. isegi 4,9% haigusjuhtudest 5 aastaks tervistumist. Enamikul juhtudel aga on 5 aastaks tervistumiste protsent IV astme puhul tavaliselt 0. Seevastu on I ja II astme kiiritusravi tulemused suuremais raviautistes nii head, et sageli loobutakse operatiivsete juhtude lõikusest kiiritusravi kasuks.

Tähtsamaiks raadiumravi meetodeiks tuleb lugeda Stokholmi Radiumhemmet'i ja Pariisi raadiumiinstituudi omi. Kõik teised meetodid on nende kahe meetodi erikujud. Mõlemate erinevus seisab selles, et Pariisis asetatakse emakaõõnde ja tuppe väiksem raadiumikogus, lastes seda pikemat aega toimida. Sellele järgneb kaugraadumravi. Radiumhemmet aga asetab emakasse ja tuppe suurema raadiumikoguse, kuid sellel ei lasta korraga kaua toimida. Ravi korratakse 1- kuni

2-nädalase ajavahemiku järel 1 kuni 2 korda. Sellele järgneb kaugraadium- või röntgenravi.

Peale vähktõve kasutatakse raadiumravi haiguste puhul, mida ravitakse edukalt ka röntgenikiirtega, nagu Basedow' tõbi, suulaemandleite hüpertroofia jt. Ka veresoonekasvajate juhtudel annab raadiumravi tulemusi, kuid ainult õigeaegse ravi alguse korral.

IX. Raadiumiemanatsioon ja radioaktiivsed tervistusallikad.

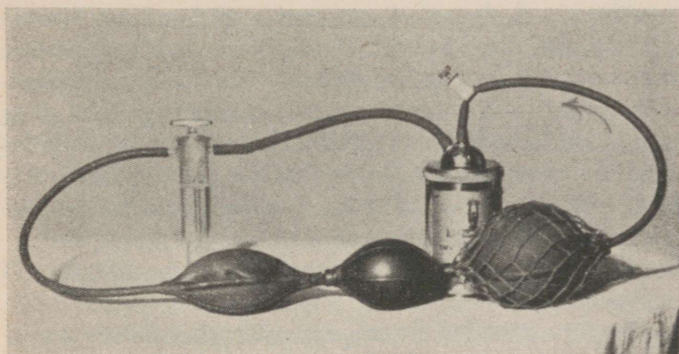
Radioaktiivsed tervistusallikad olid kuulsad juba ammu enne seda, kui tunti raadiumi ja raadiumiemanatsiooni, s. o. raadiumi lagunemisel tekkinud gaasitaolist ainet. Et raadiumiemanatsioon on väga radioaktiivne aine ja hõlpsasti rakendatav ravi otstarbeks, siis on arusaadav see huvi, mida on osutatud raadiumiemanatsioonile ja seda emanatsiooni sisaldavale tervistusveele.

Emanatsioonirikka tervistusvee kaugele edasi toimetamine ravi otstarbeks on isegi õhukindlaid anumaid võimatu, sest emanatsioon hävib lühikese aja jooksul. Ühe nädala pärast peale emaneeritud vee asetamist anumasse on seal emanatsiooni veel kõigest 28,37%. Pealegi omavad kuulsaimadki radioaktiivsed tervistusallikad nii vähesel määral emanatsiooni, et nende ravitoime tohiks olla üsna vähene. Mõnel määral aga emanatsiooni kiirgusel väikeses doosides on siiski teatav toime raku eluliste talitluste käigule. Olgu näiteks toodud H. Zwaardemake'r'i katse. H. Zwaardemaker võttis uimastatud konnal ettevaatlikult südame välja ja pumpas sellest läbi toitevede-

likku. Süda töötab seni korralikult, kui toitevedelik sisaldab kaaliumi. Kui toitevedelikust kõrvaldati kaalium, lakkas süda töötamast. Nüüd lähendas teadlane südamele radioaktiivse preparaadi. Süda hakkas uuesti töötama, kuigi puudus kaalium. Õpetlikku on selles katses niipalju, et üliväikeselgi kiirtekogusel võib olla suur bioloogiline toime. Nõrgalt radioaktiivse kaaliumi olemasolust piisas organismi töötamiseks. Seega väikestel, vaevalt märgatavail kiirtedoosidel võib olla organismide talitlusis oma teatav tähendus.

Loodus ei ole olnud helde radioaktiivsete tervistusallikate jagamisega, jättes paljud maad neist ilma. Kuid inimene püüab täiendada loodust, tootes ise kodus radioaktiivset tervistusvett. Emanatsioon on võimalik valmistada igal pool, kus on olemas nn. emanatorid. Need on nõud, mis sisaldavad vesilahuses raadiumisoola ja milles tekib alatasa juurde emanatsiooni, mida on võimalik sealt võtta kasutamiseks. Kuigi emanatoreid on väga mitmesuguse ehitusega, on nende töötamise põhimõte lihtne. Klaas- või metallanumas asetseb raadiumi sisaldav vesi. Selleks kasutatakse mingi kindel kogus vees lahustuvat raadiumühendit, näiteks raadiumbromiidi. Anuma avaus on kaetud õhukindla katte või korgiga, milles on kaks auku klaas- või metalltorude jaoks, nagu nähtub joon. 19. Ühe toru otsa on asetatud kummipall, mille abil on võimalik pumbata õhku noolega näidatud suunas läbi raadiumilahuse. Raadiumilahusest läbi-voolav õhk võtab endaga kaasa emanatsiooni ja viib selle teise anumasse, mis sisaldab õli või vett, kus emanatsioon lahustub küllastuseni. Emanatsiooniga küllastunud vedelik tuleb võtta kohe tarvitamisele.

Emanatsioonravi toimub peamiselt: 1) s i s s e -



Joon. 19. Emanaator.

hingamistena, 2) joomistena, 3) kümb-
lustena ja 4) salvina. Kõigi nende emanat-
sioonimeetodite puhul omavad tähtsust järgmised asja-
olud: kui palju emanatsiooni tungib iga kord kehha,
kui kaua ta püsib kehas ja kui palju energiat muundub
selle aja vältel kehas. Neile küsimustele vastamiseks
on toimetatud väga palju katseid mitmesuguste, vahel
koguni vastupidiste tulemustega. On kindlaks tehtud,
et kõigi mainitud ravimeetodite puhul tungib emanat-
sioon kehha, kandudes vere kaudu laiali. Üle kogu
keha kandunud radioaktiivsest aineksest lahkuvad sealt 95
kuni 98 % ja ainult väike osa — 2 kuni 5 % — kehha
sattunud emanatsioonist jääb sinna püsima emanat-
siooni lagunemisjärglasena (radioaktiivse sadestisena).
Enamik sellest jääb peatuma luuüdis, väiksemal mää-
ral maksas, põrnas, kopsus jne.

Kehha peatuma jäänud radioaktiivse sadestise
kogus on liiga väike selleks, et tekitada kehas mürgis-

tusnähtusi. Seda pole karta ravi puhul radioaktiivseis tervistusallikais. Iseasi on muidugi, kui kasutatakse emanaatoreid, mis võimaldavad suuri emanatsioonidoose ja kui ravi toimetatakse ülemäära tugevasti ning kaua. Päris ohtlikuks võib olukord muutuda alles siis, kui emanaatorist mingi rikke tõttu pääseb toimima peale emanatsiooni ka osa emanaatoris sisalduvast raadiumisoola lahusest.

Vaatleme lähemalt emanatsioonravi tähtsamaid meetodeid.

1) S i s s e h i n g a m i n e. Emanatsiooni lahustuvus vees on piiratud, õhuga aga seguneb ta piiramalt. Seetõttu võib mingi kindlate seintega eraldatud ruumi õhku vajadusekohaselt rikastada emanatsiooniga vastavast emanaatorist. Sissehingamiseks on ehitatud mitmesugused vastavad emanaatorid. Emanatsiooni sissehingamine kopsude kaudu, samuti ka väljahingamine toimub väga kiiresti. Kopsusompude suur pindala võimaldab emanatsiooni kiiret kandumist verre, kust ta pääseb ka teistesse elundeisse. Emanatsiooni kandumine verre toimub kuni selle küllastuseni. Kui emanatsiooni kogus sissehingatavas õhus kahaneb, siis hakkab ta ka veres kiiresti kahanema. Toimele pääseb veres ainult see emanatsiooni kogus, mis lagunedes annab radioaktiivse sadestise. Umbes 97 % sissehingatud emanatsioonist hingatakse jälle välja. Väga väike osa emanatsioonist lahkub kehast neerude ja naha ning osalt seedekanali kaudu.

2) J o o m i n e. Emaneeritud vedelikkude joomisega on võimalik hoida keha pidevamalt emanatsiooni toime all. Vastavate kontrollmõõtmistega on selgitatud, et kõige soovitamam on juua emaneeritud vedelikke tühja kõhuga iga 10 minuti tagant jaotatult, kuna

söögi peale tuleks võtta korraga suurem annus. Sel viisil on võimalik emanatsiooni toime kudedele kogu päeva kestel. Toimele pääseb ühe tunni vältel umbes 1% veres lahustunud emanatsiooni viimase lagunemise tõttu. Joodud emanatsiooni võib väljahingatud õhus kindlaks teha juba mõne minuti pärast, kusjuures maksimum saabub 15—30 minuti jooksul. Nelja tunni pärast on emanatsioon väljahingatud õhus tegelikult kadunud. Kui tahetakse veremahlu hoida pidevalt emanatsiooni toime all, siis tuleb juua emaneeritud vett ülalantud ettekirjutuse kohaselt. Joomisravi on tervislikum ja hõlpsamini teostatav kui kauakestev viibimine sissehingamisruumis.

3) K ü m b l u s e d. Radioaktiivse kümbluse võtmisel tungib osa emanatsioonist naha kaudu organismi, suurem osa aga satub organismi kopsude kaudu, sest kümblusruumis sisaldab õhk sageli rohkem emanatsiooni kui kümblusvesi. Osa radioaktiivsest aineist satub nahapinnale radioaktiivse sadestise näol ja avaldab seal oma toimet. Seetõttu tuleb haige peale kümblust katta linaga ja nahka mitte hõõruda. Ka emanatsiooni ja tema lagunemissaaduste otsese kiirguse osatähtsus on väga väike, sest kümbluse võtmise ajal, s. o. umbes $\frac{1}{2}$ tunni kestel laguneb ainult $\frac{1}{2}\%$ emanatsioonist. α -kiirgusest pääseb toimele ainult see osa, mis asetseb naha otseses läheduses, sest ka 0,1 mm paksune veekiht on võimeline endasse neelama α -kiiri.

4) S a l v i d e n a saab emanatsiooni kasutada seal, kus on koha peal olemas emanaatorid, nagu seda kujutab joon. 19. Lastes voolata emanatsiooni läbi õli, jääb suur osa emanatsiooni kergesti õlisse peatuma. Emaneeritud õli kasutatakse kohe salvide val-

mistamiseks, mis leiavad kiiret kasutamist mitmesuguste nahahaiguste puhul.

Võidakse küsida, missuguste haiguste puhul ja millise eduga kasutatakse emanatsiooni? Sellest hoolimata, et radioaktiivseil tervistusallikail on väga vana kuulsus, on nende ravitoime väga erinev ka siis, kui nad sisaldavad võrdlemisi ühtlase hulga emanatsiooni. Tervistusallikate ravitoime on tingitud paljudest tegurist. Teatavasti oleneb see suuresti sealse vee keemilisest koostisest, temperatuurist jne. Paljugi oleneb raviga kaasuvast puhkusest, ilmastikulistest tingimustest ja toitumiskorrast. Ei ole ime, et ühed tervistusallikad leiavad kasutamist südamehaiguste, teised reuma jm. haiguste puhul jne. Neis tervistusallikais osutub ravivaks vahendiks mitte niivõrra emanatsiooni, kui mitmesuguste soolade sisaldus vees. Seepärast oleks ülearune siinkohal tuua tervistusallikail ravivate haiguste nimestikku. Tuleb aga mainida, et tervistusallikate ravitoimes etendab kindlasti teatavat osa vees sisalduv emanatsioonilisand.

SISUKORD.

	Lk.
I. Radioaktiivsete ainete avastamine	5
II. Radioaktiivsete ainete omadusi	16
III. Uraani radioaktiivne lagunemise rida	44
IV. Tooriumi radioaktiivne lagunemise rida	52
V. Kunstlik radioaktiivsus ja aatomiline süntees	53
VI. Materia ja energia	62
VII. Raadiumikiirte bioloogiline toime	72
VIII. Raadiumravi	77
IX. Raadiumiemanatsioon ja radioaktiivsed tervistus- allikad	85

A
A-11902
i

HIND 4 RBL. 25 KOP.