

Janez Strnad

ZAČETKI SODOBNE FIZIKE

*Od elektrona do
jedrske cepitve*

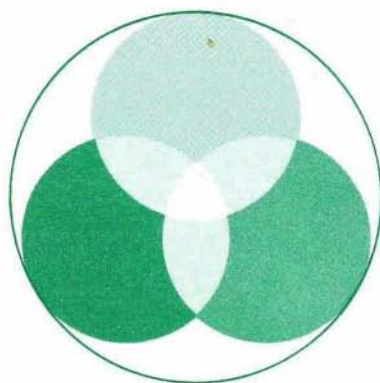
LIST ZA MLADE

 **MATEMATIKE**

   **FIZIKE**

 **ASTRONOME**

IZDAJA DMFA SRS



BESEDA UREDNICE

človeka od nekdanj žejja spoznati skrivnosti narave. Želel bi vedeti vse o vesolju, o njegovem nastanku in o zakonih, ki veljajo za planete, zvezde in meglenice. Želel pa bi poznati tudi zgradbo snovi in razumeti zakone, ki določajo gibanje njenih najmanjših gradnikov. Z opazovanjem, razmislekom, uganjanjem, s poskusi ter z marljivostjo je uspel strniti, kar doslej razume o naravi, v nekaj osnovnih zakonov.

Pričujoča knjižica želi predstaviti odkritja v fiziki, ki so konec prejšnje ga, predvsem pa v prvih desetletjih našega stoletja prinesla pravo revolucijo v znanost. Pomagala so pojasniti zgradbo atoma in atomskega jedra. Tedaj so že veliko vedeli o kemijski lastnosti snovi. Poznali so periodni sistem elementov. Zgradbe atoma pa niso poznali. Avtor predstavi predvsem poskuse, ki so vodili do novih spoznanj o zgradbi atoma. Omeni pa tudi razmišljanja in uganjanja, ki so vsakokrat poskusom sledila in ki so vzpodbudila nove poskuse. Pove, da so bili razmisleki mnogokrat napačni, rezultati poskusov pa preskromni, da bi pokazali pravo pot. Ali pa je bila prava pot preveč nenavadna, da bi jo spočetka sploh opazili.

Tedaj je bila matematika že visoko razvita veda. Bila je v močno oporo in vzpodbudo fiziki. Po drugi strani pa je eksperimentalna fizika šele začela svoj razvoj, zahvaljujoč izrednemu navdušenju in požrtvovalnosti predvsem posameznikov.

Avtor popelje bralca od odkritja elektrona do spoznanja, da nosi atomsko je dro, četudi skoraj točkasto, domala vso maso atoma.

Od odkritja, da je atomsko jedro zgrajeno iz protonov in nevtronov, je preteklo več kot 50 let. V teh letih smo se naučili, da imajo protoni in nevtroni v atomskem jedru svoje lastno pestro življenje, ki ga elektroni v atomu komaj opazijo. Spoznali smo tudi, da vsakodnevne izkušnje o gibanju teles ne veljajo za tako majhne delce, kot so elektroni v atomu ter protoni in nevtroni v atomskem jedru. Naučili smo se, da se je treba odreči želji, da bi poznali poti elektronov okoli jedra v atomu, na primer. Naučili smo se, da se poti elektrona ne da napovedati. Poskusi so pokazali, da so elektroni kjerkoli v prostoru okoli jedra, ponekod bolj pogosto kot drugod. Pokazalo se je, da se tudi po hitrosti elektrona v atomu nima pomena spraševati. Omejen v gibanju na majhen prostor, nima določene hitrosti. Rodila se je kvantna mehanika, ki je v svetu majhnih delcev nadomestila klasično mehaniko. Tudi tehnika poskusov je močno napredovala. Zgradili smo pospeševalnike, ki zmorejo pospešiti električno nabit delec do hitrosti, ki je zelo blizu svetlobne hitrosti. Razvite dežele so predvsem po drugi svetovni vojni namenile velika sredstva za razvoj znanosti. Mednarodni znanstveni časopisi, v katerih objavljajo znanstveniki svoja dela, in mednarodna srečanja znanstvenikov so poskrbeli, da so postala odkritja dostopna vsem. Raziskovalno delo je postalo poklic, katerega lahko izbere vsak mlad človek, ki ima nagnjenje za tako delo. Raziskovalci delajo v skupinah, ki velikokrat niso stalne. Pridejo iz različnih dežel, delajo skupaj in prinašajo v skupine nove izkušnje in znanje.

V zadnjih nekaj desetletjih so poleg elektronov, protonov in nevtronov odkrili še veliko drugih majhnih delcev. Opazili so jih največkrat v laborato

(Nadaljevanje na III. str. ovitka)

Sestavek odpira pogled v zgodovino fizike v desetletjih okoli preloma stoletja. Kratek kot je, ne more dati popolnega sistematičnega pregleda. Obravnava le nekaj posebno pomembnih eksperimentalnih odkritij, na katerih je pozneje zrasla sodobna fizika. Poleg odkritja elektrona, katerega osemdesetletnico so pred kratkim slavili, obdela rentgensko svetlobo, izotope, atomsko jedro, radioaktivnost, jedrske reakcije, megljučno celico, nevtron in jedrsko cepitev. Ta odkritja vsaj bežno omenijo v večini učbenikov za fiziko. Tako sestavek delno dopolnjuje drugi in tretji zvezek *Fizike za srednje usmerjeno izobraževanje* (Ljubljana, Državna založba Slovenije 1978), v katerih ni zgodovinskih opomb. Bralec naj bi poznal fiziko približno v tem obsegu. Le tu in tam so zahteve nekoliko višje.

Odkritja, ki jih zajema sestavek, zadevajo predvsem zgradbo snovi iz delcev. Skoraj popolnoma se izognemo glavnima vejama sodobne fizike, *teoriji relativnosti* in *kvantni mehaniki*. Njuni začetki so nadvse zanimivi in bi zaslužili samostojna zgodovinska pregleda.

... Da je naravoslovje tako zelo človeško, da je zasnovano na zelo človeški lastnosti - zmotljivosti, je nadvse pomembno. Toda koliko učencev se kdaj tega zave? ...

H. Bondi, *Physics, education and society*,
Physics Education 10 (1975) 469.

Zahvaljujem se profesorju I. Kuščerju, ki je prebral rokopis in dal mnogo koristnih nasvetov. Zahvaljujem se tudi docentki N. Mankoč Borštnikovi in drugim članom uredniškega odbora Preseka, ki so imeli z izdajo knjižice veliko dela.

Ljubljana, decembra 1978

J.S.

UVOD

O zgodovini znanosti v naši šoli skoraj nič ne slišimo. Zgodovinarjem se zdi, da to ni njihova naloga. Na drugi strani pa si tudi naravoslovci za zgodovino svojih ved ne vzamejo časa. Mnogo pomembnejši so jim rezultati, kot jih poznamo danes. Tako lahko dobi učenec vtis, da je šel razvoj znanosti od uspeha do uspeha. Resnica je ravno nasprotna. Do novih spoznanj so prišli v znanosti dostikrat po hudih ovinkih in s premagovanjem zakoreninjenih zmot. Ta razvoj je bil tesno povezan z razvojem družbe. Vpliv je bil vzajemen, za kar je najlepši primer renesansa, ki je prinesla sprostitev iz srednjeveškega mračnjaštva. V sproščenem duhovnem okolju naslednjih sto let so zrasli prvi veliki fiziki in astronomi: Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton. Ti možje so po svoje veliko prispevali k razvoju kulture v tistem času.

Drugi veliki skok je prinesla industrijska revolucija v 19. stoletju. Za znanost je bila to doba, v kateri so začeli spoznavati atomsko zgradbo snovi in elektromagnetne pojave. Razvoj znanosti in tehnike sta neprestano oplajala drug drugega - ena se ne bi mogla razviti brez druge. Na videz preprost današnji šolski poskus je bil nekdam trd oreh celo za velike fizike. Takrat ni bilo mogoče kupiti električnega merilnika, ampak so morali vse šele sami izumiti in sestaviti. Tudi bogatih laboratorijev in družbenih sredstev za take namene še ni bilo.

O *atomih* so prvi razpravljali že starogrški filozofi, na primer Demokrit v 5. stoletju pred našim štetjem. Njihov obstoj so privzeli tudi začetniki *kinetične teorije plinov* v 17. stoletju, med njimi Pierre Gassendi in Robert Boyle. Vendar so se udomačili atomi šele na začetku prejšnjega stoletja v kemiji. Z atomsko zgradbo snovi je na primer Anglež John Dalton pojasnil *zakon o mnogokratnih masnih razmerjih elementov* (1808). Italijan Amedeo Avogadro pa je postavil zakon, po katerem je v enakih prostorninah plinov v enakih okoliščinah enako število *molekul* (1811).

Vzemimo, da bi kakšna katastrofa uničila vsa znanstva na spoznanja in bi predali naslednji generaciji bitij eno samo ugotovitev. Katera ugotovitev bi vsebovala največ informacij, izraženih z najmanj besedami? Mislim, da je to atomska domneva (ali dejstvo o atomski zgradbi, kakor koli že to imenujemo), da sestavljajo vse reči atomi - drobni delci, ki se neprestano gibljejo in ki se privlačujejo, ko so v majhni razdalji, a odbijajo, ko jih stiskamo drugega v drugega. V tem stavku je ogromno informacij o svetu, če le uporabimo malo domišljije in razmišljanja ...

R.P.Feynman, R.B.Leighton, M.Sands, *The Feynman Lectures in Physics*, I. del, Reading, Mass., Addison-Wesley 1963, str. 1-2.

ELEKTRON

Odkritje prvega osnovnega delca

Dandanes se ni lahko živeti v razmere v prvi polovici prejšnjega stoletja, ko je raziskoval elektromagnetne pojave Anglež Michael Faraday, eden največjih eksperimentatorjev vseh časov (med drugim je odkril indukcijo). Delal je tudi poskuse z *elektrolizo* (1834). Ob tem je razmišljal o *atomu elektrike* - danes bi rekli o *osnovnem naboju* (pozitivne in negativne naboje so poznali že kakih sto let). Faraday je obravnaval *ione*, to je atome z nabojem. Ugotovil je, da imajo ioni elementov, ki so si po kemijskih lastnostih podobni, enako velik naboj. Vendar tako kot drugi fiziki tistega časa ni dal dosti na atome, češ da je "zelo lahko govoriti o njih, a si je zelo težko ustvariti jasno sliko o njihovi naravi, posebno za sestavljene snovi." Tedaj torej še niso dobro razlikovali med atomi in molekulami. Razmere so se začele spreminjati šele okoli leta 1860, ko so fiziki na več različnih načinov dobili enake ocene za velikost atomov. Šele tedaj so tudi fiziki postopoma sprejeli pojem atoma.

George Johnstone Stoney iz Dublina je prvi ocenil najmanjšo ve-

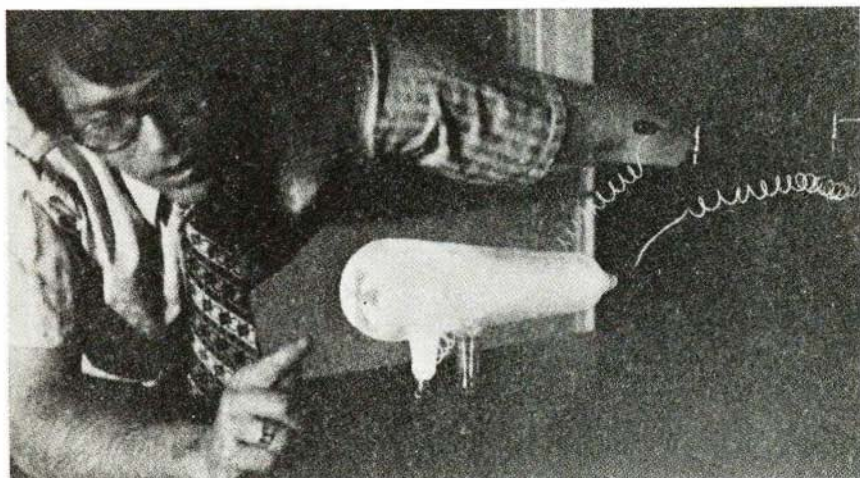
likost naboja, ki ga imajo ioni pri elektrolizi, in imenoval ta naboj *elektron* (1874). V tistem času se je uveljavljalo spoznanje, da je svetloba elektromagnetno valovanje. Stoney je poskušal pojasniti sevanje in absorpcijo svetlobe z nihajočimi naboji v atomih. Obravnaval je celo gibanje elektronov po elipsah, a ni prišel do jasnih sklepov.

Na drugi strani so preučevali električni tok v razredčenih plinih. Takšne poskuse je omogočil razvoj *vakuumskih črpalk*. Nemški steklopihač Heinrich Geissler je napravil črpalko, s katero je lahko znižal tlak zraka v steklenih ceveh na tisočino navadne vrednosti ali še bolj. Izdeloval je cevi, v katerih so vgrajeni kristali svetili v lepih barvah, če je tekel po ceveh električni tok. Cevi so sicer uporabljali za zabavo in kot igrače. Geissler pa je sodeloval tudi s fizikoma Juliusom Plückerjem in Johannom Wilhelmom Hittorfom, ki sta si prizadevala pojasniti pojave v takih ceveh. Leta 1858 je Plücker opazil, da izhaja v dovolj dobrem vakuumu iz katode raven sveteč se pramen. Leta 1868 je Hittorf zanj uvedel ime *katodni žarki*. Ugotovil je tudi, da se ti ukrivijo v magnetnem polju.

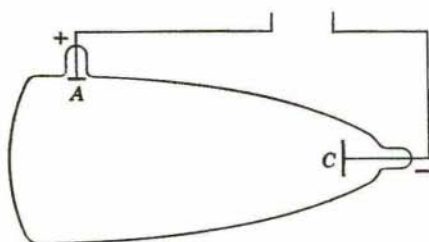
Podobne poskuse je delal v Angliji William Crookes, ne da bi vedel za delo nemških fizikov. Na nasprotni strani katode, kjer so katodni žarki zadeli cev, se je steklo svetlikalo - je *fluoresciralo* - v zelenkasti svetlobi. Na steni cevi je nastala povečana senčna slika križca iz sljude, ki ga je postavil na pot žarkom (sl. 1). Košček platine, ki so ga zadeli žarki v cevi, se je stalil. Crookes je sodil, da so katodni žarki negativno nabite molekule. S tem je načel vprašanje, ali so katodni žarki valovanje ali curek delcev. Vprašanja te vrste so bili fiziki že vajeni v zvezi s svetlobo.

Nemški fizik Heinrich Hertz je leta 1883 poskušal pojasniti naravo katodnih žarkov. (Hertz je leta 1888 odkril radijske valove, ki jih je leta 1864 napovedal James Clerk Maxwell kot elektromagnetno valovanje.) Hertz je izmeriti magnetno polje okoli curka katodnih žarkov, ki bi se moralo pojaviti tako kot okoli vodnika s tokom. Pri tem ga je spremljala precejšnja smola.

Pri vrsti poskusov ni zaznal magnetnega polja, ker so bila merjenja premalo zanesljiva, pri drugi vrsti pa je napačno pojasnil okoliščine. Poskušal je še ugotoviti, ali se odklonijo katodni žarki v bližini nabitega telesa, ki deluje nanje s svojim električnim poljem. Tudi to bi pričakovali od curka nabitih delcev. Pri tem ni uspel, ker ni dosegel dovolj dobrega vakuumu. Opazil je tudi, da prehajajo katodni žarki skozi tanke kovinske lističe. Sklepal je, da so valovanje, češ da delci ne bi mogli predreti kovine. Tega prepričanja, do katerega so ga napeljali tudi drugi njegovi neuspeli poskusi, je ostal še več kot deset let.



Sl. 1: Cev, s kakršno je W. Crookes pred dobrim stoletjem delal poskuse s katodnimi žarki. Zaslon močno fluorescira, kjer ga zadenejo ti žarki; na njem je vidna senca ovire v obliki križa, ki ne prepusti elektronov (zgoraj). Katoda C in anoda A v taki cevi (brez ovire v obliki križa). Elektrodi so priključili na induktor (spodaj).



Poskuse je nadaljeval Hertzov učenec Philipp Lenard. Katodne žarke je usmeril iz vakuumске cevi skozi tanko aluminijasto okence na zrak. Preučeval je oslabitev žarkov pri prehodu skozi tanke kovinske lističe. Ugotovil je, da dobi telo, ki žarke pregreje, negativen naboj. Vendar je tudi Lenarda spremljala smola: svoja spoznanja je objavil prepozno*.

Medtem je 1890 Arthur Schuster v Manchesteru skrbno izmeril odklon katodnih žarkov v prečnem magnetnem polju. Za *specifični naboj*, to je za razmerje med velikostjo naboja in maso delca, je dobil okoli 10^{11} As/kg. To je bilo več kot tisočkrat več od specifičnega naboja ionov, ki ga je dala elektroliza. Pomislil je: če imajo delci katodnih žarkov enako velik naboj kot ioni, morajo imeti vsaj tisočkrat manjšo maso od vodikovega iona. Schuster pa ni mogel verjeti, da obstajajo tako lahki delci. Sogledil je, da delci katodnih žarkov ob trkih s plinskimi molekulami izgubljajo kinetično energijo in dospejo v magnetno polje z znatno zmanjšano hitrostjo in se zato tako močno odklonijo. Čeprav Schuster ni pravilno pojasnil poskusov, je bil prvi, ki je pisal o zelo velikem specifičnem naboju katodnih žarkov.

Walter Kaufmann je v Nemčiji ponovil Schusterjeva merjenja in prišel do enakih rezultatov. Posebej je ugotovil, da se zaradi trkov z molekulami kinetična energija delcev v katodnih žarkih ne zmanjša znatno. Kljub temu pa tudi on ni verjel rezultatom in je objavil samo približno oceno specifičnega naboja.

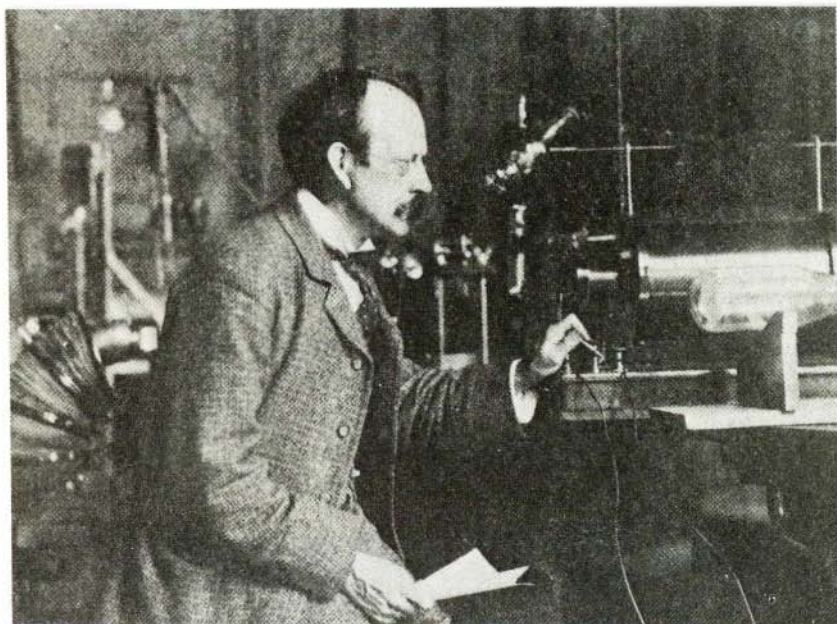
Na nizozemskem je Pieter Zeeman leta 1896 preučeval svetlobo, ki so jo ob vplivu magnetnega polja sevale razbeljene pare natrija in drugih kovin. Opazil je, da so se spektralne črte zaradi magnetnega polja razcepile. Pojav se danes imenuje po Zeemanu. Razlago je prispeval njegov učitelj Hendrik Antoon Lorentz, s tem da je izpeljal enačbe za vpliv magnetnega polja na nihanje nabite delce. Ugotovil je, da je sprememba frekvence, ki jo povzroči magnetno polje, sorazmerna s specifičnim nabojem niha-

* Na stara leta je postal Lenard čudaški in je odigral v Hitlerjevem času izrazito negativno vlogo. Iz tistega časa izvira njegova proslula knjiga *Deutsche Physik* (Nemška fizika).

jočega delca. Zeemanova merjenja so kazala, da imajo sevajoči delci specifični naboj nekaj nad 10^{11} As/kg.

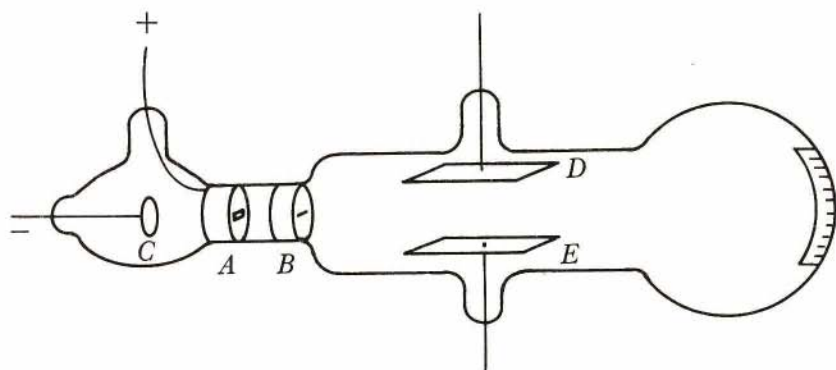
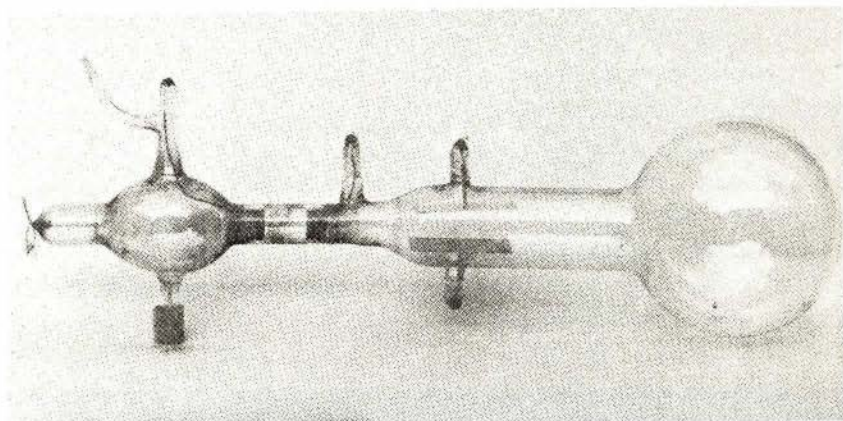
Tudi Francoz Jean Perrin je delal sorodne poskuse. Že leta 1895 je ugotovil, da se elektroscop izprazni, če ga zadenejo katodni žarki. Dve leti pozneje je ugotovil, da telo z negativnim nabojem odbija te žarke. Izmeril je tudi odklon v magnetnem polju. Bil pa je negotov in je okleval z objavo svojih ugotovitev.

Nemec Johann Emil Wiechert je marca 1897 na predavanju v Königsbergu (današnjem Kaliningradu v SZ) napravil nekaj pomembnih poskusov. Po odklonu v magnetnem polju je sklepal, da katodni žarki niso ioni, ampak da so to vsaj okoli tisočkrat lažji delci kot vodikov ion. Čeprav je po svojih merjenjih lahko le približno ocenil specifični naboj, je Wiechert prvi jasno privzel stališče, da imajo ti delci enako velik naboj kot vodikovi ioni in je tako ocenil njihovo maso.



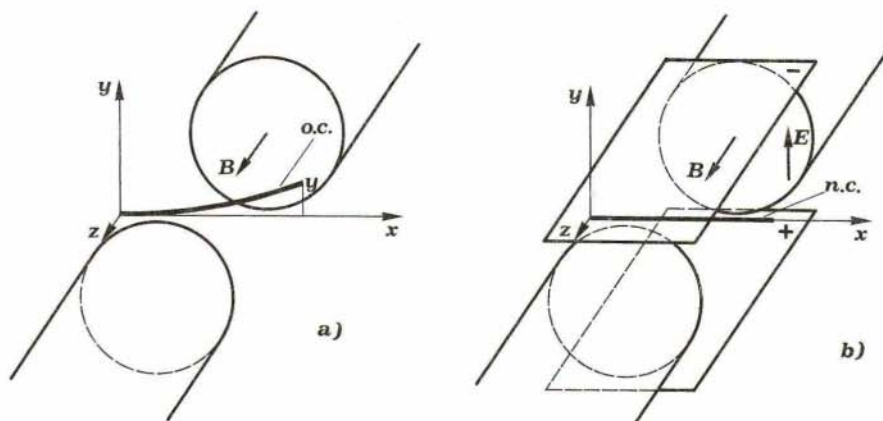
Sl. 2: J.J. Thomson v Cavendishovem laboratoriju v Cambridgeu.

V tedanjih časih so imela javna predavanja mnogo večji pomen, kot ga imajo dandanes. Primerjamo jih lahko z današnjimi mednarodnimi sestanki, le da so bila bolj svečana, nekako tako kot premiere v gledališču. Takšno predavanje je imel John Joseph Thomson (sl. 2) 30. aprila 1897 na Kraljevi ustanovi v Londonu.



Sl. 3: Fotografija (zgoraj) in risba (spodaj) cevi, s katero je J.J. Thomson z odklanjanjem v električnem in magnetnem polju izmeril specifični naboj elektrona. C katoda, A anoda, B zaslon z režo, D in E elektrodi ploščatega kondenzatorja. Dvodelna tuljava ali podkvasti magnet, ki ustvari magnetno polje, pravokotno na električno, ni vrisan.

Pokazal je vrsto zanimivih poskusov. Elektroda se je nabila negativno, ko je z magnetnim poljem usmeril nanjo katodne žarke. S posebno elektrodo je nekaj časa prestrezal žarke in izmeril, za koliko se je v tem času segrela. Pri odločilnem poskusu je odklonil katodne žarke najprej s prečnim magnetnim poljem. Nato je z dodatnim prečnim električnim poljem nabitega kondenzatorja ta odklon izravnal (sl. 3). S tem je dobil za specifični naboj katodnih žarkov nekaj več kot 10^{11} As/kg. Sklepal je, da so delci isti, kot jih je zasledil Zeeman pri popolnoma drugačnem merjenju. Tako je lahko prepričljivo trdil, da sestavljajo katodne žarke negativno nabiti delci. Imenoval jih je *korpuskule*. Tako kot Wiechert je privzel, da je naboj korpuskule enak osnovnemu naboju, ki je bil znan že iz elektrolize. Sledilo je, da ima korpuskula več kot tisočkrat manjšo maso kot vodikov atom. Kmalu se je za korpuskulo udomačilo ime *elektron*, ki ga je poprej Stoney uporabil za osnovni naboj. Pozneje je Thomson še za nesljiveje izmeril specifični naboj elektrona. Danes velja J.J. Thomson za odkritelja elektrona.



Sl. 4: Odklon curka elektronov v prečnem magnetnem polju (a) ter v prečnem magnetnem in v prečnem električnem polju, ki sta drugo na drugo pravokotni, pri Thomsonovem merjenju specifičnega naboja (b).

Preprost račun pojasni Thomsonovo meritev specifičnega naboja elektrona. Poznati je treba le enačbi za sili, ki delujeta na nabit delec v električnem in v magnetnem polju.

Na elektron deluje v prečnem homogenem magnetnem polju z gostoto B sila z velikostjo $F_y = e_0 v_0 B$. Sila deluje v smeri osi y , če ima magnetno polje smer osi z in se giblje elektron v smeri osi x . Zaradi te sile se giblje elektron v prečni smeri s pospeškom $a_y = F_y / m_e = e_0 v_0 B / m_e$. Ko preleti po polju v smeri osi x pot s s hitrostjo v_0 , se elektron v prečni smeri odkloni za $y = (1/2) a_y t^2 = (1/2) (e_0 v_0 B / m_e) (s/v_0)^2$. Pot s preleti s hitrostjo v_0 namreč v času $t = s/v_0$. Da računanja po nepotrebnem ne zapletemo, vzamemo, da sega magnetno polje do zaslona (sl. 4a, v resnici so bile razmere v bučki s sl. 2 nekoliko drugačne). Thomson je izmeril odklon y . Ker ni poznal hitrosti v_0 , samo s podatkom za gostoto magnetnega polja B in pot s še ni mogel izračunati specifičnega naboja.

Pri drugem delu poskusa je zato uporabil homogeno prečno električno polje, ki je bilo pravokotno na magnetno polje in po katerem je naredil elektron enako pot kot po magnetnem polju. Na elektron deluje v električnem polju z jakostjo E sila z velikostjo $F_y = e_0 E$. Thomson je izbral električno polje s takšno smerjo in s tolikšno jakostjo, da je električna sila uravnovešila magnetno silo in se curek elektronov sploh ni odklonil (sl. 4b). V tem primeru velja $e_0 v_0 B = e_0 E$, iz česar sledi za hitrost $v_0 = E/B$. Iz enačbe za odklon $y = (1/2) (e_0 v_0 B / m_e) \cdot (s/v_0)^2 = (1/2) (e_0 E / m_e) (Bs/E)^2 = (1/2) (e_0 B^2 s^2 / m_e E)$ dobimo tako specifični naboj kot

$$e_0 / m_e = 2Ey / B^2 s^2$$

Pri nekem poskusu je magnetno polje z gostoto 0,001 T odklonilo elektronski curek za 1,4 cm. Pri tem poskusu je preletel curek po polju pot 4 cm in je bil zaslon na meji polja. Na kondenzator s ploščama v razmiku 1 cm je bilo treba dati napetost 100 V, da je izginil odklon. V tem primeru je bila jakost električnega polja $E = U/l = 100 \text{ V} / 0,01 \text{ m} = 10^4 \text{ V/m}$. Navedeni podatki so dali za specifični naboj elektrona

$$e_0/m_e = 2 \cdot 10^4 \text{Vm}^{-1} \cdot 0,014 \text{m} / 10^{-6} \text{T}^2 \cdot 0,04^2 \text{m}^2 = 1,75 \cdot 10^{11} \text{As/kg}$$

Nekako tako je računal Thomson. Zdaj je mogoče pokazati v šoli tudi poskuse, pri katerih določimo specifični naboj elektrona samo z merjenjem odklona v prečnem magnetnem polju. Elektrone pospešimo z znano napetostjo U_0 , tako da velja $(1/2)m_e v_0^2 = e_0 U_0$. Z enačbo za odklon v prečnem magnetnem polju da to $y = (1/2) e_0 B s^2 / m_e v_0 = (1/2) e_0 B s^2 / m_e \sqrt{2 e_0 U_0 / m_e} = B s^2 \sqrt{e_0 / 8 U_0 m_e}$, iz česar sledi specifični naboj

$$e_0/m_e = 8 U_0 y^2 / B^2 s^4$$

Pri navedenem poskusu je nastal odklon 1,4 cm v magnetnem polju z gostoto 0,001 T pri pospeševalni napetosti $U_0 = 286 \text{ V}$. Ko vstavimo podatke, dobimo

$$e_0/m_e = 8 \cdot 286 \text{ V} \cdot 0,014^2 \text{m}^2 / 10^{-6} \text{T}^2 \cdot 0,04^4 \text{m}^4 = 1,75 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$$

Mimogrede izračunajmo še hitrost elektronov, ki jih pospeši napetost 286 V :

$$v_0 = \sqrt{2 U_0 e_0 / m_e} = \sqrt{2 \cdot 286 \text{ V} \cdot 1,75 \cdot 10^{11} \text{ Askg}^{-1}} = 10^7 \text{ m/s} = 10\,000 \text{ km/s}$$

Tudi pri Thomsonovih poskusih so imeli skoraj vsi elektroni enako hitrost. Toda Thomson je - vsaj spočetka - ni znal naravnost izračunati in si je moral pomagati še z električnim poljem.

Priznati je treba, da je Thomson neposredno izmeril le specifični naboj elektrona. Maso je nato izračunal s privzetkom, da je velikost naboja enaka osnovnemu naboju, ki so ga določili pri elektrolizi. Če bi imel elektron večkratni osnovni naboj, bi imel tudi ustrezno večjo maso. Vsak dvom je izključil šele ameriški fizik Robert Andrews Millikan. Z natančnim merjenjem je ugotovil, da je naboj drobnih oljnih in živosrebrnih kapelj pozitivni ali negativni mnogokratnik osnovnega naboja (1911). Predstavljati si moramo, da ima kapljica po nekaj elektronov preveč ali premalo.

Zanimivo je, da velja elektron, ki so ga izmed vseh osnovnih delcev odkrili prvega, še danes za nesestavljen delec. Elektron je najlažji osnovni delec, če izvzamemo delce z maso nič. Po današnjih podatkih sta njegova masa

$$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

in naboj

$$e = -e_0 = -1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Specifični naboj pa je

$$e_0/m_e = 1,7588048 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$$

RENTGENSKA SVETLOBA

Nevidno prodorno sevanje

Raziskovanje katodnih žarkov je pripeljalo do čisto nepričakovanega odkritja. Leta 1896 je nemški fizik Wilhelm Konrad Röntgen ponavljal v Würzburgu Lenardove poskuse, pri katerih so katodni žarki - torej elektroni - izstopali skozi tanko steno cevi v zrak. Cev, ki mu jo je posodil Lenard (taka cev je na sl. 1 spodaj), je priključil na dokaj visoko napetost in ovil s črnim papirjem. Opazil je, da se svetlika fluorescenčni zaslon, ki je bil po naključju v bližini. Po tem je sklepal, da izhajajo iz cevi nevidni *žarki X*. Ugotovil je, da gredo brez težav skozi les, a slabše skozi kovance. Na zaslonu je opazoval senčno sliko kosti v svoji roki, ki jo je dal med cev in zaslon (sl. 5). Že nekaj mesecev po odkritju so uporabili nove žarke v medicini za opazovanje notranjih delov telesa v diagnostične namene in za iskanje napak v kovinskih odlitkih. Vendar niso vedeli, kakšna je narava teh žarkov. Zopet se je odprlo vprašanje: delci ali valovanje? Nekateri so menili, da so žarki X sorodni katodnim žarkom, čeprav se je kmalu pokazalo, da jih magnetno polje ne odklanja. Velika predirnost pa je govorila za valovanje. Vendar tega stališča po tedanjih eksperimentalnih ugotovitvah ni bilo lahko zagovarjati. Žarki X se namreč ne odbijajo in ne lomijo. Le *sipajo* se na vse strani, če telo zadeva curek žarkov.

Da bi razčistili vprašanje o valovanju, so poskusili zaslediti *uklon* in *interferenco*, kakor je storil Young pri svetlobi. Če so žarki X valovanje, se *uklanjajo* - širijo za ovirami tudi v geometrijsko senco - in *interferirajo* - pri sestavljanju se ponekod ojačijo in drugod oslabijo. Da bi to preverila, sta leta 1899 Hermann Haga in Cornelis Wind spustila žarke X skozi ozko trikotno režo. Pričakovala sta, da bo slika na fluorescenčnem zaslonu zaradi uklona popačena in da bosta po popačenosti lahko sklepala na valovno dolžino. Vendar nista mogla zaslediti nobene popačenosti. Po tem sta sklepala, da žarki X niso valovanje ali da so valovanje z zelo majhno valovno dolžino - manjšo kot 10^{-10} m. Poskus sta ponovila leta 1908 Bernhard Walter in Robert Wichard Pohl z enakim uspehom. Njune podatke je še enkrat skrbno obdelal leta 1912 Arnold Sommerfeld in potrdil, da valovna dolžina ne more biti dosti večja od 10^{-10} m.

Istega leta se je porodila nemškemu fiziku Maxu von Laueju preprosta, a posrečena misel, da bi za preskušnjo uporabil kristale. Auguste Bravais in drugi so že od srede 19. stoletja trdi-



Sl. 5: Ena izmed prvih Röntgenovih fotografij z rentgensko svetlobo. Med rentgensko cevjo in fluorescenčnim zaslonom je roka. Kost, ki vsebuje težji element kalcij, bolj oslabi rentgensko svetlobo kot okolno tkivo. Zlat prstan ne prepusti rentgenske svetlobe.

li, da je pravilna oblika le odraz urejenega razporeda atomov. Z znano gostoto kristala, kilomolsko maso in Avogadrovim številom ocenimo razmik med sosednjima atomoma v kristalu na nekaj krat 10^{-10} m. Kristal je potemtakem pripravna uklonska mrežica za preskušnjo žarkov X.

Izračunajmo razmik med sosednjima atomoma v kristalu kuhinjske soli. Gostota je 2160 kg/m^3 , relativna atomska masa natrija je 23 in klora 35,5. V $23 \text{ kg} + 35,5 \text{ kg} = 58,5 \text{ kg}$ kuhinjske soli je $N_A = 6 \cdot 10^{26}$ atomov natrija in prav toliko atomov klora, torej skupno $12 \cdot 10^{26}$ atomov. Tolikšna masa kuhinjske soli ima prostornino

$$58,5 \text{ kg} / 2160 \text{ kgm}^{-3} = 0,027 \text{ m}^3$$

Na en atom pride prostornina

$$0,027 \text{ m}^3 / 12 \cdot 10^{26} = 2,3 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

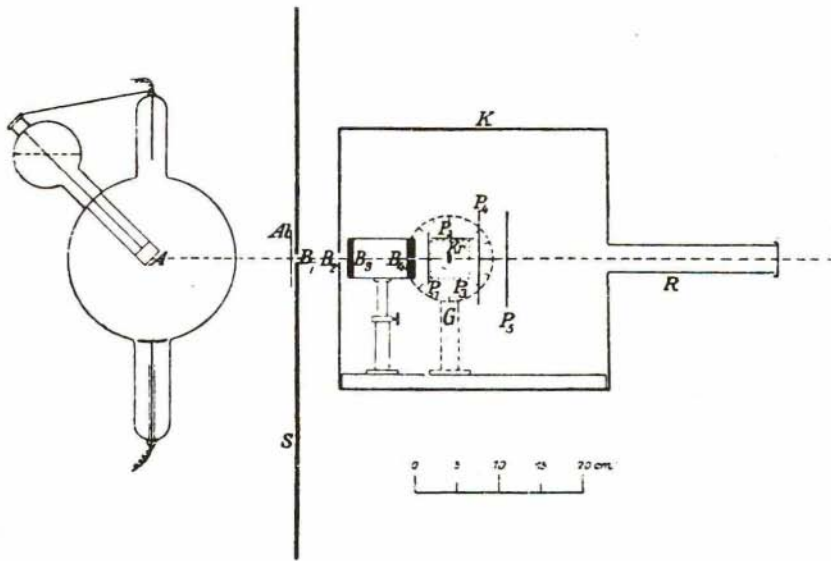
kar ustreza kocki z robom

$$\sqrt[3]{2,3 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3} = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

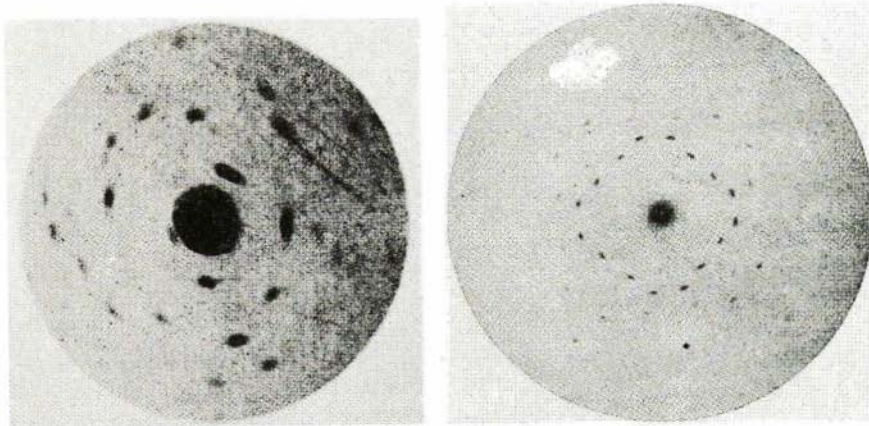
Ker so atomi v kristalu kuhinjske soli urejeni v pravilno kockasto mrežo, rezultat pravilno pove razmik med sosednjimi atomi natrija in klora.

Laue je razmišljal takole: Žarki X so valovanje, če pride pri prehodu skozi kristal do interference in se pojavijo v nekaterih smereh ojačeni curki. Po Lauejevi zamisli sta izvedla poskus njegova sodelavca Walter Friedrich in Paul Knipping (1912). Na fotografskih ploščah, ki sta jih postavila za kristal modre galice (bakrovega sulfata) ali cinkove svetlice (cinkovega sulfida), so se res pokazale temne pege, ki so ustrezale ojačenim curkom (sl. 6,7). Tako so skoraj dvajset let po odkritju dokazali, da so žarki X valovanje. Takoj so pomislili, da gre za elektromagnetno valovanje; saj ni drugega valovanja z ustreznimi lastnostmi.

E. Marx je že prej (od 1906 do 1910) večkrat izmeril hitrost



Sl. 6: Risba naprave, s katero sta Friedrich in Knipping prvič opazovala interferenco rentgenske svetlobe. A anoda rentgenske cevi, B_1 do B_4 zasloni z drobnimi odprtinami, Kr kristal, P_1 do P_5 fotografske plošče, S svinčeni ščit in K svinčeni zaboj.



Sl. 7: Interferenčni slike triklinskega kristala modre galice (a) in kubičnega kristala cinkove svetlice (b). Simetrija interferenčne slike odraža simetrijo kristala.

žarkov X. V okviru dosežene natančnosti se je izmerjena hitrost ujemala s hitrostjo svetlobe. Trajalo pa je še nekaj časa, preden so ugotovili, da je lomni kvocient vseh snovi za te žarke zelo blizu 1 in da zato ni mogoče opazovati odboja in loma kot pri vidni svetlobi. Odboj pri zelo položnem vpadu pa so kasneje vendarle opazili (1923).

Danes pravimo žarkom X *rentgenska svetloba* in štejemo k njej elektromagnetno valovanje z manjšo valovno dolžino kot nekako 10^{-8} m.

... Redko katero odkritje v znanosti so tako hitro uporabili kot rentgensko svetlobo. Nekaj mesecev po odkritju Wilhelma Röntgena 1895 so jo uporabljali v medicinski diagnostiki in za preiskovanje kovinskih odlitkov. Toda šele čez skoraj dvajset let so ugotovili njeno pravo naravo ...

G.L.Trigg, *Landmark experiments in twentieth century physics*, London, E. Arnold Ltd. 1975, str. 1.

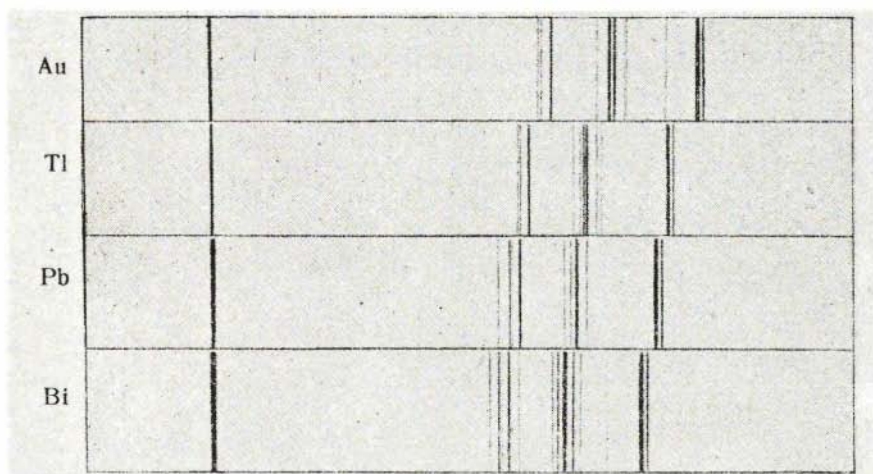
Interferenčne poskuse z rentgensko svetlobo sta napravila tudi Angleža William Lawrence Bragg in njegov oče William Henry Bragg 1912 in 1913. Njuna izvedba je bila zelo pripravna za raziskovanje kristalne zgradbe na eni strani in za preiskavo rentgenske svetlobe na drugi.

Ugotovili so, da se pojavijo pri dovolj visoki napetosti na rentgenski cevi v izsevani rentgenski svetlobi izrazite spektralne črte. Njihove valovne dolžine so značilne za element, iz katerega je anoda.

Na sled tega *značilnega (karakterističnega) sevanja* je prišel že prej (1908) Anglež Charles Glover Barkla. Na kos kovine je usmeril curek rentgenske svetlobe in z merilnikom zaznaval svetlobo, ki je izhajala iz kosa v pravokotni smeri. Postavil je kovinsko ploščo kot absorber najprej med rentgensko cev in kos kovine in potem še med kos in merilnik. Merilnik je v drugem

primeru kazal manj kot v prvem, če je bil kos iz dovolj težke kovine. Rentgenska svetloba, ki izhaja iz kosa kovine (*fluorescenčna rentgenska svetloba*), se torej v splošnem razlikuje od vpadne in je značilna za kovino.

Valovne dolžine značilnih črt je podrobneje premeril Anglež Henry G.J. Moseley (1913)*. Pokazalo se je, da se od elementa do elementa v *periodni preglednici* enakomerno spreminjajo, tako da jih je mogoče spraviti v preprosto zvezo z *vrstnim številom*, to je z zaporedno številko elementa v preglednici (sl. 8). Tako so lahko z neposredno meritvijo določevali vrstno število. Pokazalo se je, da je imel ruski kemik Dimitrij I. Mendelejev prav, ko je zaradi kemijskih lastnosti postavil na primer telur (vrstno število 52) pred jod (vrstno število 53), čeprav ima prvi večjo relativno atomsko maso (127,6) kot drugi (126,9).



Sl. 8: Moseleyevi rentgenski spektri zlata (vrstno število 79), talija (81), svinca (82) in bizmuta (83), manjka živo srebro (80). Valovna dolžina značilnih spektralnih črt se z naraščajočim vrstnim številom postopoma manjša.

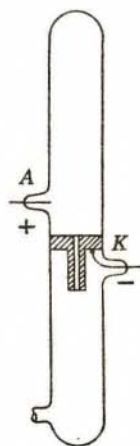
* Leta 1915 je komaj sedemindvajsetleten padel v bitki za Dardanele

Atomi nekaterih elementov nimajo vsi enake mase

Že na začetku 19. stoletja, ko na splošno še niso zaupali v atome, so nekateri vendarle že razpravljali o njihovi zgradbi.

Angleški zdravnik William Prout je leta 1816 sodil, da so vsi atomi sestavljeni iz atomov vodika, češ da so njihove mase mnogokratniki mase vodikovega atoma. Okoli leta 1860 so to misel zavrgli, ker so zanesljivejša merjenja pokazala, da razmerja niso cela števila. Odločilno vlogo je imel pri tem klor, za katerega so namerili relativno atomsko maso 35,5.

Šele leta 1884 je Proutovo zamisel povzel George Gabriel Stokes. Zdelo se mu je, da je v svetlobi z vesoljskih teles opazil spektralno črto, ki je po njegovem mnenju ni bilo v svetlobi zemeljskih svetil. To črto je pripisal mnogo preprostejši snovi od snovi na Zemlji. Atomi zemeljskih snovi naj bi bili sestavljeni iz atomov te vesoljske snovi. Ponesrečeno misel je leta 1886 prevzel William Crookes, ki se je rad predajal ugibanju. Zanimivo pa je, da je tudi trdil, da vsi atomi danega elementa niso med seboj enaki in da so kemijske atomske mase samo povprečne vrednosti. Čeprav je torej Crookes pravilno uganil obstoj izotopov, je misel ostala neopažena, najbrž zato, ker je bila tedaj še brez eksperimentalne osnove.

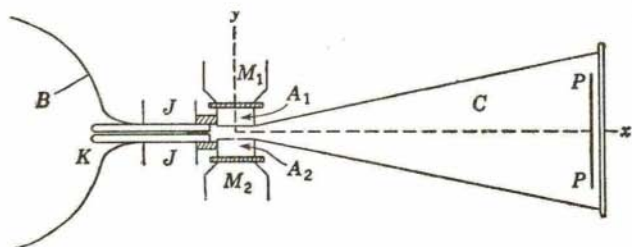


Sl. 9: Risba Goldsteinove cevi za opazovanje kanalskih žarkov. A anoda in K katoda z odprtino. Na spodnjem delu je priključena vakuumška črpalka.

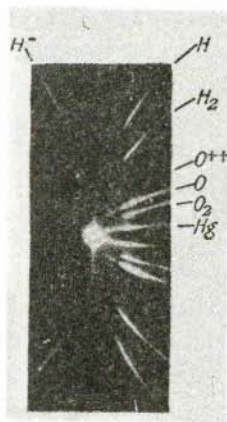
Istega leta (1886) je Nemec Eugen Goldstein raziskoval električni tok po razredčenih plinih v cevki s preluknjano katodo (sl. 9). V razredčenem neonu je izhajal skozi odprtino v katodi (torej v smeri stran od anode) svetel rdeč plamen, medtem ko so sevali katodni žarki na drugi strani cevi blede modro svetlobo. Ker je pramen izhajal iz odprtine (kanala), je zanj skoval ime *kanalski žarki*.

Dolgo časa so kanalske žarke zaman poskušali odkloniti z magnetnim poljem. To je uspelo šele leta 1898 nemškemu fiziku Wilhelmu Wienu. Z odklanjanjem v električnem in magnetnem polju je določil njihov specifični naboj. Bil je približno tolikšen kot specifični naboj pozitivnih ionov pri elektrolizi. Po tem je bilo mogoče sklepati, da so tudi kanalski žarki pozitivni ioni. Zaradi slabe merilne naprave pa Wien za specifični naboj ni dobil dovolj natančnih vrednosti.

J.J. Thomson je leta 1906 začel natančna merjenja s kanalskimi žarki. V njegovi cevi je bil tlak okoli milijoninke navadnega zračnega tlaka in napetost do 20 tisoč voltov. Električno in magnetno polje sta bili med seboj vzporedni in pravokotni na smer gibanja ionov (sl. 10). Na plošči, ki je stala na koncu ce



Sl. 10: Poenostavljena risba Thomsonove cevi - prvega masnega spektrografa. B posoda, v kateri teče električni tok med anodo (ni na risbi) in katodo K. Skozi zelo drobno odprtino v njej uhajajo pozitivni ioni v del posode C, v katerem je fotografska plošča P. Med elektrodama A_1 in A_2 je električno polje, magnet M_1M_2 pa daje magnetno polje, vzporedno z električnim. J posoda za vodo za hlajenje katode.



Sl. 11: Odseki parabol v masnem spektru, dobljenem s cevjo na sliki 9.

vi, so se pokazale parabole, od katerih je vsaka ustrezala ionom ene vrste. Posamezne parabole (sl. 11) je bilo mogoče pripisati ionom vodika (H^+ in H_2^+), kisika (O^+ , O^{++} in O_2^+) in živega srebra (Hg^+). Thomsonova naprava je bil prvi *masni spektrograf*, ki je razvrstil ione po specifičnem naboju ali - pri danem naboju - po njihovi masi. Posnetek pa je bil prvi *masni spekter*.

V masnem spektru je Thomson opazil ob pričakovani paraboli neona še drugo, okoli devetkrat šibkejšo (1913). Ugotovil je, da ustreza prva ionom z relativno atomsko maso zelo blizu 20 in druga ionom z relativno atomsko maso zelo blizu 22. Po vsestranskem preverjanju ni bilo druge možnosti, kot da je obe pripisal neonu. Prva je ustrezala sestavini z relativno atomsko maso zelo blizu 20 in druga sestavini z relativno atomsko maso zelo blizu 22. Prvo so imenovali *izotop* neona ^{20}Ne in drugo izotop ^{22}Ne .

Izraz izotop še danes splošno rabi za različke istega elementa, torej za atome, ki se razlikujejo po atomski masi, a imajo enake kemijske lastnosti in sodijo v isti predalček periodne preglednice elementov. (V grščini pomeni izotop isti kraj.)

Da obstajajo izotopi, so prvič opazili pri preučevanju radioaktivnih elementov. Anglež Frederick Soddy, ki se je s tem ukvarjal, je že leta 1910 izrekel *zakon o celih relativnih atomskih masah*, s čimer se je vrnil k stari Proutovi zamisli. Za elemente, katerih relativne atomske mase se znatno razlikujejo od celih števil, so zdaj imeli pojasnilo: to so mešanice izotopov; relativne atomske mase izotopov pa so zelo blizu celih števil.

Po Thomsonovem približnem merjenju je v naravnem neonu okoli devetkrat manj izotopa ^{22}Ne kot izotopa ^{20}Ne . Relativna atomska masa naravnega neona okoli 20,2 je tedaj povprečna vrednost:

$$0,9 \cdot 20 + 0,1 \cdot 22 = 20,2$$

Tako je bil neon prvi element, pri katerem so odkrili dva obstojna izotopa.

Anglež Francis William Aston je leta 1919 zgradil izpopolnjeno inačico masnega spektrografa in je z njim začel sistematično

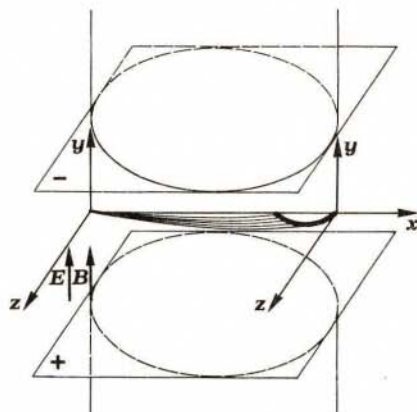
preiskovati izotopski sestav naravnih elementov. Pri tem mu je šlo za identifikacijo izotopov, za določitev deleža posameznih izotopov in za čim natančnejše merjenje relativnih atomskih mas. V treh letih je preiskal 27 elementov. Pozneje so masni spektrograf močno izpopolnili in že leta 1953 so poznali skoraj 300 naravnih izotopov. V sodobnih masnih spektrografih pospešuje v ionskem izviru ione določena napetost, tako da imajo vsi skoraj enako hitrost. V masnem spektru nastanejo ostre črtice namesto razmazanih parabol.

Preprost račun pokaže, zakaj so v starejših masnih spektrografih dobili na posnetkih parabole. Poznati je treba le enačbi za sili, ki delujeta na nabit delec v električnem in magnetnem polju. Ti enačbi smo že uporabili pri ilustraciji Thomsonovega merjenja specifičnega naboja elektrona (str. 10).

Na pozitivni ion z nabojem e deluje v prečnem homogenem magnetnem polju sila z velikostjo $F_z = ev_0 B$. Sila ima smer osi z , če kaže magnetno polje v smer osi y in se gibljejo ioni s hitrostjo v_0 v smeri osi x (sl. 12). Pospešek v prečni smeri je zaradi te sile $a_z = F_z/m = ev_0 B/m$. Ko priletijo ioni po polju pot s , se v prečni smeri odklonijo za $z = (1/2)a_z t^2 = (1/2)(ev_0 B/m)(s/v_0)^2 = (1/2)(eBs^2/mv_0)$. Da preletijo pot s s hitrostjo v_0 , potrebujejo namreč čas $t = s/v_0$.

Homogeno električno polje z jakostjo E naj bo zdaj vzporedno z magnetnim poljem in v smeri gibanja enako široko. Na ion deluje v tem polju sila $F_y = eE$ v smeri polja, to je v smeri osi y . Zaradi te sile se gibljejo ioni v prečni smeri s pospeškom $a_y = F_y/m = eE/m$ in odklon na robu polj je $y = (1/2)a_y t^2 = (1/2)(eEs^2/mv_0^2)$.

V starih masnih spektrografih so imeli ioni različne hitrosti v_0 . Iz enačb $z = (1/2)(eBs^2/mv_0)$ in $y = (1/2)(eEs^2/mv_0^2)$ odpravimo neznano hitrost v_0 , pa dobimo enačbo parabole $z^2 = (1/2)(B^2 s^2/E)(e/m)y$. Ioni ene vrste - z danim specifičnim nabojem e/m - se zberejo ne glede na hitrost na paraboli. Za vsako vrednost e/m dobimo svojo parabolo.



Sl. 12: Nastanek parabole ionov z danim specifičnim nabojem v Thomsonovem masnem spektrografu. Nakazani sta električno polje med ploščama kondenzatorja in magnetno polje v reži magneta. Polji sta vzporedni.

ATOMSKO JEDRO

Atom sestavljajo elektroni in zelo drobno pozitivno jedro

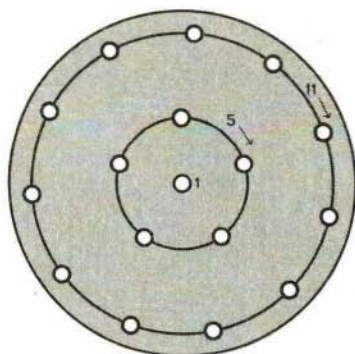
V kemiji so atomi sprva veljali za popolnoma nedeljive. Odkritje elektrona pa je kazalo, da so atomi sestavljeni. Če so v atomu elektroni, mora biti v njem še pozitivni naboj, ki izravna naboj elektronov; saj je atom na zunaj električno nevtralen. Tako je na začetku našega stoletja vzniknilo vprašanje o zgradbi atoma in o tem, kako so sestavni deli z nasprotnimi naboji razporejeni v atomu. Na to vprašanje so poskušali odgovoriti z *atomskimi modeli*, to je s poenostavljenimi slikami.

Prva zamisel se je porodila Lenardu, ko je opazoval, kako slabši elektronski curek pri prodiranju skozi tanke kovinske lističe. Ugotovil je, da je oslabitev približno sorazmerna z maso snovi, skozi katero so šli elektroni, preračunano na ploskovno enoto. Kemijski sestav ni bil pomemben; spoznanje je veljalo približno enako za zrak kot za svinec in druge snovi. Po tem je sklepal, da so atomi malodane prazni in da se sipajo elektroni v njih le na drobnih sipalni centrih, ki jih je imenoval

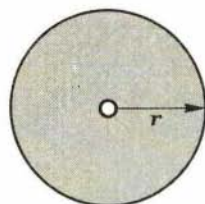
Sl. 13: Atomski modeli: Lenardov (a), Kelvinov z 1 do 3 mirujočimi elektroni (b_1 - b_3), Thomsonov s 17 in 49 v ravnini krožečimi elektroni (c_1, c_2) in Nagaokin (d). Negativno nabiti elektroni so narisani s krožci, pozitivni naboj pa je nakazan osenčeno. 



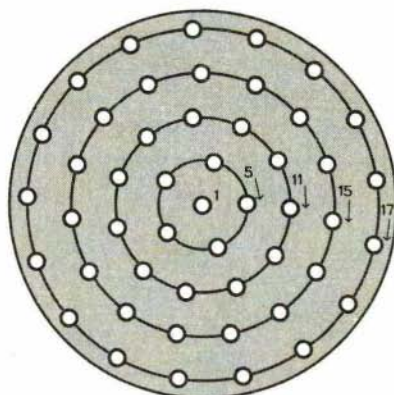
(a)



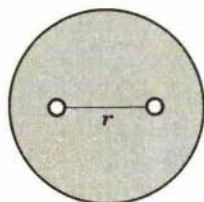
(c₁)



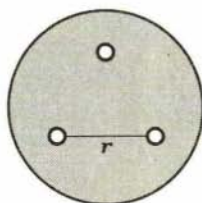
(b₁)



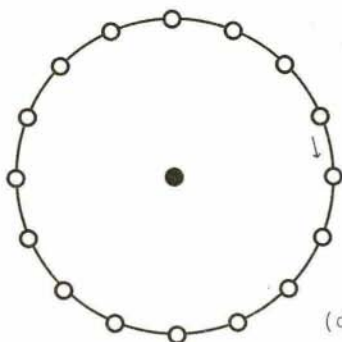
(c₂)



(b₂)



(b₃)



(d)

dinamide (sl. 13a). Elektron naj bi letel brez težav skozi atom; s poti bi zavil ali se ustavil samo, če bi naneslo, da bi trčil s katero od dinamid. Po neodvisnosti oslabitve od kemijskega sestava snovi je sklepal, da so dinamide v vseh atomih enake in da jih je v atomu tem več, čim večja je njegova masa. Predstavljal si je, da so dinamide nevtralne in da imajo približno tolikšno maso kot vodikov atom. Po oslabitvi curka elektronov v snovi je ocenil radij dinamide na $3 \cdot 10^{-14}$ m ali manj.

Lenardov model atoma je imel nekaj dobrih potez, vendar se ni skladal z Zeemanovimi merjenji. Z nevtralnimi dinamidami ni bilo mogoče pojasniti velikega specifičnega naboja nihajočih delcev v atomu. Zeemanovi rezultati so kazali, da so v atomih elektroni, kar so upoštevali vsi poznejši modeli atomov.

Leta 1902 je nastal atomski model Williama Thomsona - lorda Kelvina (ki ni bil v sorodu z odkriteljem elektrona J.J. Thomsonom). Po njegovem naj bi vso prostornino atoma v obliki krogle z radijem nekajkrat 10^{-10} m enakomerno izpolnjeval pozitivni naboj. V njem naj bi bili elektroni razporejeni "kot rozine v potici". Vsi atomi naj bi imeli enak radij in elektroni v njih naj bi mirovali. Kelvin je preračunal stabilne ravnovesne lege elektronov v atomih z enim do šestimi elektroni (sl. 13b).

Trdil je, da miruje en elektron v središču atoma, dva na premeru v simetrični legi, trije v ogliščih enakostraničnega trikotnika, štirje v oglih tetraedra, pet v oglih tetraedra in v središču in šest v oglih oktaedra. Vprašanje o razporeditvi večjega števila elektronov v atomih težjih elementov se je Kelvinu sicer zdelo zanimivo in ne preveč zamotano, a se ga ni lotil.

Malo drugačen model je razvil J.J. Thomson v letih od 1904 do 1907. Privzel je, da v ravnovesnem stanju vsi elektroni enakomerno krožijo po koncentričnih krogih v eni izmed ravnin skozi središče pozitivnega naboja. Zavedal se je, da je to poenostavitev, toda splošni problem se mu je zdel prezamotan. Krog z manjšim radijem naj bi sprejel največ pet elektronov. Na krogih z vse večjimi radiji pa naj bi bilo prostora po vrsti za največ 11, 15, 17, 21, 23 ... elektronov (sl. 13c). Razporeditev

elektronov po krogih z vse večjimi radiji v atomih z naraščajočim številom elektronov naj bi vsaj v zasnovi pojasnila periodno preglednico elementov. Thomson je tudi izračunal *ionizacijsko energijo*, to je najmanjšo energijo, ki jo je treba dovesti atomu, da mu odtrgamo elektron. Ta naj bi bila posebno majhna za atome z enim elektronom na najbolj zunanjem krogu. Vendar izračunanih vrednosti ni poskusil primerjati z izmerjenimi. Najbrž se je zavedal slabosti ravninske poenostavitve.

Zdelo se je, da bi lahko Thomsonov model pojasnil spektralne črte in celo Zeemanovo razcepitev. Krožeči elektroni bi namreč lahko zanihali sem in tja, ko bi atom zmotili od zunaj, na primer pri trku z drugim atomom. Nihajoči elektroni bi sevali elektromagnetno valovanje z izbrano frekvenco. Odločilna pomanjkljivost modela pa je bila v tem, da je dopuščal premalo različnih frekvenc. Poleg tega se izračunane frekvence elektronskih nihanj niso ujemale s frekvencami opazovanih spektralnih črt.

Kljub naštetim pomanjkljivostim je okoli leta 1910 nesporno prevladoval Thomsonov model. Od drugih modelov, ki jih še zdaleč niso jemali tako resno, omenimo samo model japonskega fizika Hantara Nagaoke iz leta 1904 (sl. 13d). Menil je, da se gibljejo elektroni po krogu okoli skoraj točkastega pozitivnega naboja. Potemtakem naj bi bil atom prazen, kar se je skladalo z Lenardovimi merjenji. Vendar tudi temu modelu niso posvečali nobene pozornosti, čeprav je bil bližji resnici kot vsi prejšnji.

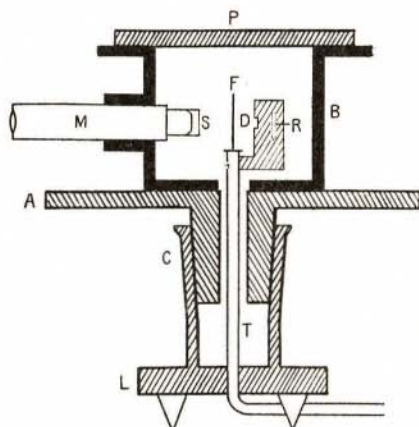
Leta 1909 je začel Hans Geiger v Manchestru pod vodstvom Ernesta Rutherforda (sl. 14), Angleža z Nove Zelandije, vrsto poskusov s sipanjem zelo hitrih ionov. Pozneje se mu je pridružil še Ernest Marsden. Nekateri radioaktivni snovi oddajajo helijeve ione z dvojnimi pozitivnim osnovnim nabojem. Njihova kinetična energija je tolikšna, kot da bi jih v vakuumu pospešila napolnjenost več milijonov voltov. Opazovanje prehoda hitrih ionov skozi tanke kovinske lističe bi lahko dalo podatke o razsežnosti pozitivnega naboja v atomu (sl. 15).

V resnici pride tudi do trkov hitrega iona z elektroni. Vendar

posamezni trk z elektronom zaradi veliko večje mase iona le malo vpliva na let iona. Ion sicer lahko izbije elektron iz atoma in ga pri tem *ionizira* - razbije na elektron in pozitiven ion. Za to porabi kvečjemu kako tisočino svoje kinetične energije in se zaznavno ne odkloni. Drugače je s pozitivnim delom atoma. Ker ima v primeri z ionom veliko maso, ostane skoraj pri miru. Pri takem trku se ion tem bolj odkloni, čim večja je sila pozitivnega naboja na ion. Če je naboj enakomerno porazdeljen po krogli, je sila največja na površini krogle. Razen tega uvidimo, da je ta sila tem večja, čim manjši je radij krogle. V Thomsonovem modelu atoma so si predstavljali, da izpolnjuje pozitivni naboj ves atom. Tak naboj bi odklanjal ion le z majhno silo.

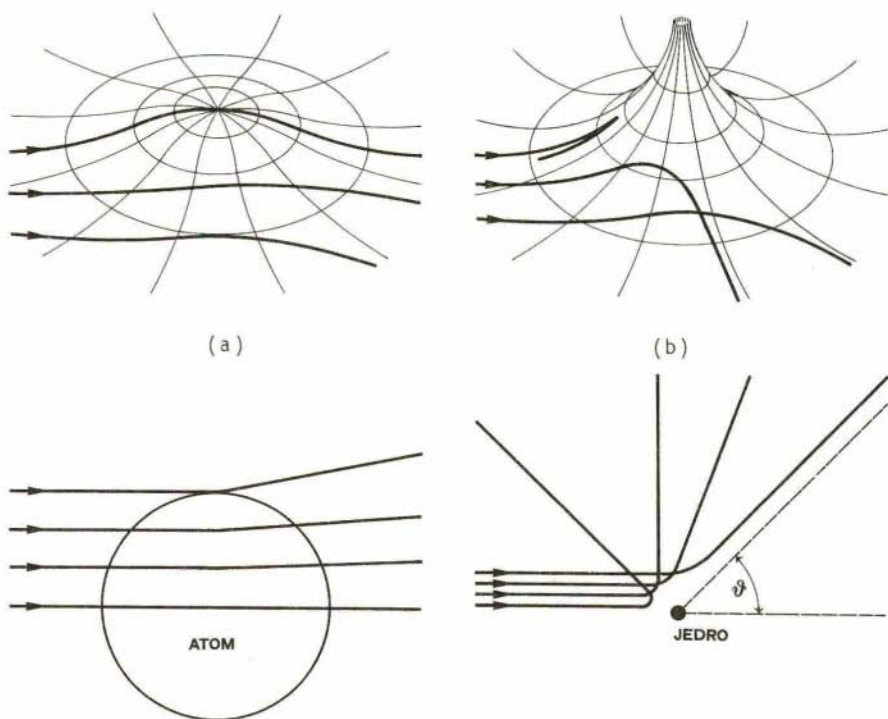


Sl. 14: E. Rutherford (levo) in N. Bohr z ženama leta 1930



Sl.15: Poenostavljena risba naprave, s katero sta Geiger in Marsden raziskala sipanje delcev na tankih kovinskih lističih pri sipalnih kotih od nekaj stopinj do skoraj 180° . Celico B zapira šipa P. Iz radioaktivnega izvira R izhaja skozi drobno odprtino D ozek curek delcev α . F kovinski listič, S fluorescenčni zaslon, M mikroskop, A krožna plošča, T cev do vakuumske črpalke, C vrtiljivi stožčasti stik in L podlaga. Zgornji del naprave z mikroskopom je vrtljiv, izvir in listič pa sta nepremična.

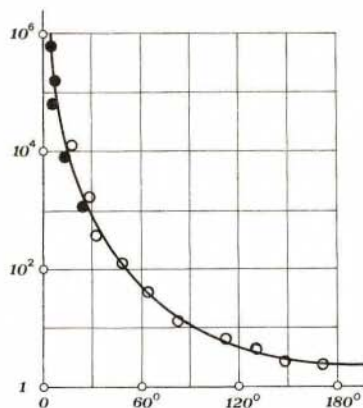
Pričakovati bi smeli le majhne odklone, največ kako desettisočino stopinje (sl. 16). Tudi če vzamemo kovinski listič z debelino tisočine milimetra, v katerem je skoraj deset tisoč plasti atomov, smemo pričakovati le odklon okoli ene stopinje ali nekaj manj.



Sl. 16: Model za sipanje delcev α na pozitivnem delu naboja v Thomsonovem modelu (a) in na jedru (b). Električno silo med delcem α in pozitivnim delom naboja ponazorimo s hribom, delce α pa z drobnimi kroglicami, ki jih spuščamo proti hribu po klancu iz določene višine. V Thomsonovem modelu je hrib položen in nizek, ker je naboj porazdeljen po vsej prostornini atoma in so odkloni majhni (na risbi so narisani pretirano veliki). Pri zelo majhnem jedru pa je hrib strm in zelo visok in so odkloni lahko veliki.

Pri merjenju s tankimi listi zlata, srebra in platine sta Geiger in Marsden opazila, da se je večina ionov odklonila zares okoli ene stopinje. Toda en ion na vsakih nekaj tisoč ionov se je odklonil za kot, večji od pravega kota. Ta rezultat, ki so ga vsestransko preverili, je popolnoma nasprotoval pričakovanjem (sl. 17).

Velik odklon nekaterih ionov je bilo mogoče pojasniti samo z zelo veliko električno silo pozitivnega atomskega naboja na ion. To pa pomeni, da je v atomu stisnjen pozitivni naboj z zelo majhno prostornino (sl. 15b). Maja 1911 je Rutherford objavil teorijo, ki se je izvrstno ujemala z merskimi rezultati. Vpeljal je nov model atoma, v katerem je bil pozitivni del naboja zbran v zelo majhnem jedrusredi atoma. Poskusil je izračunati radij jedra, v katerem je nakopičena skoraj vsa masa atoma, in dobil, da mora biti manjši kot $3 \cdot 10^{-14}$ m. To pomeni, da je jedro vsaj nekaj desetstisočkrat manjše od atoma in ga je pri preučevanju atoma mogoče obravnavati kot točkasto. Okoli jedra se gibljejo elektroni in atom je tudi v tem modelu prazen; izpolnjuje ga le močno električno polje in točkasti elektroni, ki se gibljejo po njem. V tem modelu je mogoče primerjati atom z Osončjem: jedro je Sonce, elektroni pa planeti.



Sl. 17: Število bliskov na zaslonu naprave s sl. 15 v odvisnosti od sipalnega kota θ . Krivulja, ki je sorazmerna z $1/\sin^4(\theta/2)$, je Rutherfordova teoretična napoved.

... Na tem zgledu bi rad pokazal, kako se pogosto spotakneš ob dejstvo po naključju. V prejšnjih letih sem opazoval sipanje delcev α in dr. Geiger ga je v mojem laboratoriju temeljito raziskal. Za tanke lističe težkih kovin je ugotovil, da je odklon pri sipanju navadno majhen - z velikostno stopnjo ene stopinje. Nekega dne je prišel Geiger k meni in rekel: "Ali ne mislite, da bi lahko mladi Marsden, ki ga učim radioaktivnih metod, začel z majhnim raziskovalnim delom?". Tako sem tudi sam mislil, zato sem rekel: "Zakaj ne bi pogledal, ali se lahko kaj delcev α sipa za velik kot?" Zaupno vam povem, da tega nisem pričakoval. Vedeli smo, da so delci α hitri in težki delci z veliko kinetično energijo. Verjetnost za sipanje nazaj je zelo majhna, če pride do tega s seštevanjem majhnih odklonov. Spominjam se, da je prišel po dveh ali treh dneh Geiger ves razburjen in rekel: "Našla sva nekaj delcev α v smeri nazaj." To je bil najneverjetnejši dogodek, ki se mi je primeril v življenju. Bil je skoraj tako neverjeten, kot če bi ustrelili osemdesetcentimetrsko granato proti svilenemu papirju, pa bi granata priletela nazaj in vas zadela. S premišljevanjem sem ugotovil, da mora biti sipanje nazaj posledica enega samega trka. Ko sem naredil račun, sem videl, da je nemogoče dobiti kaj takega, če ne vzamete sistema, v katerem je večji del atomske mase zbran v drobnem jedru. Tedaj se mi je porodila zamisel o atomu s težkim osrednjim delom, ki nosi naboj. Matematično sem izpeljal enačbe, ki naj bi veljale za sipanje. Ugotovil sem, da naj bi bilo število delcev α , ki se sipajo za dani kot, sorazmerno z debelino lističa, s kvadratom jedrskega naboja in obratno sorazmerno s četrto potenco hitrosti. Te napovedi sta pozneje potrdila Geiger in Marsden z vrsto lepih poskusov ...

E. Rutherford, iz predavanja
v Manchesteru

Rutherfordova objava, s katero se je rodila jedrska fizika, je najprej ostala neopažena. Do veljave ji je pripomogel šele danški fizik Niels Bohr (sl. 13), ki je leta 1912 obiskal Manchester. Spoznal je pomen Rutherfordovega odkritja in ga zanesel v svet. Povzel je misel, da ima vodikovo jedro enojni pozitivni osnovni naboj in helijevo jedro dvojnega. Kmalu nato je Nizozemec Antonius van der Brock postavil domnevo, da je v jedru tolikokratni pozitivni osnovni naboj in v nemotenem atomu toliko elektronov, kolikršno je vrstno število elementa. Ioni helija z dvojnimi pozitivnim osnovnim nabojem - delci α - so tedaj jedra helijevih atomov. Precej pozneje so začeli vodikovo jedro imenovati *proton* in ga šteti med osnovne delce.

... Tedaj sem študiral v Heidelbergu pri profesorju Lenardu in zanimanje za atomsko in elektronsko fiziko je bilo živo. Veliko vznemirjenja so povzročile prve objave C.T.R. Wilsona o meglični celici. Ne spominjam pa se, da bi kdo govoril o Rutherfordovem članku ...

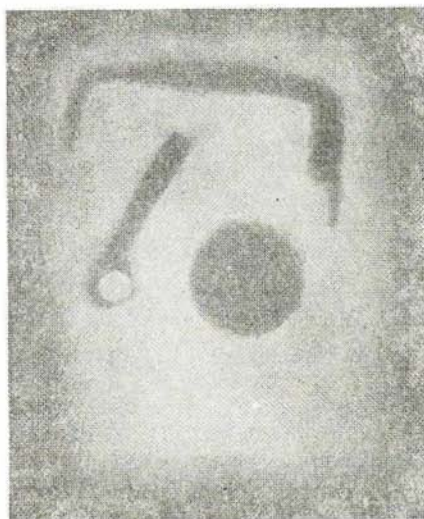
E.N. da C.Andrade, *The birth of the nuclear atom*, Scientific American 195(1956)93(5)

Model atoma, v katerem se gibljejo elektroni okoli jedra, je imel resno pomanjkljivost. Pospešeno se gibajoči elektroni bi morali sevati elektromagnetno valovanje. Zaradi tega bi atom izgubljal energijo in ne bi bil obstojen. (Tudi Thomsonov model ni bil brez te pomanjkljivosti.) Da bi rešil model, je N. Bohr kratkomalo privzel (1913), da se lahko gibljejo elektroni samo po krogih z izbranimi radiji in da sevajo samo, če preidejo z enega tira na drugega. Dokončno razlago je prinesla *kvanтна mehanika* v tridesetih letih. Elektroni se vedejo drugače kot makroskopska telesa. Gibljejo se tako, da jim ni mogoče pripisati tira, in tudi ne morejo mirovati. Elektroni v atomu se obnašajo kot nekakšen oblak, ki ga je zelo težko stisniti. Oblak kot celota v osnovnem stanju atoma miruje in zato ne seva.

Atomska jedra nekaterih elementov se razletijo sama od sebe

Röntgenovo odkritje je zbudilo med fiziki veliko zanimanje. Januarja 1896 je o njem poročal francoski akademiji znanosti Henri Poincaré. Henrija Becquerela, ki je poslušal poročilo, je zanimalo, od kod izhajajo žarki X. Mislil je, da jih seva predvsem del cevi, ki fluorescira, in se vprašal, ali morda se vajo rentgensko svetlobo tudi druge snovi, ki fluorescirajo. Njegov oče Edmond Becquerel je preučeval fluorescenco in je v ta namen zbral veliko različnih snovi. Med snovmi, ki jih je Henri Becquerel najprej osvetlil z vidno svetlobo, jih nato zavil v črn papir in položil na fotografsko ploščo, je bila tudi neka uranova spojina. Na razviti plošči se je pojavila dobro vidna pega, po kateri je Becquerel sklepal, da fluorescirajoča snov seva žarke X. Marca 1896 pa je ugotovil, da oddaja ta snov neznane žarke, tudi če je ni prej obseval z vidno svetlobo (sl. 18).

Za pojav se je kasneje udomačilo ime *radioaktivnost*. Leta 1898 je Gerhard Nathaniel Schmidt spoznal, da so radioaktivne tudi



Sl. 18: Ena izmed prvih fotografskih plošč, ki jo je počrnilo sevanje iz radioaktivne snovi. Becquerel je zavil ploščo v črn papir, položil nanjo plast kristalov uranove soli, vse skupaj zaprl v predal in počakal nekaj dni. Ko je ploščo razvil, je bila počrnjena. Kovinski predmeti med ploščo in radioaktivno snovjo so zadržali sevanje in pustili sence.

torijeve spojine. Marie Curie, Poljakinja, ki se je poročila s Francozom, je potrdila to spoznanje. Z možem Pierrom Curiejem pa sta odkrila radioaktivni element *polonij* in (skupaj z G. Bemontom) *radij*.

Prav tedaj je Rutherford ugotovil, da imajo žarki iz urana dve sestavini. Prvo, ki pri prodiranju skozi snovi znatno močnejše oslabi kot drugo, je imenoval *žarke α* , drugo pa *žarke β* . Naslednje leto so spoznali po odklonih v magnetnem polju, da so žarki β hitri elektroni. Bolje je torej, če jim rečemo *deleci β* . Šele leta 1909 sta E. Rutherford in T. Royds nedvoumno ugotovila, da so žarki α - ali bolje *deleci α* - helijevi ioni z dvojnimi pozitivnim osnovnim nabojem, torej helijeve jedra. Radioaktivni preparat sta dala v drobno stekleno cevko s samo 0,01 mm debelimi stenami. Cevko je obdajala večja evakuirana cevka z elektrodama. Po nekaj dneh je bilo mogoče v svetlobi, ki jo je seval plin v zunanji cevki, dokazati za helij značilne spektralne črte. Medtem je Villard leta 1900 spoznal še tretjo vrsto žarkov, ki jo je imenoval *žarke γ* . Nanje magnetno polje sploh ni vplivalo in ob prehodu skozi snov so se zelo malo oslabili.

Zanimivo je zasledovati, kako so preko preučevanja muhastega vedenja zelo neobstoje plinaste torijeve emanacije prodrli do narave radioaktivnosti in do radioaktivnih nizov. Odkritje neobstoynosti mnogih težkih atomov, ki oddajajo negativno nabiti elektron ali pozitivno nabiti delec α in se spremenijo v popolnoma različen kemijski element, bo ostalo eno izmed najbolj revolucionarnih odkritij sploh ...

M.L.Oliphant, *Collaboration of equals*,
Nature 174(1978)723

(Naslov *Sodelovanje med enakima* se nanaša na skupno delo E. Rutherforda in F. Soddyja v Montrealu od 1901 do 1903. *Emanacija* je staro ime za radon; tu je mišljen radonov izotop ^{220}Rn , ki nastane po več razpadih iz naravnega torija ^{232}Th in sam v nekaj minutah razpade dalje.)

Odkritje radioaktivnosti je postavilo fizike pred uganko, odkod izvira energija, ki jo oddajajo radioaktivne snovi. Že Becquerela in M. Curiejevo je začudilo, ko nista mogla ugotoviti, da bi sevanje iz urana kaj oslabilo s časom. Ponujala sta se dva mogoča odgovora. Ali za radioaktivnost ne velja *energijski zakon* ali pa dobiva radioaktivna snov energijo od zunaj. Energijski zakon so izoblikovali v prvi polovici prejšnjega stoletja in so na koncu stoletja vanj že zaupali kot v zakon brez izjem. Zato se je prvi odgovor zdel slab.

Vendar druga možnost ni bila nič privlačnejša. Leta 1898 je M. Curiejeva predlagala, da izpolnjuje prostor nekakšno sevanje, ki je podobno rentgenski svetlobi. Lahki elementi so zanj popolnoma prepustni, najtežji, radioaktivni elementi pa ga absorbirajo in zato sevajo žarke nekako kot pri fluorescenci. W. Crookes pa je menil, da utegne radioaktivna snov črpati energijo iz okolice, na primer iz zraka. Nemca Julius Elster in Hans Geitel sta leta 1898 ovrgla obe domnevi. Ugotovila sta, da se sevanje radioaktivne snovi ni spremenilo, ko sta opazovala snov v vakuumu ali pa v tristo metrov globokem rudniku (kjer bi moralo biti hipotetično sevanje vsaj oslabiljeno).

Naslednje leto sta ugotovila tudi, da na radioaktivno sevanje ne vplivata ne sončna svetloba ne katodni žarki. M. Curiejeva je ohladila radij do temperatur tekočega vodika, Rutherford pa ga je ob eksploziji segrel do temperature 2500°C , ne da bi to opazno vplivalo na sevanje. Vse te izkušnje so kazale, da na radioaktivnost ni mogoče zaznavno vplivati s spremembo zunanjih okoliščin.

... Pomembno je poudariti, da temeljne uganke (odkod energija pri radioaktivnem razpadu) v svojem času ni so ovirale razvoja. Prej so ga spodbujale. Območje radioaktivnosti je bilo mlado, ko so se pojavila ta vprašanja, naloge pa so bile zelo zahtevne. Medtem ko sta Curieja dosti razmišljala o teh problemih, to ni zavrlo nadaljevanja njunega sijajnega raziskovanja. Problemi so bili spodbuda za moške Elstrovega in Geitlovega kova ...

A.Pais, *Radioactivity's two early puzzles*,
Reviews of Modern Physics 49(1977) 925

Zadrega z energijskim zakonom je bila res huda. Toda že leta 1899 sta Elster in Geitel sodila, da je treba iskati izvir energije v radioaktivni snovi sami. Leta 1902 sta Rutherford in F. Soddy postavila *transformacijsko teorijo*, po kateri se atomi pri radioaktivnem razpadu spreminjajo. To je bil pogumen korak, saj so veljali atomi v kemiji za popolnoma nedeljive in nespremenljive in se je šele začela uveljavljati zamisel, da so sestavljeni iz elektronov in pozitivnega dela. Leta 1904 je Rutherford trdil, da izvira energija iz radioaktivnih atomov, tako da ni treba nič dvomiti v energijski zakon. Že leta 1903 je skupaj s Soddyjem prvič uporabil izraz *atomska energija*. (Z današnjega gledišča je izraz napačen - prav je *jedrska energija* - a tedaj še niso vedeli za obstoj jeder. Izraz pa je vse eno v rabi, ker so ga na novo vpeljali leta 1945. Sestavljalcu uradnega poročila vlade Združenih držav *Atomska energija v vojni namene* so tedaj mislili, da je "atomski" bolj razumljiv kot "jedrski". V prvi inačici poročila so sicer uporabili "jedrski", pa so ga nadomestili z "atomski", češ da izraza "jedrski" ljudje ne poznajo ali pa ga povezujejo z biologijo.) Leta 1903 sta P. Curie in Laborde s kalorimetrom izmerila, da segreje 1 g radija v eni uri 4/3 g vode od tališča do vrelišča. Radij odda torej okoli milijonkrat večjo energijo kot enaka prostornina pokalnega plina (mešanica vodika in kisika) ob eksploziji. Za-

to so se v tedanjih časopisih pojavili glasovi o izredni učinkovitosti atomske energije.

Po odkritju atomskega jedra je leta 1913 N. Bohr uvidel, da je radioaktivnost jedrski pojav. Casimir Fajans v Nemčiji ter F. Soddy in Alexander Russel v Angliji so sklepali, da se atom, katerega jedro odda delec α , to je helijevo jedro, spremeni v takega, ki je v periodni preglednici za dve mesti bolj levo. Atom, katerega jedro odda delec β , to je elektron, pa se spremeni v takega, ki je v periodni preglednici za eno mesto bolj desno. Šele leta 1924 sta Rutherford in E.N. da C. Andrade dokazala, da so žarki γ - danes pravimo *sevanje γ* ali *fotoni γ* - elektromagnetno valovanje z zelo majhno valovno dolžino. Razlika med rentgensko svetlobo in sevanjem γ je samo v tem, da prihaja prva od elektronov v atomih, drugo pa iz jeder.

Rutherford je leta 1900 ugotovil, da pojema radioaktivnost elementa, katerega potomec ne seva, "po geometrijskem zaporedju". Po nekem času pade na polovico, po dvakrat tolikšnem času na četrtno, po trikrat tolikšnem na osmino ... Danes pravimo, da velja za radioaktivni razpad *eksponentni zakon* (sl. 17). Nemec Egon von Schweidler (1905) in drugi so spoznali, da je razpad naključen in da odda radioaktivna snov v danem časovnem razmiku zdaj več zdaj manj delcev. Eksponentni zakon se nanaša na povprečje.

Zakaj radioaktivno jedro lahko precej dolgo obstane nespremenjeno, preden se razpoči na delec α in preostalo jedro, so pojasnili leta 1928 v Ameriki neodvisno drug od drugega George Gamow ter Ronald W. Gurney in Edward U. Condon s kvantno mehaniko.

Po Einsteinovi *posebni teoriji relativnosti* iz leta 1905 ustreza spremembi energije sprememba mase. Zakon o ohranitvi mase ne velja več sam zase, ampak se spoji z energijskim zakonom. Za sistem delcev, ki je popolnoma neodvisen od okolice, velja *zakon o ohranitvi polne energije*. K polni energiji moramo šteti

poleg kinetične, potencialne, notranje energije tudi lastno energijo. Lastna energija delca z maso m je mc^2 , če je c svetlobna hitrost.

Po tem zakonu je polna energija neodvisnega sistema delcev pred kakim pojavom, na primer razpadom ali reakcijo, enaka kot po njem. Če so delci na začetku in na koncu daleč vsaksebi, med njimi tedaj ni sil in ni treba upoštevati potencialne energije. Če so vsi delci na začetku in na koncu v osnovnih stanjih, ni treba upoštevati notranje energije. V tem primeru sestavljata polno energijo samo skupna kinetična in skupna lastna energija. Tako sledi iz zakona pri razpadu, pred katerim delec miruje,

$$W_k = (m_1 - m_2)c^2$$

W_k je skupna kinetična enegija delcev, ki so nastali po razpadu, m_1 je masa delca pred razpadom, m_2 pa skupna masa delcev po razpadu.

Naredimo kratek zgled. Kilomol radija ima maso 226,0254 kg, ki lomol helija 4,0026 kg in kilomol radona, ki nastane pri razpadu α radija, 222,0175 kg. Skupna kinetična energija delcev α in jeder-potomcev pri razpadu 226 kg radija je

$$W_k = (226,0254 - 4,0026 - 222,0175) \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 4,8 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

Delci α in jedra-potomci oddajo po razpadu pri trkih z atomi in molekulami v okolni snovi svojo kinetično energijo. Na ta račun se poveča notranja energija snovi, če je snov toplotno izolirana (ali pa odda snov toploto okolici, če je v toplotnem stiku z njo).

Izračunajmo še hitrost delca α , ki ga odda radijevo jedro. V 226 kg radija je $N_A = 6 \cdot 10^{26}$ atomov, tako da je skupna kinetična energija enega delca α in enega jedra-potomca

$$4,8 \cdot 10^{14} \text{ J} / 6 \cdot 10^{26} = 8 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Večji del te energije odnese delec α in približno lahko postavimo $W_{k\alpha} = 8 \cdot 10^{-13} \text{ J}$. Iz enačbe za kinetično energijo

$W_{k\alpha} = (1/2)m_{\alpha}v^2$ sledi hitrost

$$v = (2W_{k\alpha}/m_{\alpha})^{1/2} = (2 \cdot 8 \cdot 10^{-13} \text{ J} / 4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg})^{1/2} = 16\,000 \text{ km/s}$$

Za vsakdanje pojme je to zelo velika hitrost.

Izmerili so, da oddaja 1 g sveže prečiščenega radija v 1 sekundi $3,7 \cdot 10^{10}$ delcev α . V 1 g radija, katerega kilomol ima maso 226 kg, je

$$6 \cdot 10^{26} / 226\,000 = 2,65 \cdot 10^{21}$$

atomov, saj jih je v kilomolu katerega koli elementa $6 \cdot 10^{26}$.

Trajalo bi

$$2,65 \cdot 10^{21} / 3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} = 7,2 \cdot 10^{10} \text{ s} \approx 2300 \text{ let}$$

preden bi razpadel ves radij, če bi ves čas enakomerno razpadal, kakor razpada na začetku.

V resnici preostane po 2300 letih nerazpadle še $1/e = 1/2,718 = 36,8\%$ začetne mase radija ($e = 2,718 \dots$ je osnova naravnih logaritmov). Izračunani podatek 2300 let je *razpadni čas* τ , to je čas, ki ga preživi jedro v povprečju od začetka opazovanja do razpada. Po času 2τ je nerazpadle še $1/e^2 = 13,5\%$ začetne mase, po času 3τ še $1/e^3 = 5\%$... Splošno za pišemo pojemanje števila nerazpadlih jeder v odvisnosti od časa t kot (sl. 19):

$$N = N_0 e^{-t/\tau}$$

N_0 je začetno število jeder, to je število jeder ob začetku opazovanja ($t = 0$).

Pri razpadu 226 kg radija se sprosti, kot smo videli, $4,8 \cdot 10^{14}$ J energije. 1 g sveže prečiščenega radija bi oddal tedaj v 1 uri

$$4,8 \cdot 10^{14} \text{ J} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} \cdot 3600 \text{ s} / 6 \cdot 10^{26} = 107 \text{ J}$$

energije. S to energijo bi segreli za sto stopinj

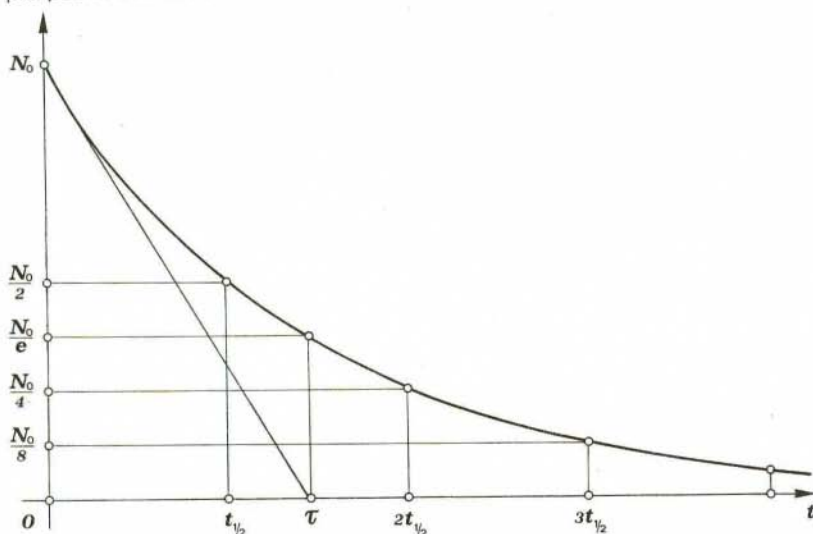
$$107 \text{ J} / 420\,000 \text{ Jkg}^{-1} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = \frac{1}{4} \text{ g}$$

ledenomrzle vode. Da segrejemo 1 kg vode od ledišča do vreli-

šča, mu moramo namreč dovesti toploto 420 000 J.

Curiejev in Labordov rezultat je bil kakih petkrat večji, ker njun radij ni bil sveže prečiščen in je v njem radon razpadal v polonij, ta še naprej v radioaktivni izotop svinca, itd.

Vsili se vprašanje, zakaj niso prej do kraja pojasnili, odkod energija pri radioaktivnem razpadu, čeprav je bila posebna teorija relativnosti že znana. Odgovor ni preprost. Upoštevati moramo, da se je posebna teorija relativnosti le počasi uveljavljala. Z merjenjem se je bilo mogoče prepričati o zmanjšanju skupne mase pri razpadu šele, ko so zgradili zmogljive masne spektrografe (o tem priča račun na str. 36). Razpadov seveda ni mogoče obrniti, da bi preverili, ali ustreza masi zares energiji. To je mogoče narediti le pri jedrskih reakcijah, ki pa so jih do te mere raziskali šele potem, ko so zgradili prve pospeševalnike.



Sl. 19: Eksponentno pojanje števila nerazpadlih jeder radioaktivnega izotopa. V razpadnem času τ se začetno število zmanjša e -krat. V razpolovnem času $t_{1/2} = 0,69\tau$ se začetno število jeder zmanjša na polovico, v dveh razpolovnih časih na četrtino, v treh na osmino ... Razpadni čas radija je 2300 let, razpolovni čas pa 1600 let.

Omenili smo že, da so nenavadno pozno dokončno pojasnili, kako je z energijo pri radioaktivnem razpadu. Ker je to ena izmed zanimivejših zgodb v zgodovini fizike in zadeva tudi razliko med atomskimi masami in celoštevilčnimi mnogokratniki vodikove atomske mase, ji posvetimo še nekaj prostora.

J.J. Thomson je že leta 1881 na osnovi Maxwelllovih enačb za električno in magnetno polje ugotovil, da se nabiti delec vede pri gibanju tako, kot da bi imel poleg prave mase še dodatno maso zaradi električnega in magnetnega polja svojega naboja. (Okoli gibajočega se nabitega delca nastane tudi magnetno polje.) Pozneje, okoli leta 1900, je dobila veljavo skrajna domneva, da je vsa masa nabitega delca posledica njegovega električnega in magnetnega polja. To *elektromagnetno maso* je skrbno preučil H.A. Lorentz v letih od 1906 do 1909. L. Silberstein je zamisel dalje razvil in poudaril, da v tem primeru masa vezanega sistema nabitih delcev ni enaka skupni masi prostih delcev (1911). Na to stališče se je postavil tudi E. Rutherford (1914). W.D. Karkins in E.D. Wilson ter J.W. Nicholson pa so s tem pojasnili, zakaj se mase atomov razlikujejo od celoštevilčnih mnogokratnikov mase vodikovega atoma (1915). S podobnimi razglabljanji so P. Lenard in drugi še leta 1927 utemljevali dvom v splošno veljavnost Einsteinove zveze med maso in lastno energijo.

*Klasično in relativistično stališče do problema nece-
lih atomskih mas*, ki sta se do leta 1915 razvijali
ločeno, sta v desetletju 1916-1925 vplivali drugo na
drugo ... do končne zmage relativističnega stališča
v desetletju po 1930 ...*

D.M. Siegel, *Classical-electromagnetic
and relativistic approaches to the problem
of nonintegral atomic masses*, Historical
Studies in the Physical Sciences 9 (1978)
323.

* Mišljeni sta razlagi razlike med atomskimi masami in mnogokratniki vodikove atomske mase na osnovi elektromagnetne mase nabitih delcev in z lastno energijo mc^2 .

Na drugi strani je A. Einstein že leta 1905 ugotovil zvezo med maso in energijo. Takoj je predlagal, kako bi bilo mogoče to zvezo potrditi. Vendar je uvidel, da bi bilo treba poznati relativne atomske mase na štiri ali celo pet zanesljivih mest. M. Planck je po izmerjeni kinetični energiji delcev α , ki jih oddaja radij, izračunal, da se zmanjša masa kilomola radija v enem letu od 226 kg za okoli 0,012 g (1907). Te trditve tedaj niso mogli preskusiti z merjenjem. G.N. Lewis je leta 1908 prvi zapisal enačbo za ohranitev energije, podobno naši (str. 36). To enačbo sta uporabila P. Langevin in R. Swinne, da sta neodvisno drug od drugega pojasnila, zakaj relativne atomske mase izotopov niso natančni mnogokratniki mase vodikovega atoma (1913). Čeprav so že okoli leta 1925 masni spektrografi dosegli potrebno ločljivost, je trajalo še skoraj deset let, preden so lahko potrdili Lewisovo enačbo z merjenji. Vzrokov je več: v masnih sprektrografih niso znali dobiti uranovih ionov, niso mogli zbrati dovolj velike mase nekaterih radioaktivnih izotopov, radona niso hoteli uvesti v masne spektrografe, da jih ne bi onesnažil... Prve ocene, ki so se skladale z enačbo, so dobili leta 1927. Dokončno pa so uspeli šele po letu 1932, ko so odkrili nevtron. (Do tedaj so večinoma mislili, da so v jedru tudi elektroni: za vsak nevtron po en elektron in proton.) Pomembno vlogo so imeli tudi prvi pospeševalniki po letu 1933. Ti so omogočili opazovanje jedrskih reakcij z izstrelki, ki niso izvirali iz radioaktivnih izvirov. Zadnji dvomljivci so se vdali šele leta 1937, ko so postali masni spektrografi še bolj ločljivi in je bilo mogoče Einsteinovo zvezo med maso in lastno energijo zelo natančno preveriti.

Radioaktivnost je še enkrat zamajala vero v zakon o ohranitvi energije. Okoli leta 1930 so z merjenjem ugotovili, da delci β nimajo vsi enake kinetične energije in da je njihova energija manjša kot po energijskem zakonu. Naposled so našli pot iz zagate v privzetku, da nastane pri razpadu β še nevtralni delc z maso nič - *nevtrino*. Trije delci - elektron, nevtrino in preostalo jedro - pa si lahko razdelijo razpoložljivo energijo

na različne načine. Elektron ima tem manjšo kinetično energijo, čim več energije prevzame nevtrino. (Glej prispevek M. Hribarja in N. Mankočeve, Nevtrino, Presek 6 (1978/79) 7 .)

JEDRSKE REAKCIJE

Pri trku z drugimi jedri se lahko atomsko jedro kakega elementa spremeni v jedro drugega elementa

Ko so spoznali, da imajo delci α iz nekaterih radioaktivnih jeder veliko kinetično energijo, so poskušali z njimi doseči spremembo atomskih jeder - *umetno transmutacijo* ali *jedrsko reakcijo*. Najprej so se tega lotili tako, da so zmešali radioaktivno snov na primer z vodo in po daljšem času poskusili dokazati v vodi elemente, ki jih prej v njej ni bilo. Tako so leta 1907 poročali o neonu in argonu, ki naj bi nastala po obstrlejevanju kisikovih jeder v vodi z delci α . Pozneje pa tega niso mogli potrditi in so sklepali, da so bile sledi neona in argona v vodi že pred obsevanjem. Sčasoma so spoznali, da so radioaktivni izviri prešibki, in da s kemijskimi postopki ne bo mogoče dokazati elementa, katerega jedra naj bi nastala pri jedrski reakciji. Treba je bilo razviti drugačne merilne načine.

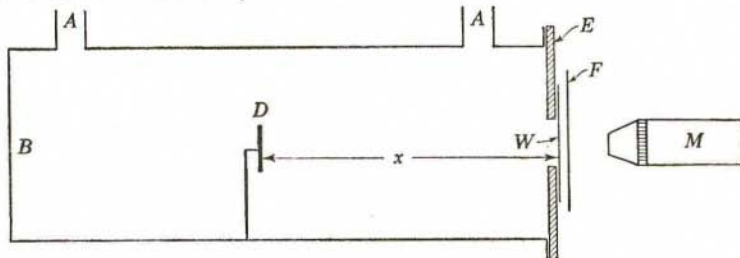
Prva jedrska reakcija se je posrečila šele leta 1919 E. Rutherfordu. Uporabil je napravo, ki jo je leta 1914 razvil E. Marsden, ko je opazoval prožno sipanje delcev α na vodikovih jedrih. Pri tem je bil v zaprti celici v plinu pri navadnem tlaku radioaktivni izvir, ki je oddajal delce α . Ti so imeli v zraku pri navadnem tlaku *doseg* 7 cm, se pravi, da so zaradi ionizacije - izbijanja elektronov iz molekul dušika in kisika - izgubili vso svojo kinetično energijo na tolikšni poti. Nasproti izvira je imela celica tanko srebrno steno, ki se ji je zunaj prilegal fluorescenčni zaslon. Z mikroskopom so opazovali drobne bliske, ki so nastali, ko je dovolj hiter ion prodrl skozi steno in zadel zaslon. Med izvir in okence so lahko postavljali kot absorberje kovinske ploščice s poljubno debelino.

V primeru, da je bil v posodi vodik, so bliske opazili, četudi je plast plina in ploščica med izviro in zaslonom ustrezala dosegu več kot 30 cm v zraku. To so pojasnili s prožnim trkom delca α z vodikovim jedrom - protonom. Pri takem trku, posebno če je trk čelen, preda delec α protonu znaten del svoje kinetične energije. Proton, ki ima za polovico manjši naboj od delca α , manj ionizira in ima zato precej večji doseg kot delec α , čeprav ima manjšo kinetično energijo.

Ko je E. Rutherford leta 1919 ponovil poskuse, je po naključju meril, ko je bil v celici zrak. Na svoje presenečenje je tudi v tem primeru opazil bliske, čeprav je bila plast zraka mnogo debelejša od 7 cm. Nadaljnji poskusi so pokazali, da pride do tega pojava samo v dušiku. Pri poskusih v kisiku in ogljikovem dioksidu ni bilo bliskov, se pravi, da ni bilo ionov z veliko kinetično energijo. Z odklanjanjem v prečnem magnetnem polju so ocenili, da so ioni protoni. Po tem je Rutherford sklepal, da je zasledil jedrsko reakcijo, pri kateri delec α izbije proton iz dušikovega jedra (sl. 20).

Rutherford je leta 1922 nadaljeval poskuse z Jamesom Chadwickom. Pri tem sta ugotovila, da nastanejo hitri protoni tudi pri ob-

dovod in odvod plina



Sl. 20: Risba naprave, s katero je Rutherford opazil prvo jedrsko reakcijo. V celici B je radioaktivni izvir D. W tanko srebrno okence, F fluorescenčni zaslon, M mikroskop, A dovod in odvod plina. Ploščice, ki so služile kot absorberji, so dajali med okence in zaslon. Razdalja x je bila precej večja kot 7 cm, če je bil v celici zrak pri navadnem tlaku.

streljevanju tarč iz bora, fluora, natrija, aluminijskega in fosfora in še nekaterih elementov.

Pozneje se je pokazalo, da Rutherfordova domneva ni bila popolnoma pravilna. Anglež Patrick M.S. Blackett je leta 1925 začel fotografirati prehod delcev α skozi dušik v *meglični celici*. Med 23000 fotografijami je bilo osem fotografij s trikratnimi sledmi. Sled delca α iz radioaktivnega izvira se je razdelila na dve sledi: na dolgo tanjšo in kratko debelejšo. Prvo so pripisali protonu, drugo pa težkemu ionu - bila je namreč podobna sledi dušikovega iona pri prožnem trku delca α in dušikovega jedra. Iz tega je izhajalo, da delec α ne izbije protona iz jedra in ne leti naprej, pač pa ga jedro pogoltne in nato odda proton:

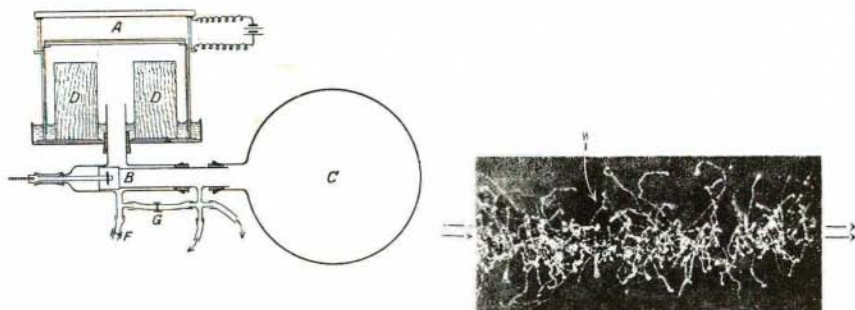


MEGLIČNA CELICA

Naprava za opazovanje sledi gibajočih se elektronov in ionov

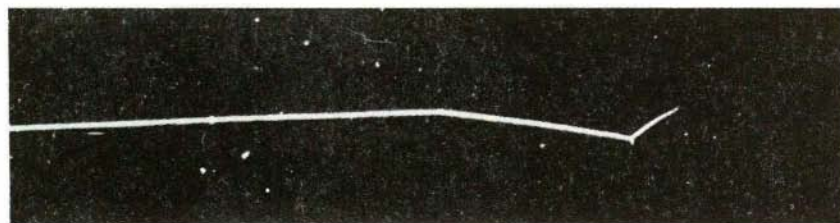
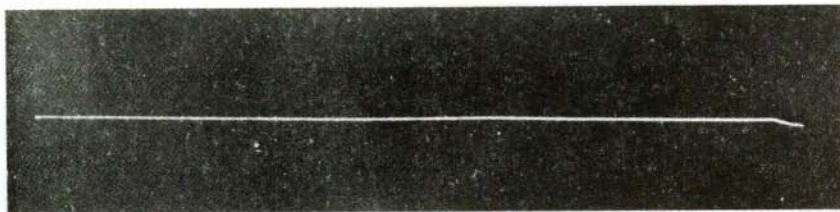
Tu vrnimo odstavek o Wilsonovi meglični celici, ki je odigrala pomembno vlogo ob začetku preučevanja jedrskih reakcij. Okoli leta 1900 je več fizikov - med njimi J.J. Thomson, J.S. Townsend in Charles T.R. Wilson - preučevalo nastanek megle v čistem, z vodno paro prenasajenem zraku, ko so nanj posvetili s curkom rentgenske svetlobe. Rentgenska svetloba je ionizirala zrak in vodno paro in nabiti delci so delovali kot kondenzacijska jedra, na katerih so se izločile vodne kapljice. (Opazovali so tudi gibanje oblaka nabitih kapljic v električnem polju. Iz tega se je postopno razvil način, ki ga je uporabil Millikan pri določitvi osnovnega naboja (str. 11). Millikan je najprej opazoval gibanje posamezne vodne kapljice, dokler ni ugotovil, da moti izhlapevanje vode s kapljice med poskusom.) Po mnogih brezuspešnih poskusih je leta 1911 C.T.R. Wilsonu uspelo fotografirati sledi posameznih hitrih elektronov, ki so jih fotoni rentgenske svetlobe izbili iz molekul v prenasajenem vlažnem zraku (sl. 21). Ti elektroni so imeli dovolj veliko hi

Sl. 21: Poenostavljena risba meglične celice, s kakršno je C.T.R. Wilson napravil prve fotografije. Notranje stene celice so prevlečene s plastjo vlažne in prevodne želatine; na dnu je želatina počrnjena. Dno celice se začne gibati navzdol, ko odprejo ventil B do evakuirane posode C. Razmerje med začetno in končno prostornino celice mora biti med 1,33 in 1,38, da je vlažni zrak primerno prenasičen. Med vrhom in dnom celice je napetost 100 V, da se pred poskusom v celici ne zadržujejo ioni. Celico osvetlijo z močnim bliskom in fotografirajo od zgoraj.



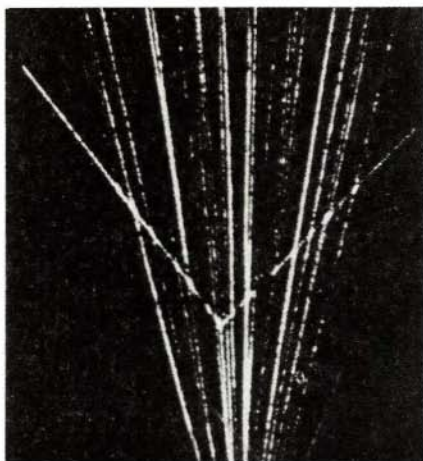
Sl. 22: Ena izmed prvih Wilsonovih fotografij elektronskih sledi v meglični celici. Puščice kažejo, kje je šel skozi celico curek rentgenske svetlobe.

Sl. 23: Dve izmed prvih Wilsonovih fotografij sledi delca α v meglični celici (1912). Delec α je nastal ob radioaktivnem razpadu α plinastega izotopa. Preden sta se delca zaustavila, sta prožno trčila z dušikovim ali kisikovim jedrom.

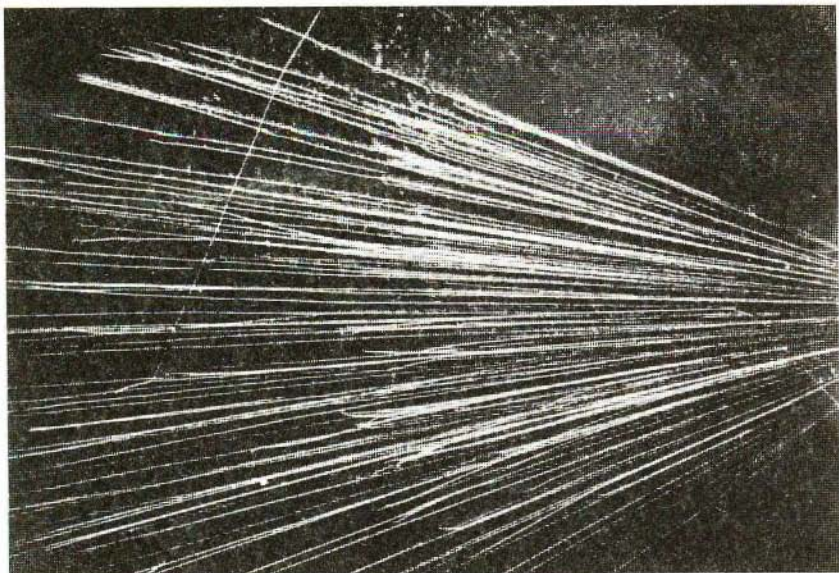


trost, da so dalje ionizirali. Pri tem so nastali počasni elektroni, se obesili na nevtralne molekule in dali negativne ione. Na teh in na pozitivnih ionih so se izločile vodne kapljice. V ugodnih okoliščinah so se pojavile kapljice le na poti hitrih elektronov, tako da je bilo mogoče naravnost opazovati njihovo sled (sl. 22, 23).

Wilson je najprej namenil svojo celico za opazovanje ionizacije pri prehodu rentgenske svetlobe skozi zrak. Šele pozneje je spoznal, da je celica nadvse pripravna za opazovanje jedrskih reakcij. Tedaj je celica doživela več izpopolnitev. Posebne za sluge za preučevanje jedrskih reakcij z njo si je pridobil P. M.S. Blackett (sl. 24, 25). Zanimivo je, da uporabljajo danes meglično celico le še pri šolskih poskusih. Pri preučevanju reakcij med nabitimi delci jo je namreč povsem izrinila mehurčna celica, pri kateri nastanejo na ionih mehurčki plina v pregreti kapljevini, na primer pregretem tekočem vodiku.



Sl. 24: Prožni trk delca α (helijevega jedra) s helijevim jedrom v meglični celici. Delec α je priletel od spodaj, zadel mirujoče helijevo jedro in ga odrinil. Za nesrediščni trk delca z enakim mirujočim delcem je značilno, da odletita delca pod pravim kotom (to velja tudi za biljardni krogli). Fotografijo je naredil P.M.S. Blackett.



Sl. 25: Jedrska reakcija delca α z dušikovim jedrom v meglični celici. Proton zapusti dolgo in tanko sled, jedro ^{17}O pa kratko in debelo sled. Fotografijo sta naredila P.M.S. Blackett in D.S. Lees (1932).

Septembra 1894 sem preživel nekaj tednov na observatoriju na vrhu najvišje škotske gore Ben Nevis. Lepi optični pojavi, do katerih je prišlo, ko je Sonce po sijalo na oblake na vrhu, so zbudili moje zanimanje, tako da sem jih hotel posnemati v laboratoriju.

Na začetku leta 1895 sem napravil nekaj poskusov s tem namenom ...

Jeseni leta 1895 je prišla novica o velikem Röntgenovem odkritju. Tedaj je J.J. Thomson raziskoval prevodnost zraka, ki ga je obseval z novimi žarkí. Sam sem imel priliko uporabljati rentgensko cev preproste izvedbe, kakršne so bile tedaj v rabi ... Dobro se spominjam veselja, ki sem ga občutil, ko sem ob prvem poskusu ugotovil, da se v obsevani meglični ce

lici niso pojavile kapljice, če se je zrak razpel manj kot 1,25-krat, in da je nastala megla, ki je izginila šele po več minutah, če se je zrak razpel nekoliko močneje. Rentgenska svetloba je torej ustvarila v zraku v meglični celici množico enakih kondenzacijskih jeder, kakršna so se sicer javljala v zelo majhnem številu ...

Leta 1910 sem začel delati poskuse z namenom, da bi povečal uporabnost kondenzacijske metode. V letih, ki so potekla od mojih prejšnjih poskusov, se je utrčila misel o delčni naravi žarkov α in β . Predvidel sem, da bi bilo morda mogoče napraviti vidno in fotografirati sled ionizirajočega delca s kondenzacijo vode na ionih, ki jih je sprostil ...

Dosti časa sem porabil, ko sem iskal najpripravnejšo obliko naprave za razpenjanje in trenutno osvetlitev kapljic pri fotografiranju. Spomladi leta 1911 so bili poskusi še nepopolni. Toda nekega dne se mi je zdelo, da bi kazalo poskusiti, ali ne bi bilo mogoče opaziti sledi z grobo napravo, ki je bila že zgrajena. Ne da bi pričakoval uspeh, sem napravil prvi poskus z rentgensko svetlobo. Pri razpenjanju, pri kakršnem naj bi prišlo do kondenzacije na ionih, sem s veseljem opazil, da se je meglična celica napolnila z meglenimi prameni in nitkami. To so bile sledi elektronov, ki jih je izbila svetloba. V celico sem dal kovinski jeziček z drobcem radija ob vrhu in prvič zagledal oblake, ki so se kondenzirali ob sledih delcev α . Opazil sem tudi nitim podobne sledi hitrih delcev β , ko sem postavil v bližino meglične celice ustrezen izvir ...

C.T.R. Wilson, predavanje ob
podelitvi Nobelove nagrade
leta 1928 v Stockholmu

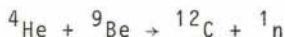
Nevtralni delec, ki skupaj s protonom sestavlja atomska jedra

Skoraj dvanajst let so poznali le reakcije, pri katerih pogoltne lahko jedro delec α in odda proton. Na začetku tridesetih let pa se je raziskovanje jedrskih reakcij razširilo iz Rutherfordovega laboratorija tudi v laboratorije v Parizu in drugod. V Parizu sta Frederic Joliot in Irene Joliot-Curie (hči Marie in Pierra Curieja) pri nekem poskusu leta 1932 naletela na ne navadno predirno sevanje. Z delci α iz radioaktivnega izvira sta obstreljevala berilijevo tarčo. Za tarčo je bil debel svinčeni filter in za njim *ionizacijska celica*, to je merilnik za ionizirajoče sevanje. Če so dali vmes ploščico iz parafina, je merilnik zaznaval še izdatnejše sevanje (sl. 26).

Pojav so si sprva razlagali takole: delci α povzročijo v beriliju pri jedrski reakciji nastanek fotonov γ z energijo več deset megaelektronvoltov. Ti zaradi svoje velike energije preдреjo svinčeni filter in zadenejo ionizacijsko celico, kadar ni parafinske ploščice. Kadar pa je pred celico parafinska ploščica, izbijajo iz nje protone - parafin vsebuje mnogo vodika - in celica zaznava protone, za katere je bolj občutljiva.

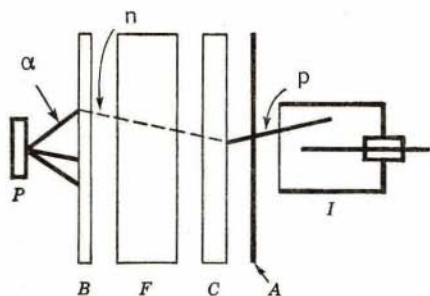
James Chadwick pa je še istega leta podvomil v pravilnost take razlage. Fotoni γ ne morejo izbiti iz parafina dovolj protonov, razen tega pri nobeni reakciji ne bi mogli nastati fotoni γ z energijo več deset megaelektronvoltov. Energija nekaj MeV, kakršna se je zdela mogoča, pa ni zadoščala, da bi fotoni predrli svinčen filter. Skrbno je ponovil poskus in spreminjal okoliščine. Na koncu je spoznal, da je mogoče pojasniti izid poskusa samo z jedrsko reakcijo, pri kateri nastanejo nevtralni delci s približno tolikšno maso, kot jo imajo protoni. Domnevo o obstoju takih delcev - *neutronov* - je izrekel že okoli leta 1920 E. Rutherford. Obstoj neutronov, ki naj bi poleg protonov sestavljali atomska jedra, se je zdel mnogim zelo verjeten, čeprav so se do tedaj izjalovili vsi poskusi, da bi ga eksperimentalno potrdili. Neutron nastane pri reakciji med del

cem α in jedrom berilija



Ker nima naboja, brez težav predre svinčeni filter. Pri prožnem trku preda velik del svoje kinetične energije protonu, ki ga zazna ionizacijska celica. Ker imata oba delca približno enaki masi, prevzame pri čelnem trku proton vso kinetično energijo nevtrona, podobno kot je to pri trku biljardnih krogel.

Sl. 26: Naprava, s katero je Chadwick dokazal obstoj nevtrona. Iz radioaktivnega izvira P so izhajali delci α , ki so v berilijevi tarči B rodili neutrone. Ti so brez težav preleteli debelo plast svinca F in izbili iz parafinske plošče C protone, ki jih je zaznala ionizacijska celica I. Z absorberjem A so določili doseg protonov in tako ocenili njihovo kinetično energijo.



Sl. 27: Reakcije nevtronov z dušikovimi jedri v meglični celici. Nevtroni prihajajo od spodaj. Reakcija



je mogoča samo, če ima nevtron nekaj kinetične energije. Delec α in borovo jedro imata zato majhno kinetično energijo in kratek doseg (levo). Pri reakciji



pa se energija sprosti. Proton in ogljikovo jedro imata večjo kinetično energijo in večji doseg (desno). Fotografijo so naredili J. Chadwick, N. Feather, W.T. Davies (1934).

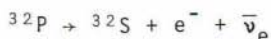
Počasni nevtroni razcepijo nekatera zelo težka jedra na dve srednjetežki jedri in več nevtronov

Po odkritju nevtrona so začeli raziskovati jedrske reakcije, ki jih sprožijo nevtroni. Ti so zelo pripravi kot izstrelki, saj so brez naboja in zlahka prodrejo do jedra, ki jih ne odbija, kakor odbija protone in delce α . Čim počasnejši je nevtron, tem dalj časa se zadržuje v bližini jedra in tem večja je verjetnost, da ga jedro zajame.

Enrico Fermi in sodelavci E. Amaldi, F. Rasetti in E. Segre so leta 1934 v Rimu opazili, da nastanejo pri reakcijah z nevtroni *umetni radioaktivni izotopi*. (Take radioaktivne izotope, ki jih v naravi ni, sta pri obstreljevanju nekaterih lahkih elementov s protoni in delci α prva opazila I. Curie in F. Joliot v Parizu istega leta.) Lahko jedro zajame nevtron in odda delec, na primer proton ali delec α , ali izseva foton. Težko jedro pa zajame nevtron in izseva foton. Kot zgled za nevtronsko reakcijo z izsevanjem fotona, za tako imenovano *sevalno zajetje nevtrona*, navedimo:



Izotop fosfora ${}^{32}\text{P}$ je radioaktiven in razpade z oddajo delca β (elektrona e^-) in antinevtrina ($\bar{\nu}_e$):



Fermi in sodelavci so obstreljevali z nevtroni tudi najtežji naravni element uran z vrstnim številom 92. Upali so, da bodo dobili z radioaktivnim razpadom nastalega uranovega izotopa *transuranske elemente* z vrstnim številom, večjim kot 92. Zares so opazili, da nastanejo po obstreljevanju urana z nevtroni *umetni radioaktivni izotopi*. Po zapleteni časovni odvisnosti števila oddanih delcev β na časovno enoto so sklepali, da gre vsaj za štiri take izotope.

Fermijeve poskuse sta ponovila fizičarka Lise Meitnerjeva in

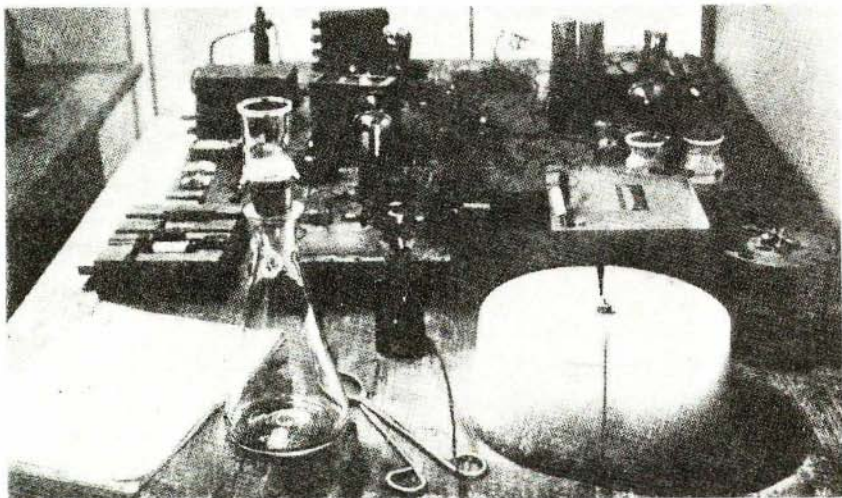
kemik Otto Hahn v Berlinu, da bi se prepričala o nastanku transuranskih elementov. Prizadevala sta si, da bi po jedrski reakciji s kemijskimi metodami ločila elemente in zasledovala radioaktivnost izotopov. Leta 1935 se jima je pridružil še kemik Fritz Strassmann. Postopno so ugotovili, da je v obstreljevanem uranu vsaj devet novih radioaktivnih izotopov, od katerih so jih šest pripisali transuranskim elementom z vrstnimi števili 93, 94 in 95.

Podobne poskuse sta delala v Parizu I. Curiejeva in srbski fizik Pavle Savić. Leta 1938 sta odkrila med novimi radioaktivnimi izotopi v uranu enega, ki je bil po kemijskih lastnostih zelo soroden lantanu. To pomembno spoznanje je opozorilo Meitnerjevo, Hahna in Strassmanna na možnost, da nastanejo pri obstreljevanju urana z nevtroni tudi elementi z vrstnim številom, manjšim kot 92. Najprej so pomislili, da bi lahko nastalo jedro radija z vrstnim številom 88, če bi jedro urana zajelo nevtron in oddalo dva delca α . Takšna reakcija se je sicer zdela zelo nenavadna, vendar se je pokazalo, da je v obstreljevanem uranu zares element, ki je bil po kemijskih lastnostih zelo soroden radiju.

Medtem so leta 1938 Nemci zasedli Avstrijo in L. Meitnerjeva je kot avstrijska državljanka zaradi svojega židovskega rodu zbežala na Švedsko. Hahn in Strassmann sta nadaljevala poskuse, da bi se nedvoumno prepričala o nastanku radija pri obstreljevanju urana z nevtroni. Na začetku leta 1939 sta presenečena ugotovila, da pravzaprav ne gre za radij ampak za barij z vrstnim številom 56 (sl. 28). Ugotovitev sta sprejela zelo zadržano, saj dotlej niso poznali jedrske reakcije, pri kateri bi se vrstno število tako močno spremenilo.

Še pred objavo sta pisala o svojem odkritju bivši sodelavki v Stockholmu. L. Meitnerjeva in njen nečak fizik Otto R. Frisch sta februarja 1939 objavila teoretično razlago. Uranovo jedro zajame nevtron in postane neobstoječe. Deli jedra zaradi električne odbojne sile močno odbijajo drug drugega in jedro se razcepi na dve srednjetežki jedri, na primer na jedri barija in

kriptona. *Cepitev uranovega jedra* spominja na pojav, pri katerem se nihajoča vodna kapljica razdeli na dve manjši kapljici. Protoni in nevtroni so v obeh nastalih srednjetežkih jedrih znatno močnejše vezani kot v jedru urana. Tako se pri cepitvi uranovega jedra sprosti velika energija (po energijskem zakonu na str. 36). Ocene so pokazale, da odneseta *cepitvena produkta*, kakor pravimo nastalima srednjetežkima jedroma, skupaj kinetično energijo okoli 200 MeV. Samo teden dni pozneje je O.R. Frisch poročal o potrditvi te razlage z merjenjem. Zelo tanko plast urana je obstreljeval z nevtroni in po ionizaciji ugotovo-

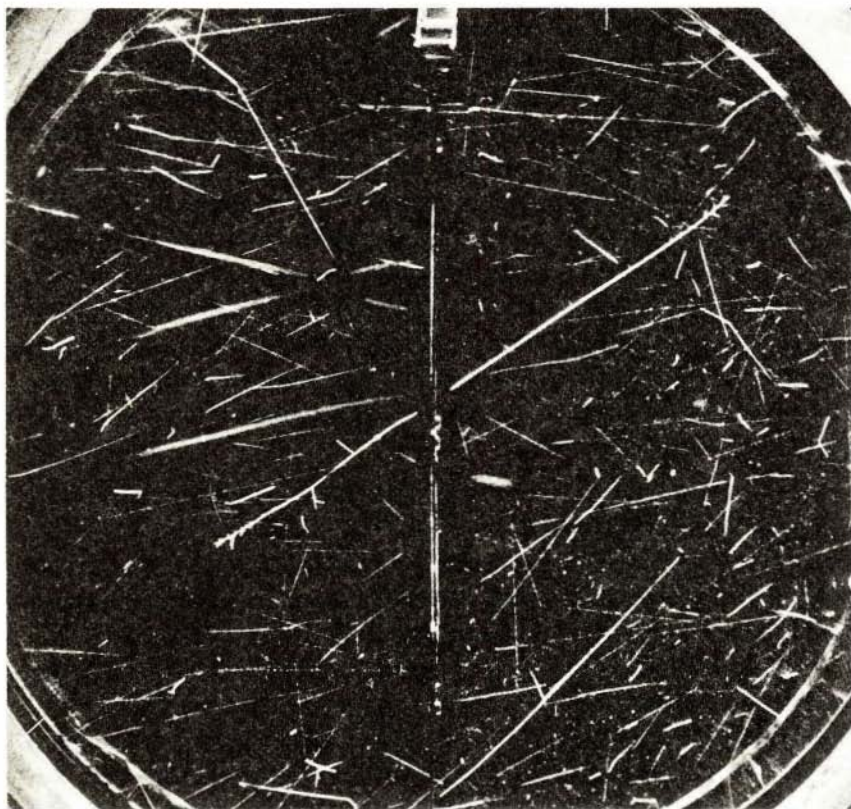


Sl. 28: Delovna miza O. Hahna in F. Strassmanna, ki stoji danes v Nemškem muzeju v Münchnu. Z napravami na tej mizi sta dokazala, da nastane po obstreljevanju urana s počasnimi nevtroni barij in tako pripravila pot za odkritje cepitve. Desno v ospredju je parafinska klada. V njej je bil nevtronski izvir (nevtroni so nastajali pri jedrski reakciji med delci α iz radija in jedri berilija). Parafin, ki vsebuje dosti vodika, je služil kot moderator in iz klade je izhajal curek počasnih nevtronov. Desno v ozadju je viden merilnik toka delcev β iz radioaktivnega preparata. Na mizi so še naprave, s katerimi sta si pomagala pri kemijskem ločevanju elementov.

Od leta 1939 v jedrski fiziki ni mogoče delati poskusov z napravami, ki bi jih lahko postavili na mizo. Pri sodobnih poskusih so potrebne mnogo večje in dragocenejše naprave.

vil, da pri tem zares nastanejo težki ioni s kinetično energijo okoli 70 MeV. Čez nekaj časa so tudi že fotografirali cepitev uranovega jedra v meglični celici (sl. 29).

Medtem je N. Bohr prišel do pomembnega sklepa po razločku, ki sta ga kazala pri obstreljevanju z nevtroni uran in torij.



Sl. 29: Cepitev uranovega jedra v meglični celici. Tanko plast urana na zlatem lističu zadeva curek nevtronov. Jedro ^{235}U pogoltne nevtron in se razcepi na dve srednjetežki jedri, ki odletita vsaksebi z veliko skupno kinetično energijo (okoli 175 MeV). Doseg v zraku je do 2,5 cm. Sledi sta zaradi močne ionizacije precej debelejši od drugih in imata kratke vejice, ki pričajo o trkih z jedri v molekulah plina. Druge sledi izvirajo od jeder, ki jih odrinejo nevtroni pri prožnem trku ali ki nastanejo pri reakcijah z nevtroni. Fotografijo je posnel I.K. Boeggild (1940).

so namreč cepili počasni nevtroni, torij pa le dovolj hitri. Po tem je sklepal, da cepijo počasni nevtroni jedra lažjega uranovega izotopa ^{235}U , ki ga je v naravnem uranu samo 0,07%. Jedri torija ^{232}Th in težjega uranovega izotopa ^{238}U pa se obnašata podobno in ju cepijo le hitri nevtroni.

Razvoj je stekel, kot da bi se sprožil plaz. Ni minil teden, da ne bi znanstvene revije *Nature* v Angliji, *Die Naturwissenschaften* v Nemčiji in *The Physical Review* v ZDA prinesle kake novice o cepitvi urana. Raziskovalne skupine v ZDA in Nemčiji so ponovile Frischov poskus. Hahn in Strassmann sta postopno dokazala med razcepnimi produkti radioaktivne izotope ksenona, stroncija, itrija, rubidija, cezija, kriptona, joda, broma telura in drugih elementov. Pritegnila sta mnenju Meitnerjeve in Frischa, da sploh še niso dokazali transuranskih elementov. Kar so imeli za izotope transuranskih elementov, so bili izotopi nekaterih navedenih elementov. (Spomnili so se tudi, da je cepitev uranovega jedra napovedala že leta 1934 nemška fizičarka Ida Noddackova. Toda tedaj njene napovedi nihče ni upošteval; vsi so mislili le na transuranske elemente.)

Hans von Halban, F. Joliot in Lev Kowarski so marca 1939 v Parizu ugotovili, da nastanejo pri cepitvi uranovih jeder tudi nevtroni. Nekaj mesecev pozneje so spoznali, da nastanejo pri cepitvi hitri nevtroni, medtem ko cepijo jedra ^{235}U predvsem počasni nevtroni. Kmalu so izmerili, da nastanejo pri eni cepitvi v povprečju po trije do štirje nevtroni. Te poskuse so napravili vzporedno v ZDA E. Fermi (zapustil je Italijo, ker je grozilo preganjanje njegovi ženi, ki je bila židovskega rodu) in sodelavci, Leo Szilard, Walter Zinn in drugi. Nekateri so menili, da nastaneta na eno cepitev v povprečju samo eden do dva nevtrona. Nekaj časa je trajalo, preden so dobili pravo povprečno vrednost 2,5.

Z enačbo zapišemo cepitev uranovega jedra tedaj na primer tako le:



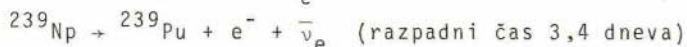
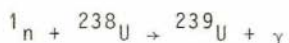
Pri cepitvi lahko nastaneta druga izotopa barija in kriptona in več ali manj nevtronov kot trije. Lahko nastaneta tudi izotopa dveh drugih elementov, na primer stroncija in ksenona, niklja in antimona, lantana in broma ...

Po tem odkritju so L. Szilard, E. Fermi in drugi pomislili na možnost, da bi nastali nevtroni sprožili cepitev novih jeder lahkega uranovega izotopa. Morda bi lahko prišlo do *verižne cepitve*, tako da bi cepitev vzdrževala sama sebe in bi bilo mogoče sproščeno energijo izkoristiti v gospodarstvu ali celo v vojne namene. Posebno L. Szilard, ki je tudi pribežal v ZDA iz Evrope in ki je še pred odkritjem cepitve razmišljal o verižnih jedrskih reakcijah, se je zavedal nevarnosti, da bi Nemci zvedeli za to možnost. Že dalj časa je brez uspeha pozival fizike v ZDA, Angliji in Franciji, naj ne objavljajo dognanj o cepitvi. Po izbruhu vojne jeseni 1939 so objave te vrste zares prenehale.

Na koncu 1939 in leta 1940 so najprej spoznali, da je verižna cepitev mogoča, če obstaja pripraven *moderator*. To je snov z lahkimi jedri, ki ne absorbirajo nevtronov. Pri prožnih trkih s takimi jedri nevtroni izgubljajo kinetično energijo in iz hitrih, kakršni nastanejo pri cepitvi, postanejo počasni, kakršni zlahka cepijo jedra ^{235}U . E. Fermi in H. L. Anderson sta ugotovila, da je zelo čist grafit pripraven moderator. Angleži in Nemci so sodili drugače in so za moderator izbrali težko vodo, ki ima v molekuli namesto dveh atomov navadnega vodika atoma težkega vodika-devterija. V tem je že tičala kal nemškega neuspeha. (Zanimivo branje o tem je knjiga J. Herbiga *Verižna reakcija*, ki je izšla 1978 v Ljubljani pri založbi Borec.)

L.A. Turner je v ZDA napovedal možnost, da jedro težjega uranovega izotopa ^{238}U sevalno zajame nevtron. Nastalo jedro ^{239}U razpade v jedro transuranskega elementa z vrstnim številom 93 in to dalje v jedro transuranskega elementa z vrstnim številom 94. Prvi element - neptunij - sta odkrila Edwin Mc Millan in Phillip H. Abelson, drugega - plutonij - pa so odkrili Glen T. Seaborg, J. Kennedy in A. Wahl (imena elementov se zgleduje

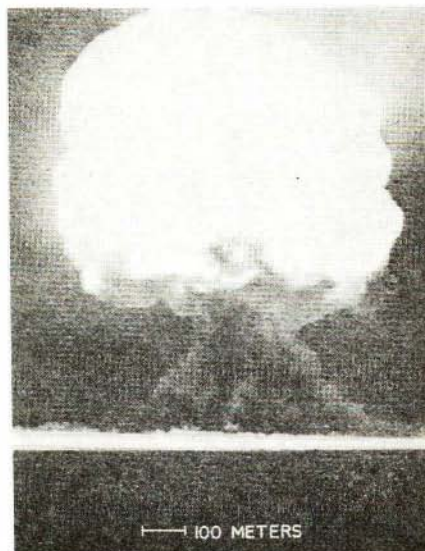
jo po imenih planetov: Uranu sledi Neptun in temu Pluton). Omejene reakcije in razpadi potekajo takole:



Jedro plutonija ^{239}Pu lahko podobno kot jedro ^{235}U razcepi počasni nevtron. Zato je plutonij uporaben kot *jedrski eksploziv*. Med kontrolirano verižno cepitvijo v naravnem uranu bi lahko nastalo dovoj plutonija, da bi ga bilo mogoče kemijsko izločiti.

V Angliji sta O.R. Frisch in Rudolf Peierls predlagala, da bi v naravnem uranu povečali delež lahkega izotopa ^{235}U . Od zahtevnih postopkov, ki so uporabni za tako *obogatitev*, so naposled izbrali pronicanje plinastega uranovega heksafluorida skozi drobne luknje v opnah.

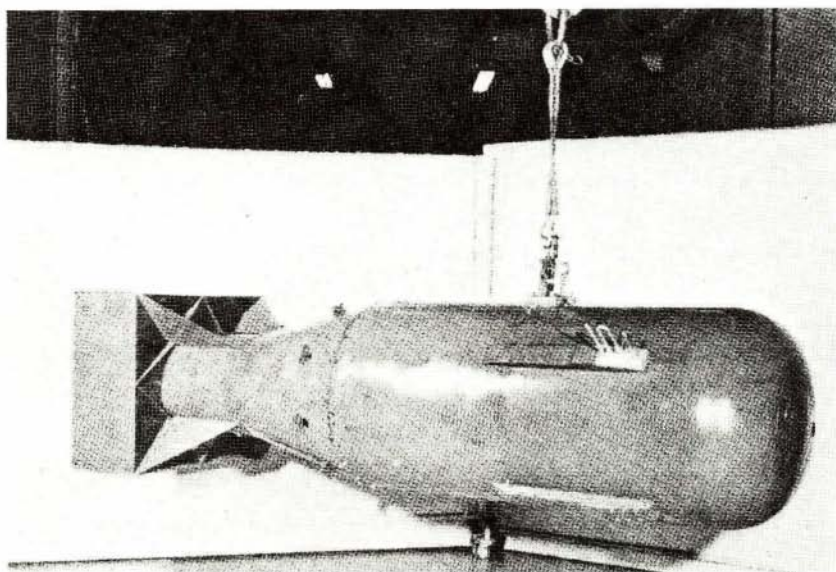
Nadaljnji potek dogodkov samo nakažimo. Jeseni 1942 je sestavil E. Fermi s sodelavci v Chicagu iz kosov naravnega urana in zelo čistega grafita prvi *jedrski reaktor*, v katerem je stekla kon-



Sl. 30: Eksplozija prve jedrske bombe pri Alamogordu blizu Los Alamosa v Novi Mehiki (ZDA) 16. julija 1945. Gobast oblak, ki se širi in giblje navzgor, je posnet 15 sekund po sprožitvi bombe.

trolirana verižna cepitev. V ZDA so zgradili tovarne za obogatitev urana z lahkim izotopom in velike reaktorje za dobivanje plutonija. Poleti 1945 so že pridobili dovolj izotopa ^{235}U in plutonija, da so sestavili prve tri *jedrske bombe*. Prva iz urana ^{235}U je eksplodirala sredi julija v poskusne namene v Alamogordu (ZDA) (sl. 30). Druga prav tako iz ^{235}U (sl. 31) in tretja iz plutonija pa sta na začetku avgusta eksplodirali nad japonskima mestoma Hirošimo in Nagasakijem. Julija 1949 je eksplodirala prva sovjetska poskusna jedrska bomba.

Ob tem so se fiziki in drugi strokovnjaki prvič boleče zavedli nevarnega položaja, v katerega je spravila svet tudi njihova raziskovalna vnema. Mnogi so tedaj obžalovali, da so sodelova-



Sl. 31: Jedrska bomba iz urana ^{235}U , imenovana Little Boy (mali deček), ki je 6. avgusta 1945 eksplodirala nad japonskim mestom Hirošimo. Podrobnosti o sestavi bombe še danes niso objavljene. Zagotovo pa so bombo sprožili tako, da so dva kosa urana (ali več kosov) z navadnim eksplozivom ustrelili drugega v drugega. Vsak izmed kosov je bil premajhen, da bi se v njem razvila verižna cepitev. Kos, ki je nastal po združitvi, pa je bil dovolj velik. Začetne nevtrone je še posebej dal majhen nevtronski izvir.

li pri izdelavi morilskega orožja in so se zavzeli za mednarodno nadzorstvo nad njim.

Na drugi strani pa dajejo jedrski reaktorji že več kot četrstoletja energijo, ki jo izkoriščajo v jedrskih elektrarnah. Prva taka jugoslovanska elektrarna bo v kratkem začela obratovati pri Krškem.

Kot kemika bi morala pravzaprav reči, da nova snov ni radij, ampak barij... Kot fiziki bližja "jedrska kemika" pa se še ne moreva odločiti za ta korak, ki nasprotuje vsem dosedanjim izkušnjam jedrske fizike....

O. Hahn, F. Strassmann, *Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehender Erdalkalimetalle*, Die Naturwissenschaften 27 (1939) 11.

Po mnogih preverjanjih sta morala (Hahn in Strassmann) sklepati, da so nastala barijeva jedra iz uranovih, ki so skoraj dvakrat težja... Najprej se je to zdelo neverjetno. Po uri razpravljanja (z L. Meitnerjevo) pa sva, kakor se spominjam, začenjala razumeti. Bohr je vedno trdil, da se jedro vede kot drobna kapljica. Uranovo jedro, ki je zaradi svojega velikega naboja nestabilno, se lahko razdeli na dve manjši, ko ga pretrese neutron...

O. Frisch, *Lise Meitner, nuclear pioneer*, New Scientist 80 (1978) 426.

Kaj naj store fiziki, če odkrijejo nekaj, kar lahko spremeni industrijo, a hkrati grozi, da bo zrevolucioniralo vojskovanje? Ali naj raziskujejo pojav, kakor je navada, v svobodnem in odprtem raziskovanju ali naj ohranijo pogubno tajnost zase? Pred to dilemo je bilo več skupin fizikov v letih 1939 in 1940, ko so raziskovale cepitev urana...

S.R. Weart, *Scientists with a secret*, Physics Today 29 (1976) 23 (2).

NOBELOVE NAGRADE IZ FIZIKE IN KEMIJE, POVEZANE Z OBRAVNAVANIMI ODKRITJI
(Izvilleček iz uradnega seznama Nobelove ustanove)

FIZIKA

- 1901 profesor *W.C. Röntgen*, München za odkritje znamenitih žarkov, ki so jih pozneje imenovali po njem,
- 1902 profesor *H.A. Lorentz*, Leiden in profesor *P. Zeeman*, Amsterdam za raziskavo vpliva magnetizma na sevanje,
- 1903 *H.A. Becquerel*, profesor na Ecole Polytechnique v Parizu za odkritje radioaktivnosti ter profesor *P. Curie* in gospa *M. Curie*, Pariz za skupno raziskavo sevanja, ki ga je odkril profesor *H. Becquerel*,
- 1905 profesor *P. Lenard*, Kiel za delo na katodnih žarkih,
- 1906 profesor *J.J. Thomson*, Cambridge za teoretično in eksperimentalno raziskavo prevajanja elektrike v plinih,
- 1914 profesor *M. von Laue*, Frankfurt za odkritje uklona žarkov X na kristalih,
- 1915 profesor *W.H. Bragg*, London in *W.L. Bragg*, Manchester za njuno analizo kristalne zgradbe z žarki X,
- 1917 profesor *C.G. Barkla*, Edinburgh za odkritje karakterističnega rentgenskega sevanja elementov,
- 1923 profesor *R.A. Millikan*, Pasadena za delo na osnovnem naboju in fotoefektu,
- 1926 profesor *J. Perrin*, Pariz za delo na zgradbi snovi in delcev in posebno za odkritje sedimentacijskega ravnovesja,
- 1927 profesor *A.H. Compton*, Chicago za odkritje pojava, ki se imenuje po njem, in profesor *C.T.R. Wilson*, Cambridge za metodo, s katero je napravil s kondenzacijo vodne pare vidne tire električno nabitih delcev,
- 1935 profesor *J. Chadwick*, Liverpool za odkritje nevtrona,
- 1938 profesor *E. Fermi*, Rim za dokaz obstoja novih radioaktivnih elementov, ki nastanejo po obsevanju z nevtroni in s tem povezano odkritje jedrskih reakcij s počasnimi nevtroni,
- 1948 profesor *P.M.S. Blackett*, Manchester za razvoj Wilsonove meglične celice in odkritja, ki jih je naredil z njo na območju jedrske fizike in kozmičnega sevanja.

KEMIJA

- 1908 profesor *E. Rutherford*, Manchester za raziskavo dezintegracije elementov in kemije radioaktivnih snovi,
- 1911 profesorica *M. Curiejeva* za zasluge za razvoj kemije z odkritjem elementov radija in polonija, za izolacijo radija in raziskavo narave in spojin teh znamenitih elementov,
- 1921 profesor *F. Soddy*, Oxford za prispevke h kemiji radioaktivnih snovi in raziskave o izvoru in naravi izotopov,
- 1922 dr. *F.W. Aston*, Cambridge za odkritje velikega števila izotopov elementov, ki niso radioaktivni, z masnim spektrografom in za izoblikovanje pravila celih števil,
- 1935 profesor *F. Joliot* in dr. *Irene Joliot-Curie*, Pariz za sintezo novih radioaktivnih elementov,
- 1944 (podeljeno 1945) profesor *O. Hahn*, Berlin-Dahlem za odkritje cepitve težkih jeder.

STVARNO KAZALO

Atom elektrike	3	nevtrino	40
atomska energija	34	nevtron	48
atomski modeli	22,23	osnovni naboj	3,11,12
atomsko jedro	22,28	periodna preglednica	
cepitev uranovega jedra	52	elementov	17
cepitvena produkta	52	polonij	32
delci α, β	32	radij	32
dinamide	24	radioaktivnost	31
eksponentni zakon za		rentgenska svetloba	12,16
radioaktivni razpad	35	sevalno zajetje nevtrona	50
elektroliza	3	sevanje γ	35
elektromagnetna masa	39	sipanje rentgenske	
elektron	9	svetlobe	12
fluorescenca	4	specifični naboj	6
fluorescenčna rentgenska		Thomsonov model	24
svetloba	17	transformacijska teorija	34
fotoni γ	35	transuranski elementi	50
interferenca	13	uklon	13
ionizacija	26	umetna transmutacija	41
izotopi	18,20	umetni radioaktivni	
jedrska cepitev	50	izotopi	50
jedrska energija	34	vakuumске črpalke	4
jedrske bombe	57	verižna cepitev	55
jedrske reakcije	41	vrstno število	17
jedrski eksploziv	56	značilno (karakteristič-	
jedrski reaktor	56	no) sevanje	16
kanalski žarki	19	zakon o celih relativnih	
katodni žarki	4,12	atomskih masah	20
korpuskula	9	zakon o mnogokratnih	
kvantna mehanika	30	razmerjih	2
masni spektrograf	20	zakon o ohranitvi	
meglična celica	43	energije	35
moderator	55	Zeemanov pojav	6
molekule	2	žarki X	12

ZAKLJUČNE MISLI

Na izletu v zgodovino naj bi se bralec naučil tudi nekaj fizike. Pravzaprav je bil to prikriti namen sestavka. Vendar bi ravnali napak, če ne bi poskušali izluščiti nekaj splošnih spoznanj. Morda je bralec dobil kdaj občutek, da se je ob kakem odkritju nekaterim fizikom zgodila krivica. Odkritje elektrona pripisujejo J.J. Thomsonu in ne, na primer, Wiechertu, odkritje izotopov Soddyju in ne Crookesu, odkritje jedra Rutherfordu in ne Nagaoki ... Vendar se pri podrobnejšem pregledu navadno pokaže, zakaj je komu ušlo prvenstvo. Morda je bilo delo objavljeno v nepomembnem časopisu, morda je imel pisec premalo veljave, morda še ni bilo ustreznih poskusov ali merjenj. Pogosto se tudi sam ni zavedel pomena svojega dela in zato ni znal rezultatov prav prikazati in poudariti.

Pravi pogled na kako odkritje se odpre šele v zgodovinski perspektivi. Tako je bila prednost Lenardovega atomskega modela, da je bil atom prazen, njegova slabost pa nevtralni gradniki. Kelvinov in Thomsonov model sta sicer uvedla elektrone kot gradnike, toda zamisel velike in težke pozitivne "potice" ni bila prava. Nagaokin model, ki se sploh ni uveljavil - verjetno zato ne, ker ni bilo merskih podatkov - je bil od vseh dotedanjih najbližji pravi sliki. Celo Rutherfordov model, katerega napovedi so se skladale z izidi merjenj, se je le počasi uveljavljal. Še precej časa so knjige posvečale mnogo večjo pozornost Thomsonovem modelu.

Zanimivo je primerjati trditve v fizikalnih knjigah, ki se ne razlikujejo samo po odtenku. Angleške knjige pišejo v zvezi z elektronom z velikim poudarkom o J.J. Thomsonu in navadno ne omenijo Wiecherta, Perrina in drugih, medtem ko poudarjajo nemške Wiechertov, francoske pa Perrinov delež. Nekaterne druge neskladnosti izvirajo iz zgoščenosti zgodovinskih opomb. Le v ne navadno obsežni zgodovini fizike bi bilo mogoče orisati v celoti ozadje posameznih odkritij. Tako je na primer zanimivo vprašanje, ali je Nagaokin atomski model kaj vplival na Rutherforda, saj je znano, da je Nagaoka obiskal Rutherforda in si z

njim dopisoval. Vendar je skoraj nemogoče verno podati razmere ob času odkritja in pot fizikovih misli. Znanstveni članki so namreč kolikor mogoče suhi in neosebni, izjave sodobnikov pa niso najzanesljivejše. Nekaj neskladnosti je tudi pri letnicah odkritij (tu so navedene letnice objav, ker pravih letnic odkritij ni vedno lahko najti).

V resnici je tako, da ne stoji noben odkritelj popolnoma zase. Vsi so gradili na delu predhodnikov. Čeprav imamo J.J. Thomsona za odkritelja elektrona, bi bilo bolj prav, če bi v isti sapi imenovali Zeemana, Wiecherta, Perrina in morda še koga. Vsa ko odkritje rase iz prejšnjih odkritij in neuspešnih poskusov.

Lahko si mislimo, kako težavno je zaradi vsega tega delo komiteja, ki podeljuje *Nobelove nagrade*. Zdi se, da izrazitih krivic vsaj na obravnavanem področju ni bilo. Vsi glavni junaki naše zgodbe so dobili prej ali slej Nobelovo nagrado, če ne iz fizike, pa iz kemije (glej preglednico na str. 59). H.G.J. Moseley bi jo zelo verjetno dobil, če bi živel še nekaj časa. Ne koliko preseneča le, da jo je dobil sam O. Hahn. To nedoslednost pa so popravili s Fermijevo nagrado, ki jo podeljujejo v ZDA in ki so jo leta 1965 dobili skupaj O. Hahn, L. Meitnerjeva in F. Strassmann.

Ali je mogoče najti kako skupno potezo fizikov, ki so se jim posrečila opisana odkritja? Predvsem ne moremo mimo njihove delavnosti in zagnanosti, s katero so se lotili kakega problema. Ni čudno, da je to včasih mejilo že na trmo. Drugače si ni mogoče pojasniti dejstva, da so nekateri fiziki vztrajali še nekaj časa pri razlagah, ki so jih poskusi že ovrgli. Seveda moramo upoštevati še nekaj. V časih na začetku naše zgodbe ni bilo radia in televizije, ki razširja danes vesti o uspehih po vsem svetu. Ni bilo hitro izhajajočih revij in izmenjavanja člankov med fiziki pred izidom. Ni bilo znanstvenih sestankov, na katerih sproti ocenijo veljavnost poskusov ali teorij. Zato je v tistih časih na primer delal Crookes v Angliji poskuse, ne da bi vedel za enake poskuse Plückerja in Hittorfa v Nemčiji. Tedaj je pogostejše prihajalo do neodvisnih sorodnih odkritij kot danes.

čep^oprav smo zaradi preglednosti zasledovali v posameznih poglav^o jih različne usmeritve, so te med seboj večkrat tesno preplete^o ne. Odkritje atomskega jedra je bilo na primer tesno povezano s preučevanjem radioaktivnosti, odkritje rentgenske svetlobe s preučevanjem katodnih žarkov ... Fizika se nam tedaj kaže kot nekakšna mreža, ne kot ena sama vrvica. Pri poučevanju fizike si sicer izberemo tako vrvico za rdečo nit. Vendar ne smemo nikdar pozabiti, da je to samo ena izmed vrvic, ki je povezana z drugimi vrvicami v mreži.

Na koncu je treba omeniti še nekaj. Naš pregled in podobni zgodovinski pregledi naravoslovnih ved premalo pokažejo na odvisnost razvoja znanosti od razvoja tehnologije in od razvoja družbe sploh. Tudi za fizike niso čisto nezanimiva vprašanja, kakršno je na primer: Zakaj je bila fizika v Angliji na prelomu stoletja in na začetku našega stoletja tako uspešna? Takoj je sicer mogoče reči, da je to posledica razcveta angleškega gospodarstva - tudi na račun kolonij - in razvite tehnologije v službi razraščajoče se industrije. Toda to ni vse. Tudi na delež osebnosti fizikov, posebno J.J. Thomsona in E. Rutherforda ne gre pozabiti. Več stvari je tako tesno prepletenih, da je težko dobiti jasen vpogled. Zgodovina fizike, ki bi odgovorila na takšna vprašanja, bi povedala več kot preprost časovni pregled neuspešnih poskusov in uspešnih odkritij. Vendar je zgodovina te vrste zelo zahtevna in je šele v povojih. V revijah za fizike, ki se ukvarjajo posebej z zgodovino, ali za zgodovinarje, ki se ukvarjajo posebej s fiziko, so izšli v zadnjih desetletjih prvi prispevki.

... Ob redkih priložnostih izjemen um, kot so bili na primer Maxwell, Bohr ali Einstein, spremeni smer in hitrost napredka. Sicer pa napreduje fizika s preiskovanjem in z zmotami, kakor v splošnem vsaka človeška dejavnost ...

O.R.Frisch, *The first subatomic particle*,
The New Scientist 76 (1977) 408

Najbrž je od vseh najpomembnejše spoznanje, da je bilo neuspehov v razvoju fizike več kot uspehov. Toda slednjih ne bi bilo, če ne bi bilo prvih. Če v fiziki - to velja tudi za naravoslovje - je nasploh - ne bi bilo zmot in neuspehov, ne bi bilo razvoja in napredka. Dejstvo je, da se fizika - lahko bi rekli, da prav zaradi zmot in neuspehov - nenehno razvija in napreduje.

V S E B I N A

	Str.
Uvod	2
Elektron	3
Rentgenska svetloba	12
Izotopi	18
Atomsko jedro	22
Radioaktivnost	31
Jedrske reakcije	41
Meglična celica	43
Nevtron	48
Jedrska cepitev	50
Nobelove nagrade	59
Stvarno kazalo	60
Zaključne misli	61

riju, včasih naključno, pogosto pa po prizadevnem iskanju, ker so jih napovedala teoretična razmišljanja. Seznam delcev se daljša iz dneva v dan. V zadnjih desetih letih so poskusi in teoretična razmišljanja navedli na misel, da sta tudi proton in nevtron sestavljena iz še manjših delcev, ki jih imenujemo kvarke. V laboratorijih zdaj tečejo poskusi, zelo podobni tistim pred sedemdesetimi leti, ko so z delci α obstreljevali atom, da bi ugotovili, kako je sestavljen. Zdaj streljajo na protone z elektroni zelo visokih energij, več desetstisočkrat višjimi, kot so jih imeli tedaj delci α . Zatrjujejo, da si znajo razložiti rezultate teh poskusov samo z domnevo, da sestavljajo protone in nevtrone trije kvarki, ki so skoraj točkasti v primerjavi z razsežnostjo nevtrona ali protona.

Domnevajo, da so skoraj vsi delci sestavljeni iz kvarkov. Le za nekatere med njimi, mednje sodi tudi elektron, je videti, da niso sestavljeni. O kvarkih za zdaj še ne vemo prav dosti, četudi so poskusi sprožili različna ugibanja, ki so jim sledile zapletene teorije. So kvarki, elektroni, ter elektronu podobni delci najmanjši gradniki narave? So morda tudi ti sestavljeni iz še manjših delcev? Prezgodaj je še, da bi ugibali o zadnjem. Niti poskusi niti teorija še niso pripravljeni na to vprašanje. Ne bo pa nič presenetljivega, če bodo kdaj morda novi, veliko zahtevnejši poskusi, kot jih zmoremo danes, pokazali, da so tudi kvarki sestavljeni delci.

Tako človek korak za korakom spoznava naravo. Po eni strani se snov drobi v mikrosvet manjših in manjših razsežnosti, po drugi strani poskušamo razumeti, kako se snov povezuje v planete in sonca, v osončja in v meglenice. Človek bi rad vso to pestrost ujel v majhno število splošnih trditev in zakonov. Za to pa so potrebni poskusi, ki zahtevajo zelo razvito tehnologijo in ki razvoj tehnologije tudi močno vzpodbujajo.

Za tiste med vami, ki jih zanima, kako so se rojevale tiste misli v znanosti, ki so vodile do novih spoznanj, bo pisanje o dogodkih pred petdesetimi in več leti zanimivo branje. Avtor je skrbno zbral in uredil tiste dogodke, za katere je menil, da so najbolj zanimivi. Morda boste med vrsticami razbrali, da je znanstveno delo sicer zelo zanimivo, navdušujoče, vendar tudi zelo trdo, zahtevno in velikokrat garaško.

Norma Mankoč-Borštnik

P R E S E K - List za mlade matematike, fizike in astronome.

6. letnik, šolsko leto 1978/79, 5. številka, str. 1 - 64 (257 - 320).

Izdaja društvo matematikov, fizikov in astronomov SR Slovenije.

Uredniški odbor: Janez Strnad (glavni urednik), Zvonko Trontelj (odgovorni urednik), Norma Mankoč-Borštnik (urednica Presekove knjižnice), Ciril Velkovich (urednik).

Rokopis je natipkala Metka Žitnik, jezikovno ga je pregledala Sandra Oblak, opremila pa sta ga Borut Delak in Višnja Kovačič, slike je narisal Slavko Lesnjak.

List sofinancirajo republiška izobraževalna skupnost in temeljne izobraževalne skupnosti v Sloveniji ter raziskovalna skupnost Slovenije.

Ofset tisk časopisno in grafično podjetje "DELO", Ljubljana. List izhaja petkrat letno v nakladi 22.000 izvodov.

© 1979 Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS - 373



1. Vidav Ivan, JOSIP PLEMELJ - Ob stoletnici rojstva (2. natis), 1975
2. Zajc Pavle, TEKMUJMO ZA VEGOVA PRIZNANJA - Zbirka rešenih nalog iz matematike s tekmovalnj učencev šestih, sedmih in osmih razredov osnovnih šol SRS, 1977
3. Prosén Marijan, ASTRONOMSKA OPAZOVANJA - Kako v astronomiji s preprostimi napravami opazujemo in merimo, 1978
4. Strnad Janez, ZAČETKI SODOBNE FIZIKE - Od elektrona do jedrske cepitve, 1979