

1117 1337

ROBERT A. MILIKEN

ELEKTRONI

II



PROSVETA

PROSVETA
IZDAVAČKO PREDUZEĆE SRBIJE
BEOGRAD 1949

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАТЕМАТИЧНИ ФАКУЛТЕТ
НБ. Бр. 29.375
БИБЛИОТЕКА

NASLOV ORIGINALA
ELECTRONS (+AND—), PROTONS, PHOTONS, NEUTRONS,
MESOTRONS, AND COSMIC RAYS

МИЛЕНКО БОСНИЋ

REVISED EDITION 1947

BY

ROBERT ANDREWS MILLIKAN

Formerly Professor of Physics, the University of Chicago, Director
Norman Bridge Laboratory of Physics, California Institute
of Technology

МИЛЕНКО БОСНИЋ

PREVELI S ENGLISKOG

D-r MIHAILO RADOVANOVIĆ i D-r MILKA RADOJČIĆ

REDAKTORI

BORIVOJE NEDIĆ i SLOBODAN RISTIĆ

GLAVA XIV

NEPOSREDNO MERENJE ENERGIJE KOSMIČKIH ZRAKOVA I OTKRIĆE SLOBODNOG POZITIVNOG ELEKTRONA

Sve do noći 2 avgusta 1932 godine u nauci se uopšte smatralo da osnovne temelje fizičkog sveta čine samo protoni i negativni elektroni. Iz ovih dveju praiskonskih bitnosti bili su stvoreni svih 92 elementa. Proton je sam po sebi bio pozitivna jedinica električnog tovara, ili pozitivni elektron, tačno kao negativna jedinica, ukoliko se ticalo samog električnog tovara; ali po svojoj prirodi on se razlikovao od negativne jedinice po tome što je uvek bio udružen sa masom 1837 puta većom od ostale mase negativnog elektrona. Na ovaj način pretpostavljali smo bitnu razliku između prirode pozitivnog i negativnog elektriciteta, i objasnili činjenicu da je ne samo ceo pozitivni električni tovar jednog atoma koncentrisan u njegovom jezgri, već, tako reći, i cela njegova masa takođe. Da bi se sve ovo dovelo u saglasnost sa elektromagnetskom teorijom o poreklu mase, većina nas — s obzirom na čuvenu jednačinu Dž. Dž. Tomsona za masu loptastog električnog tovara, naime $m = \frac{2}{3} \frac{e^2}{a}$ (Dodatak D) — zamislili smo da pozitivna jedinica električnog tovara ima poluprečnik samo $\frac{1}{1837}$ od poluprečnika negativne jedinice, kao što je izgledalo da ova jednačina zahteva.

Jedna fotografija kosmičkog zraka, snimljena u Norman Bridž laboratoriji po podne 2 avgusta 1932 god., okončala je naše samozadovoljstvo u pogledu gornje slike. Karl D. Anderson uzeo je snimak i razvio film. On je odmah shvatio njen značaj i proveo je celu noć sa Setom Nedermajerom, pokušavajući uzalud da vidi nema li nekog načina za posmatranje te slike koji bi spasao staru tačku gledišta. Ali to nije moglo biti postignuto. Fotografija je, bez ikakve sumnje, otkrila trag *slobodnog pozitivnog elektrona*, koji ima u svemu svojstva slobodnog negativnog elektrona, izuzev u pogledu znaka svog električnog tovara, a nikako svojstva protona. Ime proton moglo je i dalje ostati, ali njegov karakter se izmenio, jer on nije više sam po sebi predstavljao krajnju pozitivnu bitnost. Kosmički zrak je očigledno skinuo sa njega beztelesnu pozitivnu jedinicu električnog tovara, isto-većnog bliznaka slobodnog negativnog elektrona. Način kako je došlo do ovog otkrića je sledeći:

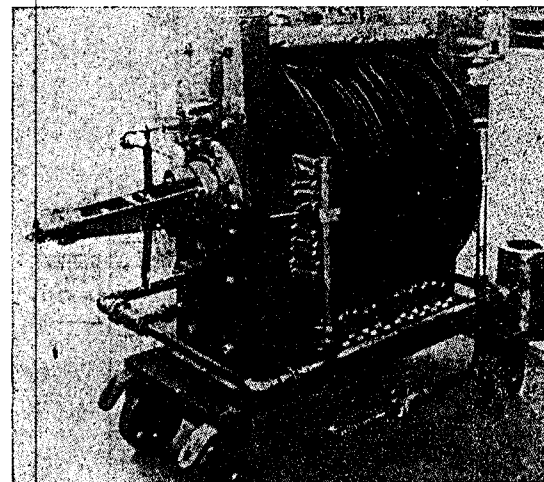
I. NEPOSREDNO MERENJE ENERGIJA KOJE KOSMIČKI ZRACI SADRŽE

Do 1931 godine nije izvršeno merenje nijedne energije čestica koja je prelazila 15 miliona elektron-volta. Na osnovu ogromne prodorne snage kosmičkih zrakova, kao i na osnovu poznatih energija oslobođenih prilikom izgradnje običnih elemenata iz vodonika, proračunao sam još 1928 god.¹ da je najprodorniji od svih posmatranih kosmičkih zrakova imao energiju koja je dostizala čak do 500 miliona elektron volta. A čak ako bi ovi došli na Zemlju kao fotoni, očekivalo bi se da će oni osloboditi elektrone otprilike ove iste energije iz atoma atmosfere. Prema tome, bilo je od najveće važnosti da se nađe neki način *neposrednog merenja* elektronskih energija ovoga reda u veličini, pošto su proračuni energija koji su učinjeni na druge načine bili veoma neizvesni. Stoga smo u leto 1929 god. dr Karl D. Anderson i ja otpočeli izgradnju jedne *vertikalne* Vilsonove maglene

¹ Milliken i Cameron, *Phys. Rev.*, XXXII (1928), 533.

komore — prve ovoga tipa — nameštene usred neobično snažnog i prostranog horizontalnog magnetskog polja.

Slika 51a pokazuje fotografiju aparata ili naprave za merenje energije kosmičkih zrakova koji smo konstruisali, a slika 51b prikazuje njegov šematski dijagram. Dve hiljade ampera struje iz jednog motornog generatora od hiljadu konjskih snaga proizvode jedno polje od 24.000 gausa približno jednake snage na prostoru koji meri 17 cm x 17 cm x 4 cm. U ovom aparatu mogu se meriti elektronske putanje od 15

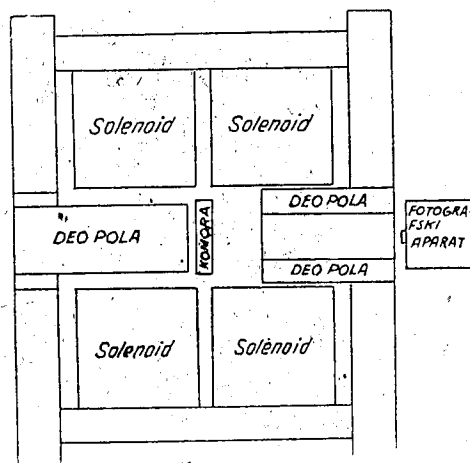


Sl. 51a. — Fotografija ogromnog elektromagneta sa kojim je merenje energija naelektrisanih čestica pomaknuto od oko 15 miliona elektron-volta — što je bila granica do 1930 god. — do otprilike 6.000 miliona elektron-volta. Čestice kosmičkih zrakova ove energije stvarno su već utvrđene.

cm dužine, odnosno dopuštaju merenje njihovih zakrivljanja do energije od 6 milijardi (10^9) elektron-volta. Na taj način najveće elektronske energije koje se sada mogu izmeriti iznose 400 puta više od najvećih energija koje su bile pristupačne merenju do 1931 god.

Da bi se jasno istaklo kako je ovaj aparat u stanju da vrši razlikovanje između dejstva gama zrakova i kosmičkih

zrakova, prikazane su dve fotografije koje su u leto 1931 god. snimljene među prvima (sl. 52 i 53). Kad gama zraci iz ThC'' , sa maksimalnom energijom od 2,6 miliona elektron volta prolaze kroz ekspanzionu komoru, onda su elektroni, koji su izbačeni iz atoma gasova u komori, naterani pomoću snažnog električnog polja da se kreću u spiralama oko linija sile. Kako je fotografski aparat vršio snimanje duž tih linija, fotografije će idealno otkriti samo krugove. Pošto svetlost sa nekih delova električnog polja dolazi pod izvesnim vrlo malim uglom sa linijama sile, spiralni oblik ovih putanja može se stvarno videti na slici 52.

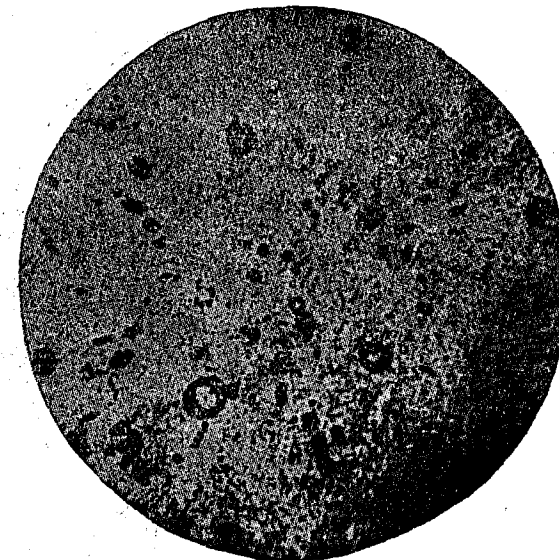


Sl. 51b. Dijagram magneta za merenje kosmičkih zrakova koji je prikazan na sl. 51a. Približno homogeno magnetsko polje u valjkastoj komori prečnika 17 cm i debljine 4 cm stvoreno je pomoću struje od 2.000 ampera, koja prolazi kroz solenoide. Magnetsko polje u celoj ovoj velikoj zapremini iznosi 24.000 gausa

Na osnovu jačine električnog polja, — koja ovde iznosi 12.000 gausa, — krivine putanje i poznate mase elektrona, energija se može odmah proračunati. Ona izlazi za najveći krug na slici 52 oko 2 miliona elektron-volta, kao što i treba da bude. Slika 53 prikazuje putanju kosmičkog zraka. Krivina pokazuje da je energija kojom je ovaj elektron izbačen iz njegovog matičnog atoma oko 8 miliona elektron-

volta, više nego tri puta veća od energije koju mogu dati najprodorniji gama zraci iz ThC'' .

Međutim, sledeće fotografije (sl. 54 i 55) prikazuju ne samo mnogo veće energije, već i nešto mnogo važnije, naime, da su dolazeći kosmički zraci ovde susreli jezgro atoma, i kao rezultat toga susreta izbačene su iz toga jezgra i pozitivna i negativna čestica, jer nikakvo drugo tumačenje krivina, suprotnih jedna drugoj, dveju putanja nije moguće. Kako

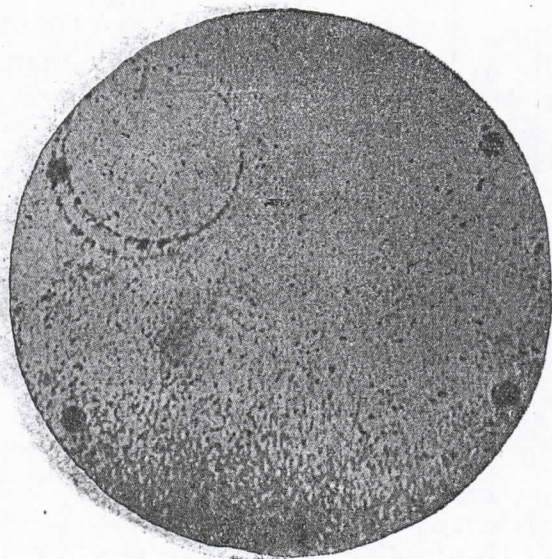


Sl. 52. — 12.000 gausa. Dokumentarna fotografija koja pokazuje putanje u vazduhu sekundarnih elektrona, koje izbacuju gama zraci iz radijuma filtrirani kroz 2.5 cm čelika. Energije elektrona variraju od 2×10^6 elektron volta naniže

pozitivne čestice ne mogu nikako proizići iz susreta izvan jezgra, ovo je bio neposredan i nedvosmislen dokaz, prvo, da jezgro ima važnu ulogu u apsorpciji kosmičkih zrakova, i, drugo, da i pozitivne i negativne čestice mogu izleteti iz jezgra kad je ono udareno kosmičkim zrakom. Najbliži prilaz ma čemu što bi bilo slično ovome, a što je bilo primećeno ranije nađeno je u Raderfordovom otkriću 1919 god., da sudar

alfa čestica sa jezgri većine lakših atoma može iz njih da izbací protone. Ali kosmički zraci zaista nisu alfa čestice, tako da ovde imamo potpuno novu pojavu.

Ove fotografije pokazao sam na svojim predavanjima u Kembridžu, u Engleskoj, i u Parizu, u Poenkareovom institutu, u novembru 1931 god. Tom prilikom protumačio sam sliku 54 kako prikazuje da je kosmički zrak izbacio iz jezgra jedan proton čija putanja savija naniže i u desnom pravcu,

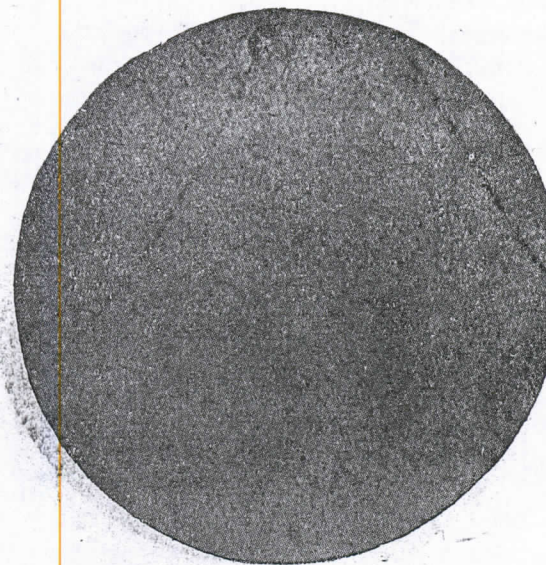


Sl. 53. — Jačina električnog polja bila je 12.000 gausa. Putanja elektrona kosmičkoga zraka od 8 miliona volta koji vrši više od $1\frac{1}{2}$ potpunih okretaja u komori.

a i jedan negativan elektron, čija putanja savija n niže, u levom pravcu. Na osnovu zakrivljenosti, proračunata energija negativnog elektrona iznosila je 120 miliona elektronvolta, a protona 130 miliona, tako da bi energija nailazećeg kosmičkog zraka imala najmanje 250 miliona elektronvolta.

Ovu fotografiju objavila je prvi put, 18 decembra 1931 god., *Science Service*, zajedno sa dr Andersonovom foto-

grafijom, pod naslovom „Kosmički zraci razbijaju srca atoma“. U ovom delu ja posvećujem tome izvesnu pažnju, jer je time iznet na svetlost prvi neposredni dokaz o značaju nuklearnih sudara za tumačenje pojava kosmičkih zrakova, a, osim toga, ova fotografija je stvarno odložila najmanje za osam meseci otkriće slobodnog pozitivnog elektrona, i to iz sledećeg razloga: Proton gore pomenute energije treba

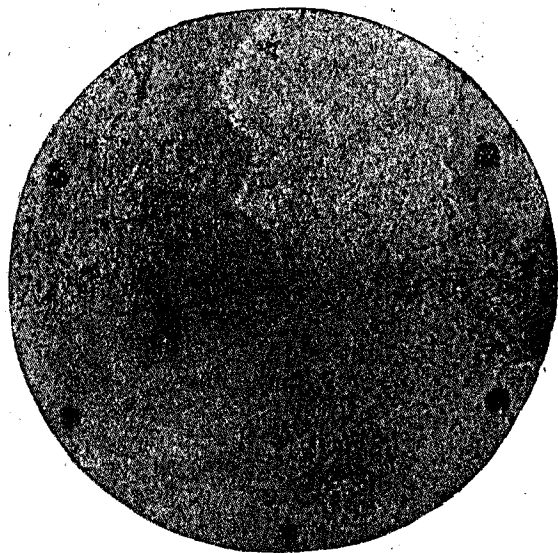


Sl. 54 — 17.000 gausa. Par udruženih putanja. Levo elektron od 120 miliona volta energije. Desno, očevidno jedan proton od 130 miliona volta energije. Pošto protoni i slobodni elektroni imaju za izvesnu datu brzinu podjednaku specifičnu jonizaciju, onda se, na osnovu merenja Viliamsa i Terua (*Proc. Roy. Soc.*, CXXVI — 1929—1930, 300), kod jonizacije koju vrše β -čestice, očekuje da će proton od 130 miliona volta energije jonizovati triputa jače nego elektron. Izgleda da on to i čini

МИЛЕНКО БОСНИЋ

da jonizuje gas mnogo obilnije nego elektron od 120 miliona volta, a to je baš ono što pozitivna čestica na sl. 54 izgleda da čini. Otuda mi nismo nimalo sumnjali da je to bio proton. Ovo se potpuno slagalo sa opšte primljenom koncepcijom toga vremena o sastavu jezgra.

Na sl. 55 vidi se, međutim, fotografija, uzeta otprilike u isto vreme, koja nam je zadavala mnogo brige, te smo dr Anderson i ja vodili povodom toga dugu diskusiju. Pozitivna čestica na desnoj strani ima samo malu krivinu, i na osnovu te krivine zaključili smo da je to bio proton od 450 miliona elektron-volta energije, dok je putanja na levoj strani proračunata da je elektron od 27 miliona elektron-volta. Znali smo da bi protoni od preko milijarde (10^9) elektron-volta energije dali jonizaciju duž njihove



Sl. 55 — 12.000 gausa. Negativan elektron od 27 miliona volta energije i pozitivan elektron od oko 450 miliona volta energije

putanje koja bi se jedva razlikovala od jonizacije koju proizvodi slobodan elektron. Ali pri energiji od 450 miliona elektron-volta jonizacija koju izaziva proton treba da bude $1\frac{1}{2}$ do 2 puta veća od one koja je posledica elektrona od 27 miliona elektron volta. Pored svega toga, *nikakav trag razlike u jonizaciji između putanja na levoj i desnoj strani, sl. 55, nije mogao da se primeti.* Iz ove teškoće nismo našli

nikakav drugi izlaz sem u pretpostavci da je možda u ovom opsegu ogromno visoke energije, u čijim granicama niko nije pre toga radio, nešto neispravno u pogledu teorije o načinu kako se jonizacija protona menja sa energijom. U opsegu niže energije, koja je prikazana na slici 54, sve je izgledalo ispravno. Zadovoljavajući se makar privremeno gornjim izvinjenjima — ma da smo se zavetovali da se ponovo vratimo na ovu tačku kada nam vreme to dozvoli, i da iznađemo u čemu je bila greška — mi smo nastavili da i dalje nazivamo čestice koje prouzrokuju sve naše pozitivne putanje „protonima“. Tako se i desilo da u toku nekih osam meseci nismo našli nijedan pozitiv sa tako velikom zakrivljenošću da bismo mogli utvrditi nemogućnost gornjeg objašnjenja. Ovde se treba potsetiti da je samo oko jedna osmina naših putanja bila „udružena“ u smislu pokazivanja najmanje dve putanje koje se granaju naniže iz zajedničkog središta,¹ i samo su se ove mogle neosporno identifikovati kao pozitivan i negativan elektron. Svaka izdvojena pojedinačna putanja male jonizacione snage, koja je krivudala naglo nadesno, te bi trebalo da pretstavlja pozitivan elektron u kretanju naniže, može se, takođe, smatrati i kao negativan elektron koji se kreće naviše. Stoga u to vreme (pri kraju 1931 god.) bitno proveravanje protonske hipoteze nije pretstavljalo tako laku stvar kao što bi to moglo da izgleda na prvi pogled, a osim toga, ideja da je i sam proton osnovna jedinica pozitivnog elektriciteta bila je tako duboko ukorenjena, da bi bezmalo ma koja druga vrsta hipoteze za izlaženje iz ove teškoće bila primljena u to vreme radije nego da ona bude napuštena.

II. OTKRIĆE SLOBODNOG POZITIVNOG ELEKTRONA

Ali 2 avgusta dr Anderson je snimio fotografiju koja je prikazana na sl. 56. U sredini komore vidi se olovna ploča

¹ Skobelzyn, *Zeit. f. Physik*, LIV (1929), 636, prvi je obratio pažnju na ove putanje koje se granaju. Ali on nije našao dokaze, niti ih je predložio ili nagovestio, da se jedna od njih sastoji od pozitivnog elektrona. Stvarno, njegovo električno polje bilo je suviše slabo da mu omogući da dođe do potrebnog obaveštenja po ovoj tački, koja konačno vezuje ovu pojavu za jezgro atoma.

od 6 mm, koja je stavljena unutra u cilju nalaženja gubitka energije naelektrisanih čestica prilikom prolaza kroz poznatu debljinu olova. Krivina ispod ploča odgovara energiji od 63 miliona elektron-volta u telu koje ima masu elektrona u miru. Krivina iznad ploče odgovara energiji istog tela od svega 23 miliona elektron-volta. Kako je bilo potpuno nemoguće da je čestica *dobila* razliku u ovim dvema energijama prilikom prolaza kroz olovo, pravac kretanja čestice morao je da bude naviše, a ne naniže¹. Time je, zajedno sa krivinom poznatog pravca u električnom polju, utvrđen znak električnog tovara čestice kao pozitivan. Ali ne samo da je debljina putanje bila potpuno ista kao što pokazuju negativni elektroni ove krivine, već je njena dužina iznad olova bila najmanje deset puta veća od moguće dužine protonske putanje ove krivine. Stoga je dr Andersonu izgledalo, posle probavene noći u radu, da ova putanja nije ništa drugo već putanja slobodnog pozitivnog elektrona. Rano u septembru imao sam zadovoljstvo da pokažem tu putanju dr Astonu iz Kavendišove laboratorije, koji je tada bio u poseti Norman Bridž laboratoriji, i da ga uverim da ćemo odložiti objavljivanje ovog rezultata dok ne budemo utvrdili druge nedvosmislene slučajeve. Ovi su vrlo uskoro došli, i u septembru dr Anderson² je objavio svoje otkriće.

Međutim, čak i onda, i za nekoliko meseci posle toga, mi smo smatrali pojavu slobodnog pozitivnog elektrona kao redak događaj, te smo i dalje tumačili većinu naših pozitivnih putanja visoke energije kao posledicu protona. Iz razloga

¹ Kretanje elektrona naviše je ponekad posledica dejstva magnetskog polja koje izokreće taj pravac. Stvarno, bez električnog polja kreće se tako mali broj sekundarnih elektrona naviše, da dr Neher i autor nisu utvrdili nikakvu merljivu razliku u čitanju elektroskopa kad je on podignut u avionu na visinu od 15.000 stopa (4.825 m) i to, prvo, kada se nalazio na lakom drvenom okviru, a potom na teškoj masi olova od 10 cm debljine, i to uprkos poznate činjenice da se velika većina svih ovih sekundarnih elektrona kreće naniže u pravcu upadnog snopa zrakova.

² Anderson, *Science*, LXXVI (1932), 238.

koji će biti navedeni niže, docnije smo smatrali ovo gledište kao potpuno pogrešno. Stvarno, posle proučavanja hiljada fotografija ovih putanja, jedina među njima koju nismo mogli drukčije protumačiti već kao putanju protona, bila je prvobitna slika prikazana na sl. 54. Zbog toga naš sadašnji zaključak je da ako bi se protoni, ili ma koja druga vrsta jezgra, ikad pojavili u jednoj jonskoj komori ili u elektroskopu, kao posledica prolaza kosmičkih zrakova kroz komoru, njihov broj bi bio tako mali da se ne može videti u primetnoj količini u eksperimentima koje smo izvršili u cilju njihovog otkrića. Kako se među elektronima sa energijama, recimo, iznad 100 miliona elektron volta javlja isto tako veliki broj pozitivnih kao i negativnih putanja, a samo nekoliko više kod najviših energija (iznad 3 milijarde volta), jasno je da je približno polovina jonizacije, koja se javlja usled kosmičkih zrakova sa energijama iznad ovih vrednosti, posledica prolaza kroz gas slobodnih pozitivnih elektrona ili „pozitrona“,¹ oslobođenih prilikom sudara kosmičkih zrakova sa atomskim jezgrima.

Između septembra 1932 i marta 1933 god. snimljen je veliki broj potvrđenih fotografija kosmičkih zrakova, koje

¹ Da bi se uklonila dvosmislenost u definiciji izraza „elektron“, koja postoji u današnje vreme zbog dvojakog smisla u kojem se on upotrebljava u literaturi, naime, da na jednoj strani označava *veličinu osnovne količine električnog tovara*, kao na primer u opšte usvojenom izrazu elektron-volt — a na drugoj, da se odnosi na naziv *čestice* neke naročite mase, u ovom delu upotrebljavaju se izrazi „negatron“ i „pozitron“. Ovi izrazi se upotrebljavaju samo kao zgodne skraćenice za potpuno deskriptivna označavanja *čestice*, kao „slobodan negativan elektron“ i „slobodan pozitivan elektron“. Prema tome, izraz elektron zadržava svoje istorisko, izvorno i logično značenje kao naziv osnovne jedinice električnog tovara, te je današnja dvosmislenost time uklonjena. Istaknuto je da ovaj predlog nije nimalo u sukobu sa tradicijom i upotrebom izraza elektron. Čak i danas se verovatno oko devet desetina ove upotrebe odnosi, po mišljenju autora, pre na električni tovar negoli na masu, kao na primer (da uzmemo jedan jedini) u svima slučajevima gde se razmatra broj elektrona koji ide na neku datu elektrodu. Upotreba koju predlažemo čini se samo radi uklanjanja dvosmislenosti, čije su rdave posledice počele da se osećaju u sve većoj meri od vremena otkrića „slobodnog pozitivnog elektrona“ i otkako je raspravljano o nuklearnim procesima postalo više uobičajeno. U ovakvoj upotrebi nema nikakve teškoće da se za elektrone kaže da oni postoje u jezgru, jer u tom slučaju svako ima na umu broj jedinica električnog tovara.

otkrivaju nedvosmisleno postojanje pozitrona. U martu 1933 god. dr Anderson¹ je objavio drugi izveštaj u kojem se raspravlja o 15 od ovih fotografija.

Slika 57 prikazuje jednu od ovih fotografija koja ovo najbolje rasvetljava. Putanju na levoj strani središnje grupe



Sl. 56 — Pozitron od 63 miliona volta ($H_0 = 2.1 \times 10^5$ gaus-cm) prolazi kroz olovnu ploču od 6 mm i izlazi kao pozitron od 23 miliona volta ($H_0 = 7.5 \times 10^4$ gaus-cm). Dužina ove poslednje putanje je najmanje deset puta veća od moguće dužine protonske putanje ove krivine

od četiri putanje načinio je jedan slobodan negativni elektron od 18 miliona volta (koji na osnovu simetrije možemo sada da skratimo u izraz negatron kad god diferencijacija u znaku električnog tovara predstavlja važan obzir, ma da ovo nije često potrebno) dok putanja na desnoj strani pri-

¹ Anderson, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 491.

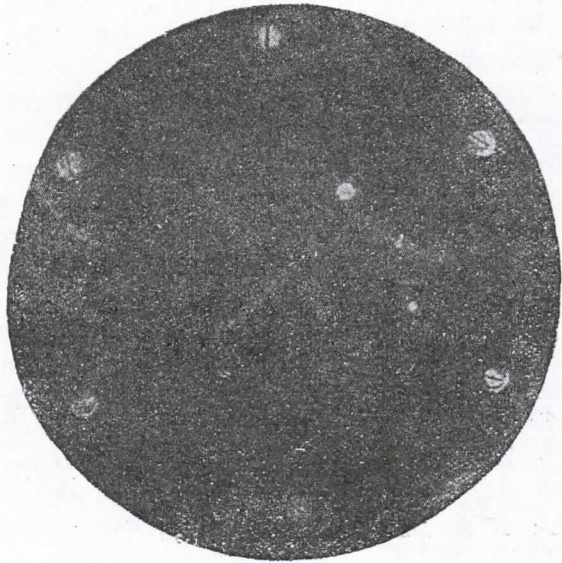
pada pozitronu energije od oko 20 miliona volta. Cela ova grupa predstavlja putanje koje su sve „udružene u vremenu“,¹ tj. predstavlja jonizacije koje se nužno javljaju u istom trenutku, pošto one imaju istu količinu difuznosti. Difuznost je ovde posledica činjenice što se ekspanzija desila oko pola sekunda posle prolaza jonizacionih čestica, tako da su joni difundovali ili se rasturili od njihove tačke porekla pre nego što je njihovo kretanje bilo zaustavljeno kondenzacijom vodene pare na njima. Time je omogućeno tačno brojanje pod mikroskopom broja jona po santimetru putanje, kao i merenje krivina. Ova dva elementa, uzeta zajedno kad su primenjena na izvestan broj takvih putanja, utvrđuju i električne tove i mase dvaju elektrona kao jednake u granicama 10% i 20% respektivno,² tako da je u ovim granicama definitivno dokazano da su pozitroni „istovetni blizanci“ sa razlikom samo u znaku električnog tovara. Dotle su se oni pojavljivali samo u fotografijama kosmičkih zrakova snimljenih u Norman Bridž laboratoriji. U martu 1933 god. su Bleket i Okialini,³ iz Kavendišove laboratorije, dali vrlo lepe potvrdne dokaze o postojanju pozitrona koji se javljaju kao

¹ Putanje na sl. 55 su udružene geometrijski, tj. one se javljaju iz istog zajedničkog središta, kao što su i združene u vremenu. Uopšte, geometrijski združene putanje su, takođe, nužno vremenski združene. Jer s obzirom na vrlo retku učestanost sa kojom smo krajem 1931 god. dobivali putanje kosmičkih zrakova — otprilike jednu na trideset eksponiranja — slučajnost da dve krive putanje koje dolaze iz zajedničkog središta vode poreklo iz nezavisnih događaja, praktično je ravna nuli. Zbog toga smo osećali sigurnost da pozitivna putanja na sl. 54 odgovara protonu. Ali tokom 1932 god. mi smo u našim raspravama usvojili izraz „združene u vremenu“, da bismo time opisali izvestan broj snimljenih fotografija na kojima su se pojavile putanje, kao neke od onih na sl. 57 koje pokazuju istovetnost u difuznosti bez geometrijskog udruživanja. Docnije, kad smo dobili mnoge od ovih na datoj fotografiji, upotrebili smo izraz „fotonski mlaz“. Ova pojava je ono što Bleket i Okialini nazivaju svojim izrazom „ne-jonizacionih kaskada“.

² *Ibid.*, XLIV (1933), 406.

³ Blackett i Occhialini, *Proc. Roy. Soc. A*, CXXXIX (1933), 699.

rezultat sudara kosmičkih zrakova. Ovi njihovi dokazi su zasnovani na sličnim eksperimentima sa vertikalnom magnetskom komorom u magnetskom polju od 3.000 gausa, a koje stavlja u pokret akcija Gajger-Milerovih brojača.



Sl. 57. — Grupa od 6 čestica izbačenih iz jedne oblasti zida komore. Putanja na levoj strani središnje grupe od četiri putanje je negatron od oko 18 miliona volta energije ($H_0 = 6.2 \times 10^4$ gaus-cm), a ona na desnoj strani je pozitron od oko 20 miliona volta energije ($H_0 = 7.0 \times 10^4$ gaus-cm). Identifikacija ovih dveju putanja u središtu nije mogućna. Negatron od oko 15 miliona volta prikazan je na levoj strani. Ova grupa predstavlja stare putanje koje su proširene difuzijom jona. Jednoobraznost ovog proširivanja za sve putanje pokazuje da su čestice ušle u komoru u isto vreme.

III. POZITRONI KOJI NASTAJU USLED GAMA ZRAKOVA

Odmah su počela istraživanja ovih pozitivnih putanja na osnovu drugih izvora. U aprilu 1933 god. Čadwick, Bleket

i Okialini,¹ Kiri i Žolio², i Majtner i Filip,³ dali su izveštaj da bombardovanjem berilijuma pomoću alfa zrakova polonijuma može da se proizvede zračenje usled koga se javlja proizvodnja pozitrona, ma da nijedan od ovih eksperimenata nije uspeo definitivno da identifikuje prirodu tih zračenja koja proizvode pozitroni. Ali, i pored toga, Kiri i Žolio su pokazali da se dobivanje pozitrona smanjuje približno onako kako bi se moglo očekivati ako bi gama zraci, koji nastaju usled bombardovanja berilijuma pomoću alfa zrakova, počeli i sami da proizvode pozitroni. Međutim, prvi eksperimenti kojima je neposredno dokazano da foton gama zraka, sudarajući se sa jezgrom, proizvodi pozitroni, izvršeni su u Norman Bridž laboratoriji takođe u aprilu 1933, gde je dr Anderson upotrebio za njihovo izvođenje gama zrake iz torijuma C". O tome je Anderson podneo izveštaj Nacionalnoj akademiji nauka u Vašingtonu⁴ 24 aprila 1933 god. U ovoj raspravi prvi put je objavljena činjenica da se usled sudara sa jednim jedinim fotonom gama-zraka proizvode istovremeno slobodni elektroni i pozitivnog i negativnog znaka. To je bilo naučno zapažanje od velikog teoriskog značaja. Sl. 58 pokazuje jedan od mnogobrojnih takvih slučajeva koji su fotografisani. Na slici se vidi kako dolazi odozgo vrlo uzan snop fotona iz ThC'', za koji je eksperimentalno utvrđeno da izbacuje elektrone vrlo retko, tako da je mogućnost dva takva istovremena izbacivanja svedena praktično na nulu. Odozgo, iz olovne ploče od 2 mm, u gornjem delu komore, vidi se jedan foton kako isteruje dva negativna i jedan pozitivan elektron. Ovaj poslednji se vidi kako proleće kroz tanku ploču aluminijuma od 0,5 mm debljine, u srednjem delu vidnog polja, gubeći pri tom energiju, i izlazeći niže dole sa povećanom krivinom. Krivina ispod srednje ploče stvarno odgo-

¹ Chadwick, Blackett i Occhialini, *Nature*, CXXXI (april 1, 1933), 473.

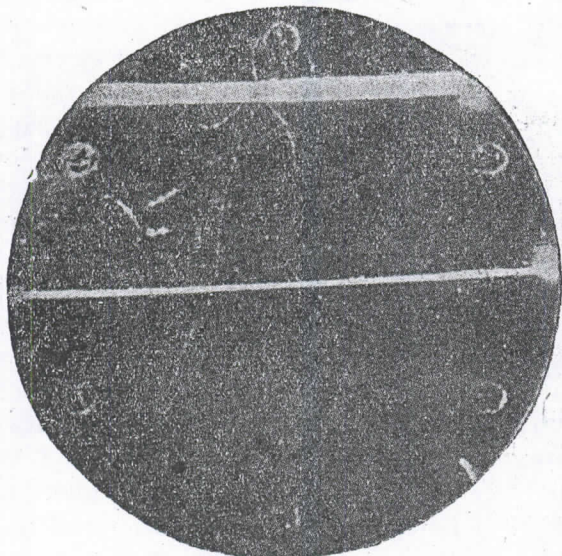
² Curie i Joliot, *Compt. Rend.*, CXCVI (1933), 1105.

³ Meitner i Philipp, *Naturwiss.*, XXI (1933), 286.

⁴ Carl D. Anderson, *Nat. Acad. Sci.* (sednica 24 aprila 1933) i *Science*, LXXVII (1933), 432.

vara energiji od 520.000 volta, dok krivina iznad srednje ploče odgovara energiji od 820.000 volta.

Merenja energija ovih pozitrona koje proizvode γ -zranci ThC'', izvršili su Anderson i Nedermajer,¹ Kirij i Žolio² Majtner i Filip³ i Čadvik, Bleket i Okialini.⁴ Anderson, i Nedermajer su prvi opsežno i statistički proučili oko 2500 putanja pojedinačnih elektrona, kako pozitivnih tako i negativnih, i pozitivno negativnih parova izbačenih iz ploča olova,



Sl. 58. — Pozitron izbačen iz olovne ploče pomoću gama-zrakova, prolazi kroz aluminijumsku ploču od 0,5 mm. Energija iznad aluminijuma iznosi 820.000 volta, a ona ispod, 520.000 volta

aluminijuma i ugljenika pomoću γ -zrakova iz ThC'', filtriranih kroz 2,5 cm olova. Njihov cilj je bio da odrede učestalosti javljanja kako parova tako i pojedinačnih pozitrona, zajedno sa njihovom raspodelom energije u slučaju apsorpcionih

¹ Anderson i Nedermeyer, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 1034.

² Curie i Joliot, *op. cit.*, str. 1581.

³ Meitner i Philipp, *Naturwiss.*, XXIV (1933), 468.

⁴ Chadwick, Blackett i Occhialini, *op. cit.*

materijala različnih atomskih brojeva. Ovo izbacivanje čestica zapaženo je iz olovnih ploča od 0,25 mm debljine, aluminijumskih ploča od 0,5 mm, i grafitnih ploča od 1,4 cm debljine. Za merenje ovih malih energija magnetsko polje je podešeno na 825 gaussa.

I pojedinačni pozitroni i parovi (zbir energija pozitivnih i negativnih komponenata uzet kao celina), izbačeni iz olovne ploče, pokazali su maksimum energije od 1,6 miliona elektron-volta, ma da je 80% pojedinačnih pozitrona imalo energiju ispod polovine ove vrednosti. Slično tome, u slučaju pozitrona i parova izbačenih iz ploča aluminijuma, maksimalna energija iznosila je takođe 1,6 miliona elektron-volta.

S druge strane, maksimalna energija pojedinačnih negativnih parova bila je u svima slučajevima oko 2,6 miliona elektron-volta. Kad se setimo da najprodorniji i najintenzivniji sastojak gama zračenja iz ThC'' koje pada na olovo i aluminijum, ima energiju od svega 2,62 miliona elektron-volta, videće se da ovi eksperimenti izgleda kao da definitivno izražavaju da je potrebno oko milion volta više energije za isterivanje pozitivnog elektrona iz atoma nego što je potrebno da se iz njega istera najmanje čvrsto privezani (i razume se ekstra-nuklearni) elektron; i dalje, da je ova razlika ista i za olovo i za aluminijum. Ukoliko se tiče samo eksperimenata sa olovom, ovi su rezultati u novije vreme još tačnije provereni u Kavendiševoj laboratoriji.¹

Ovaj rezultat je od posebne važnosti ako ni zbog kakvog drugog razloga, a ono zbog načina kako je dobiven, što je izvedeno ovako:

Dok je otkriće pozitivnog elektrona i njegova pojava pod udarom kako kosmičkih tako i gama zrakova učinjeno bez rukovođenja ma kakvom teorijom, tako je bilo i sa otkrićem česte pojave pozitivno-negativnih parova putanja, kao onih na slikama 54, 55 i 58 — kad su Bleket i Okialini objavili u martu 1933 svoju potvrdu Andersonovog otkrića pozitrona, oni su prvi predložili tumačenje ove pojave na

¹ Chadwick, Blackett i Occhialini, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXLIV (1934), 235.

osnovu tzv. Dirakove teorije o stvaranju pozitivno-negativnih elektronskih parova usled sudara fotona sa atomskim jezgrima. Isto tako, kad su Anderson i Nedermajer, u aprilu 1933 god., dokazali da gama zraci, kao i kosmički zraci izbacuju očevidno i pojedinačne pozitivne i pozitivno-negativne parove iz jezgra kako olova tako i aluminijuma, Openhajmer i Pleset¹ su otpočeli u Norman Bridž laboratoriji da razrađuju u pojedinostima posledice Dirakove teorije za apsorpciju fotona ThC'' od strane atomskih jezgara. Anderson i Nedermajer su, takođe, na osnovu Dirakove teorije i njene upotrebe od strane Bleketa i Okialinia, došli do zaključaka da maksimalna energija udružena sa pozitronom koji je proizveden pomoću ThC'', treba da iznosi za milion volta manje nego energija incidentnog fotona, tj. ona treba da bude 1,6 miliona elektron-volta, što su oni ubrzo i konstatovali da je tako.

Ovaj milion volta dobiva se na osnovu Dirakove teorije i Ajnštajnovе jednačine $E = mc^2$, kao što sledi: Poznato je da elektron ima masu koja je otprilike dve hiljaditi deo mase vodonikovog atoma, za koji smo videli (gl. XIII) da mu je masa jednaka jednoj milijardi elektron-volta. Stoga je ekvivalenat energije mase elektrona približno milijarda podeljena sa dve hiljade, ili pola miliona elektron-volta. Otuda za stvaranje pozitivno-negativnog elektronskog para potrebno je utrošiti milion elektron-volta energije i ostaviti 1,6 miliona od ukupnih 2,6 miliona volta, koje sadrži kvant ThC'', da bude raspodeljeno između pozitivnog i negativnog elektrona na način za koji teorija uopšte nema ništa da kaže.

Eksperimentalno utvrđivanje ove raspodele pretstavljalo je jedan od zadataka Andersonove i Nedermajerove statističke studije, u kojoj su razmatrani i brojevi pojedinačnih negatrona, pojedinačnih pozitrona i parova, kao i energije svakog od njih. Od ukupnog broja od 1,542 elektrona izbačenih iz olovne ploče od 0,25 mm pomoću γ -zraka iz ThC'', filtriranih kroz 2,5 cm olova, za 1,387 je utvrđeno da su pojedinačni negatroni, 96 pojedinačni pozitroni, a 59 parovi.

¹ Oppenheimer i Plesset, *Phys. Rev.*, XLIV, (1933), 53.

Iz aluminijumske ploče od 0,5 mm debljine, izbačenih pomoću istog zračenja, bilo je od ukupnog broja od 943 elektronskih putanja, 916 pojedinačnih negatrona, 20 pojedinačnih pozitrona i 7 parova. Među ovim prividnim parovima neki, možda, nisu bili parovi uopšte, pošto negativ ni delić u kretanju naviše i pri otkokuju unazad sa niže površine olovne ploče ne može da se razlikuje od jednog para.

Pomenuti negatroni su mogli proizici uopšte iz Komptonovih i fotoelektričnih sudara sa ekstra-nuklearnim elektronima, i iz toga razloga je njihova maksimalna energija dostizala gotovo 2,6 miliona elektron-volta. Ali svi pojedinačni pozitroni, i verovatno većina parova, odgovaraju nuklearnim sudarima. Ako pretpostavimo da prosečno podjednak broj pozitrona i negatrona proizlazi iz nuklearnih sudara, možemo proračunati odnos nuklearne prema ekstra-nuklearnoj apsorpciji. Ovaj iznosi oko 20% za olovo i 5% za aluminijum — vrednosti koje su uglavnom u saglasnosti sa vrednostima koje su dobili Čao¹, Majtner², Grej i Tarant³ potpuno različitim metodama. Da je nuklearna apsorpcija u ugljeniku za zrake ThC'' još manja u ugljeniku nego u aluminijumu, — kao što se može očekivati na osnovu gornjih odnosa za olovo i aluminijum, — utvrđeno je činjenicom da su se na 415 negatrona izbačenih iz ugljenikove ploče od 1,4 cm debljine, pojavila samo 2 para i 6 pojedinačnih pozitrona.

Prema tome, u celini, odnosi energije pozitrona i parova, kako iz aluminijuma tako i iz olova, izlaze kao sasvim saglasni sa hipotezom o stvaranju parova, kao što su i približne vrednosti viška apsorpcije u olovu i aluminijumu na osnovu proučavanja Openhajmera, pod pretpostavkom ovog stvaranja parova. Ali činjenica da, ukupno uzevši, ima skoro dvaput više pojedinačnih pozitrona nego parova — a moguće je i više, — dok ih u aluminijumu i ugljeniku

¹ Chao, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, XVI (1930), 431, i *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 1519.

² Meitner i Hapfield, *Naturwiss.*, XIX (1931), 775.

³ Gray i Tarrant, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXXVI (1932), 662.

ima najmanje triput više, predstavlja izvesnu teškoću za teoriju o parovima. Osim toga, Anderson je posmatrao jedan slučaj gde su dva negativa i dva pozitivna zapažena da potiču iz jedne tačke u olovnoj ploči. Mogućnost da to može predstavljati dva para, slučajno udružena vremenski i po položaju, tako je mala da se eksperiment može smatrati kao dokaz da fotoni sa energijom čak tako malom kao što je kod onih iz ThC¹ mogu s vremena na vreme prouzrokovati „pljuskuje“, kao što je čest slučaj kod kosmičkih zrakova (Videti odeljak IV, niže); međutim, to je pojava koja se ne može, po Openhajmeru, dovesti na zadovoljavajući način u sklad sa teorijom o formiranju parova.

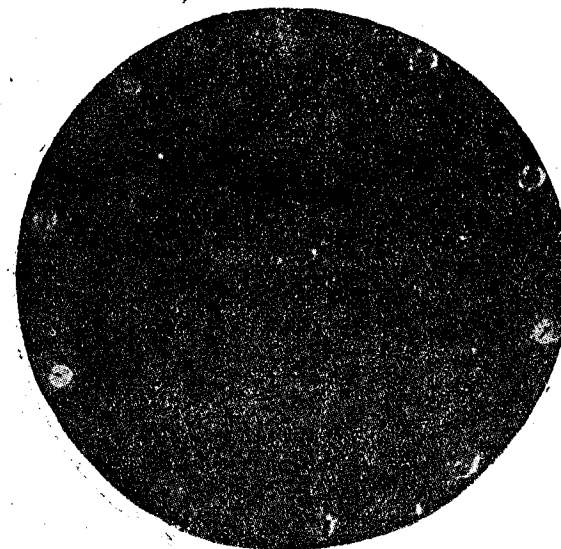
IV. PLJUSKOVI KOSMIČKIH ZRAKOVA

Ma kakav da je mehanizam pomoću koga fotoni gama zrakova od dva do tri miliona volta energije proizvode pozitivne i negativne elektrone usled sudara sa atomskim jezgama, proučavanjem pljusкова kosmičkih zrakova uz pomoć našeg velikog magneta gotovo je utvrđeno da foton od jedne milijarde volta može prouzrokovati isterivanje jednog ili mnogih elektrona, kako pozitivnih tako i negativnih, kao rezultat sudara sa teškim atomima.

Oko 88% svih tragova koje dobivamo, kad se ekspanzije i ekspanziranja uzimaju nasumice, predstavljaju tragove ili putanje pojedinačnih elektrona čije energije iznose od 50 miliona do 6000 miliona elektron-volta. Ostalih 12% su pljuskovci, pri čemu se pljusak definiše kao dva ili više udruženih tragova. Tragovi se smatraju kao „udruženi“ ako ih proizvode elektroni koji prolaze kroz komoru u isto vreme, kao što to pokazuje istovetnost u oštini ili u difuznosti tragova koje oni ostavljaju. Raspodela ovih tragova u pogledu njihove energije i znaka naelektrisanja proučavao je pažljivo Anderson¹, sa rezultatom da se između 100 miliona i 3000 miliona volta pozitivni i negativni elektroni

¹ Carl D. Anderson, *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 411 takođe Anderson, Millikan, Neddermeyer i Pickering, *ibid.*, XLV (1934), 352.

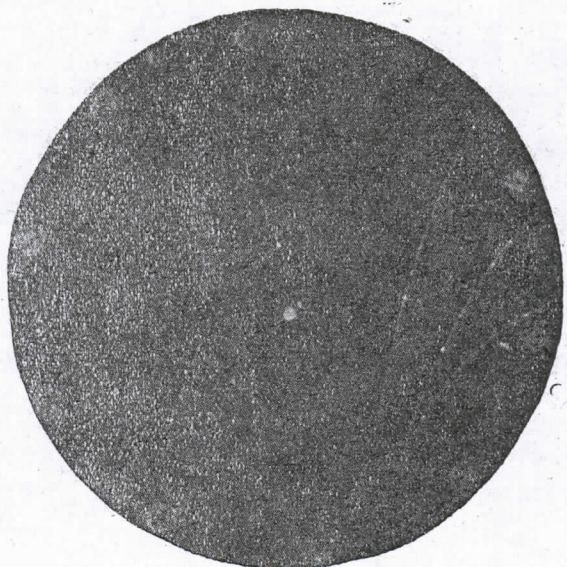
javlja u približno podjednakim brojevima za sve energije. Od 12% udruženih tragova možda samo jedna desetina pokazuje više od pet tragova. Ali kad se preko sredine ekspanzione komore stavi olovna ploča, povećava se mogućnost da se posmatra „pljusak od većeg broja tragova“. Osim toga, uređaj u kome se dva Gajgerova brojača stavljaju jedan tačno iznad a drugi odmah ispod ekspanzione komore — pri



Sl. 59. — Polje od 17.000 gausa. Elektronski par, pozitron od 75 miliona elektron-volta, negatron od 290 miliona, izbačen je svakako iz jezgra olovnog atoma iznad gornjeg brojača. Ovi elektroni, prilikom prolaza kroz jezgro ili izlaza iz njega, sudarili su se sa njegovom masom i na taj način su proizveli „usporno zračenje“. Ovaj mlaz fotona iz uspornog zračenja poleteo je naniže i njegova apsorpcija u gasu komore ili u površinskom sloju ili njegovom zidu proizvela je četiri sekundarna traga koji se vide između elektronskih tragova, čije energije u milionima iznose 9, 9, 4, 1 elektron volta

čemu su električna kola tako podešena da prolaz elektrona kroz oba brojača proizvodi i ekspanziju i ekspanziranje primoravajući kosmički zrak da snimi svoju sopstvenu sliku — takve je prirode, da on ima izrazito selektivno dejstvo na ove pljuskuje, i to iz razloga koji će se odmah videti.

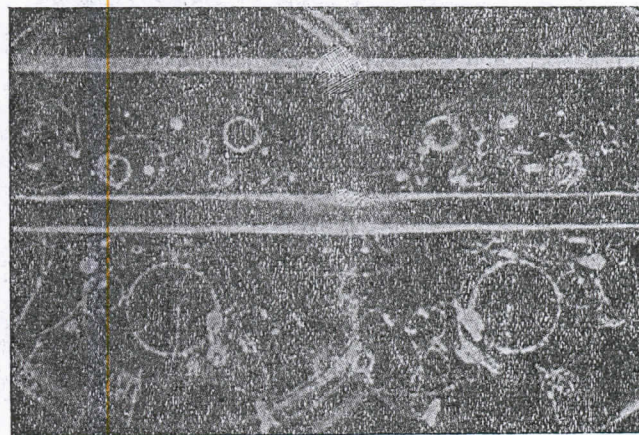
Fotografije prikazane na sl. 59—64 snimljene su sa takvim ekspanzijama i eksponiranjima, kontrolisanim pomoću Gajgerovih brojača, koji su uređaj prvo upotreбили Bleket i Okialini. Kao što će se videti iz ovih fotografija sa njihovim objašnjenjima, ovde je upadljivo iznenađujuća na svetlost nova činjenica, naime, da se ponekad prilikom apsorpcije kosmičkih zrakova proizvode, pored elektronskih pljuskova, i mlazevi velikog broja



Sl. 60. — Polje od 17.000 gausa. Pljusak tragova koji verovatno potiče iz sudara fotona kosmičkih zrakova sa jezgrom atoma olova u ploči iznad gornjeg brojača. Energije u milionima elektron-volta: pozitroni 145,38, negatroni 104, 65, 28; ukupno 380. I ovog puta prisustvo sekundarnih fotona prikazano je tragovima čestica male energije na levoj strani; njihove energije su 6,7, 4, 2, 0,1

sekundarnih fotona koji imaju srazmerno male energije. Ovi se fotoni proizvode svakako istim mehanizmom koji proizvodi i opštu x-radijaciju, kada katodni zraci udaraju o neki gušći metal; jer u ovom poslednjem slučaju smatramo da iznenadni sudar elektrona katodnog zraka sa jezgrom teškoga atoma proizvodi usporo zračenje (bremštralung) od kojega se opšte

x-zračenje i sastoji. Tako i ovde kad upadni kosmički zrak velike energije pogodi jedno jezgro on proizvodi, najpre, jedan foton x-zraka. Ovaj poslednji sudara se sa nekim drugim jezgrom i proizvodi jedan elektronski par; ovi elektroni, sudarajući se sa još drugim jezgrima proizvode nove fotone koji iznova proizvode nove elektronske parove, itd., sve dok kroz ovaj kaskadni proces energija ne postane razdeljena između većeg broja fotona i elektrona, kao što je prikazano na sl. 61.

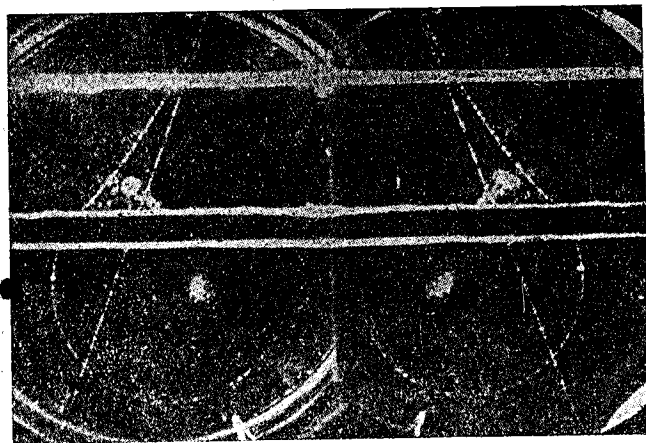


Sl. 61. — Polje od 17.000 gausa. Više od 80 tragova male energije. Stereoskopska studija pomoću neposredne slike (levo) i reflektovane slike (desno) orijentacija i pravaca ovih tragova pokazuje da su u većini slučajeva njihova kretanja gotovo u ravni komore. Na taj način oni nisu mogli nastati drukčije osim iz znatnog broja posebnih središta, čime se ukazuje na veliki broj sekundarnih fotona male energije (100.000 do 10 miliona elektron volta), koji verovatno potiču od sudara primarnog fotona sa jezgrom atoma olova iznad gornjeg brojača. Ovaj kaskadni „pljusak“ stavlja u pokret oba brojača i proizvodi efekte u maglenoj komori

Slike 59 i 60 pokazuju, pored pozitivnih i negativnih elektrona koje je izbacio incidentni kosmički zrak, još i kružne tragove male energije, koji su verovatno posledica apsorpcije ovih mekih fotona opšteg tipa x-zrakova u gasu komore.

Slika 61 pokazuje više od 80 ovih tragova male energije. Rasuti mlaz ovih fotona sa srazmerno malom energijom stavlja u pokret oba brojača, iako prvobitni foton kosmičkoga zračka nije prošao ni kroz jedan od njih. Prema tome, to je razlog zašto ova kontrola Gajgerovih brojača vrši tako selektivno dejstvo na pojavu „pljuskova“.

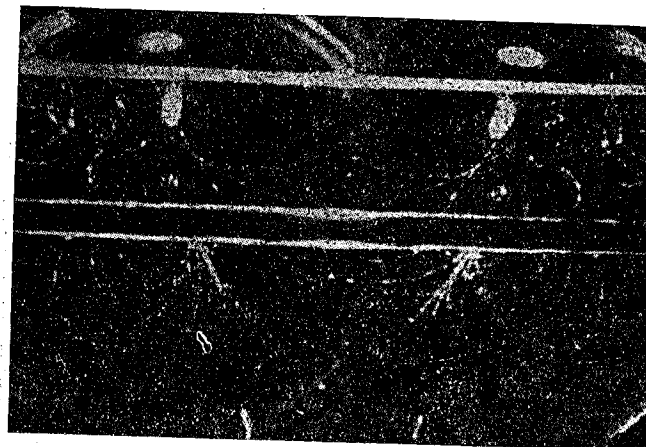
Da je proizvodnja elektronskih parova, ili obrazovanje pljuskova pomoću brzog elektrona (pozitivnog ili negativnog)



Sl. 62. — Polje od 17.000 gausa. Na levoj strani elektron prolazi u srednju olovnu ploču i prenosi svoju energiju na pozitron, ili pak formira par, pri čemu su i negatronska komponenta para i prvobitni negatron apsorbirani u olovu. Prvo tumačenje izgleda verovatnije. Razlika u energiji iznad i ispod ploče u skladu je sa posmatranim vrednostima gubitka specifične energije za elektrone u olovu, ukoliko su kolebanja dosta velika. Energije: (—) gore, 90; (+) dole 26. (Gubitak specifične energije iznosi 49×10^6 e. v. (cm)

koji se jasno razlikuje od fotona, srazmerno redak događaj, najbolje se vidi iz činjenice što je više od hiljadu brzih elektrona posmatrano kako prolaze kroz 1 cm olovne ploče, a samo je u jednom slučaju jedan definitivni par (+ i —) izbačen iz olova pomoću takvog brzog elektrona. Međutim, vrlo veliki broj sekundarnih negativnih elektronskih tragova pojavio se kao rezultat sudara, sa ekstra-nuklearnim elektro-

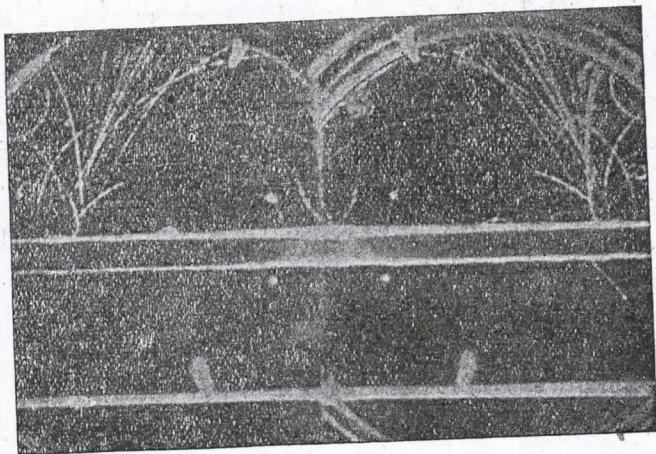
nima u samom olovu. Slika 62 pokazuje jedan od retkih slučajeva gde negatron (krivina na levoj strani) izgleda prosto kao da čini nuklearni pogodak u samom olovu i da prenosi svoju energiju na pozitron (krivina na desnoj strani) koji se pojavljuje sa dna ploče.



Sl. 63. — Polje od 17.000 gausa. Tragovi na gornjem delu fotografije od kojih najmanje tri konvergiraju prema prednjem delu komore, ukazuju na pojavu pljuska iznad komore. Vidi se da drugi pljusak od 22 čestice, 7 pozitivnih i 15 negativnih elektrona, potiče iz olovne ploče. Početni pravci čestica pokazuju da foton (ili fotoni) koji proizvodi taj pljusak prolazi kroz tačku vrlo blizu izvora gornjeg pljuska. Pozitron velike energije (520 miliona elektron-volta), koji prolazi kroz obe olovne ploče, ima verovatno svoje poreklo u tački iznad komore kroz koju je prošao foton koji je prouzrokovao pljuskove. Postoje i drugi tragovi koji nisu u liniji sa glavnim pljuskom, kao na pr. grupa od tri traga iz gornje olovne ploče na levoj strani, koju pripisujemo apsorpciji sekundarnih fotona. Dve teške bele mrlje, tačno iznad i ispod gornje olovne ploče, ne mogu biti udružene vremenski sa ovim pljuskom. Njihov difuzni ili rasturen izgled može se objasniti pretpostavkom da su oni posledica unazad odbačenih jezgra oslobođenih pre ekspanzije. Ukupna energija svih tragova iznosi oko milijardu volta. Sve ovo ukazuje na mogućnost da foton velike energije može da istera jedan ili mnogo elektrona iz nekoliko jezgra koje bi susedio duž svoje putanje

Kako je ovde upotrebljeno vrlo snažno magnetsko polje, moguće je deflektovati sve osim vrlo malog broja elektrona izbačenih u pljuskovima putem fotonskih sudara. Uopšte, u

jednom pljuskju zapažena je izrazita asimetrija u broju pozitivnih u poređenju sa negativnim elektronima koji izbijaju iz olovnih ploča, u jednom slučaju 7 pozitivnih i 15 negativnih, a u drugom slučaju 15 pozitivnih i 10 negativnih (sl. 63), a u drugom slučaju 15 pozitivnih i 10 negativnih (sl. 64). Ova dejstva nisu sva u potpunosti obuhvaćena Dirac-Blackett-ovom teorijom o stvaranju parova iz incidentnih fotona. Ona pre mogu da ukažu na postojanje jedne nuklearne reakcije takvog tipa kod kojeg jezgro igra aktivniju ulogu, a ne



Sl. 64.— Polje od 17.000 gausa. Pljusak od 28 elektronskih tragova koji je nastao svakako zbog apsorpcije primarnog fotona vrlo velike energije u središnjoj olovnoj ploči. Iz jednog glavnog središta, na levoj strani, divergiraju 15 pozitrona i 10 negatrona, dok su tri ostala traga mogla nastati usled fotonskog mlaza. Ukupna energija iznosi oko $2,5 \times 10^9$ volta, nešto manje nego kod pojedinačnih tragova sa najvećom energijom koju smo posmatrali

samo ulogu katalizatora, kao na pr. da samo izbacuje iz sebe pozitivne i negativne električne tovarе, koji se zatim javljaju u pljuskovima kao slobodni pozitivni i negativni elektroni. Međutim, osnovna razlika između ove dve tačke gledišta može biti samo u tome što u jednom slučaju jezgro može samo da promeni svoj električni tovar, a u drugom slučaju ono to ne čini.

Radi proučavanja nuklearne apsorpcije u jednom lakom elementu snimljeno je više od četiri stotine uspešnih fotografija u kojima je ploča ugljenika od 1,4 cm debljine zamenila olovnu ploču. Mnoge od ovih slika pokazale su elektronske pljuskove poreklom iz bloka olova nameštenog iznad komore, ali ni u jednom slučaju nije zapažen sekundarni pljusak u ploči od ugljenika. Ovo ukazuje, saglasno sa dobivenim podacima na osnovu ThC'', na srazmerno malu verovatnoću, u poređenju sa olovom, da je ugljenikovo jezgro u stanju da apsorbuje foton uz proizvođenje pljuskova.

Jedan drugi izrazit i značajan rezultat ovih proučavanja je u tome što izgleda da se ukupna energija kojom raspoalže incidentni zrak može da javi kao jedan pozitron, jedan negatron, kao par ili kao pljusak mnogostrukih tragova. Ali, uopšte uzevši, ukoliko je veći broj tragova među koje je energija podeljena, utoliko je manja energija kod pojedinih tragova. Na taj način izmerili smo kako pojedinačne pozitronе tako i negatronе čije su energije iznad tri milijarde elektron-volta, ali zbir energija u svima tragovima elektronskog pljuska sa najvećom energijom (sl. 64) iznosi nešto ispod tri milijarde elektron-volta. Slično tome, zbir energija pljuska sa mnogim tragovima, na sl. 63, iznosi između jedne i dve milijarde elektron-volta.

V. POZITRONI IZ VEŠTAČKIH AKTIVNIH SUPSTANCA,

Od vremena kada je Bekereel, 1896 god., otkrio pojavu radioaktivnosti pa sve do 15 januara 1934 god., smatralo se da je ova pojava van čovečje kontrole. Otkriveno je da se izvesne vrste atoma *spontano* raspadaju sa emisijom α , β i γ -zrakova, ili sa jednovremenim emisijama dve ili tri vrste zrakova. Ali brzina kojom se dešavaju ovi procesi zračenja bila je određena prirodom atoma i bila je nezavisna od njene okoline.

Međutim, pomenutog dana, g-đa Irena Kiri i njen muž F. Žolio pročitani su jednu raspravu¹ pred Francuskom aka-

¹ Curie i Jollot, *Compt. Rend.* CXCVIII (1934), 254.

demijom u kojoj su pokazali: 1) da bombardovanjem bora, magnezijuma ili aluminijuma pomoću alfa zrakova polonijuma, sve ove supstance mogu postati radioaktivne; 2) da se radioaktivni zraci koje oni emituju sastoje od pozitrona; 3) da vreme polu-raspadanja za pozitronsku radioaktivnost aluminijuma iznosi 3 minuta i 15 sekunada — za bor 14 minuta, a za magnezijum 2 minuta i 30 sekunada, dok je prosečna energija pozitrona iz aluminijuma, proračunata na osnovu merenja apsorpcije, iznosila oko 2,2 miliona elektron-volta, a kod bora i magnezijuma 0,7 miliona elektron-volta. Kiri i Žolio su, takođe, predvideli, na osnovu svog gledišta o prirodi ove nove vrste radioaktivnosti, da ako bi ugljenik mogao biti bombardovan teškim vodonikom (vodonik koji sadrži dva protona u jezgru umesto jedan), on bi, takođe, pokazao pozitronsku radioaktivnost.

U međuvremenu prof. Č. Č. Loritsen, u Kaliforniskom tehnološkom institutu, usavršio je još 1929 god. svoju rendgensku cev od milion volta, koja je pored neprekidne četvorogodišnje upotrebe za terapijske svrhe modificirana u 1932—1933 god., da bi mogla poslužiti problemu bombardovanja meta pomoću jonova lakših elemenata, pošto su oni prošli kroz polja od milion volta,¹ i više. (Rad sa Loritsenovom cevi vršen je stvarno neprekidno sa voltažom od 1.200.000). Sa ovim uređajem oni su već u februaru 1934 godine utvrdili da se i bor i ugljenik mogu odlikovati pozitronskom radioaktivnošću, bombardujući ih deutoniama (teškim vodonikom) sa energijom od $0,9 \times 10^9$ elektron-volta. Ugljenikova aktivnost imala je polu-period od 10,3 minuta; bor oko 20 minuta,² potpuno u skladu sa dobro poznatim ponašanjem obične negatronske ili beta radioaktivnosti. Slike 65 i 66 su fotografije tragova ovih pozitivnih elektrona koje su snimili Anderson i Nedermajer³ pomoću našeg velikog

¹ Crane i Lauritsen, *Rev. Sci. Inst.*, IV (1933), 118; takođe Crane, Lauritsen i Soltan, *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 692 i XLV (1934), 507.

² Crane, Lauritsen i Harper, *Science*, LXXIX (March, 1934), 234; takođe Crane i Lauritsen, *Phys. Rev.*, XLV (Mart, 15, 1934), 430.

³ Anderson i Nedermeyer, *Phys. Rev.*, XLV (1934), 653.

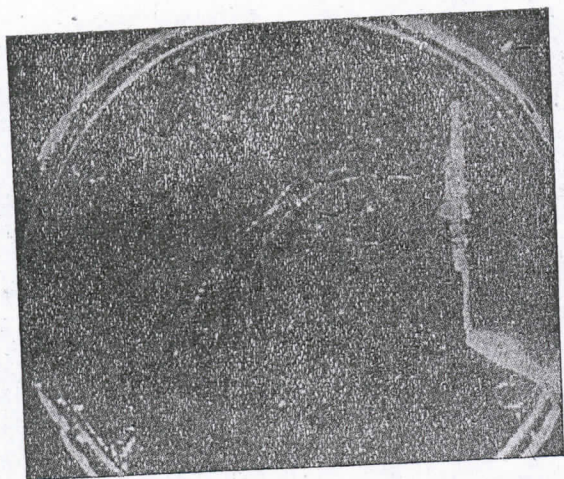
magneta. Da se zraci sastoje od pozitrona, pokazano je činjenicom što se oni svi savijaju udesno na „neposrednoj“ slici. Slika 65 je snimljena odmah pošto je ugljena ploča bila aktivirana i stavljena u gornji deo maglene komore, gde se može videti na fotografijama. Slika 66 je snimljena nekoliko minuta docnije, kada je indukovana radioaktivnost pala otprilike na trećinu njenog početnog intenziteta. Ovi eksperimenti potvrđuju na potpuno zadovoljavajući način nalaze Kiri-Žolio i proširuju ih u izvesnoj meri u tome, što se sada radioaktivnost proizvodi potpuno veštački, pošto ovde bombardovanje ne vrši ranije postojeća aktivnost alfa-zrakova polonijuma, koja se nije mogla kontrolisati, već veštački proizvedeni joni koje god hoćemo vrste, koji su proizvedeni u naročito konstruisanoj cevi za električna pražnjenja i ubrzani do ma koje energije pomoću veštačkog električnog polja. Ova potpuno veštačka radioaktivnost bila je reda veličine koji ima hiljadu puta veću intenzivnost od one koja je bila ranije dobivena. Ovaj korak predstavljao je značajan prilog novim mogućnostima proučavanja različitih vrsta i stanja veštački izazvane radioaktivnosti. Stvarno, profesor Loritsen¹ i njegovi saradnici dobili su slične rezultate pri upotrebi protona i helijumskih jezgra kao hitaca za vršenje bombardovanja, a isto tako i sa deutoniama. Oni su, takođe, dobili vrlo zanimljive rezultate i sa nizom drugih meta, naročito litijumom i fluorom. Nešto docnije je profesor Lorenc², iz Berklija, postigao slične rezultate sa svojim jedinstvenim uređajem za ubrzanje jona³. Vrsta nuklearnih transformacija koja se javlja prilikom proizvođenja ove veštačke radioaktivnosti biće razmotrena potpunije u sledećoj glavi.

Međutim, ima još jedna vrlo važna pojedinost u kojoj je grupa prof. Loritsena, u Kelogovoj laboratoriji za radi-

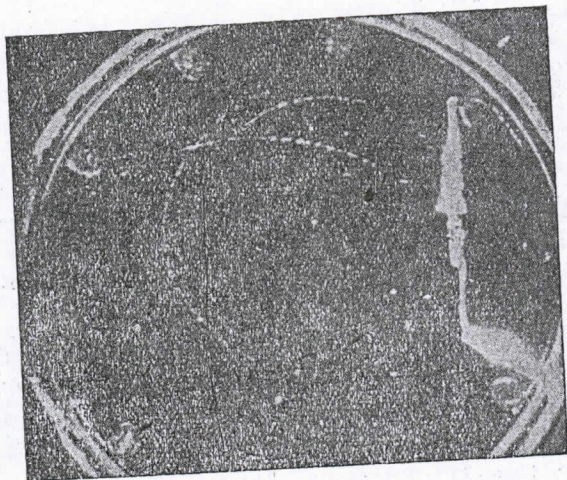
¹ Crane, Lauritsen i Soltan, *Phys. Rev.*, XLV (februar 1 1934), 226; Crane i Lauritsen, *ibid.* (mart 1, 1934), 344, *ibid.* april 1, 1934), 493 i 497; *ibid.*, (April 15, 1934), 550.

² Henderson, Livingston i Lawrence, *ibid.*, (mart 15, 1934), 428.

³ Lawrence i Livingston, *ibid.* (1934), 608.



Sl. 65. — Ugljenikova ploča u gornjem delu (ovde desna strana) komore emituje pozitrone. Ona je bombardovana protonima od 900.000 elektron-volta, a zatim odmah stavljena u maglenu komoru



Sl. 66. — Isto kao na slici 65, pošto je indukovana pozitronska radioaktivnost bila u komori nekih 20 minuta

jaciju pri Kaliforniskom institutu, proverila i proširila rad drugih istraživača na svojstvima pozitivnog elektrona, kao što će dalje biti izloženo.

VI. KRAJNJA SUDBINA POZITIVNOG ELEKTRONA

Od vremena prvog otkrića pozitivnog elektrona, u leto 1932 god., pitanje šta se sa njim zbiva bilo je predmet podužeg raspravljanja u Norman Bridž laboratoriji. Prema svima eksperimentalnim nalazima i celokupnoj teoriji, sve do vremena njegovog otkrića, sav pozitivan elektricitet koji je bio potreban za neutralisanje negativnih elektrona koji kao roj obleću oko jezgra svakog atoma i svojim povremenim izdvajanjem sa spoljnje ljuske ovih atoma proizvode pojave provodljivosti, celokupan ovaj pozitivan elektricitet bio je zatvoren u jezgru atoma, i ukupan broj pozitivnih elektrona koji je tu nađen morao je biti isti kao ukupan broj ekstra-nuklearnih negativnih elektrona kod svih neutralnih sistema. Andersonovo otkriće je pokazalo da je foton kosmičkog zraka, a verovatno i elektron velike energije, sudarajući se sa jezgrom, mogao da izbacii pozitivne elektrone u međuatomski svet, po kome su svuda vrveli negativni elektroni. Da on nije mogao tu da živi dugo pošto mu je energija izbacivanja utrošena, potpuno je izvesno, kako na osnovu eksperimenta tako i na osnovu teorije. Eksperimentalnim putem je utvrđeno da ovi pozitivni elektroni ne igraju nikakvu ulogu u provođenju — gasnom, elektrolitičkom ili metalnom, — i otuda oni ne ostaju slobodni. S druge strane, teorija tvrdi da slobodni pozitivni i negativni elektroni, koji postoje jedni pored drugih, moraju poleteti jedan drugome i uništiti jedan drugog, izuzev ako na neki način, usled prisustva slobodnog pozitivnog elektrona, ne bi došlo do formiranja novog protona koji bi hvatanjem novog negativnog elektrona iz svoje okoline proizveo novi atom vodonika. Jer, kod svih jezgra, uključujući i vodonikovo, uzajamno poništavanje pozitivnog i negativnog elektriciteta izbegava se pomoću uobičajenih kvant-skih uslova koji vladaju u atomu. Ali, bez obzira kako pozitron iščezava, predeo u kome se dešavaju takva iščezavanja

mora biti predeo iz koga dolazi zračna energija. Do ovakvog zaključka se dolazi iz razloga, što u svakom slučaju, bez obzira na način iščezavanja, po Ajnštajnovoj jednačini, iščezavajuća potencijalna energija dvaju izdvojenih sistema što se privlače, koja odgovara vrednosti m u $E = mc^2$, mora se pojaviti u obliku zračne energije.

Pre nego što je bilo poznato da pozitrone proizvode gama zraci koji imaju veću energiju, Bouin, Kameron i ja dobili smo i prikazali pred Nacionalnom akademijom nauka u novembru 1929 god.¹ ubedljive dokaze, da jezgro atoma olova igra primetnu ulogu u apsorpciji kosmičkih zrakova. Vrlo rano u 1929 godini mi smo zamolili g. Čaoa da ovo pažljivo proveri u pogledu zrakova iz ThC'' upotrebljavajući mnogo uži i oštrije određeni snop nego što je ranije bio upotrebljen, jer smo želeli da poboljšamo tačnost u merenju rasturanja, sekundarnog zračenja i apsorpcije. Sa ovakvim uređajem Čao je prvo utvrdio definitivni dokaz za nuklearnu apsorpciju, pored Komptonovog rasturanja. Osim toga, on je dokazao sekundarno zračenje za razliku od rasturenog zračenja, talasne dužine od 22,5 XJ ($0,55 \times 10^6$ elektron-volta). On je, takođe, našao da se ovo zračenje emituje u približno istom intenzitetu u izvesnom broju pravaca, zaklapajući uglove između 30° i 150° sa osnovnim snopom; pored toga, utvrdio je, da je ovo sekundarno zračenje izazvano pri početnoj vrednosti incidentnog fotona od oko 2,0 miliona elektron-volta.

U međuvremenu je Tarant,² koji je radio u Kavenđišovoj laboratoriji na apsorpciji ThC'' zrakova u olovu, objavio, u julu 1930 god., dokazni materijal u saglasnosti sa Čaovim dokazima, ističući nuklearnu apsorpciju. A 1932 god. Grej i Tarant³ proverili su na potpuno zadovoljavajući način Čaov pronalazak iz 1930 godine o stimulaciji sekun-

¹ Chao, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, XVI (1930), 431 i *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 1519; takođe *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXXV (1931), 206. Čaovi rezultati su prvi put izneti pred Nacionalnom akademijom nauka, 29 aprila (videti *Proc.*, XVI — [1930] 421).

² Tarrant, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXXVIII (1930), 345.

³ Gray i Tarrant, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXXVI (1932), 662.

darnog izotropskog zračenja u olovu, pomoću ThC'' zrakova, sa energijom oko pola miliona volta. Grej i Tarant¹ su 1934 god. ponovo proverili i svoje i Čaove rezultate u određivanju svojstva ovog zračenja, ma da nisu uspeli da utvrde njegovu energiju sa većom sigurnošću od 25%. Oni, takođe, misle da su našli slabije izotropsko zračenje sa energijom od oko milion volta; ali su Loritsen i Openhajmer², u jednoj kritičkoj analizi celokupnog već obimnog rada na ovome polju, došli do zaključka da je dodatak Čaovog izotropskog zračenja, u iznosu od pola miliona volta, raznim tipovima rasturenih zrakova koji se mogu očekivati, sasvim dovoljan da se objasne sve činjenice koje su dotle posmatrane.

Ovo izotropsko zračenje od pola miliona volta, koje je na ovaj način Čao izneo na svetlost, očevidno je baš ono što se moglo očekivati, ako bi pozitroni koji su nastali apsorpcijom zraka ThC' od 2,6 miliona volta u olovu itd., bili konačno poništeni pri njihovom spajanju sa negatronima; jer iako bi takvo uzajamno poništavanje dva elektrona trebalo da oslobodi milion volta zračne energije, Njutnov zakon o održanju impulsa ne može biti zadovoljen, ako dva fotona od po pola miliona volta ne odlete u suprotnim smerovima od mesta katastrofe.

Ova pretpostavka o poništavanju — anihilaciji pozitivnih elektrona ima, prema tome, prednost nad njenim jedinim mogućim takmacom, naime, nad hipotezom da je kraj jednog pozitrona obrazovanje — pomoću neke vrste mehanizma — jednog novog protona, i to u činjenici što bi energija koja je oslobođena takvim formiranjem bila u ovom poslednjem slučaju *proizvoljno* uzeta da iznosi oko pola miliona volta; dok u stvari hipoteza o anihilaciji *predviđa* baš onu vrednost koja je stvarno nađena. Najveća slabost u položaju ove hipoteze zasada leži u činjenici što nijedan od posmatrača koji su upotrebili gornju metodu nije mogao da odredi sa dovoljnom tačnošću energiju fotona koji su nastali iz anihilacije.

Otkriće veštačke radioaktivnosti, koje su izvršili Kirižolio, potpomoglo je ipak da se dođe do veće tačnosti, jer

¹ Gray i Tarrant, *ibid.*, CXLIII (1934), 681.

² Lauritsen i Oppenheimer, *Phys. Rev.*, XLVI (1934), 80.

je time omogućeno dobivanje čistog pozitronskog izvora velikog intenziteta. Ali baš pre ovog otkrića, Tibo¹ i Žolio² su podneli, nezavisno jedan od drugog, rasprave u istom broju *Comptes rendus* (dec., 18, 1933) u kojima su oni bili izdvojili, pomoću pogodno uređenog magnetskog polja, pozitrone od negatrona, kada su i jedni i drugi nastali bombardovanjem aluminijuma pomoću alfa zrakova polonijuma. Kada je magnetsko polje pušteno u jednom pravcu, pozitroni su naterani da padnu na jedan tanak list platine (Tibo), olova ili aluminijuma (Žolio), a kad je polje pušteno u drugom pravcu, samo su negatroni pali na tanki list. Iz oblasti upada pozitrona pojavili su se gama-zraci mnogo većeg intenziteta nego kad je polje bilo obrnuto; i za energiju ovih gama zrakova utvrđeno je, umetanjem pločica za apsorpciju, da odgovara otprilike polovini miliona volta. Ovo predstavlja napredak prema onom što su učinili Čao, Grej i Tarant, pošto je pozitronski snop, koji stvara gama zrake, potpuno pod kontrolom i može da se upravlja ka datom mestu, naterujući gama zrake da iziđu iz tog mesta.

Sledeći korak preduzeli su Loritsen i Krejn, koji su, sa svojom moćnom cevi od milion volta, proizveli u pločama bora, ugljenika, aluminijuma i dr. potpuno veštačku pozitronsku radioaktivnost, hiljadu puta većeg intenziteta nego što se dotada moglo dobiti. Obični elektroskopi, umesto Gajger-Milerovih brojača, mogu se upotrebiti za njeno merenje. Tako, na pr., jedan eksperiment bio je ovakav: dr Loritsen je jako aktivirao jednu manju ploču ugljenika, zatim je tako aktiviranu stavio postrance na gornju ploču jednog elektroskopa koja je bila suviše debela da bi propustila koji pozitron. On je potom posmatrao brzinu električnog pražnjenja elektroskopa usled gama zrakova koji su nastali zbog iščezavanja pozitrona koji su leteli nadole sa aktiviranog sloja ugljenika. Posle toga, dr Loritsen je prosto stavio parče aluminijuma na vrh aktiviranog uglje-

¹ J. Thibaud, *Compt. Rend.*, CXC VII (1933), 1629.

² F. Joliot, *ibid.*, str. 1622.

nika. Elektroskop je odmah gotovo udvostručio brzinu pražnjenja, jer polovina pozitrona koji su leteli naviše morala je sada da u potpunosti iščezne u aluminijumu, odakle su oni mogli da bace svoje anihilacione gama zrake u elektroskop, dok su ranije pre nego što je aluminijumova ploča stavljena na aktivirani ugljenik, gama zraci leteli ka zidovima sobe, odakle nijedan od njihovih anihilacijom proizvedenih zrakova nije mogao da se vrati na elektroskop. Ovo sačinjava vrlo prost i neposredan način dokazivanja da su ovi gama zraci zaista nastali usled iščezavanja pozitrona.

Loritsenova i Krejnova merenja apsorpcionog koeficijenta¹ ovih zrakova slažu se sa teoriskom vrednošću do nekih 4 ili 5%, — što predstavlja vrlo znatno poboljšanje u tačnosti, — tako da sada izgleda da je tvrđenje da pozitivni elektron živi van jezgra samo dotle dok ne izgubi glavni deo svoje kinetičke energije koja mu je data, uglavnom dobro zasnovano eksperimentalnim putem. Ovo vreme iznosi možda oko 5×10^{-10} sekunada, kada se on nekuda izgubi, verovatno izvršujući samoubistvo sa prvim negatronom koji naiđe blizu njega.

¹ Crane i Lauritsen, *Phys. Rev.*, XLV (1934), 430.

G L A V A XV

NEUTRON I TRANSMUTACIJA, ELEMENATA

I. RANIJI DOKAZI ZA TRANSMUTACIJU

Posle vremena alhemije, prvi nagoveštaj o mogućnosti transmutovanja elemenata došao je 1815 god. pojavom Proutove hipoteze; jer, ako bi, kao što je Prout pretpostavljao, svi atomi imali težine koje su bile tačni multipli težine vodonikovog atoma, onda bi se odmah moglo zaključiti, da su oni pre ili posle bili izgrađeni iz vodonika, a ovo, naravno, znači da tipovi atoma mogu da se menjaju transmutacijom. Ali u toku tri četvrtine veka nije se ništa dalje dogodilo što bi nagovestilo da se atomske transmutacije stvarno ikada događaju.

Tada je, 1896 god., došlo do otkrića radioaktivnosti. Ovo otkriće je definitivno uništilo ideju o nezavisnosti i stalnosti elemenata. Ali, dok je opšte poznato da se nekoliko elemenata ovim radioaktivnim procesom spontano preobražavaju u druge elemente, nikakav definitivni dokaz nije se pojavio do 1919 godine, da atomske transformacije može čovek da kontroliše na ma koji način. Te godine Rutherford¹ je bombardovanjem azota sa brzim α -česticama definitivno pokazao da su protoni ili vodonikova jezgra bili u izvesnim slučajevima izbačeni iz atoma azota pomoću ovog bombardovanja. Osim toga, činjenica da je taj proton ponekad leteo u pravcu napred, a ponekad u pravcu nazad, i to sa energijom koja mu je omogućivala da proizvede trag u maglenoj komori

¹ Rutherford, *Nature*, CIII (1919), 415; *Phil. Mag.*, XXXVII (1919), 537, 571, 581.

duži od 50 cm. — veći nego što bi ikako moglo biti kao posledica energije koja mu je neposredno predata od strane α -čestice — značila je, da se u jezgru desila neka vrsta promene koja je u stanju da oslobađa energiju. Zaključak je bio da je α -čestica bila uhvaćena od strane jezgra, obrazujući na taj način iz azota (N^{14}) jedan redak izotop kiseonika (O^{17}), ma da za ovo nije mogao da se iznese nikakav definitivni dokaz. Ali, u svakom slučaju, proizvodnja jednog atoma vodonika posredstvom bombardovanja azota α -zracima predstavljalo je neospornu činjenicu. Prema tome, ovo je bila transmutacija koja je izvedena pod kontrolom čoveka, ma da su zato bile potrebne prirodne radioaktivne supstance.

Do 1930 god. ovaj tip polu-veštačke transmutacije elemenata proučavan je sa velikom pažnjom,¹ pa je bilo pokazano da se svi elementi, od bora do kalijuma, izuzev samo ugljenik i kiseonik, mogu razbiti bombardovanjem α -česticama. Rezultat dezintegracije u svakom slučaju bio je emisija vodonikovog jezgra ili protona. Drugi korak u veštačkoj dezintegraciji učinjen je 1930 god. otkrićem — koje su učinili Bote i Beker, a koje je razmotreno opširnije u narednom odeljku, — jednog novog veoma prodornog zračenja izazvanog u berilijumu bombardovanjem alfa zracima iz polonijuma. Bote nije mogao da uoči nikakav izvor tolike energije kolika je izgleda bila potrebna za takva prodiranja bez pretpostavke o nuklearnoj transformaciji u samom atomu berilijuma, kojom bi bila oslobođena potrebna energija u saglasnosti sa Ajnštajnovom jednačinom.

Sledeći korak u veštačkom raspadanju atomskog jezgra učinjen je kada smo, u jesen 1931 god., dobili u Norman Bridž laboratoriji konačne dokaze, iznete već u glavi XIV, da su se tragovi i pozitivnih i negativnih čestica pojavili na našim fotografskim pločama kao rezultat sudara fotona kosmičkih zrakova sa jezgrom teškoga atoma. Ali, kao i svi naši prethodnici, mogli smo samo da nagađamo kakve su

¹ Videti Rutherford, Chadwick i Ellis, *Radiations from Radioactive Substances*, 1930, glava X.

vrste nuklearnih promena bile izazvane ovom vrstom bombardovanja.

Sva tri napred pomenuta tipa atomskih promena su poluveštački, i to u smislu što se sva uloga čoveka sastoji u tome što on stavlja supstance na put projektila koje daje sama priroda, tj. alfa zrakova prirodno radioaktivnih supstancija i fotona kosmičkih zrakova. Ali, ljudi su radili u mnogim laboratorijama, pokušavajući da nađu način proizvodnje veštačkih projektila velike energije za razbijanje atomskog jezgra. Prvi uspešni izum ove vrste načinili su u Kalifornijskom tehnološkom institutu profesori Č. Č. Loritsen i R. D. Benet.¹ Oni su, 1928 god., uspeli da naprave i da stave u neprekidan rad džinovsku cev za x-zrake, u kojoj su struje, bilo elektrona bilo pozitivnih jona, mogle biti ubrzanе do potencijala od 750.000 volta. Četiri godine doznije, 1932, prof. Loritsen je bio u stanju da podnese izveštaj Fizičkom društvu da je on mogao stalno da radi sa ovakvom cevi u izmenjenom obliku, pri naponu od 1.200.000 volta. Ove Loritsenove cevi, koje su sada uvedene kao redovni uređaji velikog broja bolnica, omogućile su prvi put proizvodnju potpuno veštačkih zrakova bitno istog kvaliteta kao što su gama zraci radijuma. Međutim, njihov intenzitet bio je takav da mu nije ravno ni 100 grama radijuma (što po tekućim cenama iznosi oko sedam miliona dolara).

V. K. Kelog, iz Batl-Krika u Mičigenu, i g-đa Sili V. Mad, iz Los Angelesa, dali su odmah potrebne fondove za izvođenje petogodišnjeg eksperimentalnog programa, koji je bio namenjen razvijanju tehnike pravilne terapijske upotrebe ovih snažnih veštačkih gama zrakova, prvenstveno za lečenje raka. Iako su dr Loritsen i njegovi saradnici bili u toku od četiri-pet godina svakodnevno zauzeti ovim humanitarnim programom — programom koji sprečava upotrebu ove specijalne cevi za proizvodnju veštačkog snopa atomskih projektila — oni su ipak našli vremena da sgrade drugu

¹ Lauritsen, i R. D. Bennett, *Phys. Rev.*, XXXII (1928), 850; Lauritsen i Cassen, *ibid.*, XXXVI (1930), 988.

sličnu cev za ovaj specifičan zadatak (sl. 67), pa su uspeli, u toku leta 1933 god.,¹ da proizvedu potpuno veštački snop α -zraka jako povećanog intenziteta, koji je sa svoje strane proizveo atomske transmutacije tačno one vrste koje su pre toga proizveli Irena Kiri i F. Žolio, kao i Čadvik, upotrebom α -zraka iz radioaktivnih supstancija (videti paragraf II, niže).

U isto vreme i sasvim nezavisno, prof. E. O. Lorens,² iz Berklija, radio je na jednom izvanredno duhovitom uređaju za ubrzanje ionova, sa kojim su on i njegove kolege postigli energije za jonsko bombardovanje koje su iznosile do dva miliona volta, ma da su njihove struje zasada mnogo manje nego Loritsenove. Osim toga Tuve³, iz Karnežijevog instituta u Vašingtonu, Van de Graf, iz Tehnološkog instituta u Masačusetsu, pridružili su se ovoj utakmici u veštačkoj proizvodnji jonskih projektila sa vrlo velikom energijom. Ali, pre nego što su oni svoje aparature osposobili za praktičan rad, Kokroft i Volton⁴ iz Kembridža u Engleskoj, otkrili su da se izvesni tipovi atomskih dezintegracija mogu proizvesti potpuno veštački upotrebom srazmerno malih voltaža za ubrzanje — onih iz reda od 100.000 volta. Sadašnje objašnjenje ove značajne pojave je sledeće:

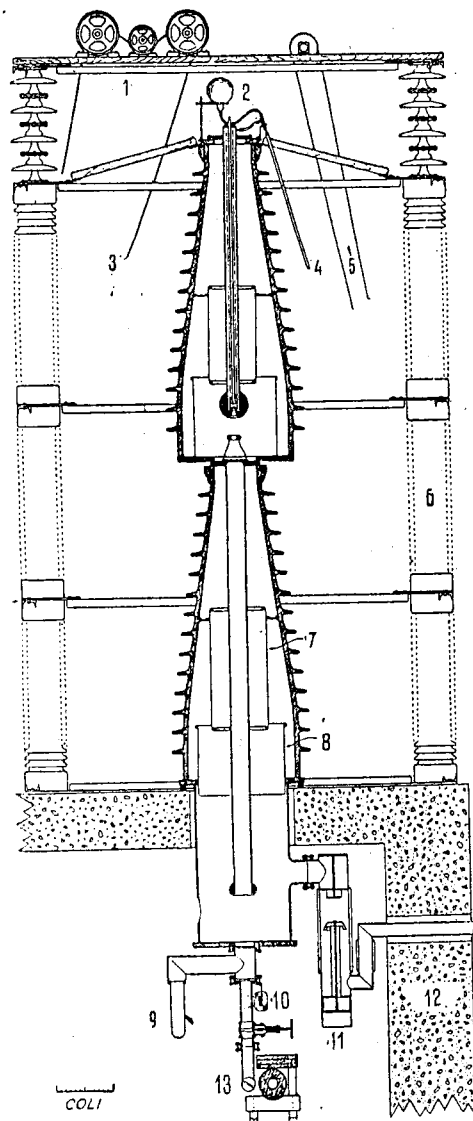
Pre pojave talasne mehanike postojalo je mišljenje da je sasvim nemoguće da proton proдре u jezgro atoma kao što je litijum, nasuprot polju koje proizvode tri pozitivna električna tovara na tome jezgru, izuzev ako raspolaže energijom većom od milion elektron-volta. Međutim, prema načelima talasne mehanike, postoji izvesna verovatnoća da se proton „prokrade kroz“ potencijalnu prepreku oko jezgra na posve isti način na koji elektroni prolaze kroz potencijalnu prepreku na površini metala u Openhajmerovom

¹ Crane, Lauritsen i Soltan, *ibid.*, XLIV (1933), 514; takođe XLV (1934), 507.

² Lawrence, Livingston i Lewis, *ibid.*, XLIV (1933), 35.

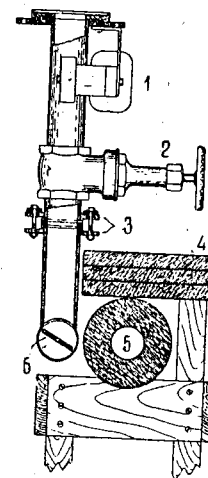
³ M. A. Tuve, *Journal of the Franklin Institute*, CCXVI (juli) (1933) I.

⁴ Cockroft i Walton, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXXVII (1932), 229.



Sl. 67. — Izgled preseka Loritsen-Krejnovce cevi od milion volta

tumačenju pojava hladne emisije na osnovu talasne mehanike. U svakom slučaju, sada je eksperimentalna činjenica da protoni ili vodonikovi joni, snabdeveni vrlo malim energijama — od svega 30.000 elektron-volta, zaista uspevaju da ponekad uđu u jezgro atoma litijuma i da proizvedu transformaciju koja sledi, a koju su prvi otkrili Krokroft i Volton.



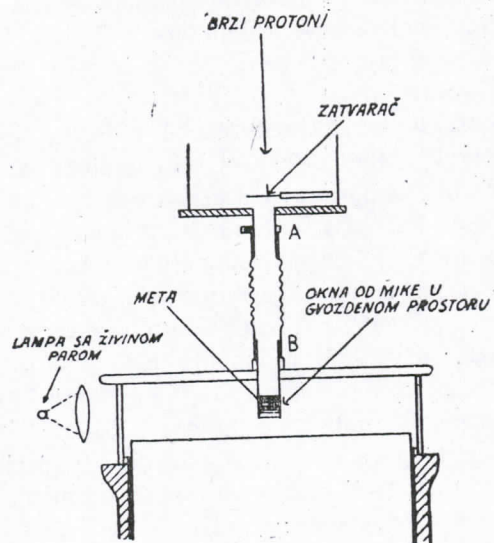
Sl. 67a. — Delimični izgled preseka donjega dela cevi, koji pokazuje olovni štiti i položaj elektroskopa (5) s obzirom na metu (6)

Kao izvor visokog potencijala upotrebljen je kaskadni transformator od milion volta (vrednost srednjeg kvadratnog korena). Vrh gornje cevi vezan je pomoću pogodnog zaštitnog otpora za visokopotencijalni kraj transformatora, a srednja tačka između dve cevi spojena je sa polupotencijalnom tačkom transformatora. Prema tome, aparat radi kao dve zasebne cevi, pri čemu svaka daje jonima polovinu njihovog ukupnog ubrzanja.

Izvor jonova je na kraju unutrašnje elektrode gornje cevi. Metalni prsten u obliku devreka, 3 inča (7,5 cm) u prečniku; i sa otvorom od 1 inča (2,5 cm), oslanja se na donju ploču gornje cevi oko 5 inča (12,5 cm) od kraja elektrode. Ovo preinačava električno polje na način koji je povoljan za koncentraciju jonskog snopa. Odavde joni prolaze naniže kroz šuplju središnju elektrodu i primaju drugu polovinu njihovog ubrzanja u šupljini donje cevi.

Meta se sastoji od mesinganog kotura od 2 inča (5 cm) montiranog na osovini, tako da se obe strane mogu izložiti jon-skom snopu. Jedna strana kotura pokrivena je materijalom koji hoćemo da razbijemo, a druga strana je pokrivena materijalom koji ne daje nikakvo dejstvo, kao na pr. mesing ili aluminijum, radi poređenja.

Vodonikovo jezgro H^1 probija se nasilno u litijumsko jezgro Li^7 , a jezgro koje usled toga nastaje raspada se u dve α -čestice, koje su izbačene u suprotnim pravcima, kao što mora da bude da bi se zadovoljile jednačine momenta. Kirh-

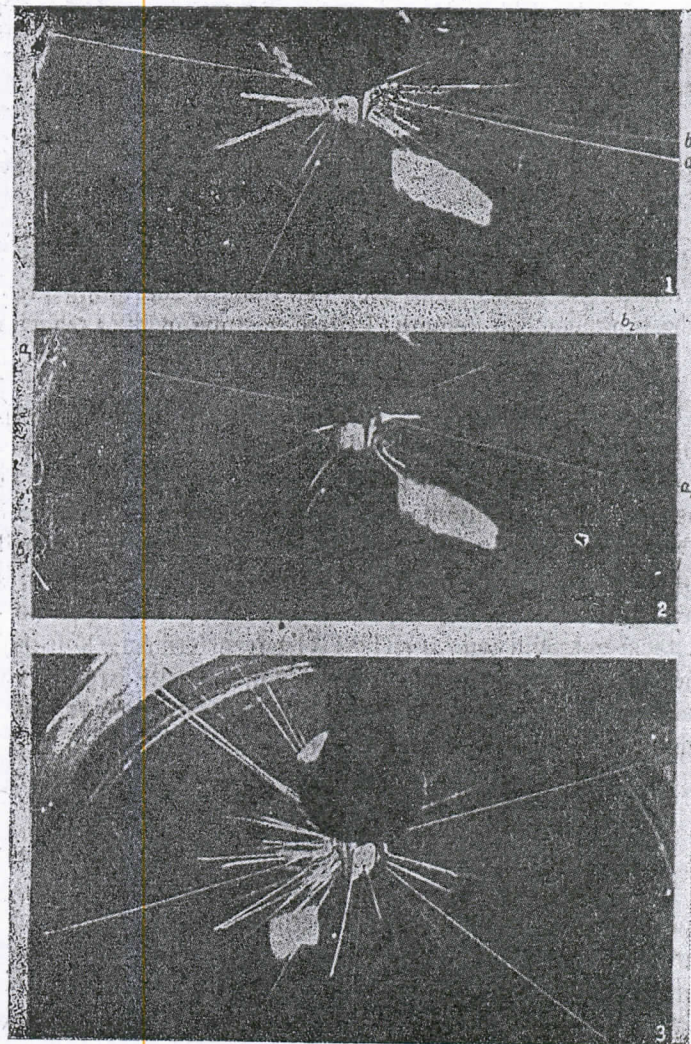


Sl. 68. — Dijagram uređaja za posmatranje tragova α -čestica, koje su nastale usled bombardovanja litijuma protonijuma (po Diu i Voltonu)

ner¹ i Di i Volton² snimili su vrlo lepe u Wilson-ovoj komori fotografije, od kojih su neke prikazane na sl. 69. Ovde bombardujući joni dolaze odozgo, kao što je pokazano na sl. 68, pogađaju litijumsku metu, a dve suprotno usmerene

¹ F. Kirchner, *Sitz. Ber. Bayerischen Akdwis. Sitz.*, mart 4, 1933, str. 129.

² Dee i Walton, *Proc. Roy. Soc.*, CXLI (1933), 733.

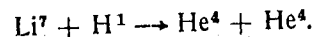


Sl. 69. — (1) Dezintegracija litijuma pomoću jona teškog vodonikovog izotopa, pri čemu se vidi emisija dvaju čestica (a_1, a_2) u suprotnim pravcima, koje izlaze iz ekspanzione komore; prema tome, njihov domet je veći od 10 cm ($Li^6 + H^2 \rightarrow 2He$),² Tanak dugački trag (b) je verovatno brz proton

(2) Ova fotografija pokazuje tip dezintegracije koji je gore opisan (1), a takođe i raspadanje sa emisijom jednog para suprotnih čestica od 8,4 cm (b_1, b_2), koje su verovatno prouzrokovane prisustvom protona u snopu pozitivnog jona

(3) Snimak pokazuje nekoliko slučajeva čestica sa većim dometom od 10 cm, koje leže u suprotnim smerovima. Postoje takođe čestice sa različitim dometima, manjim od 8 cm, koje se završavaju u komori (Fotografije Dia i Voltona.)

α -čestice izleću kroz vrlo tanke prozore na kraju cevi, u kojoj je nameštena meta, pa se vide kako lete u suprotnim pravcima kroz maglenu komoru. Pritom nastupa ovakva reakcija:



Ovde imamo slučaj *potpuno* veštačke transmutacije litijuma u helijum; pa je, dalje, i sinteza atoma deo ovog procesa, pošto je proton morao da uđe u sastav jednog od nastalih atoma helijuma. Posle Kokrofta i Voltona, Luis Livingston i Lorens pribavili su dokaze za dezintegraciju mnogih drugih elemenata pomoću veštački ubrzanih deutona (H^2), a Krejn, Loritsen i Soltan su prvi uspeeli da proizvedu pomoću veštački ubrzanih jonova (${}_2\text{He}^4$ i ${}_1\text{H}^2$) transformacije koje daju „neutrone“. Ali, da bismo mogli dalje pratiti istoriju veštačke transmutacije, potrebno je izložiti na koji je način ovo novo telo, neutron, došlo na videlo.

II. OTKRICE NEUTRONA

Prvi korak u pravcu otkrića neutrona učinjen je kada su Bote i Beker¹ u Gisenu, u Nemačkoj, utvrdili da ako se izvesni laki elementi, naročito berilijum, a u manjoj meri bor i litijum, izlože bombardovanju alfa zracima polonijuma, oni emituju zrake koji imaju nekoliko puta veću prodornu snagu od gama zrakova najveće energije iz poznatih radioaktivnih supstancija, tj. onih iz ThC'' (2,62 miliona elektron-volta). Oni su upotrebili reagovanja Gajgerovih brojača da otkriju ove zrake i da proračunaju vrednost njihove pro-

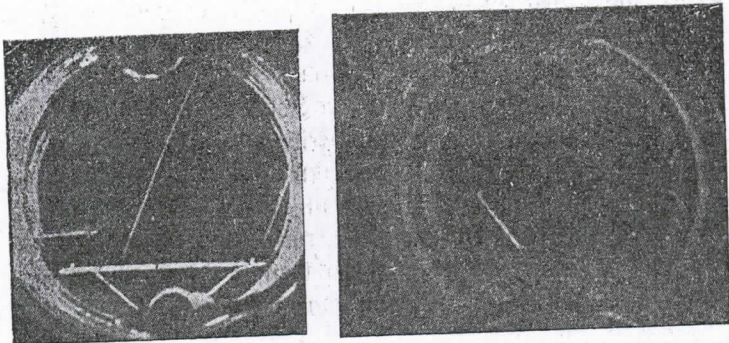
¹ Bothe i Becker, *Zeit. f. Physik*, LXVI (1930), 289, i *Naturwiss.*, XIX (1931), 753.

dorne moći. Oni su protumačili svoje eksperimente u smislu da ovi iznose na svetlost gama zrake koji imaju energiju od 14 miliona elektron-volta, i, da bi objasnili tako veliku energiju, pretpostavili su da je alfa čestica uhvaćena od strane jezgra bombardovanog atoma berilijuma i da je energija koja je oslobođena u zračnom obliku došla iz poznatog viška u masi $\text{Be}^9 + \text{He}^4$ nad onom koju ima atom (C^{12}) za koji se pretpostavlja da je stvoren njihovim sjedinjavanjem. Drugim rečima, oni su usvojili hipotezu o izgradnji atoma i upotrebili su Ajnštajnovu jednačinu $E = mc^2$ da bi došli do potrebne energije.

Drugi važan korak preduzeli su u Parizu Irena Kiri i njen suprug F. Žolio¹. Oni su, ponavljajući ove eksperimente, upotrebili komore za jonizaciju radi merenja zračenja i utvrdili su, da kad se na putanju zraka prema ovoj komori stave tanke ploče ugljenika, aluminijuma, bakra, srebra i olova, jonizacione struje u elektroskopu ostale su gotovo nepromenjene, ali kad su stavili ploču od parafina, struja je bila udvojena. Slična, ma da manja povećavanja, posmatrana su kada su voda, celofan i druge supstance koje sadrže vodonik upotrebljene umesto parafina. Kiri-Žolio su zatim pokazali da je ta povećana struja posledica činjenice što su Boteovi zraci u prolazu kroz vodonikova jedinjenja isterali iz njih protone (vodonikova jezgra). Oni su izmerili dužinu ovih vodonikovih tragova u maglenoj komori i zaključili su da su ovi protoni primili energije u veličini od 4,5 miliona elektron-volta. Oni su, takođe, izneli ubedljive dokaze da Boteovi zraci mogu predati kinetičke energije jezgrima helijuma i ugljenika, kao i vodonika, pa su smatrali da su ovim eksperimentima pokazali da su elektromagnetski zraci velike frekvencije u stanju da predaju velike kinetičke energije jezgrima vodonika i drugih lakih atoma.

Ali takav prenos količine kretanja i energije sa fotona koji ima dotičnu energiju, na proton ili drugo jezgro nije moguća bez povrede zakona održanja impulsa i energije, za

¹ Curie — Joliot, *Compt. Rend.*, CXCIV (1932), (januar 18), 273; (februar 22), 708.



a) Neutron ulazeći u komoru odozdo, prelazi parafinsku ploču koja je raširena preko donjeg dela i izbacuje iz nje proton (H^1), koji preleće pravo preko komore.

b) Komora je ovde ispunjena helijumom. Neutron, ulazeći odozdo, sudara se sa jednim He-jezgrom, čija je masa četiri puta veća od njegove pa mu može predati samo domet od približno 5 mm.

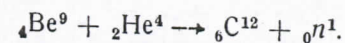


c) Neutron ovde prouzrokuje transmutaciju azotnog jezgra u koje ulazi, i time prouzrokuje izbacivanje α -čestice, dok teška kratka putanja otkriva otkok ostatka jezgra. Pritisak je ovde bio mali, a uveličanje znatno.

Sl. 70. — Fotografije dejstva sudara neutrona sa atomima vodonika (a), helijuma (b) i azota (c), (po Kiri-Žoliovu)

koje je utvrđeno da važe svuda dosada, čak i pri sudarima između fotona i elektrona (Komptonov efekat).

Ovu teškoću je rešio Čadvik¹, iz Kembridža (Engleska), koji je pokazao ne samo da se može zadržati načelo održanja impulsa, već i da svi impulsi izlaze potpuno skladno za različne vrste jezgra, za koja su i njegovi i Kiri-Žoliovovi eksperimenti pokazali da im kretanje predaju Boteovi zraci, ako se uzme da je neka nejonizaciona čestica mase jednog protona bombardujući agens. Jednom reči, Čadvik je izneo ubedljive dokaze, da kad alfa čestice iz polonijuma bombarduju atome berilijuma, bora i dr., one izbijaju iz jezgra ovih atoma čestice koje su otprilike iste mase kao protoni, ali bez električnog tovara, te su stoga pravilno nazvani *neutronima*. To su, dakle, bili ovi neutroni, koji zbog nenaelektrisanosti imaju vrlo veliku prodornu moć, a zbog svoje mase mogu predati svoju energiju i impuls jezgrima vodonika koje su Kiri-Žolio našli kako proleću kroz Wilson-ovu komoru (sl. 70) kada su stavili supstance koje sadrže vodonik između nje i kombinacije berilijum-polonijum. Čadvik je pretpostavio da hvatanje alfa čestice od strane jezgra atoma berilijuma mora osloboditi „neutron“ putem sledeće reakcije:



Donji brojevi, uz oznake elemenata, predstavljaju atomske brojeve, a gornji, atomske težine odgovarajućih elemenata.

Čadvikov prvi nagoveštaj o „mogućnom postojanju neutrona“ objavljen je u jednoj kratkoj belešci u listu *Nature*, 19 februara 1932. Njegova razlaganja gledišta, sa potpornim dokazima, pojavila su se u junskoj svesci *Proceedings of the Royal Society*, tri meseca pre Andersonovog objavljivanja o postojanju pozitivnog elektrona.

Čadvik je izneo gledište da se neutron sastoji od protona i negativnog elektrona u prisnoj kombinaciji. Ovo gledište nije zahtevalo temeljnu promenu u uobičajenoj koncepciji jezgra kao broja protona koji je ravan atomskoj težini

¹ J. Chadwick, *Nature*, CXXIX (1934), 312; *Proc. Roy. Soc. A.* CXXXVI (1932), 692; *ibid.*, CXLII (1933), 1.

arnim elektronima na mestu. Da bi se dobile mase samih jezgra, potrebno je oduzeti proizvod iz broja ekstra-nuklearnih elektrona i broja 0,00055, koji pretstavlja ostatak mase jednog jedinog elektrona. Zabeležene nesigurnosti su „verovatne greške“ koje iznose svega oko trećinu maksimalnih nesigurnosti navedenih gore po Astonu.

H ¹	1,00812 ± 0,000035	C ¹²	12,0038 ± 0,0004
H ²	2,01471 ± 0,00008	N ¹⁴	14,00751 ± 0,00005
He ⁴	4,00390 ± 0,00013	O ¹⁶	16,0000 ± ^{(osnovni po-} ^{ređenja)}
Li ⁶	6,0169 ± 0,0003	F ¹⁹	19,0045 ± 0,002
Li ⁷	7,0182 ± 0,0006	Ne ²⁰	19,9988 ± 0,0009
Be ⁹	9,0150 ± 0,0006	Ne ²²	21,9984 ± 0,00088
B ¹⁰	10,0162 ± 0,0005	Cl ³⁵	34,980 ± 0,0012
B ¹¹	11,0129 ± 0,0005	Cl ³⁷	36,978 ± 0,0019

III. PRIRODA NEUTRONA

Napred pomenuta masa 1,0067 je otprilike ono što se može očekivati ako se neutron sastoji iz tesno vezanog protona i negativnog elektrona, čiji je zbir masa u vodonikovom atomu 1.0078, ostavljajući na taj način za energiju vezivanja, ili defekt mase, vrednost od oko 0,001, ili otprilike milion elektron-volta, što je posledica mnogo tešnjeg udruživanja ili približavanja dva električna tovara u neutronu nego u vodonikovom atomu. Tako se, do ove tačke, sve slagalo vrlo dobro sa starom koncepcijom da je vasiona sastavljena iz dve osnovne iskonske bitnosti — negativnih elektrona i protona, a neutroni su samo predstavljali tešnje jedinstvo između ova dva nego što je bilo potrebno pretpostavljati do Čadvikovog otkrića neutrona.

Sva ova jednostavnost nestala je sa Andersonovim otkrićem postojanja slobodnog pozitivnog elektrona, koje je pokazalo da pozitivni jedinični tovar može postojati potpuno odvojeno od mase protona. Ovo je učinilo da se kao neophodnost iznese pretpostavka o postojanju najmanje tri osnovne bitnosti za objašnjenje svih pojava za koje je ranije važila postavka o dvema osnovnim bitnostima, o negativnim elektronima i protonima. Sada su bile potrebne ove tri: 1) pozi-

tivni elektroni, negativni elektroni i protoni, ili pak 2) pozitivni elektroni, negativni elektroni i neutroni. Po ovoj drugoj koncepciji proton gubi svoj rang kao osnovna bitnost, jer se sada smatra samo kao kombinacija neutrona i pozitivnog elektrona, dok se neutron uzdiže na stepen jednog nezavisnog osnovnog kamena-temeljca vasiona. Cela koncepcija o elektromagnetskom poreklu mase kao takve bila bi tada napuštena. Ali, ako neko ne bi hteo da je odbaci može je zadržati, uzimajući prvu alternativu i smatrajući pozitivni elektron, negativni elektron i proton kao tri osnovne bitnosti. Dalje, može se uzeti, ako ko tako želi, da osnovna jedinica pozitivnog elektriciteta može postojati i u obliku protona i kao slobodan pozitivni elektron, a zatim, da bi se bilo u saglasnosti sa Ajnštajnovom jednačinom, može se pretpostaviti da pod povoljnim uslovima proton može eksplodirati i preći u slobodan pozitivan elektron, na primer širenjem svoga poluprečnika oko dve hiljade puta. Pomoću takvog dovijanja mogla bi se zadržati koncepcija o elektromagnetskom poreklu mase i sa njom Čadvikova koncepcija o neutronu kao prostoj kombinaciji protona i negativnog elektrona.

Postoji mogućnost približavanja ovom problemu i eksperimentalnim putem. Čadvikovo određivanje mase neutrona stavilo je ovu, po njegovom proračunu, između granica 1,003 i 1,008 a. m. j. Nama je poznato da masa vodonikovog atoma iznosi u jedinicama atomske težine $1,0078 \pm 0,00002$; a elektronska masa je $1/1837$ puta manja, ili 0,00055 jedinica mase. Ovo čini da masa samoga protona ima konačno 1,00722, jer je energija vezivanja elektrona prema protonu i vodonikovom atomu neznatna — svega oko 14 volta. Prema tome, ako je neutron osnovna stvar sa kojom je vezan pozitivan elektron sa masom od 0,00055, da bi načinili proton, onda njegova masa, M, mora biti $M + 0,00055$ — energija vezivanja = 1,00722 ili

$$M = 1,0067 + \text{energija vezivanja.}$$

Prema tome, ova jednačina kaže da ako je neutron primordijalna stvar, a proton složena stvar, neutronska masa ne

može biti manja od 1,0067, ali ona može biti mnogo veća od 1,0067 koliko god se želi; a razlika má kakva bila, određuje energiju vezivanja koja treba da bude velika, s obzirom na očiglednu stabilnost neutrona. Svaka eksperimentalna masa neutrona koja je manja od 1,0067 ili blizu toga broja, ide u prilog *protona* kao primordijalne stvari.

S druge strane, ako uzmemo da je neutron samo proton tesno združen sa jednim negativnim elektronom, tj. jedan umrtvljeni vodonikov atom, onda masa ovakvog neutronskeg sistema može biti proizvoljno *manja* od $(1,00722 + 0,00055) = 1,0078$, a razlika, ma kakva bila, pretstavlja u ovom slučaju energiju vezivanja. Drugim rečima, za ovaj slučaj

$$M = 1,0078 \text{ — energija vezivanja.}$$

Svaka eksperimentalna masa neutrona koja bi bila veća od, ili samo blizu, 1,0078 govori u prilog *neutrona* kao primordijalne stvari. Ako bi Čadvikovo stvarno merenje neutronske mase (tj. 1,0067) bilo tačno do jednog hiljaditog dela, onda, na osnovu hipoteze o primordijalnosti neutrona, ne bi preostalo ništa da posluži kao energija vezivanja pozitivnog elektrona za neutron, ali ako bi neutron pretstavljao tesno spojeni proton i negativni elektron, onda bi — kao što je Čadvik izneo — ostalo oko milion volta da posluži kao energija vezivanja negativnog elektrona za proton. Ovo izgleda kao dokaz u prilog *protona* kao osnovne bitnosti.

Međutim, ovaj dokaz ne mora se uzeti suviše ozbiljno iz razloga što Čadvikova tačnost nije uopšte dovoljna za definitivno izvođenje gornjeg zaključka, kao što će se jasno videti iz njegovog docnijeg rada i rada Loritsena i Krejna.

IV. RAD LORITSENA I KREJNA NA GAMA ZRACIMA EMITOVANIM U PROCESU VEŠTAČKE TRANSMUTACIJE

Postavljajući gornju jednačinu Čadvik je prećutno pretpostavio da je hvatanje alfa zrakova od strane bora i izbacivanje neutrona u saglasnosti sa pomenutom reakcijom i proračunom pretstavljalo proces u kome nikakva energija nije izgubljena emitovanjem gama zrakova. Ali, u slučaju

bombardovanja i berilijuma i bora pomoću α -zrakova, Bote i Beker¹, Razeti², kao i Kiri-Žolio³ dokazali su da slabi gama zraci, kao i neutroni, stvarno bivaju emitovani. Da bi izmerili energiju ovih vrlo slabih, ali veoma prodornih gama zrakova, Bote i Beker su usvojili sledeću vrlo vešto smišljenu tehniku. Oni su postavili dva Gajgerova brojača tako, da elektroni izbačeni iz materije koja je stavljena na putanju ovih gama zrakova mogu proizvesti čujna reaganja sa posmatranom brzinom za vreme njihovog uzastopnog prolaza kroz oba brojača. Zatim su stavljali između njih aluminijum ili druge supstance, povećavajući im debljine, dok reaganje brojača nije prestalo, što je bio slučaj kada izbačeni elektroni nisu imali dovoljnu energiju da prođu kroz pločice materije koje su im stavljene na put. Na osnovu ovih debljina Bote i Beker su procenili da gama zraci koji su proizvedeni kada je bor bombardovan od strane α -zrakova, imaju energiju od oko 3 miliona elektron-volta, a kad se bor zameni berilijumom gama zraci koji tada nastaju imaju energiju od oko 5 miliona elektron-volta. *Ovo su bile najveće energije gama zrakova koje su do tada dobivene iz zemaljskih izvora.*

Ako bi se reakcija koju pretpostavlja Čadvik odlikovala zračenjima koja imaju približno takve energije, onda bi njegova procena neutronske mase trebalo da se znatno redukuje, tako da cifra 1,0067, čak iako bi bila izvedena iz vrlo preciznih merenja masa i energija, pretstavlja pre gornju granicu nego neku tačnu vrednost, bar sve dotle dok se konačno ne ustanovi da nije bilo nikakvih zračnih gubitaka u pretpostavljenoj reakciji. Međutim, Čadvikov proračunati opseg nesigurnosti, tj. od 1,003 do 1,008, bio je dovoljan da uzme u obzir i odilaženje gama zrakova od čak 5 miliona volti. Bili su to veliki intenziteti struje bombardujućih čestica koje su Loritsen i Krejn⁴ uspeli da dobiju u njihovoj potpuno veštačkoj produkciji snopova neutrona — intenziteti hiljadu

¹ Bothe i Bercker, *Zeit. f. Physik*, LXXVI (1932), 421.

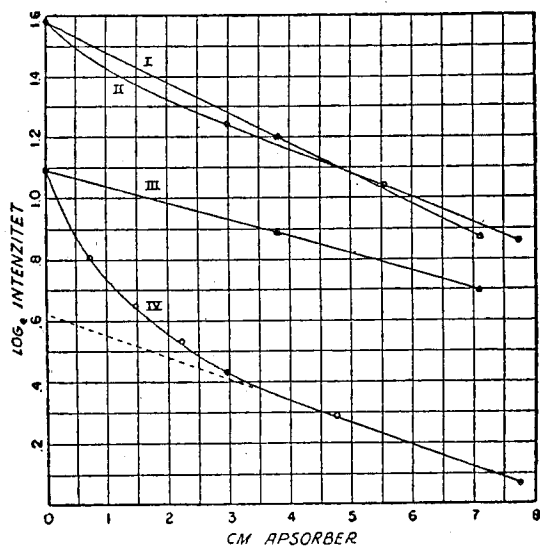
² Rasetti, *ibid.*, LXXVIII (1932), 165.

³ Curie—Joliot, *Jour. de Phys. et le Radium*, IV (1933), 21.

⁴ Crane, Lauritsen i Soltan, *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 514. 783.

puta veći od onih upotrebljivanih od strane njihovih pret-hodnika — koji su omogućili iznošenje na svetlost i kvanti-tativno proučavanje gama zračenja koja nastaju pri većini reakcija prilikom kojih se dobivaju neutroni.

Njihova metoda razdvajanja gama zraka od neutrona prikazana je na sl. 71¹, na kojoj se sve krive odnose na zra-



Sl. 71. — Apsorpcija berilijumskog zračenja. I. Komora obložena parafinom, parafinski apsorber; II. komora obložena parafinom, olovni apsorber; III. komora obložena olovom, parafinski apsorber; IV. komora obložena olovom, olovni apsorber

čenja proizvedena kada su deutoni, tj. teški vodonikovi atomi, naterani da bombarduju jednu berilijumsku metu u Loritsenovoj cevi od milion volta. Apsorpcija onih zračenja u olovu i u parafinu, koja su izazvana u berilijumu deutonskim bombardovanjem, meri se pomoću dva elektroskopa, od kojih je prvi obložen olovom, a drugi parafinom. Komora obložena parafinom mnogo je osetljivija prema

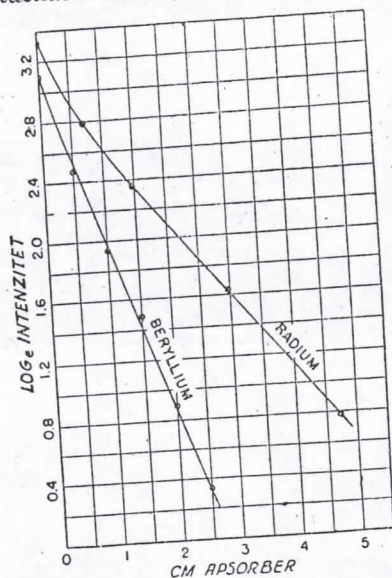
¹ Crane i Lauritsen, *ibid.*, XLV (1934), 226.

neutronima nego komora obložena olovom, jer je jonizacija u njoj povećana protonima koji su izbačeni iz njenih zidova pomoću neutrona. S druge strane, komora obložena olovom mnogo je osetljivija prema gama zracima nego komora obložena parafinom, jer gama zraci izbacuju mnogo više elektrona iz olova nego iz parafina. Slika prikazuje četiri apsorpcione krive koje su dobivene upotrebom dve vrste apsorpcionih sredstava (apsorbera) i dve komore. Krive II i IV uzete su u komorama obloženim parafinom, odnosno olovom, ali snop je uzastopno slabljen u oba slučaja stavljajući pred komore jednu seriju *olovnih* apsorbera. Videće se da je pri debljinama većim od 4 cm nagib krivih isti za olovnu i parafinsku komoru. To znači da je zračenje prostoga tipa, bilo samo zračenje neutrona, bilo samo gama zraka, pošto je samo jedan apsorpcioni koeficijent upotrebljen. Ali veliki višak u ukupnom intenzitetu krive II (parafinska komora) u poređenju sa krivom IV (olovna komora) pokazuje jasno, da je radijacija koja je prouzrokovala ove krive sastavljena od *neutrona*, pošto prolazeći kroz parafinske zidove ona mnogo povećava svoj intenzitet. Otuda se *nagib krivih II i IV iznad 4 cm uzima kao apsorpcioni koeficijent neutrona u olovu.*

Pri debljinama apsorbera koje su manje od 4 cm, kriva IV pokazuje strmo penjanje koje jasno ukazuje na prisustvo jedne komponente zračenja koja se više može apsorbovati nego neutronske zračenje, i koja je praktično potpuno apsorbovana u olovu od 4 cm, kao što pokazuju obe krive II i IV. Da se ova komponenta sastoji od gama zraka pokazano je činjenicom što se ona javlja vrlo izrazito u krivoj IV (komora obložena olovom), a samo vrlo slabo u krivoj II (parafinom obložena komora), jer dobro je poznato da gama zraci izazivaju sekundarne zrake mnogo jače u olovu nego u parafinu. Krive I i III pokazuju da parafinski apsorberi smanjuju, ali sporo, zajednička dejstva oba tipa zraka, dok razlika u nagibu ovih dveju linija pokazuje da srazmere različitih tipova zraka nisu iste u komori obloženoj olovom

kao u komori obloženoj parafinom — rezultat koji se očekivano i mogao da očekuje.

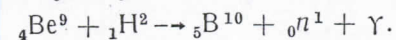
Produženjem pravog dela krive IV unazad, kao što je pokazano tačkastom linijom na sl. 71, možemo odrediti intenzitet koji daju sami neutroni za apsorbere manje od 4 cm. Tada razlika između ukupnog intenziteta i intenziteta pretstavljenog tačkastom linijom treba da bude intenzitet



Sl. 72. — Apsorpciona kriva gama zrakova iz berilijuma bombardovanog deutoniama, sa apsorpcionom krivom radijumskih gama zrakova, nacrtanom radi poredjenja pod istim eksperimentalnim uslovima

koji je posledica samo gama zrakova. Intenzitet gama zrakova koji je na ovaj način dobijen kao funkcija debljine apsorbera, ucrtan je u logaritamskoj razmeri na sl. 72, zajedno sa sličnom krivom za gama zrake iz radijuma pod istovetnim uslovima. To pokazuje da su gama zraci iz berilijuma potpuno monohromatski, sa apsorpcionim koeficijentom znatno većim u olovu nego zraci radijuma posle filtriranja ovih drugih kroz olovo debljine 1—2 cm. Pošto je jačina radijuma bila potpuno tačno poznata, broj gama zrakova emitovanih

iz berilijuma mogao se izračunati. Dobilo se da je on jednak broju neutrona do stepena tačnosti sa kojom su ovi poslednji mogli biti određeni. Iz toga su Loritsen i Krejn izveli važan zaključak, da su u berilijumu neutroni i gama zraci proizvedeni u istoj reakciji, koju su oni napisali u obliku;



Gornje izvođenje ilustruje neobično veliku važnost poznavanja, u slučaju svake razmatrane reakcije, da li je u toj reakciji došlo do oslobađanja gama zrakova ili ne; a ako se to desilo, koliko je velika njihova energija. Loritsen i Krejn, Faulen i Delzaso (Phys. Rev. LI [1937], 391), dali su ove podatke za vrlo veliki broj transmutacionih reakcija, pa su time oni znatno unapredili naš pogled u nuklearne efekte.

Možda je najinteresantnija reakcija, koju su oni sa velikom pažnjom proučili, ona koja je proizvedena bombardovanjem litijuma pomoću vrlo brzih protona. Kao što je ranije pomenuto, Kokroft i Volton su u toj reakciji prvi pokazali da je proton prosto uhvaćen od strane litijumovog izotopa mase 7, i da se rezultirajuće jezgro mase 8 razbija u dve alfa-čestice koje su izbačene u gotovo suprotnim pravcima. Energija oslobođena u ovoj reakciji, proračunata lako na osnovu masa Li^7 , H^1 i He^4 , izlazi potpuno tačno 17,0 miliona elektron-volta. Ako bi celokupna ova energija, plus 200.000 elektron-volta, sa kojima su protoni bili ubrzani u eksperimentima Kavendišove laboratorije, otišla u par α -čestica koje lete u suprotnim pravcima (sl. 69), svaka bi imala energiju od $\frac{17,2}{2} = 8,6$ miliona

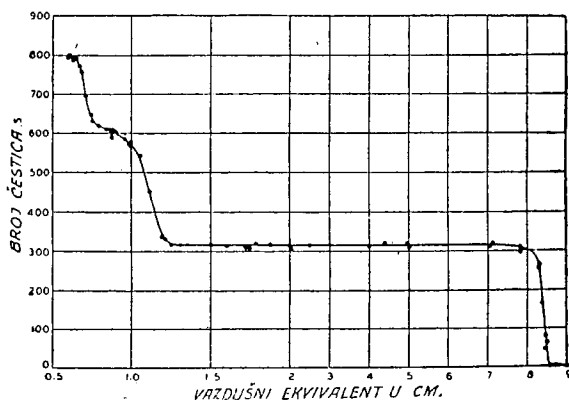
elektron-volta, a kad se ovo prevedu u domet α -čestica pomoću empiričke krive — koja prikazuje odnos između dometa i energije, sada tačno poznate na osnovu dvadesetogodišnjeg eksperimentisanja u pogledu dometa i magnetskih skretljivosti α -zraka emitovanih od strane uranske i torijumske porodice — rezultat izlazi 8,2 cm.

Međutim, Olifant, Kinsi i Raderford¹, stavljajući na putanju ovih istih α -zraka, emitovanih od strane litijuma

¹ Proc. Roy. Soc., CXXI (1933), 722.

bombardovanog protonima, uzastopne slojeve liskuna od kojih je svaki imao tačno poznati vazdušni ekvivalent, dobili su odnos, prikazan na sl. 73, između dometa u vazduhu i broja α -čestica koje imaju ma koji poseban domet.

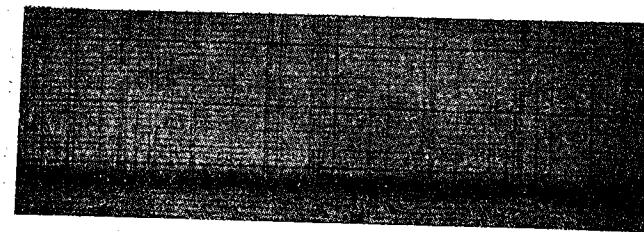
Njihova metoda uzimanja podataka za takvu krivu je sledeća: Oni su pustili alfa zrake da uleću u jonizacionu komoru jedan ili dva santimetra u prečniku i nekoliko milimetara duboku. Svaki α -zrak, ulazeći u ovu komoru, proizvodi



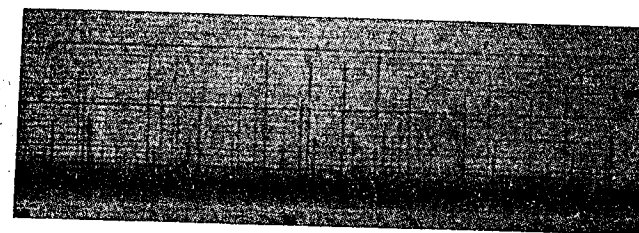
Sl. 73.—Krivulja rasporeda dometa α -čestica, koje nastaju usled bombardovanja litijuma od strane protona (Olifant, Kinsi i Raderford)

praktično trenutnu jonsku struju koja je pojačana običnim cev-nim amplifikatorom, a rezultirajuće „oscilografsko skretanje“ fotografisano je na kinematografskom filmu, tako da je broj udara koji se pojavljuju na pokretnom filmu isti kao broj α -čestica koje ih proizvode, kao što je prikazano na sl. 74.

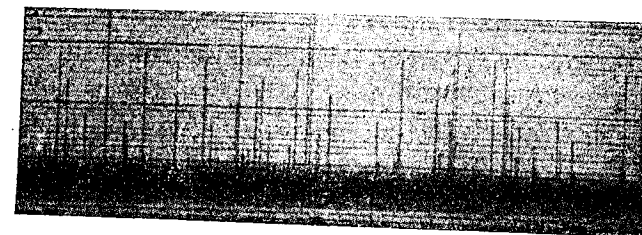
Stavljanje između izvora ovih čestica i ove komore ploče od liskuna, poznatog vazdušnog ekvivalenta, zabeležiće se broj čestica koje imaju energije dovoljne za prolaz kroz takvu debljinu. Sl. 73 pokazuje broj čestica koje prolaze kroz liskunske pločice razne debljine, pri čemu su ovi brojevi ucrtani kao ordinate, a debljine vazdušnih ekvivalenata kao apscise. Prema tome, široka ravan, sl. 73, označava da sve tačke uzete na ovoj ravni odgovaraju velikoj grupi tragova, od kojih svaki ima



a



b



c

Sl. 74. — Tri snimka jonizacije koju su proizvele pojedinačne čestice u plitkoj jonizacionoj komori: a) alfa-čestice skoro iste brzine; b) protoni raznih brzina, c) čestice nekoliko vrsta, koje su stavljene u pokret usled sudara neutrona. Zamrljanost pri osnovi ovih slika znatno je bleđa u originalnim snimcima nego u ovim reprodukcijama (J. R. Daning, sa Kolumbija univerziteta u Njujorku.)

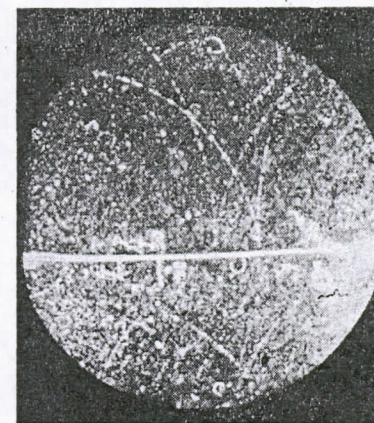
domet u vazduhu u iznosu od 8,4 cm, što se vidi da predstavlja maksimum ostojanja do kojih tragovi dospevaju kada se uklone svi listovi liskuna.

Međutim, primećeno je da je domet, koji je ovde tačno posmatran, vrlo blizu onoga koji je proračunat na osnovu pretpostavke da je cela energija koja je oslobođena u gore pomenutoj transmutaciji litijuma u helijum prešla u kinetičku energiju letećih helijumovih jezgra ili α -čestica. Ova odlična kvantitativna saglasnost predstavlja ubedljiv dokaz za tačnost pretpostavke Kokrofta i Voltona, kao i cele Kavendišove grupe u pogledu prirode transmutacione reakcije koja je proizvela ove α -zrake sa dometom od 8,4 cm u vazduhu. U ovoj posebnoj reakciji sigurno je da nikakva energija nije preostala da ode kao gama zrak; a cela oslobođena energija upotrebljena je za davanje brzine dvema α -česticama.

Kako su onda Loritsen i Krejn našli snažne gama zrake koji su nastali usled bombardovanja litijuma protonima? Da bi našli odgovor na ovu zagonetku, moramo prvo znati kako su oni izvršili opit u pogledu prisustva gama zrakova i koje su vrste energije našli. Na osnovu elektroskopskih opita one vrste koja je već opisana u slučaju berilijumovih zrakova, oni su dobili apsorpcioni koeficijent u olovu koji je vrlo blizak onom koeficijentu utvrđenom za γ -zrake iz radijuma, filtrirane kroz 2 cm olova. Odatle su oni prvo zaključili da je energija, koja je bila u ovim dvema radijacijama jedna iz bombardovanog litijuma, a druga iz radijuma, bila otprilike ista, naime, oko 1,6 miliona elektron-volta.

Međutim, počevši da sumnjaju u pouzdanost ovih apsorpcionih formula za određivanje energija bar u ovoj oblasti frekvencija, Loritsen i Krejn su, uz pomoć Faulera i Delsasa, pustili ove iste gama zrake iz bombardovanog litijuma da pređu u Wilson-ovu komoru nameštenu usred magnetskog polja od 1,200 gausa, pa su neposredno izmerili energije elektrona ubačenih u maglenu komoru apsorpcijom gama zrakova u tankim listovima olova i drugih metala stavljenih takođe u unutrašnjost komore. To je bilo tačno ono što su Anderson i Nedermajer prvo uradili kada su utvrdili raspodelu energije pozitrona i negatrona oslobođenih iz olova i aluminijuma pomoću gama zrakova iz ThC". Kao što je poznato, u ovim eksperimentima oni su otkrili

da je maksimum energije negatrona bio vrlo blizu 2,6 miliona elektron-volta, a to je dobro poznata energija incidentnih gama zrakova, dok je maksimalna energija pozitrona bila 1,6 miliona volta, pri čemu razlika predstavlja, po Dirakovoj teoriji, onaj milion volta koji je potreban da se stvori pozitronsko-negatronski par.



Sl. 75. — Dva odlična primera za blizanačke elektronske parove od 17 Mev, izbačeni iz jednog olovnog zaklona debljine 0,012 cm dejstvom gama-zračenja iz $\text{Li}^7 + \text{H}^1$. Magnetno polje, 2580 gausa. (Loritsen i Fauler)

Velikim brojem (oko 1000) merenja ove vrste u Wilson-ovoj komori — koja su izvršili Loritsen, Krejn, Fauler i Delsaso na elektronima oslobođenim pomoću gama zrakova iz litijuma bombardovanog protonima — dobiveni su rezultati u kojima se kinetička energija oba elementa iz para mogla tačno meriti na osnovu krivine koju proizvodi magnetno polje poznate jačine. Bilo je izmereno preko 700 parova, od kojih sl. 75 pokazuje dva lepa primera. Ukupno uzeta energija obe grane jednog para plus $2mc^2$ ($2 \times 0,511 \text{ Mev}$) bliži se eksperimentalno granici $17,1 \pm 0,5 \text{ Mev}$. Drugim rečima, energija ovog snopa gama zrakova, proizvedena bombar-

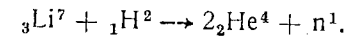
dovanjem litijuma protonima, nije iznosila oko 1,8 miliona volta, kao što je ranije proračunato na osnovu merenja apsorpcije u olovu, već iznosi, *kako je ovde neposredno određeno, oko 17 miliona volta. To je bila najveća energija gama zrakova koja je dotle utvrđena iz zemaljskih izvora.*

Ovo gama zračenje velike energije samo je po sebi važno otkriće, ali je još značajnije otkriće da su tako velike energije spojene sa tako visokim apsorpcionim koeficijentom u olovu.

Pre pokušaja tumačenja ovog poslednjeg, treba uočiti da obe krive, kako ona koja odgovara pozitivnim elektronima, tako i ona koja odgovara negativnim elektronima, pokazuju sporedni maksimum kod cca 4 miliona volta, ukazujući time da dva gama zraka proizlaze iz ove reakcije, jedan sa energijom od 4 miliona elektro-volta, a drugi oko 13 miliona. *Drugim rečima, čak do 17 miliona elektron-volta energije odlazi ponekad usled ove reakcije u obliku gama zrakova.*

Pomenuti odnosi pokazuju svu složenost događaja koji se mogu odigrati u nuklearnoj transformaciji. Tako proton može dospeti u jezgro litijuma na takav način da ostavi u njihovom normalnom stanju dve α -čestice koje su formirane, u kome slučaju ove dve čestice moraju uzeti celokupnu oslobođenu energiju; one tada imaju dolet od 8,4 cm. Ili, ulazeći proton može da se uvuče tako da dvema obrazovanim α -česticama ne bude data uopšte nikakva kinetička energija, pri čemu celokupna oslobođena energija reakcije prelazi u gama-zračenje od 17,1 Mcv. Ova posebna transmuciona reakcija je takođe verovatno i jedna od najprostijih mogućih. U nekim drugim reakcijama oslobođeni su protoni različnih brzina, u nekima neutroni, u nekima gama zraci ili fotoni, u nekima pozitroni, a u nekima negatroni.

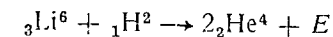
Zbog veze sa vrlo važnim pitanjem mase neutrona, Loritsen i Krejn su takođe analizirali vrlo pažljivo — pomoću velikih intenziteta koji se mogu dobiti sa njihovim aparatom — odnose mase i energije u reakciji proizvedenoj bombardovanjem litijuma „deuteronima“ umesto kao gore protonima. Oni su ranije dokazali da ovo stvara neutrone po reakciji



Iako je bilo izvesnog opravdanja za pretpostavku da gama zraci nisu proizvod ove reakcije, eksperimentalan opit u pogledu ove tačke nije stajao na raspoloženju, tako da su proračuni mase neutrona koji su izvršeni pomoću ove jednačine, ali bez sigurnog znanja u pogledu prisustva gama zrakova, morali biti smatrani kao strogo važeći samo kao gornja granica.

Analizom proizvedenih zrakova u ovoj reakciji tačno pomoću metode koja je gore pokazana za Be, Loritsen i Krejn¹ su pokazali da nikakvi gama zraci ne proizilaze iz ove reakcije, već samo α -zraci i neutronske zraci. Raspodelu dometa α -zraka već su vrlo lepo analizirali Olifant, Kinsi i Raderford², sa rezultatima prikazanim na sl. 76. Videće se iz slike, da iz ove reakcije proizlazi velika grupa α -čestica, koje imaju istovetan dolet od 13,2 cm — dolet koji odgovara energiji od 11,5 miliona elektron-volta.

Međutim, ovaj dolet od 13,2 cm stvarno odgovara neobično blisko ukupnoj energiji oslobođenoj u reakciji:



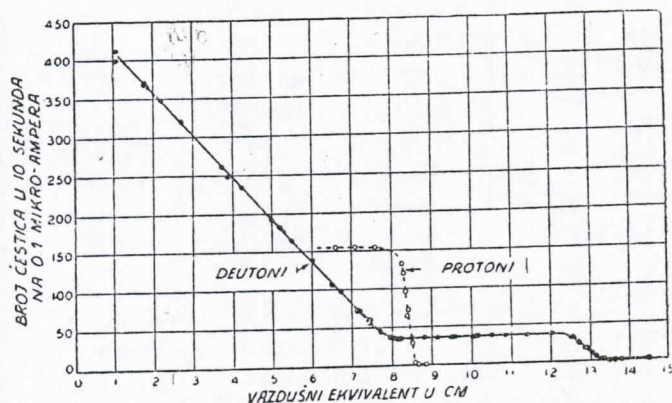
gde je E ukupna kinetička energija α -čestica. Zaista same razlike u masama atoma na levoj i desnoj strani ove jednačine iznose $22,2 \times 10^6$ elektron-volta, pa ako dodamo onih 200.000 elektron-volta za bombardujuću energiju deutona, vidimo da energija svake od ove izbačene α čestice treba da bude $\frac{22,4}{2} = 11,2 \times 10^6$ elektron-volta, dok se ranije videlo da dolet 13,2, redukovan na elektron-volte, iznosi 11,5. Ova odlična saglasnost dosta ubedljivo pokazuje, čak i bez Loritsenovog i Krejnovog dokaza, da gama zraci nisu proizvedeni u ovoj reakciji, da je deuteron ovde uhvaćen od strane Li^6 , tako da je cela oslobođena energija pretvorena u kinetičku energiju dveju α -čestica koje lete u suprotnim

¹ Lauritsen i Crane, *Phys. Rev.*, XLV (1934), 550.

² Oliphant, Kinsley i Rutherford, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXXI (1933), 722.

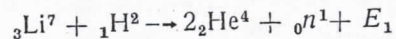
smerovima. Saglasnosti kao što je ova daju nam pouzdanje u ispravnost ovih transmutacionih jednačina.

Ali kakvo je onda objašnjenje nagibne linije na sl. 76, koja jasno pokazuje da ovo bombardovanje litijuma od strane deutona takođe prouzrokuje i α -čestice sa dometima koji ne-
prestanu variraju od 1 do maksimum 7,8 cm? Ako nikakvi gama zraci nisu proizvedeni, tada ostaju samo posmatrani



Sl. 76. — Kriva raspodele dometa α -čestica, koje nastaju usled bombardovanja litijuma deutonom (Olifant, Kinsi i Raderford)

neutronske zrake da podele energiju sa α -česticama, prouzrokujući time da ove poslednje imaju sve vrste dometa do 7,8, što je uzeto kao domet kada sva energija ide u α -česticu, a ništa u neutron. Ali iz masa u pitanju odmah je očigledno da neutronske zrake mogu nastati iz reakcije:



gde je E_1 ukupna kinetička energija koju odnose α -čestice i neutron. Posle kombinovanja ove sa drugom reakcijom koja je gore razmotrena, i u kojoj je litijum bombardovan protonima, tj.



Loritsen i Krejn su pokazali da se oduzimanjem može dobiti

$${}_0\text{n}^1 = \text{H}^2 - \text{H}^1 + E_2 - E_1$$

gde su jedine atomske mase koje učestvuju u procesu, H^1 i H^2 , poznate sa znatnom tačnošću. Kinetička energija bombardujućih protona (H^1) i deutona (H^2), koju su upotreбили Olifant, Kinsi i Raderford, bila je ista (oko $0,2 \times 10^6$ elektron-volta), te se, prema tome, potire. Dometi α -čestice koje nastaju iz te dve reakcije skoro su isti (7,8 cm odnosno 8,4 cm), a kako je upotrebljena samo razlika u energiji, to sve sistematske greške u merenju, ili u pretvaranju dometa u energiju, teže da se ponište. Upotrebljavajući $E_1 = 2 \times 8,3 \times 10^6$ i $E_2 = 2 \times 8,75 \times 10^6$ elektron-volta, razlika je vrlo blisko ekvivalentna 0,001 jedinica atomske težine, i dodajući ovo razlici $\text{H}^2 - \text{H}^1 = 1.00586$, dobivamo za masu neutrona 1,0068. S obzirom na tačnost sa kojom je ($\text{H}^2 - \text{H}^1$) poznato, izgledalo je da je ova vrednost najtačnija koja je dosad dobivena. Olifant, Kinsi i Raderford smatraju da greške u dometima 7,8 cm i 8,4 cm iznose $\pm 0,2$ cm, ali čak ako bi se desilo da dve takve greške dodaju svoje efekte, rezultat bi jedva mogao biti izmenjen za više od 0,0003 jedinice atomske težine, tako da bi vrednost neutrona ležala između 1,0065 i 1,0071. Da je ovaj rad dao vrednost definitivno nižu od 1,0067, on bi išao snažno protiv neutrona, a u prilog protona kao osnovne čestice. Ali ovako obe mogućnosti su još otvorene, ma da se, ako bi izbor bio u prilog neutrona, onda mora priznati da je energija vezivanja između njega i pozitivnog elektrona nekako čudno malena.

Čadvik¹ je u avgustu 1934 god., objavio prethodni izveštaj o jednoj metodi koja je bila u bliskoj vezi sa ranije pomenutom. On je izložio komoru ispunjenu deuterijumom, gasovitim teškim vodonikom, gama zračenju ThC'' od $2,62 \times 10^6$ volta. Komora je bila u vezi sa linearnim amplifikatorom i oscilografom na uobičajeni način. Na oscilografu je zabeležen izvestan broj udara koji su se morali pripisati protonima dobivenim putem cepanja deutona u protone i neutrone. Kada se pokušalo sa radijumovim zracima od $1,8 \times 10^6$ volta, jonizacioni udari su bili mnogo smanjeni, i Čadvik

¹ Nature, CXXXIV (avgust 18, 1934), 237.

zaključuje da energija vezivanja protona i neutrona za formiranje deutona mora biti veća od $1,8 \times 10^6$ volta. On je ceni na $2,1 \times 10^6$. Atom teškog vodonika je prosto atom običnog vodonika, pošto se neutron doda njegovom jezgru. Otuda

$$H^1 + n^1 - \text{energija vezivanja} = H^2,$$

ili

$$\begin{aligned} n^1 &= H^2 - H^1 + \text{energija vezivanja} = \\ &= 1,0058 + \frac{2,1 \times 10^6}{946 \times 10^6} = \pm 1,0080. \end{aligned}$$

Ako bi ovi brojevi ispali tačni, masa neutrona bila bi iznad granice (1,0078) koja je u skladu sa idejom da je proton osnovna čestica. Dva poslednja načina prilaženja neutronskoj masi nisu dosad, kako izgleda, dovedena u saglasnost, pa je pitanje da li se neutron ili proton ima smatrati kao osnovna čestica čekalo da bude docnije rešeno.

Na sastanku međunarodnog saveza za čistu i primenu fiziku, 24 oktobra 1934 god., dr Olifant je istakao da su Čadвик i Goldhaber baš u to vreme izvršili tačnije određivanje neutronske mase na osnovu Čadvikove poslednje metode i dobili su rezultat $1,0080 \pm 0,0005$. Olifant je takođe više voleo da napravi postavku o kojoj su Loritsen i Krejn opširno raspravljali u svome radu, a koju su oni odbacili zbog toga što je imala isuviše malu verovatnoću da bude konačni činilac u određivanju maksimalnog dometa 7,8. Pomenuta postavka sastoji se u sledećem: domet ne odgovara slučaju u kome neutron uopšte ne uzima energije, a dve α -čestice dele tu energiju podjednako između sebe. On pre odgovara slučaju u kome neutron i jedna α -čestica zajedno primaju isti impuls u jednom smeru koji druga α -čestica prima u suprotnom smeru. To znači da ova druga alfa čestica prima pet devetina ukupne oslobođene energije i tako daje za vrednost celokupne energije, koja odgovara dometu od 7,8 cm, iznos od 14,9 miliona elektron-volta, a za masu neutrona koji su dobiveni Loritsenovom i Krejnovom metodom vrednost od 1,0083, što je u dobroj saglasnosti sa

Čadvikovom i Goldhaberovom¹ vrednošću. Jasno je da, s obzirom na nesigurnost ove pretpostavke, i dalje treba biti rezervisan u pogledu gornjeg stava.

V. ZAKONI APSORPCIJE FOTONA VELIKE ENERGIJE

Otkriće koje su nezavisno i na potpuno različit način učinili Čao², i Bote i Beker³, — a zatim mnogo proširili Loritsen i Krejn, kao što je prikazano ranije, — da su veštački proizvedene nuklearne promene u stanju da emituju nove tipove fotona gama zraka, među kojima su neki većih energija nego ma koji dosada koji se javljaju na zemlji, otvorilo je novo prostrano polje i eksperimentalnog i teoriskog napretka u našem znanju o interakciji između zračenja i materije.

Pre Čaovog rada, teoriski fizičar razrađivao je svoje zakone apsorpcije, rasturanja i degradacije energije fotona na pretpostavci da su ekstra-nuklearni elektroni jedini agensi koji uslovljava ove procese. Sve do vremena ovih eksperimenata Čaoa, svi mi, Miliken, Djins, Regener i svi drugi smatrali smo, ma da sa različitim stepenima uverenja, da se formula Klajna i Nišine — teoriski najzdravija među našim apsorpcionim formulama — može primeniti na sve frekvencije, pa čak i na frekvencije najprodornijih kosmičkih zrakova. Čao je prvi jasno ukazao na činjenicu da jezgro ima svoje sopstvene zakone apsorpcije i da su oni potpuno različni od onih koje opisuje Klajn-Nišinaova formula. Grej i Tarant, Majtner i Filip potvrdili su precizno ove nalaze Čaoa u pogledu nuklearne apsorpcije i ponovne emisije u novom obliku energija ThC'' fotona. Posle toga, Anderson je otkrio pozitron i dokazao ubedljivo da sudari fotona ThC'' sa jezgrima, kako olova tako i alumi-

¹ Chadwick i Goldhaber, *Nature*, CXXXIV (1934), 237.

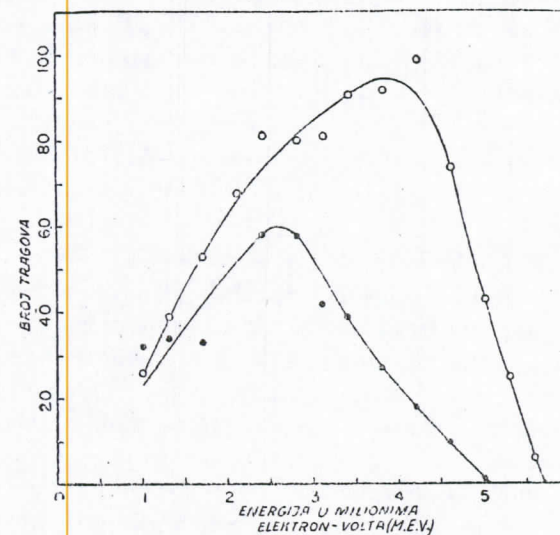
² Chao, *Proc. Nat. Acad.*, XVI (1930), 431; *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 1519.

³ Bothe i Becker, *Zeit. f. Physik*, LXVI (1930), 289; *Naturwiss.*, XIX (1931), 753.

nijuma, proizvode takve pozitrone. U međuvremenu, Bleket i Okialini predložili su tumačenje pljuskova kosmičkih zrakova na osnovu proizvođenja pozitronsko-negatronskih parova. Osnovu ove koncepcije činila su Dirakova negativna energetska stanja. Odmah posle toga Anderson i Nedermajer utvrdili su da maksimalna energija koja je data pozitivnim elektronima od strane ThC'' zračenja iznosi za milion volta manje nego energija koja je data ekstra-nuklearnim negatronima. Na taj način, izneta je na svetlost prva nova činjenica koja je bila predviđena teorijom o proizvođenju parova.

Posle toga su prvo Tibo i Žolio, nezavisno jedan od drugog, dali veoma elegantan dokaz, a zatim su Loritsen i Krejn, sa mnogo preciznosti dokazali da Čaova radijacija izotropskih gama zrakova od pola miliona volta, izazvana sudarom ThC'' fotona sa jezgrima, kako teških tako i lakih atoma, nije po svoj prilici ništa drugo već etarski signali otposlani sa mesta gde nestaje neki pozitivni elektron, svakako usled poništavanja — „anihilacije“ sa negatronom. Međutim, ova teorija „anihilacionog zračenja“ mora se smatrati da počiva na dokazima koji su potpuno nezavisni od svih hipoteza o tome odakle dolaze posmatrani pozitroni, da li od proizvođenja parova, bez ikakvih promena u električnom tovaru na jezgru, ili izlaženjem iz jezgra uz smanjivanje njegovog pozitivnog tovara za jednu jedinicu. Jedno ili drugo, ili oba ova porekla mogu postojati, i oba su u potpunoj saglasnosti sa hipotezom o anihilacionom zračenju. Jer u svakom slučaju znamo da se ovi pozitroni javljaju u našim maglenim komorama kad se fotoni dovoljne energije sudare sa jezgrima, a takođe znamo da oni nekako iščezavaju i da, kad iščeznu, onda se sa mesta ovog uništenja javljaju fotoni od pola miliona volta. Takođe znamo, prosto iz Ajnštajnovih jednačina, da zračni ekvivalent mase za dva elektrona iznosi milion volta — ili tačnije 2×511.000 — i isto tako da princip o održanju impulsa zahteva da ovaj milion volta iziđe iz tačke postanka u vidu dva suprotno upravljena fotona od po pola miliona volta.

Ali u međuvremenu, teoretičar je poslovaio. Naročito su Openhajmer i Pleset¹ u Norman Bridž laboratoriji razmatrali, na osnovu teorije o stvaranju parova, sledeće: 1) kako treba da se menja nuklearna apsorpcija za dato jezgro kada se energija približujućeg fotona povećala preko granice od



Si. 77. — Spektri energije negativnih i pozitivnih elektrona, izbačenih iz debele olovne ploče pomoću gama zračenja iz fluora bombardovanog protonima. Kružići pokazuju negativne elektrone, a tačkice označavaju pozitivne elektrone. Svaka tačka predstavlja broj elektronskih tragova u intervalu energije od 0,7 miliona elektron-volta

dva miliona volta, kod koje je Čao utvrdio da otpočinje apsorpcija? i 2) kako ona treba da zavisi od atomskog broja jezgra?

Srećom Loritsenovi i Krejnovi intenzivni izvori veštačkih gama zrakova omogućili su da se izvrši poređenje između eksperimenata i teorije u intervalu energija između 1 i 17 miliona elektron-volta, kao i u intervalu atomskih brojeva za bakar (29) i olovo (82).

¹ Oppenheimer i Plesset *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 53.

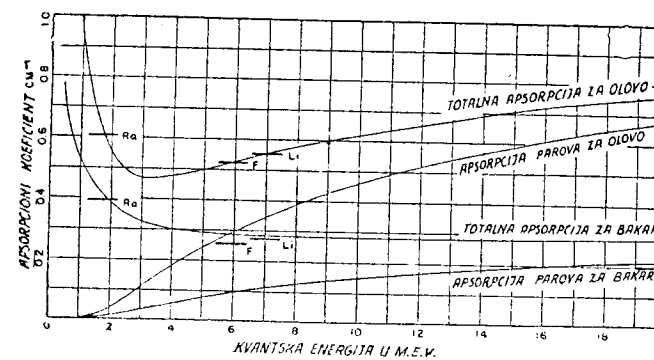
Oni su izmerili krive raspodele energije kako za pozitivne tako i za negativne elektrone, ubačene u maglenu komoru sa olovne ploče od 3 mm pomoću gama zračenja iz CaF_2 kad je ovaj bio bombardovan protonima od 800.000 volta. Rezultati prikazani na sl. 77 otkrivaju razliku u iznosu od okruglo milion volta između maksimalne energije izbacivanja ka kojoj naginju krive negatrona i pozitrona ukoliko se one bliže osi energija — što predstavlja odnos koji su otkrili Anderson i Nedermajer za ThC'' zrake, a koji su tačno proverili Čadvik, Bleket i Okialini.¹ Saglasno sa teorijom o parovima, ovu je energiju izgubio incidentni foton prilikom stvaranja jednog elektronskog para.

Sa slike 77 se vidi da je razlika između broja negatrona i broja pozitrona mnogo veća sa fluorovim zracima od 6,2 miliona volta. Sa zracima od 17 Mev bilo je nađeno da ovaj višak iznosi znatno manje. Ovo, naravno, znači samo to da je, kao što se može očekivati, nuklearna apsorpcija mnogo manji deo od celokupne apsorpcije u slučaju zraka od 6,2 miliona, jer kao što je Čao pokazao, granica gde počinju nuklearna dejstva da se uopšte javljaju je oko 1 milion elektron-volta. Pod pretpostavkom da je nuklearna apsorpcija, koja je izložena u ovim eksperimentima, posledica samo formiranja parova, razlika između pozitivnih i negativnih krivih treba da da uglavnom efekat *Komptonovih sudara* sa ekstra-nuklearnim elektronima, drugim rečima, deo apsorpcije o kome vodi računa Klajn-Nišinova formula. Ova sama pokazala bi teoriski neku razliku od samo oko $\frac{3}{4}$ miliona elektron-volta. Fotoelektrično odvajanje ekstranuklearnih elektrona, međutim, daje povoda za punu vrednost $(2 \times 0,511) = 1,02$ Mev razlike između susreta krivih za pozitrone i negatrone sa osom energije.

Još jedan dalji uspeh teorije proizvođenja parova vidi se na slici 78, na kojoj je prikazan Openhajmerov proračun apsorpcija parova u olovu i bakru kao funkcija

¹ Chadwick, Blackett i Occhialini, *Proc. Roy. Soc. A.*, CXLIV (1934), 253.

kvantske energije. Krive ukupne apsorpcije predstavljaju samo Klajn-Nišinovu apsorpciju dodatu ovoj teoriskoj apsorpciji parova, kako je istu proračunao Openhajmer. Razlika između krive za olovo i krive za bakar posledica je činjenice što je po teoriji parova apsorpcija proporcionalna kvadratu atomskog broja. Rezultat toga je da pošto apsorpcija parova već otpočne, u slučaju teškoga atoma kao što je olovo, apsorpcija se stvarno povećava sa povećanjem energije, tako da postoje dve vrednosti energije, kao na pr. dva miliona volta i 7 miliona volta, ili 1,6 miliona i 13 miliona, koje imaju isti apsorpcioni koeficijent.



Sl. 78. — Krive koje daju ukupne apsorpcione koeficijente gama zrakova u olovu i u bakru, kao funkciju njihove kvantske energije, i takođe krive koje daju apsorpciju kao posledicu obrazovanja samo elektronskih parova

U potvrdu ovog koeficijenta sa dve vrednosti, i Makmilan, u Berkliju, i Loritsen i Krejn, u Pasadeni, izvršili su merenja apsorpcije pomoću različnih vrsta apsorbera na gama zracima iz fluora, koji je bombardovan protonima, a ova poslednja dva posmatrača izvršili su isto i sa gama zracima iz litijuma bombardovanog protonima, sa rezultatima prikazanim na sl. 78. Zapaženi apsorpcioni koeficijenti označeni su horizontalnim linijama koje presecaju teoriske krive.

Iako se vidi da se apsorpcioni koeficijenti ovih gama zrakova u olovu ne razlikuju mnogo od koeficijenta gama zraka

radijuma, jasno je, na osnovu odgovarajućih koeficijenata u bakru, da je njihova kvantska energija takva da ih postavlja na stranu velikih energija od minimuma, naime, na otprilike 6,9 miliona elektron-volta za litijum, a 5,8 za fluor, a ne na stranu malih energija kao što su autori bili prvobitno zaključili. Ovakav rezultat za fluor potvrđen je u potpunosti direktnim merenjima, prikazanim na slici 77.

Sve ovo pretstavlja značajnu potvrdu zahteva teorije o parovima u ovom malom opsegu frekvencija koji je ovde istraživani.

Ali, i u oblasti mnogo većih energija kakve se javljaju u kosmičkom zračenju, ja sam objasnio sliku pljuska, kao što je to bila ona prikazana na sl. 61, uz pomoć tzv. *kaskadne teorije*. Ova pretpostavlja da, kad se neki foton, čak i od milijardu volti energije ili još i više, sudari sa nekim atomskim jezgrom, onda on može da transformiše svoju energiju potpuno u jedan elektronski par (tačno kao što je pokazano pri nižem nivou energije u podacima koji su dati gore u vezi sa sl. 75 i 77), pri čemu svaka komponenta ovog elektronskog para visoke energije proizvodi, upadom u neko drugo jezgro, jedan nov foton niže energije, koji onda sa svoje strane ponavlja isti proces transformacije u nove elektronske parove putem drugih nuklearnih upada, itd. Rezultat je takav da se na donjem kraju jednog pljuska kosmičkih zraka pojavljuje veoma veliki broj fotona i elektrona male energije, kao što su oni što se vide na sl. 61. Tako, dok u stvari postoji obilje argumenata koji ukazuju da proizvođenje parova nije jedina metoda putem koje kosmički zraci bivaju apsorbovani kad prodiru kroz našu atmosferu, dotle ono nesumnjivo pretstavlja proces koji započinje prvo na nekoj kritičnoj voltaži, za koju mi sada znamo da je upravo voltaža koja odgovara masi dvaju slobodnih elektrona (tj., $2mc^2$ ili $2 \times 0,511$ MeV) i počev od nje, ono dobiva sve veći značaj ukoliko se primenjena voltaža povećava.

Obrazovanje parova dokazano u vezi sa podacima iznetim uz slike 75 i 77 nazvano je procesom „materijaliza-

cije“, tj. to je proces pri kome se energija etarskog talasa potpuno transformiše u elektrone, tj. u materiju. Jer, „materija“ je definisana inercijom, pa je „mirna masa“ jednog elektrona sada tačno izmerena količina inercije ili mase, za koju je vrednost bilo pokazano da je ekvivalentna sa okruglo pola miliona elektron-volta, tačnije 0,511 MeV, što je ekvivalentno sa 0,000549 (obično se piše 0,00055) atomskih masenih jedinica (a.m.j., ili $0,9107 \times 10^{-27}$ grama).¹

Da obratni proces potpune transformacije mehaničke energije u zračnu, ili u energiju etarskog talasa, ne samo da je moguć nego i da je jedan od najobičnijih prirodnih procesa koji se odigravaju stalno oko nas vidi se iz ohlađivanja toplih tela *in vacuo* sasvim nezavisno od toga da li su ona bila zagrejana kovanjem (mehanička energija) ili toplotnom provodljivošću (dodir sa nekim toplim telom). I doista, u ovome se i sastoji najprostija i najočiglednija osnovica takozvanog „drugog zakona termodinamike“, naime da se *raspoloživa* mehanička i njoj ekvivalentna toplotna energija stalno preobraća u neraspoločivu energiju, putem izračivanja u okolni prostor. Činjenica koju možemo da dokažemo, kao što je izneto u diskusiji slika 75 i 77, da postoje *izvesni* procesi pri kojima se zračna energija potpuno natrag pretvara u mehaničku energiju, veoma je interesantna i značajna. U slučaju obrazovanja parova ovaj eksperimentalan dokaz dali su najpre Anderson i Nedermajer.

Konstante za međusobna preračunavanja izvesnih uobičajenih jedinica energije jesu sledeće:

Tablica preračunavanja raznih jedinica energije.

Treba da se pomnože	sa:	da se dobiju:
MeV	$1,07 \times 10^{-3}$	jedinice mase
	$1,60 \times 10^{-6}$	ergovi
	$3,83 \times 10^{-14}$	gram-kalorije
	$4,45 \times 10^{-20}$	kw. časovi

¹ a.m.j. = $1/\text{No} = (6,023 \times 10^{23})^{-1} = 1,6603 \times 10^{-24}$ grama $\times (2,998 : 10^{10})^2 = 1,492 \text{ c } 10^{-9} \text{ erga} = 932 \text{ MeV}$.

Tablica preračunavanja raznih jedinica energije:

Jedinice mase	$9,32 \times 10^{-2}$	MeV
	$1,49 \times 10^{-3}$	ergovi
	$3,56 \times 10^{-11}$	gram-kalorije
	$4,15 \times 10^{-17}$	kw. časovi
Ergovi	$6,71 \times 10^2$	jedinice mase
	$6,24 \times 10^5$	MeV
	$2,39 \times 10^{-8}$	gram-kalorije
	$2,78 \times 10^{-14}$	kw. časovi
Gram-kalorije	$2,81 \times 10^{10}$	jedinice mase
	$2,62 \times 10^{13}$	MeV
	$4,18 \times 10^7$	ergovi
	$1,16 \times 10^{-6}$	kw. časovi
Kw. časovi	$2,41 \times 10^{16}$	jedinice mase
	$2,25 \times 10^{19}$	MeV
	$3,60 \times 10^{13}$	ergovi
	$8,60 \times 10^5$	gram-kalorije

Međutim, da se sad vratimo na pitanje od veoma velikog filozofskog interesa koje se odnosi na masu neutrona. Sve do pred kraj 1934 godine, kada je gornji izveštaj o ovoj diskusiji bio napisan, izgledalo je da se Čadwick i Loritsen saglašavaju na vrednosti mase neutrona od preko 1,0078 a.m.j. Čadwick i Goldhaber su upravo objavili svoje otkriće, dobivši i prve rezultate, da je moguće oduzimati i dodavati kinetičku energiju protonu i neutronu u deuterijumu ozračujući ga gama-zracima iz ThC'' , za koje se odavna zna da nose energiju od 2,62 MeV. Iz veličine impulsa koji se dobiva prilikom oslobađanja protona, oni su procenili energiju izbacivanja samo tog protona na 0,24 MeV; a pošto je treći Njutnov zakon iziskivao da nenaelektrisani neutron uglavnom jednake mase odleti sa jednakim a suprotnim impulsom, a takođe i jednakom energijom u slučaju jednakih masa, oni su uzeli da celokupna energija apsorbovana iz zračenja ThC'' iznosi 0,48 MeV, tako da su napisali:

$$2,62 - 0,48 = 2,14 \text{ MeV} = 0,00230 \text{ a.m.j.}$$

Ovo pretstavlja u maseno energetičkim jedinicama energiju koja se mora pojaviti u ovoj reakciji kao višak od sje-dinjenih mirnih masa protona i neutrona nad mirnom masom deuterona. Ovaj poslednji višak iznosi:

$$2,01472 - 1,00812 = 1,0066 \text{ a.m.j.}$$

Dodajući ovome od ranije poznatu energiju vezivanja deuteronu, Čadwick i Goldhaber su na posletku dobili za ukupnu masu neutrona 1,00890 a.m.j. Bete¹, prilazeći problemu putem jedne druge reakcije, dobija za masu neutrona 1,00893, u odličnoj saglasnosti sa Čadwick-om i Goldhaber-om, pošto je poslednje decimalno mesto u svakom slučaju nesigurno.

U skladu, dakle, sa prednjom relativno prostom metodom koju je omogućilo Čadwick-Goldhaber-ovo značajno otkriće², neutron je teži od protona za oko 1,00893 — 1,00812 = 0,00081, što iznosi više od 40% viška preko mirne mase elektrona (0,00055). Neutron, dakle, izvesno nije prosta kombinacija protona i elektrona. I doista, sada se odomacilo gledište kod velike većine fizičara da je neutron osnovni element sa veoma velikom energijom vezivanja u jezgru koja ne može biti u celosti električnog porekla. Ovo definitivno poriče opšte važenje elektromagnetske teorije o poreklu mase. Isto tako, uz pomoć sada eksperimentalno utvrđenih masa neutrona, protona i pozitrona, mi još ne možemo da vidimo, kako bismo mogli da izgradimo čak i proton prosto iz jednog neutrona i jednog pozitrona. Možda ćemo imati, dakle, da se zadovoljimo činjenicom da postoje bar četiri, a možda i više, podjednako osnovnih delića — u najmanju ruku to su, neutron, proton i dva elektrona (+ i —), pri čemu reč „elektron“ znači samo, kao što je isprva i ponajispravnije upotrebljavana, jedinično naelektrisanje.

U svakom slučaju, s obzirom na teškoće koje se vide iz prethodnog izlaganja, nije više uobičajeno, a stvarno nije

¹ Bethe, Phys. Rev. LIII (1938), 313.

² Chadwick and Goldhaber, Proc. Roy. Soc. CLI (1935), 479.

ni moguće, kod fizičara da se govori kao da jezgro sadrži izvestan broj slobodnih negativnih elektrona jednak razlici između atomske težine i atomskog broja, već fizičari pre smatraju da ta razlika predstavlja višak neutrona nad protonima u njegovoj konstituciji. Zatim, da bi se povelu računa o posmatranoj činjenici što postoji često emitovanje beta zrakova ili negatrona iz jezgra, a u nekim drugim slučajevima i pozitrona, pretpostavljeno je, da kada se desi takva emisija beta zraka, nju prati pretvaranje jednog nuklearnog neutrona u proton, čime se u najmanju ruku održava ukupno naelektrisanje; u slučaju kad iz jezgra biva emitovan pozitron, smatra se da je taj proces praćen obratnim pretvaranjem jednog nuklearnog protona u neutron, pri čemu se uzima da *promena u nuklearnoj masi, ili energija vezivanja daje energiju za emitovano zračenje*, pa bilo da je to zračenje tipa elektronskog ili gama-zračenja, i to na način koji je sličan donekle onome pri kome promene u elektronskim konfiguracijama spoljašnje ljuske atoma daju energiju za emitovane kvante.

U svim ovim promenama stara ideja o konzervaciji mase kao neke bitnosti nezavisne, na primer, od zračne energije, bila je poodavno napuštena; međutim *princip o održanju energije* bio je zadržan i proširen nalaženjem, uz pomoć Einstein ove jednačine $E = mc^2$, jednog *konstantnog* faktora za preračunavanje između mase, m , i energije, E , uključujući prema tome masu u princip o koncentraciji energije.

Princip o konzervaciji naelektrisanja od kojih elektron + ili — postoji stalno i svuda, ukoliko mi to danas znamo, kao poslednja, osnovna jedinica koja se stalno pojavljuje u tačnim umnošcima od same sebe u svim jezgrima i svuda, održan je takođe u važnosti.

GLAVA XVI

OSLOBADANJE I ISKORIŠĆAVANJE NUKLEARNE ENERGIJE

I. FRAKCIJE SKLAPANJA

Danas su nam potpuno tačno poznate težine (direktno merene) gotovo svih atoma i njihovih izotopa na osnovu ispitivanja, koja je sa velikom veštinom i preciznošću prvi vršio Aston¹ pomoću masenog spektrografa, a kasnije Benbridž² (Bainbridge), Dempster³, Matauh⁴ (Mattauch), i drugi^{5,6}. Pošto su one sve približno tačni umnošci vodonika kao osnovne jedinice prema tabeli atomskih težina, to nema više nikakve sumnje da je vodonik osnovna (primarna) jedinica od koje su sagrađena sva 92 elementa našeg fizičkog sveta. Prema definiciji, izotopi jednog datog elementa razlikuje se po masenom broju A a ne po broju naboja Z , i zato se *ne razlikuju po hemiskim osobinama*.

Aston, koji je među prvima radio na ovom polju, prvi je dao podatke o gore pomenutim ispitivanjima u obliku tzv. „krive frakcije sklapanja“, koja je prikazana na sl. 79. Na njoj apscise predstavljaju jednostavno povećavanje atomskih težina od 1 do 240, a svaka ordinata — izmerenu atomsku masu datog elementa podeljenu sa brojem vodoni-

¹ Aston, *Roy. Soc. Proc.*, CLXIII (1937), 391.

² Bainbridge, *Franklin Inst. Jour.*, CCXV (1933), 509.

³ Dempster, *Phys. Rev.*, LIII (1938), 74 i 869.

⁴ Mattauch-Flügge, *Kernphysikalische Tabellen* (Berlin: Springer, 1942), takođe Hahn, Flügge i Mattauch, *Phys. Zeit.*, XLI (1940), 1.

⁵ Pollard, *Phys. Rev.*, LXII (1940), 1186.

⁶ Barkas, *Phys. Rev.*, LV (1938), 691.

osloboditi energiju; i to, prvo, moguće je *izgrađivanje, odnosno sinteza*, kojeg bilo elementa, iz vodonika kao osnovnog elementa, za koji se i danas smatra da sačinjava 90 procenata vasiona, jer se slobodan vodonik javlja na levoj strani krive na mnogo višem nivou mase u slobodnom stanju, nego kada je zbijen u ma kome od drugih elemenata. Osim toga Harkins i Vilson¹ su već 1915 godine ukazali na to da je gubitak mase, odnosno „frakcija sklapanja“, za svaki vodonikov atom bitno konstantan „za sve čiste atomske vrste, tj, za postojane atome koji su jako rasprostranjeni, a koji se približno pokoravaju zakonu celih brojeva“. Videće se kasnije da ova osobina ima izvestan kosmički značaj.

Zatim, drugo, kriva isto tako pokazuje u svom krajnjem desnom uglu da su mase vodonika, koje ulaze u sastav vrlo teških elemenata, veće nego mase vodonikovih atoma koje su sastavni delovi običnih elemenata, koji se nalaze duž ili na donjem delu krive. Iz toga razloga, kakva bilo *dezintegracija* ovih najtežih atoma, kao što su uranijum i torijum, u stabilnije atome, koji se nalaze na donjem delu krive, mora da bude praćena oslobađanjem atomske energije, premda u mnogo manjoj količini kada se obračuna na svaki pojedini vodonikov atom, nego što je u slučaju sinteze, o kojoj je napred bilo govora. *Dakle, sinteza, a ne dezintegracija, predstavlja ogroman izvor atomske energije; tačan mehanizam njenog oslobađanja biće sada prikazan u slučaju sinteze helijuma.*

Postoji izvesna vrsta reakcija koje se dešavaju na Suncu i zvezdama; čiji je krajnji rezultat od ogromnog kosmičkog značaja, naime, izgrađivanje helijuma iz vodonika. Energetska vrednost ove reakcije biće sada izračunata sa nešto više tačnosti nego što je to bilo u gore navedenom slučaju hipotetičnog izgrađivanja kiseonika iz vodonika; jer samo je približno tačno, kad se kaže da se atom helijuma stvara sjedinjavanjem četiri atoma vodonika. Tačnije rečeno, njegovo jezgro je ustvari sjedinjenje dva protona i dva ne-

¹ Vidi *Phil. Mag.* XLII (1921), 309 n., i XXX (1915), 723—734.

utrona. Masa protona p je, naravno, masa neutralnog vodonikovog atoma (1,001812) manje masa njegovog valentnog elektrona (0,00055), tako da je masa slobodnog protona jednaka ovoj razlici, ili $p = 1,00757$ a.m.j. Odatle, masa ova dva protona i dva neutrona iznosi:

$$2 \times 1,00757 + 2 \times 1,000893 = 4,0330 \text{ a.m.j.}$$

Međutim, da bi se izgradio potpuno neutralan He^4 atom, moraju se ovde dodati i mase dva helijumova periferna elektrona, tj. $2 \times 0,00055 = 0,00110$ a.m.j. Celokupna masa *neutralnog* He atoma, kad se zamišlja samo kao zbir njegova dva izolovana protona, dva izolovana neutrona i dva izolovana elektrona, tada iznosi $\text{He}^4 = 4,03300 + 0,0011 = 4,0341$ a.m.j. Međutim, masa neutralnog He atoma, *kad se direktno meri pomoću masenog spektrografa*, iznosi 4,0039 a.m.j. Iz ovoga je jasno da prilikom izgrađivanja neutralnog helijumovog atoma iz njegovih sastavnih delova nastaje gubitak mase pa, prema tome, oslobađa se i energija frakcije sklapanja, čija količina iznosi:

$$\Delta M = 4,0341 - 4,0039 = 0,0302 \text{ a.m.j.}$$

Pošto je 1 a.m.j. = 932 Mev, pri ovoj reakciji izgrađivanja ${}^4_2\text{He}$ iz ${}^1_1\text{H}$ oslobađa se $0,03 \times 932 = 28$ Mev.

Očigledno, ova vrednost je merilo *energije vezivanja helijumovog jezgra*. Ona je skoro triputa veća od kinetičke energije najbrže čestice α -zraka radijuma i pokazuje zašto su te čestice daleko stabilnije i ne mogu da se rasparčaju pri sudarima koje trpe prodirući kroz materiju. Ova velika energija vezivanja helijumovog atoma takođe delimično objašnjava ogromnu rasprostranjenost helijuma u vasioni, jer priroda uvek teži da dođe u stanje veće stabilnosti. Bouenova spektroskopska merenja pokazuju da je helijum u međuzvezdanom prostoru deset puta rasprostranjeniji od ma koga drugog elementa sem vodonika, za koji on smatra da je u međuzvezdanom prostoru deset puta rasprostranjeniji čak i od helijuma, dok Rasel procenjuje da vodonik i sada sačinjava

90 procenata čitave vasionne, a Bete smatra da su 80 procenata atoma na suncu vodonikovi atomi. Razlog zašto helijum *nije mnogo obilan* na zemlji jeste taj, što on nije sposoban da se hemiski jedini, pa ga to sprečava da se održi u *vezanom stanju*, kao što je slučaj sa vodonikom; međutim lakoća i sićušnost helijumovog atoma daju mu mogućnost da umakne iz zemljine atmosfere pod uticajem sopstvene energije termičkog kretanja i ta mogućnost je veća nego kod ma koga drugog gasnog atoma ili molekula, izuzev slobodnog, nesjedinjenog vodonika.

Ako bacimo pogled na krivu frakcije sklapanja, ona pokazuje da se svi najstabilniji i najrasprostranjeniji elementi, sem vodonika i helijuma, nalaze blizu nulte linije krive ili ispod nje. Donji deo ove krive je položaj odakle se atomi uopšte ne mogu pretvoriti u druge atome uz oslobađanje ma kakve energije frakcije sklapanja. Drugim rečima, *ne postoji atomska energija kojom bi se slobodno moglo da raspolaze ovde na zemlji, ili, prema opšte prihvaćenom mišljenju koje je dao Bete (vidi dole), takve energije nema čak ni na Suncu ni na zvezdama, izuzev energije frakcije sklapanja.* Ovo ograničava sadašnje i buduće snabdevanje energijom iz atomskih izvora, koje čak i neki naučnici iz oblasti nuklearne fizike još ne uviđaju. Ja ću u poslednjoj glavi detaljnije obrazložiti ovo shvatanje, ali ovde ću izneti suštinu tog obrazloženja.

Pre 1905 god. nije bilo nikakve zadovoljavajuće teorije o tome na koji način je Sunce u stanju da rasipa svetlost i zračnu toplotu u toku ogromnog perioda vremena, koji je po mišljenju geologa potreban da bi se objasnilo da život na zemlji postoji bar 500 miliona godina, kao i za još mnoge milione godina koje, izgleda, da su iziskivale posmatrane geološke promene, sedimentacija, i tome slično. Tako su geolozi i astronomi odbacili kao potpuno nedovoljnu vremensku skalu, koju zahteva Kelvinov proračun zasnovan na zakonu jednostavne brzine hlađenja nekog tela koje ima veličinu i sastav kao što je Sunce. Forest Rej Moulton (Forest Ray Moulton) došao je u moju kancelariju u Čikagu,

1904 god., sa proračunima koji pokazuju da, kad bi sunce bilo od čistog uranijuma, ono ne bi moglo da odaje toplotu posmatranom brzinom i da traje toliko, koliko bi to bilo potrebno da se objasni (onda procenjena) vrednost dužine života zemlje, a za koju se sada zna, prema radioaktivnim merenjima, da iznosi bar $2\frac{1}{2}$ milijarde godina, a verovatno i mnogo više,

Sve ove teškoće su nastale 1905 god. sa pojavom Ajnštajnovne jednačine, koja je pokazala, u svakom slučaju, da Sunce ne samo da bi moglo, nego je i moralo da zrači svoju masu i da veličina faktora c^2 u jednačini $E=mc^2$ pokazuje da nije ni izdaleka bilo potrebno da se iskorišćuje celokupna sunčeva masa, da bi se objasnila i mnogo veća dužina života sunca nego što to iziskuju radioaktivni ili drugi dokazi koji se odnose na starost zemlje.

Uskoro posle 1905 god. u mnogim fizičkim laboratorijama se diskutovalo o frakcijama sklapanja kao izvoru potrebne energije; jer, iako Astonova kriva nije bila data do početka dvadesetih godina, osnovne činjenice o „atomskoj energiji frakcije sklapanja“ uveliko su se diskutovale, pa su čak i kvantitativno bile izračunate za neke atome mnogo pre tog datuma, kao u napred pomenutom slučaju za kiseonik. Frakcije sklapanja su zaista sasvim pažljivo izračunali i objavili u gore navedenom članku Harkins i Vilson 1915 god. Isto tako, u ovom početnom periodu Edington¹ ili Džins (Jeans) prihvatili su suparničku ideju o održavanju toplote zvezda, ne usled oslobađanja ove energije frakcije sklapanja, koja ulazi u izgrađivanje težih atoma iz vodonika, *nego usled potpune anihilacije atoma u zvezdama* i pojavljivanja ekvivalentne toplote, kao što prikazuje Ajnštajnova jednačina $E=mc^2$, u kojoj m sada pretstavlja celokupnu masu koja uzima učešća u energiji transformacije, a ne samo jedan njen mali deo. Sledeći navod iz nedavnog Beteovog² predavanja

¹ Edington, *Nature*, XCIX (1917), 445, gde on pripisuje ideju Džinsu, Jeans (*Nature*, LXX [1904], 101).

² *Amer. Sci.*, XXX (1942), 243.

[Sigma Xi] pokazuje svega nekoliko godina kasnije sa kolikim je uticajem ovo poslednje gledište zastupao Edington. Bete kaže:

Sunce neprekidno oslobađa ogromne količine zračenja u prostor. Svake sekunde energija emitovanog zračenja dostiže vrednost od 4×10^{33} erga (= 111 milijardi milijarda kilovat časova). Pri ceni od 1 centa po kilovat času, trebalo bi da plaćamo milijardu dolara da bi održali sunčev rad jednu jedinu sekundu. Zemaljski izvori energije su sasvim ništavni u poređenju sa ovim ogromnim količinama. Čak kad bismo pretpostavili (što znamo da je pogrešno) da se Sunce sastoji samo iz uglja pomešanog sa potrebnom količinom kiseonika, sagorevanje tog celokupnog materijala bilo bi dovoljno za proizvodnju sunčeve energije samo u toku od 2500 godina, što iznosi manje od pisane istorije čovečanstva. Teorija kojoj se najviše verovalo 1920-tih godina bila je Edingtonova hipoteza da se energija proizvodi uzajamnom anihilacijom protona i elektrona, pri čemu se masena energija, mc^2 , ovih čestica pretvara u zračenje. Takav proces sigurno bi dao dovoljno energije; ustvari, on daje veću energiju pa, prema tome, duži život nego ijedan drugi proces koji se može zamisliti.

Stvarno, delimično zbog gore pomenute teorije, koja se smatrala tačnom 1928 god., Kameron i ja smo onda pogrešno tumačili naša posmatranja kosmičkih zrakova, oslanjajući se na teoriju energije frakcije sklapanja. Eksperimentalno smo dokazali da nam kosmički zraci ne dolaze od Sunca ili zvezda, a sigurno ne sa zemlje, te, prema tome, moraju imati poreklo koje se razlikuje od porekla toplote sa površine zvezda. Mi smo isto tako dokazali da je takozvana Klajn-Nišinina formula, koja je tada bila opšte priznata kao tačna za takva izračunavanja, postavljala našu glavnu posmatranu apsorpcionu traku kosmičkih zrakova vrlo blizu onom mestu gde bi trebala da padne kad bi poticala od izgrađivanja helijumovih atoma iz vodonikovih atoma. Drugim rečima, *ako površinska toplota zvezda potiče od potpune transformacije atoma u toplotu zračenja*, kao što je Edington tada tvrdio, *tada se kosmički zraci ne bi mogli tako tumačiti, pošto su naši eksperimenti pokazali da ovi zraci ne dolaze od sunca ili zvezda*. Mi smo, prema tome, tumačili da su kosmički zraci posledica jedinog mogućnog

preostalog izvora atomske energije, naime, energije frakcije sklapanja, koja se oslobađa pri izgrađivanju helijuma i drugih atoma iz vodonikovih atoma *pri uslovima koji postoje u međuzvezdanom prostoru*.

Teškoća sa ovom hipotezom bila je u tome što Klajn-Nišinina formula, koju smo mi svi upotrebljavali — Džins, Openhajmer, Miliken, Regener i drugi — nije bila primenljiva u oblasti energija kosmičkih zrakova. Karl Anderson i ja prvi smo dokazali njenu netačnost 1931 god. — i prvi put bez upotrebe neke apsorpcione formule, kao što je Klajn-Nišinina — direktnim merenjem energije naših kosmičkih zrakova; jer mi smo merili direktno u vertikalnoj Vilsonovoj komori putanje kosmičkih zrakova, koji su imali više od pet puta veću energiju nego što je mogu imati ma koje zamišljene frakcije sklapanja kao njihov izvor (vidi sl. 79). Ali čini nam se da mi sada imamo dobar dokaz, kao što će biti dokazano u jednoj od sledećih glava, da proces *potpune transformacije mase atoma negde spolja u međuzvezdanom prostoru* u par zrakova sastavljenih od čestica sa nabojem jeste izvor bar ogromne većine kosmičkih zrakova. Ovo znači, ja mislim, pošto mi uopšte ne dobivamo kosmičke zrake od Sunca ili zvezda, da sada ne postoji druga alternativa, nego da potpuno promenimo moju prvobitnu pretpostavku, i da postuliramo umesto toga, da je *jedini uzrok sunčeve zračne toplote energija frakcije sklapanja*, a ne potpuna anihilacija atomske mase, koja nam je potrebna kao izvor kosmičkih zrakova pod ekstremnim uslovima koji postoje u međuzvezdanom prostoru, pri kojima se molekuli slobodno kreću i ne sudaraju.

Ali ovaj poslednji zaključak, do koga se došlo sa sasvim druge tačke gledišta, tj. da *jedino energija frakcije sklapanja snabdeva sunčeva žarišta*, upravo i jeste ono što Bete sada tako energično zastupa, ne samo s obzirom na sunčeva površinska zračenja, nego i s obzirom na bitne nuklearne transformacije, koje se dešavaju u sunčevom jezgru. Njegova pronicljiva analiza objašnjava toliko mnogo poznatih kosmičkih fenomena, i ja mislim da su njegova shvatanja

sada potpuno prihvaćena. Ukratko rečeno, iako se čitava serija lanaca nuklearnih reakcija u kojima učestvuje ugljenikovo jezgro, a i azotovo i kiseonikovo jezgro dešavaju u sunčevoj unutrašnjosti, gde je temperatura 35,000.000°F, Bete zaključuje da je krajnji rezultat svih ovih reakcija jednostavno da se *helijum neprekidno stvara na račun rezervi vodonika u suncu*. Prema Bete-ovoj analizi, ugljenik i drugi gore pomenuti atomi ne troše se u ovim reakcijama nego deluju samo kao katalizatori da bi se one održavale.

Prema Beteovoj analizi, dakle, *sunčeva temperatura i emitovana toplota održavaju se jedino koristeći energiju frakcije sklapanja ove reakcije*, koju smo malopre izložili i koja daje $M = 0,03$ a. m. j., odnosno 28 Mev energije za svaki atom helijuma koji se na Suncu izgradi iz četiri atoma vodonika.

Pred sobom imamo, dakle, ogromni neiscrpljivi izvor atomske energije, naime, izgrađivanje, odnosno sintezu helijuma iz osnovnog elementa vodonika, od koga je vasiona i danas uglavnom sastavljena. Čak da se i drugi elementi slično izgrađuju, kao što su morali nekada i negde da budu izgrađeni, s obzirom na Harkinsovo i Vilsonovo pravilo, da je oslobađanje energije frakcije sklapanja na svaki utrošeni atom vodonika bitno konstantna vrednost, bilo bi potrebno samo da znamo brzinu sa kojom vodonik iščezava, pa da možemo predvideti brzinu razvijanja toplote, a odatle i dužinu života ma koje zvezde.

II. RADIOAKTIVNOST I CEPANJE ATOMSKOG JEZGRA

Razlog zašto mi fizičari smatramo da moderna fizika počinje od otkrića X-zraka, koje je pronašao Rendgen decembra 1895 god., leži u tome, što su, odmah posle ovog otkrića i potstaknuti njime, usledili: otkriće radioaktivnosti od strane Bekerele, u Parizu 1896 god.; nepobitni dokaz što ga je dao, na opšte zadovoljstvo fizičara, Tomson u Engleskoj, 1897 god., da je elektron bitan sastojak svih atoma u svemiru; i otkriće „kvanta“ od strane Planka, u Berlinu 1900 god.

Od ova tri otkrića elektron je najkorisniji za čovečanstvo, jer retko da postoji neka industrija koja ga ne upotrebljava, a on je stvorio i mnoge nove industrije. Radioaktivnost je najsenzacionalnije od sva tri otkrića, i najviše je iznenadilo ljudsku misao i najviše zbunilo ljudsku maštu, jer je pojava radioaktivnosti uništila ideju o nepromenljivosti elemenata i pokazala da bi se još mogli obistinili čak i snovi alhemičara.

Od ova tri otkrića, Plankovo otkriće kvanta imalo je najveći uticaj na osnove fizike. Ono nije bilo revolucionarno u tom smislu što bi brisalo prošlost. Stari zakoni su se još poštovali na polju gde su eksperimentalno bili ispitani. Razlog zašto ovo otkriće nije bilo učinjeno ranije jeste u tome, što je čovek sada ovde zalazio u bezmalo potpuno neispitanu oblast samog postojanja onoga, o čemu je do tada jedva i sanjao, naime, oblast subatomske ili mikroskopske razmene energije ili impulsa, za razliku od običnih ili makroskopskih takvih razmena. Praktično, sav naš život se još dešava u mikroskopskom svetu običnih fenomena u velikim razmerama, kod kojih su promene energije kontinualni procesi, pretstavljeni diferencijalnim jednačinama, kojima upravljaju utvrđeni Galilej—Njutnovi zakoni mehanike. Otkrićem kvanta čovek je prvi put ušao u novi atomski, ili makroskopski svet u kome više ne vladaju kontinualne promene sa njihovim zakonima, nego gde, umesto toga, sve promene energije predstavljaju nagle diskontinualne skokove energije, koje mi nazivamo „kvanta“, definisane proizvodom $h\nu$, gde je h univerzalna konstanta, nazvana „Plankova konstanta“, a ν frekvencija vibracije.

O elektronima i kvantima bilo je reči u ranijim glavama; ali moja sopstvena prva istraživanja bila su na polju radioaktivnosti, koja sam započeo 1900 god., skupljajući iz celog sveta i ispitujući uranijumove rude, tražeći vezu između njihove radioaktivnosti i njihovog sadržaja u uranijumu — istraživanje koje je Boltvud, sa Jelskog univerziteta, izvršio bolje i opsežnije nego ja. Rezultati su ukratko bili objavljeni na svetskom naučnom kongresu održanom u Sent-Luisu,

1904 god. Na taj način, ja sam prvi put uvideo da su uranijumove rude retke.

Rekao sam da je radioaktivnost bila revolucionarno otkriće za čovekovu misao, jer je ono značilo da su čak i neki od „većitih atoma“, naime, atomi uranijuma i torijuma nestabilni, pa spontano, sa ogromnom energijom, odbacuju sopstvene deliće, i tako se pretvaraju u druge atome, znatnim delom u helijum, pokazujući opštu tendenciju materije da pređe u stanje maksimalne stabilnosti — stanje koje su na zemlji već praktično dostigli svi atomi izuzev nekoliko vrlo retkih i vrlo teških elemenata.

Brzina sa kojom, na primer, helijumovi atomi, u težnji da pređu u stanje maksimalne stabilnosti, izleću iz određene količine radijuma može lako da se izbroji u ma kojoj laboratoriji. Zaista, u tzv. „spintariskopu“, aparatu koji možemo sada naći u svakoj srednjoj školi, svako može da vidi i izbroji svetlucanja — scintilacije, koje se javljaju na fluorescentnom zastoru, dok naelektrisani helijumovi atomi neprekidno udaraju na zastor, i to svaki sa energijom od nekih dva miliona elektron-volta. Za mene je još uvek uzbudljiv prizor biti očevidac neprekidnog žestokog bombardovanja i tih svetlucajućih sudara. Ovim načinom, na primer, utvrđeno je da poluvreme raspadanja radijuma (vreme koje je potrebno da bi on izgubio polovinu svoje aktivnosti) iznosi 1600 godina; poluvreme raspadanja običnog uranijuma (atomska masa 238) iznosi 4,5 milijarde godina. Ovo znači, da je pre više milijardi godina neki komad uranijuma, najtežeg od svih poznatih elemenata na zemlji, a koji se na zemlji nalazi u nestabilnom stanju, bio negde, na neki način — možda usleđ džinovskih pritisaka i temperatura koji su postojali na nekoj zvezdi — izrađen ili direktno iz helijumovih atoma ili iz vodonika kao osnovnog elementa koji je zaista osnovna jedinica za izgradnju svih devedeset i dva elementa koji se nalaze na zemlji.

Možemo, naravno, iskoristiti kinetičke energije ovih vrlo brzih jezgra helijuma (α -čestica), koja neprekidno izleću iz uranijuma i torijuma i njihovih radioaktivnih potomaka.

Ovo je bilo konstatovano pre 1905 god. ; onda su bili stvarno napravljeni takozvani „radijumski časovnici“, pa je i ova atomska energija, na taj način, bila puštena u rad, ali sa tako malim snagama da time nije tada poremetila industriju proizvođenja snage ni za malo više nego što će, meni se čini, sadašnje iskorišćenje atomske energije to da učini.

U vezi s tim, kada je ideja o energijama frakcije sklapanja prvi put bila razrađena pre trideset i pet godina, neki oduševljeni naučnici, potstaknuti Žilvernovskom fantazijom, požurili su se i objavili izveštaj da se u šolji morske vode nalazi dovoljno atomske energije da bi i najveća lađa mogla, koristeći nju, da pređe preko Atlantskog Okeana. Oni su mogli da ispričaju i mnogo veću priču od ove, naime, da *kad bi* bilo moguće da se vodonik svih okeana odjednom sjedini u helijum ili, recimo, u ma koji od običnih elemenata, onda bi verovatno mogli da izazovemo eksploziju cele zemlje, pretvarajući je u maglinu (nebulozu), oslobađanjem energije frakcije sklapanja.

Teškoća je u tome, ukoliko mi sada vidimo, što je ovaj specijalan posao sa frakcijama sklapanja delo koje je Veliki Arhitekta namenio ogromnim pritiscima i temperaturnama, kakvi postoje u unutrašnjosti zvezda, a ne slabom čoveku ili čak i hladnoj majci Zemlji, jer su za ova dela potrebne daleko veće količine toplote nego što su one kojima raspolaže Zemlja. Ova činjenica je toliko poznata da ja, za poslednjih trideset i pet godina, nisam čuo da se ijedan naučnik, pa čak i novinar, nije uplašio verovatnoće da čovek izazove ovu eksploziju.

Ali, kao što je gore navedeno, pri raspadanju nekih teških nestabilnih atoma, koji se nalaze na desnom kraju krive na sl. 79, u lakše i stabilnije atome, može takođe da se oslobodi energija frakcije sklapanja u mnogo manjim količinama na svaku jedinicu H, pa se to stalno i dešava pri radioaktivnosti radijuma i torijuma — ali samo sa brzinom koja je vrlo neznatna ukoliko se tiče praktičnih primena toplotne energije. Sem toga, jedna od najneobičnijih karakterističnih osobina radioaktivnosti, kao što je to prvobitno

utvrđeno, sastojala se u tome, što se radioaktivno raspadanje vrši konstantnom brzinom koja je izvan mogućnosti čovekove kontrole. Ova brzina radioaktivnog raspada ne menja se osetno ni pod uticajem temperature ni pritiska.

Međutim, *otkrićem neutrona i njegovih osobina bitno se promenila gornja slika*. Kada neutroni bombarduju ili prosto udaraju metalan uranijum, pošto oni uopšte nisu naelektrisani, njih na putu ne odbijaju od uranijumovih atoma ni skup negativnih elektrona, koji se okreću i koji čuvaju njegovu periferiju, niti jako pozitivno naelektrisano njegovo jezgro. Neutroni, prema tome, ne samo da imaju vrlo duge „srednje slobodne putanje“ dok prodiru kroz masu, nego mogu i vrlo lako da prodru i u strukturu samog jezgra. Svako ovakvo jezgro ima u sebi izvestan broj protona, koji je jednak njegovom atomskom broju Z (za $U = 92$), i izvestan broj neutrona, koji je jednak razlici između njegove atomske težine A i njegovog atomskog broja Z ($A - Z$ za U iznosi $238 - 92 = 146$); na osnovu eksperimenata pak, poluprečnik jezgra procenjen je kod malih atoma da iznosi 2×10^{-13} cm, a kod velikih atoma, kao što je U , izračunat je na osnovu empiričke jednačine $\rho = 2 \times 10^{-13} Z^{\frac{1}{3}}$ cm \cong za U 10^{-12} cm.¹ Ovo jezgro mora, naravno, u slučaju stabilnih atoma da bude održano na okupu dejstvom nekih vrsta privlačnih sila između neutrona i protona, koje su dovoljne da uravnoteže odbojne sile između samih protona.

Iz Dodatka I vidi se da svi najrasprostranjeniji i najstabilniji atomi — skoro svi se nalaze u prva tri reda periodnog sistema — imaju atomsku težinu približno dvaputa veću od njihovih atomskih brojeva, što znači da ova jezgra sadrže isti broj neutrona kao i protona, ukazujući na taj način da je ovo odnos najveće atomske stabilnosti; ali od

¹ Pošto je zapremina jezgra $\frac{4}{3}\pi\rho^3$, vidi se da su zapremine raznih jezgra proporcionalne broju protona Z koje oni sadrže, a ovo znači da se neutroni čvrsto priključe uz najbliži proton i vrše nezatratno ili nikakvo dejstvo na one protone koji su malo više udaljeni.

$Z = 50$ do $Z = 92$ potrebno je naglo povećanje viška neutrona da bi se sprečile odbojne sile prouzrokovane povećanjem pozitivnog naelektrisanja jezgra sa povećanjem atomskog broja Z ; jer električne sile između protona su kulonske sile, a ne sile kratkog dometa, kao što su one između protona i neutrona. Rezultat povećanih odbijanja između protona pri povećavanju Z je taj da su svi atomi sa atomskim brojem iznad 83 toliko nestabilni da postaju radioaktivni. Na taj način, ovi odnosi rasvetljavaju, i do izvesnog stepena objašnjavaju, radioaktivnost.

Međutim, pomisao da bi bilo moguće da se kontroliše i ubrza dezintegracija uranijuma teško da je ikome mogla da padne na pamet pre pronalaska neutrona, a ni pre nego što se uvidelo da bi ova čestica, zbog nedostatka naelektrisanja, trebalo da je sposobna da prodre sa relativnom lakoćom u jezgro atoma kao što je uranijum, i da, kada to postigne, povećava njegovu nestabilnost, pa tako veštački neobično jako potstiče brzinu oslobađanja njegove energije frakcije sklapanja. Međutim, na osnovu ove osobine neutrona, Oto Han i F. Štrasman (F. Strassman) u Nemačkoj objavili su u *Naturwissenschaften*, 6 januara 1939 god., svoje opažanje da se bombardovanjem uranijuma pomoću neutrona dobiva jedan barijumov izotop, a dr. Liza Majtner i njen nećak O. R. Friš (O. R. Frisch), dve izbeglice iz Nemačke, koje su otišle u Borov institut u Kopenhagenu, objavili su u časopisu *Nature*, od 11 i 18 februara, svoj „definitivni fizički dokaz da se uranijumovo jezgro razbija u delove približno podjednake veličine“ pod uticajem bombardovanja neutronima uz oslobađanje praktično celokupne njegove energije frakcije sklapanja. Ovo je bilo otkriće „cepanja jezgra uranijuma“, „fisijska“, koje su njegovi pronalazači tako nazvali u ovim napred pomenutim izveštajima. Atomski broj barijuma jeste 56, a za jedan njegov izotop se već znalo da se javlja kao jedan od fragmenata cepanja; kad bi drugi fragment cepanja bio kripton, sa atomskim brojem 36, zbir ova dva broja bio bi 92, atomski broj uranijuma. I barijum

i kripton nalaze se na najnižem delu, odnosno blizu najnižeg dela krive frakcije sklapanja.¹

Bor je upravo tada (januar, 1939) odlazio za Sjedinjene Države i pri dolasku tamo saopštio je Han-Majtner-Frišove rezultate i ideje američkim fizičarima Fermiju, Daningu i Pegramu na Kolumbija-univerzitetu, Vileru (Wheeler), na Princeton univerzitetu i nekim drugima. Fermi je dao sugestiju da bi bombardovani uranijumovi atomi mogli emitovati nove neutrone. Bilo je jasno da, ako se ostvari ova zamisao, onda postoji mogućnost „lančane reakcije“. Odmah su započeti eksperimenti u četiri američke laboratorije, da bi se potvrdila gornja ideja o cepanju uranijuma i lančanoj reakciji; i u časopisu *Physical Review*, u broju od 15 februara 1939, objavljen je pozitivan eksperimentalan dokaz poslat sa Kolumbija-univerziteta, Džon-Hopkins-instituta, Karnegijevog instituta iz Vašingtona, i Berkli-univerziteta; isto tako, Žolio, u Parizu, objavio je slične rezultate u *Comptes Rendus*, od 30 januara 1939, a pre isteka 1939 god. pojavilo se skoro stotinu članaka po ovom pitanju.

Jedno od najvažnijih opažanja o neutronima učinili su Amaldi, Fermi, Raseti² i drugi, koji su već 1935 god. našli da je aktivnost, koja je proizvedena bombardovanjem srebra i mnogih drugih elemenata brzim neutronima, uveliko povećana, kada se između srebra i izvora neutrona stavi parafin, voda ili druge supstance koje u svom sastavu sadrže mnogo vodonika. Autori su objasnili ove rezultate pretpostavljajući 1) da su neutroni bili *usporeni* sukcesivnim sudarima sa vodonikovim jezgrom i 2) da jezgra srebra i drugih supstancija lakše uhvate spore neutrone nego brze. Neutroni, koji se na taj način uspore do običnih molekula-

¹ Otkriće „cepanja uranijumovog jezgra“ — „nuklearne fisije“ izloženo je ovde veoma nepotpuno, naročito s obzirom na radove *I. Curie-Joliot i P. Savitch-a* (Paris 1937—38), koji su prethodili ovde pomenutom radu Hahn-a i Strassmann-a iz 1939. Objektivni i potpun prikaz ovog veoma značajnog otkrića dat je u studiji: L. Turner, *Rev. of Modern Physics* 12 1 (1940). — Prim. red.

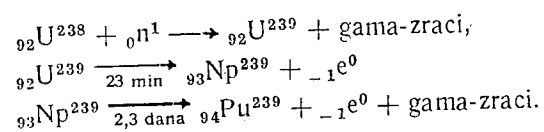
² *Roy. Soc. Proc.*, CXLIX (1935), 522.

larnih brzina usled sudara sa vodonikom ili drugim lakim atomima, nazivaju se „termičkim neutronima“. Na taj način, puštajući neutrone čak i od 5 Mev da prođu kroz sloj parafina od 10 cm, oni se mogu pretvoriti u termičke neutrone, čija se energija obično uzima da iznosi 0,025 elektron-volta na 15° C. Srednja slobodna putanja ili srednje otstojanje između elastičnih sudara u parafinu takvih termičkih neutrona iznosi oko 3 mm.

Vratimo se sada na ideju lančane reakcije koja je od bitne važnosti, ako treba da se izvrši eksplozivno cepanje uranijumovih atoma kroz veliku masu uranijuma. Jedini uranijumov izotop koji se može cepati pomoću sporih (termičkih) neutrona jeste izotop 235, a on predstavlja samo jedan 140-ti deo uranijumovih atoma. Ako su dva fragmenta, na koje se uranijumov atom 235 cepa ulaskom neutrona, izotopi barijuma i kriptona, kao što je gore zamišljeno, pošto najteži izotop barijuma ima atomsku masu 138 a najteži izotop kriptona ima atomsku masu 86, onda se mogu objasniti samo $138 + 86 = 224$ od 235 a.m.j. i, prema tome, sem pretpostavljenih fragmenata barijuma i kriptona postoji mogućnost da neki neutroni budu izbačeni pri procesu cepanja. Ovi novi neutroni na svom putu prodiru u susedne uranijumove atome i cepaju ih, tako da se slobodni neutroni vrlo brzo umnožavaju u masi. Rezultat ovoga je gore pomenuta lančana reakcija, pri kojoj se u neverovatno kratkom vremenu vrši cepanje ogromnog broja uranijumovih atoma 235, što prouzrokuje džinovsku eksploziju, koja ipak zavisi od odvajanja 235 od ostalih izotopa — vrlo težak i vrlo skup proces, a koji je ipak uspešno izveden. Ovo sve znači da čovek danas raspolaže, *kad god se ne mora uzeti u obzir cena*, jednim eksplozivnim sredstvom, naime U-235, koji je, za istu težinu oko 1,000.000 puta moćniji od TNT (trotila). Ovo je jedna vrsta uranijumove atomske bombe.

Postoji drugi način cepanja jezgra, pri kome se dobiva takozvana „plutonijumska bomba“, a koji počiva na sledećem: uranijumov izotop 238, koji predstavlja 98% od svih uranijumovih atoma, ne može se direktno cepati pomoću

sporih neutrona; ali on je u stanju da primi i dá sebi pri-sajedini neutron veće brzine, i, čineći to, on najpre postaje U-239. Međutim, ova supstanca poseduje aktivnost beta-zračenja i ima poluvreme raspadanja 23 minuta. Emisijom beta zrakova U-239 povećava svoje pozitivno naelektrisanje za jedan, i tako nastaje novi transuranski element sa atomskim brojem 93. Ovome je dato ime „neptunijum“. Ovaj atom neptunijuma isto tako pokazuje negatronska radioaktivnost, sa poluvremenom raspadanja 2,3 dana. Emisijom drugog beta-zraka on sa svoje strane menja svoje nuklearno naelektrisanje na $Z = 94$; i za ovaj drugi transuranski element, nazvan plutonijum, nađeno je da je sposoban da pre-trpi nuklearno cepanje, pod dejstvom sporih neutrona i zato može da se ponaša sasvim kao U-235. Reakcije koje se odigravaju u prethodnim promenama jesu sledeće:



Proces pripremanja plutonijumske bombe obuhvata, prvo, bombardovanje čistog metalnog uranijuma neutronima, proizvodeći tako atome plutonijuma u samoj masi uranijuma. Ti atomi sačinjavaju novi element koji se može cepati, a koji se zatim može odvojiti i hemiskim i fizičkim (magnetskim) sredstvima. Ovaj novi element, *posle tako teškog i skupog odvajanja*, može da se upotrebi tako, da se u njemu izazove lančana reakcija usled bombardovanja sa neutronima isto onako kao u slučaju U-235, koji je gore prikazan.

МІЛЕНКО БОСНИЋ

Izvor neutrona sa kojim se vrši bombardovanje običnog uranijuma, da bi se neki od njegovih atoma pretvorili u plutonijum, dobiven je u prvobitnom eksperimentalnom radu pomoću mlaza protona (ubrzanih u ciklotronu), koji su udarali o berilijum kao o metu i izbacivali neutrone putem reakcije slične onoj koju je pretpostavio Čadvik. U drugim slučajevima U-238 je bio bombardovan deuteronomima,

dajući na taj način ${}_{93}\text{Np}^{238}$, koji se raspada, kao što je gore pokazano, u ${}_{94}\text{Pu}^{238}$ emisijom beta-zrakova. Postoji izvestan broj drugih reakcija koje daju neutrone, pa bi se i one mogle upotrebiti kao izvor neutrona za bombardovanje, ali u bombi lančana reakcija sama može da proizvede svoje sopstvene početne neutrone, čim masa dostigne vrednost superkritične mase. Međutim, problem izdvajanja plutonijuma iz U-238 posle takvog bombardovanja je vrlo težak i skup, isto kao što je i problem odvajanja U-235 od U-238, prilikom proizvodnje bombe sa U-235.

Međutim, bilo da se atomska energija želi upotrebiti za spravljanje bombe ili samo za dobivanje korisnog rada ma koje vrste, jasno je da glavna svrha nije samo lančana reakcija nego potpuna kontrola takve reakcije, tako da je moguće da se oslobodi energija frakcije sklapanja samo u željenom momentu, ili, u slučaju dobivanja korisnog rada, da energija može da se uključi i isključi po volji. Ovi problemi nisu takve vrste da se mogu raspravljati u ovakvoj knjizi, u kojoj se razmatraju u prvom redu samo neki od osnovnih principa moderne fizike, pre nego njihova primena u industriji. Fizičari, hemičari, i inženjeri koji su otišli dovoljno daleko u rešavanju ovih problema u proizvodnji bombi koje su uništile dve japanske varoši, rešili su nekoliko neizmerno teških tehničkih problema, a njihov uspeh postavio je pred čovečanstvo najznačajnije odluke na koje je ljudski rod do sada naišao. U sledećem poglavlju sasvim se ukratko raspravlja o njima.

III. KONTROLA ATOMSKE BOMBE

Dobri ljudi su vekovima tražili, do sada uzalud, da pronađu metode kojima bi se sprečio agresivan rat. Ali, čak i pre pojave atomske bombe, povećano razorno dejstvo rata, zbog ogromnog razvitka u oblasti naoružanja, komunikacija i transporta, doprinelo je da je svim obazrivi ljudima postalo sasvim jasno da bi se morao postići ovaj cilj, ako bi se želelo da čovečanstvo bude sačuvano od samouništenja. Bilo je vreme kada je rat možda mogao da služi korisnoj

svrsi u razvitku ljudskog roda, ali sa pojavom modernog totalnog i globalnog rata svaki čovek sa zdravim razumom zna da je to vreme prošlo. Rat sada ne koristi nikome, ni pobedniku ni poraženom; i čim ovo postane jasno ogromnoj većini čovečanstva, svako ljudsko biće koje u sebi ima malo razuma ili inteligencije, ili čak ikakav instinkt za samoodržavanje, mora da nađe i naći će načina da sebe sačuva od uništenja.

Alfred Nobel, veliki pacifista, bio je ubeđen da je njegov izum nitroglicerina više učinio da se spreči rat nego što su sve propovedi i konferencije mira ikad učinile ili mogle da učine; ogromna većina inteligentnih ljudi, posle iskustva iz dva svetska rata za poslednjih trideset godina, odlučili su, čak i pre pojave atomske bombe, da se pridruže redovima onih koji su rešili da spreče, ako je moguće, ratove među nacijama. *Velika usluga koju je pojava atomske bombe pružila čovečanstvu jeste u tome što ona sa kristalnom jasnošću ukazuje ljudima svih klasa i staleža u celom svetu na potrebu za takvom akcijom.* Po mom ličnom mišljenju, nijedna druga usluga koju proučavanje atomske energije može da pruži čovečanstvu po svojoj prilici ne može ni na koji način da se uporedi sa ovom uslugom; a sve ostale usluge mogle bi se lako odbaciti, kada bi ova jedna uspela. Ja ću malo dalje raspravljati o ograničenjima u pogledu vrsta drugih usluga koje ona može da pruži, ali nije naročito važno da li ja jesam ili nisam u pravu u toj analizi. Potreba koju atomska bomba nameće celom čovečanstvu, da ono nađe zamenu za rat u njegovim internacionalnim odnosima, takva je, da će ona, sama po sebi, bez obzira na dalje izume ma koje vrste, izgraditi jedan *novi svet*; a njen uticaj u stvaranju novog sveta verovatno će biti veći nego svi drugi uticaji zajedno udruženi. Izvesno je da bez toga neće biti nekog dostojnog novog sveta. Ja očekujem da će uticaj u industriskoj primeni biti sasvim zamearljivo mali u poređenju sa ovom najvišom uslugom.

Gore pomenuta ograničenja nameću se usled prirode atoma i energije frakcije sklapanja, kao što je prikazano na

sl. 79. Zbog rasprostranjenosti vodonika u vasioni, postoji *praktički neograničena rezerva atomske energije, koja bi poticala od procesa izgrađivanja atoma*, ali koji se, prema našem znanju, odigravaju samo na suncu i zvezdama, a po svojoj prilici zauvek su nedostižni na Zemlji ili na ma kom hladnom telu. Međutim, ova upotreba atomske energije nije ništa novo. Stvarno, ona je bila praktično *jedini izvor celokupne energije koju je Zemlja primala i koju je čovek imao na raspoloženju u prošlosti.* Zahvaljujući njoj postoji sav život na Zemlji i svaka organizovana aktivnost kojom se Zemlja razlikuje od izgorelih ugaraka sunčevog žara, kao što su Mesec i izvesne planete. U toku milijardi godina Sunce izliva na nas ovu vrstu atomske energije frakcije sklapanja brzinom od 186.000 milja na sekundu, a praktički u neograničenim količinama. I kroz sve vekove, otkad se život ovde pojavio, majka Zemlja stvara iz te energije zalihe za čovekovu upotrebu u obliku uglja i nafte. Sem toga, pošto i danas Sunce proizvodi ovu energiju, ono nama, stanovnicima Zemlje, pretvara naš udeo te energije u vodopade i vetrove mnogo većom brzinom nego što je brzina sa kojom je mi trošimo. Jedini pak razlog zašto mi u većim količinama ne upotrebljavamo ovu energiju jeste taj, što dokle god traju gas, nafta, i uglj, ove tri vrste konzervisane sunčeve svetlosti sačinjavaju *uglavnom najjeftinije izvore atomske energije koja nam stoji na raspoloženju.*

Kada svetska zaliha energije, nagomilana na ovaj način u prošlim vekovima za današnje upotrebe čovečanstva, bude utrošena — recimo kroz 2000 godina otsada — mi ćemo upotrebljavati vetrove, plime i oseke, i vodopade u mnogo većim razmerima nego sada, gajićemo tropske biljke za gorivo i pronaći ćemo mašine za iskorišćavanje direktne sunčeve svetlosti, što nam je već danas poznato, ali još uvek, zbog previsoke cene, ne može u većim razmerima da konkuriše uglju i nafti, ma da se to donekle i danas čini prilikom korišćenja Sunca kao izvora toplote. Da bi se dobio približan pojam kako je obilan i jeftin ovaj izvor energije, potrebno je samo razmisliti o sledećim impresivnim brojevima.

Intenzitet sunčevog zračenja, koje prođe kroz našu atmosferu i dopre do zemlje, može se uzeti da iznosi 1,5 kalorija na kvadratni santimetar u minutu¹, ili 5400 velikih kalorija na kvadratni metar za 6 sati. Prema tome, pošto sagorevanje jednog kilograma uglja daje 8000 velikih kalorija, sunčeva svetlost koja 6 sati pada na metar zemljine površine ima istu toplotnu vrednost kao 0,675 kilograma uglja. U jednom akru ima 4045 kvadratnih metara, tako da sunčeva svetlost, koja 6 sati obasjava jedan akr, ima toplotnu vrednost od $4045 \times 0,675 = 2730$ kilograma, ili okruglo 3 tone uglja. Ako se uzme da 90 dana traje sezona vegetacije, onda toplota koja je ekvivalentna $3 \times 90 = 270$ tona uglja pada na jedan akr za vreme jedne sezone. Svaka kvadratna milja (640 akra) Sjedinjenih Država primi u tom slučaju za vreme sezone vegetacije toplotu ekvivalentnu 270×640 ili 172.800 tona uglja, čija vrednost, po \$ 6,00 tona iznosi \$ 1.036.800,00 za vreme jedne sezone.

Nameće se pitanje zašto mi ne iskoristimo ovu ogromnu količinu sunčane atomske energije koja nam neprekidno dolazi. Odgovor na ovo pitanje jeste, da mi to stvarno i činimo u ograničenoj meri, kad god postavimo vetrenjaču ili podižemo hidroelektričnu centralu ili sunčani grejač ili pokušavamo, kao što smo učinili na nekoliko mesta, da gajimo kukuruz ili neke druge biljke, da bi iz njih dobili tečno gorivo.

Međutim, dokle god se *zaliha sunčeve svetlosti* minulih vekova nalazi na zemlji u takvom izobilju i tako jevtino u nalazištima nafte i ugljenim ležištima², ogroman deo energije

¹ Vidi H. A. Spoehr, "Photosynthesis and the Possible Use of Solar Energy", *Jour. Indus. and Engin. Chem.*, Vol. XIV (December, 1922).

² Celokupna svetska rezerva samo uglja smatra se da iznosi oko 8.000.000.000.000 tona. Sadašnja godišnja potrošnja je oko 2.000.000.000 tona. Pri ovoj brzini potrošnje ugalj će trajati 4000 godina. U časopisu *Lamp* (XXIII [1946], 10) svetska zaliha U, koja stoji na raspoloženju, smatra se da iznosi 30.000 tona koje imaju 0,7% sastojka, koji se može nuklearno cepati, odnosno toga sastojka ima 210 tona. Smitov

i dalje ćemo dobivati iz takvih izvora, i to zato što ostali izvori ne mogu da im konkurišu po ceni. Kada ugalj i nafta budu potrošeni, čovek će morati da plaća nešto više za energiju nego što sada čini; ali, razlika u ceni ne bi trebalo sama da bude dovoljan razlog za brigu našim potomcima, koji tada budu živeli.

Međutim, razmotrimo odmah ono drugo pitanje koje je potstaknuto u nekim neobuzdanim maštanjima pojavom atomske bombe: kakva bi bila cena energiji koja se dobiva pri cepanju jezgra uranijuma ili *raspadanjem nekoliko drugih teških nestabilnih atoma, koji se nalaze na desnom kraju krive frakcije sklapanja*, u lakše stabilnije elemente, koji se nalaze na donjem delu krive na sl. 79? Moj odgovor jeste: *u slučajevima kada nije u pitanju cena*, kao za vreme rata, ili pri lečenju bolesti, ili u *vrlo ograničenom broju nekih drugih upotreba, teški nestabilni atomi bez sumnje naći će primenu kao proizvođači energije, ali, po mom mišljenju, u relativno malom broju slučajeva*. Jer celokupna energija koja stoji na raspoloženju usled raspadanja ovih retkih nestabilnih atoma potpuno je beznačajna u poređenju sa onom energijom koja stoji na raspoloženju bilo kao zaliha bilo kao direktna sunčeva svetlost.

Treba da se potsetimo da su, ne obraćajući pažnju na osnovni element vodonik, svi rasprostranjeni elementi stabilni. Zato su oni i rasprostranjeni. Atomi koji se nalaze na zemlji imali su milijarde godina na raspoloženju da zadovolje univerzalnu tendenciju za prelaženjem u njihovo najstabilnije stanje. *Nema raspoložive energije ni kod jednog od onih elemenata koji leže duž donjeg dela krive frakcije sklapanja*. Samo nekoliko vrlo retkih elemenata na desnom kraju krive frakcije sklapanja sposobni su za egzotermnu reakciju (koja odaje toplotu); a svi takvi su retki elementi,

izveštaj daje sledeći energetska odnos, 1 tona U-235 = 3.000.000 tona uglja. Prema godišnjoj potrošnji energije ugljenih naslaga svetska zaliha U-235 bi bila iscrpljena u roku od 4 meseca. Kada bi svi U atomi bili u stanju da se cepaju (makar i po *vrlo* visokoj ceni) navedena zaliha U trajala bi 45 godina.

i vrlo se lako iscrpljuju, pa prema tome njima cena progresivno raste i bolje je da ih čuvamo umesto da ih bezobzirno trošimo. Koliko su oni sada retki i skupi, može se videti ako razmotrimo, na primer, slučaj zlata. Iako zlato, ukoliko mi danas znamo, ne može da se nuklearno cepa, ono sigurno u sebi ima raspoloživu energiju frakcije sklapanja, kao što je prikazano na sl. 79. Međutim, pretpostavimo da nemamo ni uglja ni snagu sunčeve svetlosti, i da smo primorani da sagorimo naše zlato da bismo dobili potrebnu toplotu i snagu. Koliko bi ono trajalo, i kojom bi se vratolomnom brzinom dizala njegova cena, ako bi čovek bio primoran ili da nabavi nešto zlata ili da umre od zime? Međutim, uranijum, iako nije tako redak kao zlato, neizmerno je redak u poređenju sa elementima koji su rasprostranjeni i koji su zato i jevtini i neiscrpnji.

Sledeće činjenice će pokazati šta je rasprostranjen a šta redak element. Ja ću ovde nabrojati običnije elemente *po redu njihove obilnosti nalaženja* u zemljinoj kori na kojoj mi živimo¹, a broj iza svakog elementa označavaće težinski procenat sa kojim se on u njoj javlja; ali, zaustaviću se čim se javi element čija je obilnost nalaženja manja od jedne desetine procenta. Prva četiri jesu: kiseonik — 46,6; silicijum — 27,7; aluminijum — 8,19 i gvožđe — 5,0. *Tako ova četiri elementa sačinjavaju 87,4 procenta zemljine kore.* Sledeća četiri elementa ne razlikuju se mnogo jedan od drugog u pogledu procenata. To su kalcijum — 3,6; natrijum — 2,8; kalijum — 2,16; i magnezijum 2,1. *Osam elemenata koji su gore pomenuti sačinjavaju 98,5 procenata zemljine kore.* Za njima dolazi titan sa 0,4 procenta i mangan sa 0,1 procenta, i ovih deset elemenata čine u svemu 99 procenata zemljine kore.

Otsada ja neću više nazvati nijedan element „rasprostranjenim“, kad on sačinjava manje od 0,1 procenta zemljine površine. Od svih ostalih elemenata, kojih ima manje

¹ V. M. Goldsmidt, *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente* (Oslo; T. Dybwad, 1938).

od 0,1 procenta, barijuma ima najviše; a njega ima svega jedan četrdeseti deo od 1 procenta, ili ako ne računamo po specifičnoj težini nego, umesto toga, po relativnom broju njegovih molekula, što je za nas važno za probleme nuklearnog cepanja, tada je obilnost nalaženja barijuma manja nego jedan stoti od jednog procenta. Kad je obilnost nalaženja manja od 0,01 procenta, ja ću takve elemente nazvati „retkim“. Po ovom merilu obilnost nalaženja uranijuma iznosi jedan osamdeseti deo od one koju ima barijum. Za barijum $Z = 56$, a $A = 138$. Sem toga, kao što se vidi iz sl. 79, barijum leži na najnižem delu krive frakcije sklapanja. Energiju nuklearnog cepanja ili dezintegracije mogu da daju samo elementi koji se na krivoj nalaze udesno od barijuma, a svih ovih trideset i šest elemenata zajedno imaju obilnost nalaženja koja je manja od one koju ima sam barijum, a u suštini tako stoji stvar čak i onda kada se uzmu svi elementi nadole, sve do atomskog broja 41. Ovo su jedini elementi čijim bi se nuklearnim cepanjem ili dezintegracijom, na ikoji način, mogle dobiti toplota ili energija; a oni su i suviše skupoceni i suviše retki da bi ih inteligentni ljudi na taj način nemilice trošili. Čak iako se mogu nuklearno cepati, trebalo bi da oni budu pod državnom kontrolom, pa da se ne upotrebljavaju kao zamena za gorivo.

Još jednom ću ukazati na to da je uranijum *praktično posmatran*, vrlo redak element, o čemu sam se uverio u toku jednog čitavog perioda, počev od 1900 god., otkada sam počeo da istražujem uranijumove rude po celom svetu. Prvih deset ili dvanaest godina posle otkrića radijuma, 1898, ruda pehblenda, iz rudnika u Joakimstalu (bivša Austrija, sada Čehoslovačka) snabdevala je svetsku potražnju radijuma za naučne i terapijske svrhe. Tada, zbog njegove izvanredne retkosti, austriska vlada je obustavila izvoz ove rude. U to vreme, Jozef Flaneri, tada pretsednik Vanadijum kompanije u Pitsburgu, koji je unapredio upotrebu vanadijuma u leguri čelika, skrenuo je pažnju na brižljivo proučavanje pitanja uranijuma. On je našao da evropske rude ne dolaze u obzir zbog austriskog monopola i da „ono nekoliko ležišta nađenih

u drugim krajevima sveta nisu dovoljnog kapaciteta za ozbiljno razmatranje ovog pitanja". Međutim, u pustinjском delu jugozapadnog Kolorada i jugoistočnog Jutaha bilo je 800 kvadratnih milja naslaga karnotita — peska na čijim se zrnima iskristalisao žuti oksid uranijuma. Ovi siromašni karnotiti Kolorada su imali prosečno manje od 1 procenta uranijuma, dok je pehblenda iz Joakimstala sadržavala do 10 procenata uranijuma.

Znajući da se profesor Herbert Makoj (Herbert McCoy) i ja bavimo ispitivanjem uranijumovih ruda, Flaneri se obratio nama, da bi preko nas našao mladog doktora filozofije koga smo mi obučili. Mi smo mu preporučili dr Čarlsa D. Viola (Charles D. Viol), koji je otišao u Pitsburg kao direktor novog preduzeća Flaneri-jeve „Laboratorije za radijum standardnog hemiskog društva u Pitsburgu“. Pod upravom dr Viola ovo preduzeće je uspelo da razradi proces za ekstrakciju radijuma iz karnotita, i ono je proizvelo 1913 god., prvu količinu radijuma za trgovačke svrhe (2,1 grama), a između 1913 i 1918 god. preradilo je 39 grama elementarnog radijuma, koji se onda prodavao po ceni \$ 125.000 gram¹. Dr Viol je isto tako procenjivao da je celokupna proizvodnja elementarnog radijuma do 1919 god. u Sjedinjenim Američkim Državama iznosila 55 grama, što je bilo „verovatno veća polovina od celokupne svetske proizvodnje do te godine“. Do 1921 god. ovo društvo je povećalo svoju celokupnu proizvodnju na 72 grama² iz karnotita Kolorada. Tako, 1920, u jednoj jedinjoj godini, preduzeće je proizvelo 18,5 grama radijuma. Sem toga, s obzirom na činjenicu da je dr Mur (R. B. Moore) iz Odeljenja za rude Sjedinjenih Država procenio da celokupna količina ra-

¹ Charles H. Viol, *Science*, XLIX (1919), 227. Isto tako *Keystone*, February, 1919, i „The Story of Radium“, *New York Times*, May. 15, 1921. Dr Viol je oko 1930 umro od raka, koji je dobio usled jakog zračenja β -zracima.

² Količina radijuma u čistom metalnom uranijumu iznosi 1:3.000.000 (*Radioactivité Mine Curie* [Paris: Herman et Cie, 1935], str. 141).

dijuma koju sadrže karnotiti Kolorada treba da iznosi ukupno 135 grama, i da je količina radijuma u karnotitu, koji se nalazi pod zakupom Standardnog hemiskog društva (Standard Chemical Company) mnogo veća nego one količine radijuma koje se nalaze u karnotitu ma kog drugog društva pojedinačno, Standardno hemisko društvo je izvršilo pažljivu kontrolu (delimično sistematskim dijamantskim bušenjem) i procenilo je da celokupna količina metalnog radijuma, koju sadrže karnotiti Kolorada, iznosi bar 500 grama, umesto procene od 135 grama, koju je dalo Odeljenje za rude. 1921 god. žene Sjedinjenih Država sakupile su i platile \$ 120.000 za jedan gram radijuma za g-đu Kiri, i pričinile su mi veliko zadovoljstvo zamolvši me da joj održim govor prilikom predaje dara na javnom skupu u Nacionalnom muzeju u Vašingtonu.

Godine 1922 bio sam kao profesor za razmenu u Belgiji, i bio sam gost g. Frankija, belgiskog industrijalca i finansijera, koji je, kao mlad čovek, doprineo da njegova zemlja dobije Belgiski Kongo. On mi je rekao da može da uništi monopol Sjedinjenih Država u proizvodnji radijuma, jer, rekao je: „Vaša siromašna ruda karnotit — a drugu nemate na raspoloženju — ne može da se takmiči sa novom bogatom rudom pehblende iz Konga, koja ponekad sadrži i do 15 procenata metalnog uranijuma“.

G. Franki je dokazao svoje hvalisanje; u roku od dve godine dva glavna društva za proizvodnju radijuma u Sjedinjenim Državama prestala su da rade, i Belgiski Kongo je preuzeo svetski monopol u proizvodnji uranijuma, i održao ga je nekih deset godina. U to vreme su rudnici uranijuma iz Big Ber Lejka, u Kanadi, u konkurentnoj borbi uspeli da se cena radijumu nešto snizi. Drugi gram radijuma koji je darovan g-đi Kiri, stojao je, po mom sećanju, samo \$ 70.000. Međutim, 90 procenata celokupne rude pehblende, u iznosu od 1100 tona, koju su kupile Sjedinjene Države 1940—1945 god. i upotrebile je za proizvodnju atomske bombe (a koja je kao sirova ruda vredela preko dva

miliona dolara po \$ 1,00 svaka funta [433 gr.]), došla je iz Belgiskog Konga¹.

Tako, posle pedeset godina istraživanja od strane državnih ustanova i privatnih lica i preduzeća, danas postoje u svetu dva mesta odakle se uranijumove rude mogu dobiti u znatnim količinama. S obzirom na ovu činjenicu i gore navedene podatke o obilnosti nalaženja, ja ne očekujem da će ma koja inteligentna vlada ili inteligentni pojedinci upotrebiti uranijum kao izvor goriva ili energije u većim razmerama. On je isuviše dragocen materijal za naučne svrhe, za svrhe narodnog zdravlja, i za takve industrijske svrhe za koje su potrebne male količine (svetleće boje, legure, itd.), da bi se smeo nemilice trošiti u većim količinama za dobivanje energije, koju nam pružaju u sasvim dovoljnim količinama neiscrpane rezerve sunčane energije, prošle i sadašnje. Ovo isto se može kazati praktično i za sve atome teže od barijuma, kojih ima 36, a koji, kao što je prikazano na sl. 79, jesu jedini elementi koji su prilikom dezintegracije sposobni da oslobađaju energiju frakcije sklapanja. Zbog izvanredne retkosti tih elemenata, pametnije je da se oni čuvaju nego da se upotrebljavaju za gorivo ili energiju. Sledeći podaci iz Goldšmitovog pregleda, na koji smo se gore pozivali, pokazuju koliko su oni retki. Počev od barijuma, čija je obilnost nalaženja u zemljinoj kori 250 delova na milion, od ostalih 36 elemenata, koji su teži od barijuma, svega šest dostižu obilnost nalaženja koja iznosi 6,5 na milion. To su: volfram — 69; cerijum — 46,1; neodim — 23,9; olovo — 16; tantal — 15; i torijum — 11,5. Obilnost nalaženja svih ostalih teških elemenata je sledeća: Sm — 6,5; Gd — 6,4; Pr — 5,5; Hf — 4,5; Dy — 4,5; Ur — 4; Yb — 2,7; Er — 2,5; Ho — 1,2; Eu — 1,1; Tb — 0,9; Lu — 0,8; Hg — 0,5; Th — 0,3; Bi — 0,2; Tm — 0,2; Au — 0,005; Pt — 0,005; Ir — 0,001; Re — 0,001; i Os — 0,00 (?).

¹ *Belgian Congo at War* (2d ed.; New York, 1943), i Walter Ford, *Belgian Africa's Total War* (London, 1942). Vidi takođe „News from Belgium and the Belgian Congo“ (Belgian Information Center, 680 Fifth Avenue, New York, August 11, 1945).

Gornja procena o izgledima da se sledećih decenija ili stoleća dobije ikakva veća količina energije u svetu od cepanja jezgra teških elemenata sasvim je nezavisna ma od čega što utiče na njihove današnje pijačne cene. Ove cene su određene malom potražnjom za ovim elementima, koji se upotrebljavaju u drugačije svrhe nego što je dobivanje energije. Svaka nova veća potražnja, naravno, ogromno će podići njihovu cenu, isto kao što otkriće da ma koja stvar može da ima veliku primenu mnogo povećava njenu potražnju i povisuje cene brzinom koja naglo raste kao funkcija njene retkosti, izuzev ako vlada ne preduzme korake, kao što je slučaj sa austriskom pehblendom, i zabrani njenu upotrebu, da ne bi izgubila jedno dragoceno sredstvo. Zato se ključ problema nalazi u gornjim sasvim novim i vrlo verovatnim podacima, koje je dao Goldšmit za obilnost nalaženja elemenata. Međutim, treba pomenuti nekoliko činjenica o današnjim cenama, koje bi služile kao polazna tačka da čoveka potstaknu na razmišljanje o današnjoj ekonomiji energije cepanja jezgra.

Prema vrlo fantastičnoj pretpostavci, da svaki atom U-235 može da se nuklearno cepa i da se njegova celokupna energija sklapanja oslobađa pri primanju jednog neutrona (ništa slično nije bilo čak ni približno postignuto prilikom upotrebe atomske bombe), 1 funta (453 gr.) U-235 ima toplotnu vrednost, grubo uzevši, kao 1400 tona uglja. (Smit-ov izveštaj daje vrednost od 1500 tona). Ponovimo, još jednom, treba 140 funti čistog metalnog uranijuma da bi dobili 1 funtu U-235. Sem toga, samo izuzetno dobra ruda pehblende sadrži 10 procenata metalnog uranijuma, tako da je potrebno 1400 funti takve pehblende da bi sadržavala 140 funti metalnog uranijuma. Odavde, prema ovim podacima, 1 funta pehblende, čija je cena \$ 1,00, ima potencijalnu toplotnu vrednost 1 tone uglja koja staje \$ 6,00. Po ovome izgleda da pehblenda, prema njenoj današnjoj ceni, može vrlo lako da konkuriše uglju. Teškoća u ovom upoređivanju leži u tome, što se uglj kao takav može odmah ubaciti u peć, gde on brzo oslobađa svoju celokupnu količinu toplote, dok

pehblenda, bez obzira kako će se upotrebiti, u svakom slučaju mora da se podvrgne složenom procesu, da bi se iz nje ekstrahovao čist metalan uranijum. Sem toga, ako je cilj da se napravi bomba¹, U mora da se podvrgne drugom strahovito skupom procesu, koji zahteva ogromne fabričke instalacije, da bi se izvršilo vrlo mučno odvajanje u dovoljnim količinama molekula U-235 (ili molekula plutonijuma, jer su oba problema u suštini slična) od čistog metalnog uranijuma, od kojeg je 98 procenata U-238, pre nego što jedna funta čistih atoma U-235 bude spremna da oslobodi svoju energiju frakcije sklapanja pod uticajem bombardovanja termičkim neutronima. Pa, čak i tada, proces razvijanja toplote može da bude vrlo neefikasan, jer samo na jedan deo uranijumovih atoma naiđu oni neutroni od kojih zavisi da li će cepanje jezgra atoma biti uspešno.

Međutim, sve pomenute teškoće koje nastaju usled retkosti uranijuma, ogromne teškoće izvođenja samog procesa, itd., upravo su ono što je potrebno da učini kontrolu nad upotrebom energije cepanja za ratne svrhe manje teškom nego što bi se u početku očekivalo. Ma koliko da je korisna upotreba energije cepanja jezgra, ne može da bude neslaganja o činjenici da je civilizacija osuđena na propast, ako se upotreba atomske bombe u ratne svrhe stvarno ne ukloni. Ovo nije sasvim neizvodljivo. Ovo je apsolutno potrebno. Ako bi trebalo da eliminišemo sve korisne primene atomske bombe da bismo se oslobodili rđavih, zaista bi ta žrtva prema čovečanstvu bila vrlo jevtina. Ali to nije potrebno. Sve što ovde treba jeste samo da se uspostavi potpuna kontrola nad upotrebom energije cepanja jezgra za ratne svrhe pod nadzorom jedne internacionalne komisije, i da ta komisija ima odgovarajuću službu inspekcije, a na to će, u opštem interesu, ja se nadam i verujem, sve nacije pristati, ne samo da se komisiji pokoravaju, nego i da je podržavaju.

¹ Ako je svrha samo da se dobije toplota pre nego da se napravi bomba, ovaj drugi proces odvajanja nije potreban, tako se znatno smanjuje cena, ali, u svakom slučaju, razum nalaže čuvanje pre nego sagorevanje ovog vrlo retkog i dragocenog sredstva.

Ja zamišljam da ta služba inspekcije treba da bude snabdevena odgovarajućom vazdušnom snagom, da bi mogla da vrši svoje izviđačke letove po celom svetu. Ne bi trebalo da bude teže dobiti međunarodno priznanje slobode vazduha nego priznanje slobode mora. Zasad postoje samo dva mesta na svetu odakle se uranijum može dobiti u dovoljnim količinama. Upotreba uranijuma za ratne svrhe nameće njegovo prikupljanje u velikim količinama. Ovo ne može da bude učinjeno u tajnosti, ako se službi inspekcije dodeli pogodna izviđačka vazdušna služba. Postoje samo dva mesta na koje zasada treba motriti — bolje rečeno, *dva rudnika kojima zasad treba međunarodna kontrola* — a gore naveden istoriski pregled ubedljivo govori da, iako drugi rudnici mogu da budu pronađeni, nikada neće biti mnogo mesta, odakle će uranijum moći da se dobija u velikim količinama.

Uranijumove bombe ne mogu da se proizvedu bez vrlo velikih instalacija. Neka sva mala ispitivanja, kakva se god žele, budu dozvoljena; ali postrojenja za veliku proizvodnju i velike procese uvek bi bila podozriva, pa kad bi služba inspekcije igde naišla na početak podizanja velikih preduzeća, sve nacije sveta odmah bi bile pozvane da ih zaustave.

Nazovite ovo „svetskom vladom“, ako želite; ali ako se posao pametno obavi, ovo bi bila svetska vlada sa *vrlo ograničenim ovlašćenjima* — neka vrsta svetske komisije kojoj je stavljeno u zadatak da se nigde ne proizvode atomske bombe koje bi se mogle upotrebiti u ratne svrhe. Nešto slično ovome *mora* da bude učinjeno; a, *kad to bude učinjeno, rodiće se novi svet*. Kao što svak može sada da vidi, sve ono što energija atomskog cepanja može ikada da učini, neće uopšte moći da se uporedi sa uslugom čovečanstvu, koju je atomska bomba omogućila.

GLAVA XVII

GEOMAGNETSKA ISPITIVANJA KOSMIČKIH ZRAKOVA
NA MALIM VISINAMA, 1920—36.

I. PRVI DOKAZI O OSOBINAMA KOSMIČKIH ZRAKOVA

Nikakva pretpostavka nije do sada učinjena u pogledu prirode kosmičkih zrakova. Energetska razmatranja prikazana u glavi XIV su jednako primenljiva na sve teorije ukoliko se tiče njihove prirode. Međutim, njihova vrlo velika prodorna moć odmah nagoveštava njihovu sličnost sa γ -zracima umesto sa β -zracima, pošto pri najvećim *izmerenim* energijama ($2,6 \times 10^6$ elektron-volta) prvi imaju, za datu energiju, prodornu moć koja je stotinu puta veća od prodorne moći onih drugih. Izgleda da postoji nešto slično ovom odnosu i u oblasti kosmičkih zrakova; jer odmah će sasvim određeno biti pokazano da je potrebna energija od oko 6 milijardi (10^9) elektron-volti da omogući da uticaj elektrona dopre do nivoa morske površine. Onda je tek pogotovu neverovatno da se u tom slučaju nađu primarne upadne naelektrisane čestice, koje prodiru do dubina ispod površine jezera, a koje bi odgovarale debljini vazdušnog sloja od 10 do 30 atmosfera, do kojih dubina su naši i Regenerovi eksperimenti otkrili tragove ovih zrakova. Od samog početka činilo se da je fotonska hipoteza potrebna da bi se dobila tako ogromna prodorna moć ako se ne bi htele inače da pretpostave neverovatno velike energije, naime, do 30×6 , odnosno 180 milijardi elektron-volta. Međutim, sa prodornom moći koja je stotinu puta veća od one

koju imaju elektroni, fotoni od dve do tri milijarde volti, odnosno takvi koji su bili u stanju da proizvedu pljuskuje, kao što su oni na sl. 63 i 64, mogli bi da dopru toliko daleko dole, koliko i elektroni od 200 milijardi volta, tj., sve do onih dubina na kojima mi stvarno nalazimo tragove ovih zrakova. Ogromna prodorna moć kosmičkih zrakova odmah je, prema tome, ukazivala na njihovu sličnost sa γ -zracima.

Međutim, postoji drugi još važniji paralelizam između kosmičkih zrakova i γ -zrakova, koji je razjašnjen u radovima Hofmana¹, Milikena² i Kameron, zatim Komptona, Beneta i Stirnsa³ između 1927 i 1931 god. Opažanje koje su učinili Hofman, kao i Miliken i Kameron, 1927 i 1928 god., sastojalo se u tome, da kad se pritisak u datom elektroskopu poveća od 1 atmosfere vazduha na 30 atmosfera, iako je jonizaciona struja bila na taj način povećana samo nekih 14 puta umesto 30 puta, ovaj multiplikacioni faktor 14 *bio je isti za γ -zrakove radijuma kao i za kosmičke zrakove*. Bouen i Miliken² su tada dokazali da je razlog, zašto je multiplikacioni faktor bio samo 14 umesto 30, ležao u tome, što je pri velikom pritisku, $16/30$ od stvorenih jona ponovo sjedinjavaju pre nego što ih električno polje može odvojiti i odvesti na elektrode; činjenica pak da ovaj isti faktor važi za γ -zrakove isto kao i za kosmičke zrakove značila je da *mehanizam jonizacije mora da bude isti u oba slučaja*. Međutim, pošto se za γ -zrake zna da oni vrše jonizaciju samo pomoću mehanizma sekundarnih vrlo brzih elektrona ili β -zrakova, koje oni šalju kroz komoru, može se izvesti zaključak sa znatnom sigurnošću da *kosmički zraci isto tako vrše jonizaciju uglavnom pomoću mehanizma slobodnih „elektronskih hitaca“, koje oni proteruju kroz komoru*. Docnije će biti izvedeni važni zaključci iz ove vrste

¹ Hoffmann und Lindholm, *Gertlands Beitr.*, XX (1928), 12; isto tako Zeit, f. Physik., LXIX (1931), 704.

² Millikan and Bowen, *Nature*, CXXVIII (1931), 582; Millikan, *Phys. Rev.*, XXXIX (1932), 401.

³ Compton, Bennett, and Stearns, *Phys. Rev.* XXXVIII (1931), 1565.

paralelizma između γ -zrakova i kosmičkih zrakova — paralelizma koji smo Neher i ja grubo proverili direktno ili indirektno sve do visina od 60.000 stopa.

Međutim, direktan dokaz da neposredni jonizacioni agens u svim jonizacijama putem kosmičkih zrakova jeste ili slobodan pozitivan ili slobodan negativan elektron, a obično ne proton ili ma koje drugo teško jezgro, vidi se iz ispitivanja hiljada fotografija putanja tragova kosmičkih zrakova koje smo mi snimili. Jedino elektroni i fotoni su u stanju da proizvedu onu vrstu efekata koji su prikazani na sl. 59, 60, 61, 62, 63 i 64. Ove pokazuju kontinualnu postupnu promenu energije dobivenu merenjem krivine, počev od nekoliko miliona elektron-volta pa sve do milijarde, bez i najmanjeg traga neke razlike u jonizaciji između pozitivnih i negativnih čestica kakva je razlika inače u ovoj oblasti krivina veoma izražena između elektrona i težih naelektrisanih čestica, kao što su jezgra ma koje vrste. Samo elektroni (+ i —) mogu da imaju kombinaciju krivine i dometa kakvi su ovde prikazani, a da ne govorimo ništa o jonizaciji. Sem toga, ako Njutnovi zakoni sudara važe, protoni, neutroni ili druge teške čestice ne mogu da prenose energije od više miliona elektron-volta na elektrone kakve mi nalazimo u vrlo velikom broju naših fotografija. Prilikom prvih ispitivanja naših ploča našli smo samo dva traga, koji izgledaju da su od tragova protona (sl. 54). Ma kakva da je priroda prvobitnih kosmičkih zrakova, mi ćemo se ubuduće držati osnovne pretpostavke da je neposredan jonizirajući agens uglavnom, slobodan elektron (+ ili —).

II. PRVI EKSPERIMENTI O EFEKTU GEOGRAFSKE ŠIRINE

Ma kakva da je priroda primarnih kosmičkih zrakova, trebalo je očekivati da postoji neka elektronska komponenta zrakova koja dolazi na zemlju iz kosmosa. Jer kad god ti zraci na svom putu kroz prostor prolaze kroz materiju, čak i kad bi u momentu nastajanja bili poslani kao čisti fotoni, oni bi neizostavno proizveli sekundarne elektronske zrake,

kakve nalazimo da oni proizvode u našim elektroskopima na zemlji, tako da nema teorije o poreklu kosmičkih zrakova koja ne bi iziskivala, kada je već jednom istaknut postulat da uopšte postoje fotoni kosmičkih zrakova, da kroz prostor prolaze i ovi fotoni i sekundarni elektroni ili druge čestice koje su stvorili ti fotoni prilikom svojih putovanja kroz vasionu, koja traju milijardama godina. Isto tako, pošto primećena ravnomernost raspodele ovih zrakova znači da, ako su oni poreklom fotoni, oni moraju da prođu ravnomerno u svim pravcima kroz prostor, a onda naravno sledi i to da sekundarni elektroni, koje su oni proizveli, moraju takođe da prolaze kroz prostor ravnomerno u svim pravcima. Drugim rečima, zraci koji prodiru u zemlju moraju u svakom slučaju da budu smeša fotona i vanzemaljskih sekundarnih elektrona ili pak samih elektrona, ako se fotonska hipoteza potpuno isključi, a jedino pitanje koje ostaje da eksperiment utvrdi jeste, koliki deo ulazne energije nose fotoni a koliki elektroni.

Upravo ova razmatranja su i odvela prvom pokušaju da se otkrije efekat zemljinog magnetnog polja na intenzitet kosmičkih zrakova. Ovo je učinjeno u leto 1926 god., kada su Miliken i Kameron odneli tri elektroskopa na putovanje od Los Anđelesa do Molenda, Peru. Mi smo predviđali neko smanjenje intenziteta kosmičkih zrakova dok smo išli od Los Anđelesa prema ekvatorskom pojasu i preko magnetnog ekvatora. O ovoj pretpostavci smo diskutovali na sastanku Američkog fizičkog društva u Pasadeni, u jesen 1925 god.; proveli smo zimu konstruišući i ispitujući tri nova elektroskopa, koje je trebalo upotrebiti naročito na putovanju za Južnu Ameriku; a u leto 1926 god. ukrcali smo se za Molendo (Peru), i stalno smo vršili čitanja u radiotelegrafskoj kabini na gornjoj palubi (noću i danju), i to na dva naša elektroskopa (treći se pokazao isuviše osetljiv na vibracije parobroda da bi se mogla vršiti pouzdana čitanja) u toku šesnaest dana putovanja do Molenda. *Nažalost, bili smo u stanju da vršimo čitanja tek krajem drugog dana putovanja.*

U Balbou smo preneli sva tri naša elektroskopa u čamac u luci i vršili smo čitanja dvadeset i četiri časa na sva tri elektroskopa, da bi se uverili da nije bilo nikakve mogućne radioaktivnosti na materijalu oko nas na gornjoj palubi broda.

Naši elektroskopi za kosmičke zrake bili su u to vreme relativno neosetljivi, pa smo procenili da bi greška u relativnim intenzitetima kosmičkih zrakova na raznim geografskim širinama koje smo prešli mogla da iznosi i do 6 procenata. Na taj način, u našem referatu, od septembra 1927 god., o rezultatima ovog putovanja na jednom javnom predavanju u Britanskom društvu za unapređenje nauke u Lidsu¹ napisali smo sledeće: „Ako i postoje ikakve geografske razlike u krivoj visinske jonizacije“ na nivou morske površine ili iznad njega, „one su izvan granica naše sadašnje tehnike opažanja“, koja je u ovom i drugim člancima² bila procenjena na 6 procenata.

Ustvari, postoji smanjenje od 7 procenata u intenzitetu kosmičkih zrakova na nivou morske površine, kada se ide od Los Andelesa do Molenda, što smo dokazali najpazljivijim i ponovljenim eksperimentima 1932³ i 1933 god.; prema tome, mi nismo bili u pravu kada nismo konstatovali nikakav određen efekat 1926 god. To bismo učinili čak i sa našim tadašnjim neosetljivim elektroskopima da nismo imali nesreću da otpočnemo naše putovanje upravo na kritičnoj geografskoj širini gde, idući prema jugu, počinje jako smanjenje intenziteta, i da još nismo imali tu nesreću što nismo bili u mogućnosti do kraja drugog dana da namestimo instrumente da rade, kada smo bili preko 600 milja južno od te geografske širine — što je toliko daleko na jug, da se već bilo izvršilo više od 60 procenata od celokupnog opadanja u intenzitetu idući od Los Andelesa do ekvatora. Od ove tačke promena je onda zaista bila tako mala, da je

¹ *Nature*, CXXI (1928), 21.

² *Phys. Rev.*, XXXI (1928), 170.

³ Vidi R. A. Millikan, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 668, za opširiju diskusiju.

bila sasvim izvan osetljivosti naših instrumenata. Mi smo, prema tome, na ovom putovanju propustili efekat na nivou morske površine baš zbog potrebnog odlaganja da pustimo instrumente u rad još na samom početku. Na planinama Bolivije, doista, dobili smo i zabeležili, u našem objavljenom radu, čitanja za 10 do 20 procenata, čak i do 30 procenata na vrlo velikim visinama, nižu¹ vrednost nego što smo je dobili na severnim geografskim širinama sa istim instrumentima; ali, kako zbog naše nesigurnosti u vezi sa efektom zaklanjanja okolnih planina, tako i zbog mogućnosti da elektroskop nije bio potpuno izolovan, mi smo nekako na drugi način objasnili ove razlike i povukli jednu krivu srednjih vrednosti kroz sve naše tačke merenja sa severne i južne hemisfere, smatrajući postojeća odstupanja kao nesigurnosti merenja. Ustvari, ako, umesto da tako postupamo, sada povučemo dve kontinualne krive kroz obeležene tačke, praktično dobivamo iste procentualne razlike kakve su prikazane na dvema donjim krivama sl. 82. Mi to nismo učinili, jer smo se oslonili na naša mnogo duža i pouzdanija čitanja na nivou morske površine; a nekoliko godina posle toga, da bismo objasnili prividan nedostatak efekta geografske širine, mi smo postavili pogrešnu hipotezu o tako reći isključivo fotonskoj prirodi upadnih zrakova. Stvarno otkriće traženog efekta učinjeno je na sledeći način:

U jednom članku od 17 decembra 1927 god., profesor J. Klej (Clay) dao je kvalitativni izveštaj² o opadanju jonizacije sa geografskom širinom između Amsterdama i Batavije; u drugom članku, od novembra 1928 god.³, on je izneo da brojna vrednost jonizacije kosmičkih zrakova iznosi 1,49 u Lajdenu, a 0,82 u Singapuru, što pretstavlja promenu od 45 procenata; a u jednom docnijem članku, od 30 septem-

¹ Vidi naročito na str. 166, tačku za jezero Muir, na 7,55 metara. Ona je 11 procenata izvan ucrtane krive, upravo, kao što danas znamo, kako i treba da bude.

² *Proc. Roy. Acad.*, Amsterdam, XXX (1927), 1115.

³ *Ibid.*, XXXI (1928), 1091.

bra 1930 god.¹, on je izmenio ove jonizacije na 1,24 u Amsterdamu i 0,93 u Singapuru, što ipak daje razliku od 25 procenata. Sem toga, jedna serija posmatranja izvršenih na brodu „Karnegi“, pod rukovodstvom dr Giša (Gish), na ekvatorijalnim, umerenim, i severnim širinama u Tihom Okeanu, koja mi je on privatno saopštio (pošto sam mu ja pomogao da kalibriše svoje aparate), izgledalo je, sa izvesnom nesigurnošću, da pokazuju za 5 do 6 procenata nižu vrednost na ekvatoru nego što je nađeno na geografskim širinama koje se nalaze severnije. Potstaknut razlikom ovih izveštaja, kao i gornjim teoriskim razmatranjima, za koje je izgledalo da zahtevaju bar neku elektronsku komponentu kod kosmičkih zrakova, i pošto smo tada usavršili elektroskope sa komorama napunjenim gasom pod velikim pritiskom, koji su sada bili desetak puta osetljiviji nego oni sa kojima smo ranije radili, ja sam, u leto 1930, u Pasadeni (geomagn. šir. 40,7°), u toku od nekoliko nedelja izvršio brižljivu seriju merenja sa osetljivim elektroskopom čija je komora napunjena gasom pod velikim pritiskom; tada sam preneo isti elektroskop u Čerčil, Manitoba (geomagn. šir. 69,7°), i, održavajući temperaturu sobe u maloj drvenoj kući u kojoj sam radio u Čerčilu na gotovo istoj srednjoj temperaturi kao i u Pasadeni, našao sam da je srednja vrednost tako izvršenih čitanja u toku nedelje dana ista kao u Pasadeni, sa greškom koju sam smatrao da u ovom slučaju nije mogla da bude veća od 1 procenta. Tako sam otišao južno na nivou morske površine iz Pasadene do iza ekvatora, a severno sasvim blizu do severnog magnetnog pola a da uopšte nisam mogao da opazim ikakav uticaj zemljinog magnetnog polja na upadne elektrone, iako se za merenja na jugu nikad nije moglo tvrditi da su greške manje od 6 procenata. Merenja severno od Pasadene, međutim, bila su izvršena sa takvom pažnjom i predstavljala su srednje vrednosti čitanja izvršenih u toku toliko dugih perioda vremena, da sam bio sasvim siguran u njihovu tačnost. Isto

¹ *Ibid.*, XXXIII (1930), 711.

tako, ona su se slagala sa rezultatima koje su istog leta (1930), dobili Bote i Kolherster¹, koji su pošli iz Hamburga i stalno vršili čitanja pomoću brojača za sve vreme putovanja prema severu između geografskih širina 53°N i 81°N, a da nisu primetili efekat geografske širine na nivou morske površine.

Osim toga, 1930 god., zamolio sam profesora Paula Epštajna, da kvantitativno obradi očekivani uticaj zemljinog magnetnog polja na upadne elektrone vrlo velike energije, recimo od milijardu elektron-volta. On je dobio rezultat, koji je ukratko objavio decembra 1930 god.², da bi elektroni takve energije trebalo da upadaju samo severnije od izvesne kritične geografske širine, λ_2 , dok bi za sve geografske širine severno od druge obližnje geografske širine, λ_1 , oni trebalo da padaju tako da obrazuju „polarnu kapu“ ravnomernog intenziteta³. Ove dve kritične geografske širine, λ_2 i λ_1 , pomakle bi se, naravno, na jug, kad bi se pretpostavilo da je energija upadnih elektrona veća. Isto tako, kad bi energije bile promenljive u znatnim granicama, *ravnomerna* polarna kapa na nivou morske površine trebalo bi da započne sa vrednošću energije upadnih elektrona, koja je upravo dovoljna da omogući da efekti upadnih elektrona kod λ_2 dopru do nivoa morske površine kroz otpor koji im pruža atmosfera. Ova polarna kapa počela bi da se javlja dalje prema severu u slučaju da su energije manje od ove; *ali zbog apsorpcije koju vrši atmosfera bilo bi, naravno, potrebno da se ide u visine iznad nivoa morske površine, da bi se ovo otkrilo*, pošto bi energija koja je potrebna da se prodre kroz zemljino magnetno polje ovde bila manja nego energija koja je potrebna da bi se dospelo dole do nivoa morske

¹ Bothe and Kolhörster, *Berliner Berichte* (1930), str. 450.

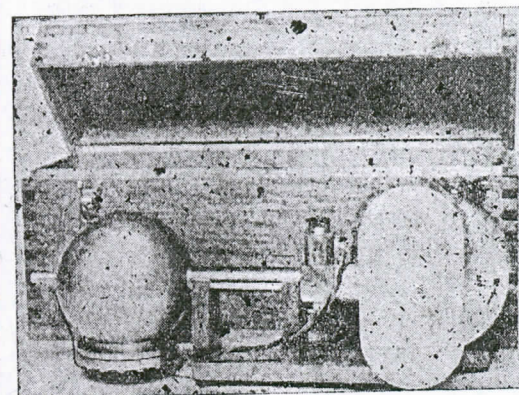
² Epstein, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, XVI (1930), 658.

³ Implicitno, ovi rezultati o uticaju magnetnih polja nalazili su se uglavnom u ranijem Štormerovom (Störmer) radu. Međutim, ja mislim da je Epštajn u svom neobjavljenom seminarskom predavanju prvi tretirao kombinovani uticaj polja i atmosfere.

površine. Drugim rečima, kad bi i bilo elektrona kosmičkih zrakova koji pokušavaju da dopru do zemljine površine, postoje dve sasvim različite vrste uticaja koji teže da spreče njihovo dopiranje. Prvo, zemljino magnetno polje uvek dejstvuje silom na njih pod pravim uglovima u pravcu njihovog kretanja i skreće ih do zemlje, izuzev ako su njihove energije dovoljne da savladaju tu tendenciju. Zatim, drugo, kad bi oni i uspeali da prođu kroz ovu barijeru zemljinog magnetnog polja (koje se prostire hiljadama milja gore u prostor) i dospevši do vrha atmosfere (čija je visina svega recimo 20 milja), oni bi ipak samo bili u stanju da počnu da dosežu do nivoa morske površine na nekoj geografskoj širini koja se nalazi dovoljno daleko na jug, tako da rasipanje njihove energije prilikom dolaska do nivoa morske površine upravo bude jednako energiji sa kojom oni udaraju u atmosferu, tj. onoj energiji koja im na ovoj geografskoj širini upravo omogućava da prođu kroz zemljino magnetno polje.

Ovi zaključci Epštajnovog ispitivanja, koji su od jeseni 1930 god. bili poznati svima naučnim radnicima iz Laboratorije Norman Bridž objasnili su zašto sam ja, čak i kad bi bila neka elektronska komponenta u upadnim kosmičkim zracima, našao iznenađujuću i preciznu stalnost intenziteta kosmičkih zrakova na nivou morske površine svuda između geografske širine Pasadene (geomagn. šir. 41°) i oblasti blizu severnog magnetnog pola. Rukovođen, dakle, ovim Epštajnovim proračunima, koji su pokazali da je mnogo lakše otkriti efekat geografske širine na upadnim elektronima *na velikim visinama nego li na malim*, ja sam, u jesen 1931 god., pre ma kojih geografskih ispitivanja kosmičkih zrakova sem onih koja su pomenuta (tj., onih koje su vršili na „Karnegiju“, Klej, Bote-Kolherster, i mi, ili, ukoliko sam ja znao, koja su bila u projektu), zatražio novčanu pomoć od Društva Karnegi u Njujorku (Carnegie Corporation of New York), za usavršavanje specijalnih instrumenata naročito podešenih za *precizna aeroplanska ispitivanja na velikim visinama*, koja do tada niko nije pokušao.

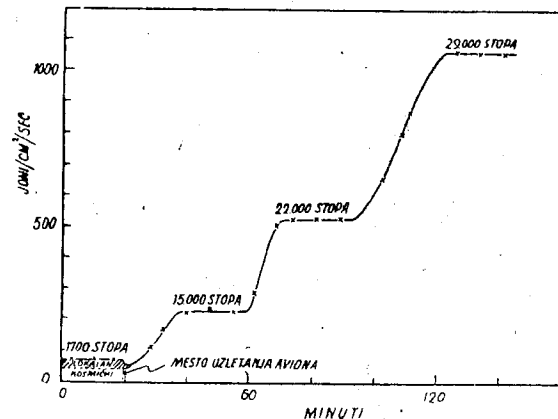
Razrađivanje konstrukcija autoregistrujućeg elektroskopa za kosmičke zrake za precizna merenja, koji je osigurao od vibracija a nalazi se na pokretnom postolju, i za koji se uspostavilo da daje isto tako tačna ubeležavanja u avionu za obrušavanje, u automobilu koji je u pokretu, u vozu koji juri ili u parobrodu koji se ljulja kao i u laboratoriji, bilo je uglavnom delo dr H. Viktora Nehera. Pomoću ovog aparata (vidi sl. 80), koji je bio dignut na visinu od 29.000 stopa zahvaljujući ljubaznoj saradnji pukovnika (sada generala) Henrija Arnolda i drugih oficira vojnog vazduhoplovstva Sjedinjenih Država u Marč Fildu, blizu Riversajda



Sl. 80. — Dr H. Viktor Neherov auto-registrujući elektroskop, slobodan od vibracija, koji je potpuno sam, bez ikakve pomoći iskusnih posmatrača, automatski ubeležavao intenzitete kosmičkih zrakova prilikom avionskih letova sve do 29.000 stopa, letova balonima u stratosferu do 62.000 stopa u visinu, a i na putovanjima oko sveta koja su trajala po tri meseca na parobrodima društva „Dolar Lajn“ i „Matson Lajn“

u Kaliforniji, prvi smo dobili podatke o intenzitetima kosmičkih zrakova na ovoj visini, kao što je prikazano na sl. 81. Instrukcije date pilotu bile su da se digne na visinu od 15.000 stopa, da tada ostane na toj visini jedan sat, zatim da se digne na 22.000 stopa i na toj visini ostane opet jedan sat, zatim da se digne na 29.000 stopa i da ponovi

isti postupak. U leto 1932 god. Bouen, Neher i ja odneli smo ovaj aparat na jezero Kormorant, u severnoj Kanadi, gde nam je Kraljevsko Kanadsko Vazduhoplovstvo pomoglo da izvršimo slične letove do visina od 22.000 stopa. Dr Neher i ja nadgledali smo slične neobično vešte letove, koje je u Spoukejnu za naš račun izvršio kapetan (sada general) Brin, iz Nacionalne garde. Dr Neher je tada, u jesen 1932 god., odneo isti aparat u Peru i izvršio pri odlasku i pri povratku tačna merenja na nivou morske površine, koja su služila kao kontrola našim mnogo manje osetljivim mere-



Sl. 81. — Ubeležavanje brzina jonizacije prilikom avionskog leta kod Marč Filda (blizu Pasadene, Kalifornija), koji je izvršen aprila 1933 god.

njima iz 1926 god. Naredbom generala Falua, glavnokomandujućeg vojnog vazduhoplovstva u Panami, bio je organizovan let na 22.000 stopa visine, sličan onome koji je bio već izvršen na jezeru Kormorant i u Spoukejnu; u Peru-u je avion Društva Panameričkog aeroputa, koji je redovno leteo između Arikvipe i Lime izvršio let na visini od 19.000 stopa i pri odlasku i pri povratku. Prilikom svih ovih letova obeležavane su tačne visine na našem sopstvenom barografu, zvanično kalibrisanom za nas u Birou za standardne

mere u Vašingtonu, a mi smo ih proveravali u našoj laboratoriji u Pasadeni.

Pre nego što su ova posmatranja bila završena, profesor A. H. Kompton¹ je započeo ponovno ispitivanje intenziteta kosmičkih zrakova, koje je vršeno na zemljinoj površini, i objavio je, da su on i njegovi saradnici proverili ispitivanja profesora Kleja i našli da postoji ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja na nivou morske površine, kad se prelazi ekvator; u slučaju njegovog ispitivanja na zapadnoj obali Južne Amerike i u Tihom Okeanu, objavljena veličina ulegnuća na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja na nivou morske površine iznosila je 16 procenata. On je isto tako objavio, na osnovu svojih posmatranja na planinama, znatno veću vrednost tog ekvatorskog ulegnuća. Isto tako, vraćajući se iz Perua u Njujork, decembra 1932 god., gore pomenuti novi Neherov elektroskop zabeležio je 6,8 procenata ekvatorskog ulegnuća na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja na nivou morske površine između Molenda i Njujorka. Na osnovu ovoga došlo je do saglasnosti između svih posmatrača koji su vršili ispitivanja na nivou morske površine u bitnoj tački, da postoji jedno malo ekvatorsko ulegnuće u krivoj intenzitetu kosmičkih zrakova bez obzira iz kojega se mesta na obali Sjedinjenih Američkih Država čovek uputi, bilo da se ono nalazi na istoku ili na zapadu, a u severnoj umerenoj zoni, na jug preko ekvatora prema Peru. Razlike u brojnim vrednostima ovog ekvatorskog ulegnuća, u početku neočekivano velike, ubrzo su sužene i sada nisu više predmet nagađanja. Te razlike nisu sada više ni od nekog bitnog interesa, sem što služe kao još jedan primer kako neminovno naučna metoda prilaženja jednom problemu otkriva razliku između tačnog i netačnog rezultata, ili čak pravilne i nepravilne teorije, onemogućujući svaku dalju raspravu među ljudima koji su naučili da ih rukovode pre činjenice nego predubeđenja i predrasude.

¹ Compton, *Phys. Rev.*, XLI (1932), 111; XLIII (1933), 387.

III. REZULTATI ISPITIVANJA EFEKTA GEOGRAFSKE ŠIRINE NA KOSMIČKE ZRAKE UZ POMOĆ AVIONA.

Posmatranja koja su 1932 god. vršili Bouen, Miliken i Neher¹ uz pomoć *aviona* na raznim širinama, a na velikim visinama, iznela su na videlo neke nove činjenice, čije je razumevanje od bitne važnosti za naše dalje pokušaje opštih tumačenja fenomena kosmičkih zrakova. Tako, iako Miliken i Neher prilikom novih posmatranja, izvršenih u leto 1932 god., nisu uopšte dobili nikakve merljive razlike u intenzitetima na nivou morske površine idući morem od Pasadene do Siatla i Vankuvera (vidi tablicu XL, u kojoj smo ocenili 1 procenat kao granicu naše nesigurnosti posmatranja²), ipak avionski letovi izvršeni u Marč Fildu (geomagn. šir. 41°S, blizu Pasadene) i Spoukejna (geomagn. šir. 54° C) do 22.000 stopa (4,5 metra vodenog stuba od vrha atmosfere) nedvosmisleno pokazuju (sl. 82) razliku koja se povećava sa visinom, kao što je i predvidela Epštajnova analiza, a sličnu, i još mnogo veću razliku između Paname i bilo Marč Filda bilo Spoukejna. Ove razlike se isto tako prilično dobro slažu sa posmatranjima na vrhovima planina, koje smo Kompton i ja izvršili u Peruu i Sjedinjenim Državama, tako da se uopšte ne postavlja pitanje o njihovoj opštoj tačnosti.

Međutim, najznačajniji rezultati ispitivanja u avionu, a koja nisu mogli merenjima da dobiju drugi posmatrači, bili su 1) nepostojanje ma kakve razlike između krivih dubinske jonizacije, sve do visina od 22.000 stopa dobivenih

¹ Prvi put ukratko objavljeno decembra 1932; vidi *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 661—69; isto tako *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 246, i *Proc. Intl. Conf. Physics*, Vol. I, *Nuclear Physics* (London, 1934), str. 210.

² Novi niz pažljivih posmatranja na nivou morske površine od strane Komptona i Ternera (Turner) između Vankuvera i Sidnija, koja je analizirao i za koje je dao kratak pregled Tompson u *Phys. Rev.*, LII (1937), 141, bitno se slažu sa svima našim merenjima na nivou morske površine u granicama naše procenjene nesigurnosti, naime, oko 1 procenat između Vankuvera i Pasadene, sa vrlo naglim smanjenjem u intenzitetu, koji dostiže više od 4 procenta idući 500 milja južno od 41° magnetne geografske širine.

u Spoukejnu i na jezeru Kormorant, i, 2) slično nepostojanje ma kakve razlike između krivih dobivenih u Panami i u Peruu. Ovo poslednje znači da nema nikakvih *novih naelektrisanih korpuskularnih zrakova, bilo slobodnih elektrona ili protona*, koji upadaju čak i sve do visina od 19.000 stopa, između magnetnog ekvatora u Peruu i 20°S mag., potvrđujući na taj način naša ispitivanja i od 1926 i 1932 god. između ovih geografskih širina *na nivou morske površine*. Isplatiće se da se prvi od gornjih rezultata pažljivo razmotri.

Očigledno, ovo znači da Epštajnova polarna kapa ravnomernih intenziteta kosmičkih zrakova postoji na visinama od 22.000 stopa sve dole do geografske širine Spoukejna, tačno na isti način kao što su moja posmatranja od Pasadene do Čerčila pokazala da se Epštajnova polarna kapa ravnomernih intenziteta kosmičkih zrakova *na nivou morske površine* pruža dole do geografske širine Pasadene. Što se tiče efekta na nivou morske površine neposredno južno od Pasadene, kao što je prikazano našim vrlo pažljivim i dugim merenjima na nivou morske površine, kao i merenjima koja su objavili Kompton i drugi, kritična geografska širina dostiže se na oko 41°S, pri čemu, idući južno, počinje da se javlja smanjenje intenziteta zrakova na nivou morske površine, smanjenje koje dostiže vrednost od nekih 7 procenta kad se dođe do Paname, posle čega je intenzitet uglavnom konstantna vrednost sve do magnetnog ekvatora. Početak smanjenja na oko 41°S magnetne geografske širine znači da elektroni, koji su na ovoj geografskoj širini, upravo u stanju da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja, imaju takođe taman dovoljno energije da na neki način, direktno ili indirektno, manifestuju svoje uticaje dole sve do morske površine i da tamo proizvode jonizaciju. Elektroni manje energije nego što su ovi nisu u stanju da manifestuju svoje uticaje toliko daleko naniže sve do morske površine, tako da su efekti svih elektrona sa manjom energijom, koji mogu da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja severno od oko 41° geografske širine, apsorbovani negde u delu at-

TABLICA XV

Petodnevno ispitivanje promena intenziteta kosmičkih zrakova na nivou morske površine između Viktorije, B. K. i Los Anđelesa.

	Elektroskop № 1: bez štita (Joni, cm ³ na sec.)			Elektroskop № 2: sa štitom (11 cm Pb)			
	Geogr. šir.	Prosečne vrednosti za 4 sata	Prosečne vrednosti za 12 sati	Geogr. šir.	Geogr. duž.	Geomagn. šir.	Prosečne vrednosti za 12 sati
U luci Siatla	47,5 ^o	39,58	39,58*	47,5 ^o	122 W	53,5 ^o N	24,60
U mestu Viktorija i blizu Viktorije	48,4	39,45	39,45	48,3	123 W	54,3 N	24,71
Na moru	47,22	39,53	39,53	46,5	124 W	52,5 N	24,65
Na moru	44,4	39,67	39,67	44,0	124 W	50,0 N	24,78
Na moru	41,6	39,69	39,69	41,0	124 W	47,0 N	24,49
Na moru	39,0	39,34	39,33	37,5	122 W	43,5 N	24,79†
				36,0	122 W	42,0 N	24,57
				34,0	119 W	40,6 N	24,45†
U luci San Francisko	37,5	39,82	39,82				
U luci San Francisko	37,5	39,61	39,61				
Na moru	36,85	39,65	39,65				
Na moru	34,8	39,63	39,63				
Prosečna vrednost		39,60					24,63

* Prosečna vrednost za osam sati.

† Prosečna vrednost za devet sati.

mosfere iznad nivoa morske površine. Elektroni koji imaju energiju i da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja i da prostiru svoje uticaje dole do morske površine prolaze, naravno, kroz obe prepreke severno od 41^o, upravo kao što čine na 41^o, i tako stvaraju polarnu kapu ravnomernog intenziteta, koja je pretskazana Epštajnovom analizom 1930 god., a koju su Lemetr (Lemaitre) i Valarta (Vallarta) izvršili sa mnogo većim razrađivanjem 1933 god.¹ i docnije. Prema najvećem delu eksperimentalnog rada koji je izvršen u ovoj oblasti, ovaj *energetički stupanj kosmičkih zrakova*,

¹ Lemaitre and Vallarta, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 87.

ili diskontinualnost, koja počinje otprilike na 41^o, blizu Los Anđelesa, prilično je oštro obeležena¹. Prema Lemetru i Valarti, srednja vrednost energije elektrona, koji počinju da bivaju eliminisani u znatnom broju usled barijere magnetnog polja, kad se ide kroz 41^o geografske širine prema magnetnom ekvatoru iznosi oko 6 milijardi elektron-volta, tako da domašaj uticaja od 6 milijardi elektron-volta može grubo da se uzme kao 1 atmosfera.²

Po istoj metodi dobivena srednja vrednost energije elektrona, koji bi trebalo da počnu da bivaju eliminisani u znatnom broju usled barijere magnetnog polja na geografskoj širini Spoukejna (54^oC), iznosi 2,4 milijarde elektron-volta. Značaj činjenice da je kriva dubinske jonizacije u Spoukejnu ista kao i ona nađena na jezeru Kormorant jeste, dakle, u dokazu što ga ona pruža da, upravo kao što upadni elektroni energije od 5,6 ili više milijardi volta stvaraju polarnu kapu konstantnog intenziteta na nivou morske površine koja se prostire skoro do 41^o geografske širine, tako i upadni elektroni energije blizu 2,4 milijarde elektron-volta stvaraju polarnu kapu konstantnog intenziteta na 22000 stopa, koja se prostire naniže bar do geografske širine Spou-

¹ Dr Neher i ja smo otkrili, ponavljajući šest puta putovanje između Los Anđelesa i Vankuvera, 1938 i 1939 godine, da jedino u toku leta nema nikakve razlike u intenzitetu na nivou morske površine između ovih mesta. Izgleda da je zimi intenzitet na nivou morske površine nekih 2 do 3 procenta veći u Vankuveru nego u Los Anđelesu, dok su u ovom poslednjem mestu intenziteti isti zimi i leti. Ovu vrstu sezonskog efekta ili „atmosfersko-temperaturski efekat“ ranije su objasnili Korlin (Corlin), Hes, Kompton, i drugi. On je objašnjen na zadovoljavajući način, držeći se Blaketove sugestije (*Phys. Rev.*, LIV [1938], 973), na osnovu pokreta stratosfere nadole zimi, tako se omogućuje sekundarnim zracima, koji se stvaraju u gornjem delu atmosfere, da bolje zimi nego leti proširuju svoj uticaj do nivoa morske površine.

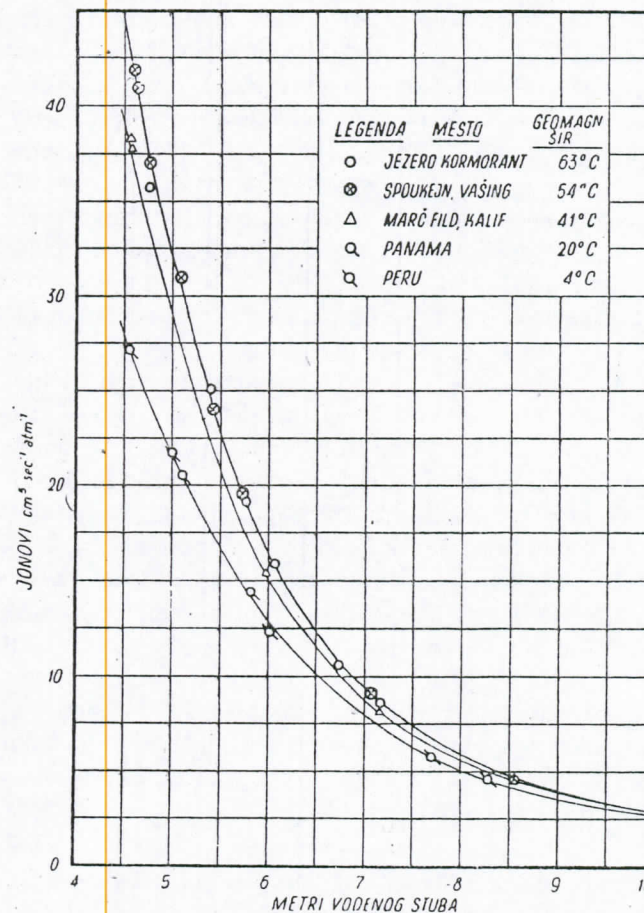
² Ja sam obično uzimao ovu kritičnu energiju kao 6 milijardi elektron-volta na osnovu krivih, koje su ispitali Lemetr i Valarta. Dr Neher posle mnogo pažljivijeg proučavanja, upotrebljavajući vrlo precizne rezultate Lemetra i Valarta, dolazi do zaključka da je najverovatnija energija 5,6 milijardi elektron-volta.

kejna.¹ Ovo bi se moglo rešiti i na drugi način, tako da domēt uticaja upadnih nlektrona od 2,4 milijarde volta iznosi oko 4,5 metara vodenog stuba, odnosno 0,45 od atmosfere. Ako je domēt proporcionalan energiji, tada bi red veličine energije toga dometa za 1 atmosferu iznosio $\frac{2,4}{0,45} = 5,3$ milijarde elektron-volta, sasvim blizu onome što smo našli iz podataka za 41° geografske širine.

Izgleda da gornja razmatranja sasvim jasno opravdavaju zaključak, bar u granicama obuhvaćenih energija, da daljine kroz atmosferu do kojih uticaji koji nastaju od upadnih naelektrisanih čestica mogu da prodru jesu proporcionalna ulaznim energijama, ili se bar menjaju ne naglije nego sa prvim stepenom tih energija. Ovo je osobina karakteristična za čestice koje imaju „domēt“. Alfa-čestice ili beta-čestice, koje prolaze kroz gasove, gube energiju na ovaj način, kao što čine sve čestice koje rasipaju svoju energiju ravnomerno duž svojih putanja — na primer, stvarajući više ili manje konstantan broj jonâ na santimetar jonske putanje, onako kao što se to vidi u Vilsonovoj komori. Uopšte uzev, čestice koje gube energiju na ovaj način približno se pokoravaju takozvanom „zakonu masene apsorpcije“, koji kaže da je kod čestice koja prolazi kroz sredine raznih gustina gubitak energije na santimetar pređenog puta proporcionalan gustini sredine kroz koju prolazi. Razlog zašto se korpuskularni naelektrisani zraci male energije uglavnom pokoravaju više ili manje potpuno ovom zakonu je taj, što je broj elektrona koje oni susreću na santimetar puta u raznim sredinama skoro proporcionalan gustini sredine. Ali zakon apsorpcije, koji se odnosi na onaj zakon o kome govorimo, upravo je zakon kome se, izgleda, pokoravaju kosmički zraci kada vršimo eksperimente na njima u blizini nivoa morske površine. Tako, Miliken i Neher uzle-

¹ Što se tiče ovih eksperimenata, polarna kapa konstantnog intenziteta na 22000 stopa mogla bi da se proširi za nekoliko, iako ne mnogo stepeni južno od Spoukejna; i zaista, ogledi o kojima će se raspravljati docnije postavljaju je prilično blizu te geografske širine.

tali su na vojnim bombarderima sa Marč Filda, noseći sa sobom elektroskope zaštićene aluminijumom, gvožđem i olovom raznih debljina, sve do debljine od 16 cm, i našli su



Sl. 82. — Pada u oči činjenica da su u ovim krivama intenziteti na 4° N i 20° N identični na celoj dužini, isto kao što je slučaj za one na 54° N i 63° N (što je u glavi XX pokazano da je od velikog značaja).

da se relativne apsorpcije u svim supstancama približuju zakonu masene apsorpcije sa povećanjem debljine, kao što

su to Hofman i Štajnke (Steinke) i njihovi učenici¹ ranije našli.

Ukratko, dakle, dve polarne kape ravnomernih intenziteta kosmičkih zrakova — jedna, pronađena ispitivanjima na raznim geografskim širinama na nivou morske površine, i koja se završava upravo južno od Pasadene, a druga, pronađena na 22000 stopa ispitivanjima na velikim visinama uz pomoć aviona, a koja se završava na opštoj geografskoj širini Spoukejna — obe su u punoj saglasnosti sa znatnom grupom drugih osobina, koje poseduje prodorna komponenta kosmičkih zrakova.

Na osnovu krivih sa sl. 82 sada možemo podeliti upadne kosmičke zrake dve grupe, naime, deo kosmičkih zrakova koji je neosetljiv prema magnetnom polju, i koji proizvodi svu ekvatorsku jonizaciju (najniža kriva) i deo kosmičkih zrakova koji je osetljiv prema magnetnom polju, a koji proizvodi jonizaciju povrh one koja je prikazana najnižom krivom. Ova poslednja kriva naravno odgovara samo direktnom i indirektnom uticaju upadnih vanzemaljskih elektrona; reč „elektron“ je ovde upotrebljena u svom prvobitnom, etimološkom i najtačnijem smislu jedinice naelektrisanja. U granicama energija reda veličine od više milijardi elektron-volta, s obzirom na relativno povećanje mase, efekat zemljinog magnetnog polja je praktično isti na slobodne elektrone (negatrone ili pozitrone) kao i na protone, tako da bi elektroni — bilo slobodni ili vezani za H jezgro — upadali na istoj geografskoj širini.

IV. OTKRIĆE UTICAJA GEOGRAFSKE DUŽINE NA KOŠMIČKE ZRAKE

Premda su mnogi naučnici, od 1925 god. pa nadalje, očekivali i tražili efekat geografske širine na kosmičke zrake (latitudinalni efekat), izgleda da niko nije pomišljao da traži efekat geografske dužine (longitudinalni efekat) na njih pre nego što je on bio otkriven, januara 1934 godine.

¹ Vidi n. pr. Tielsch, *Zeitschr. f. Phys.*, XCII (1934), 589.

Međutim, pošto to uopšte nije mali efekat, postavlja se pitanje sa kakvom tačnošću su vršena merenja kosmičkih zrakova na nivou morske površine i zašto je on toliko dugo vremena ostao neprimećen. Njega su otkrili sasvim nezavisno Klej, kao i Miliken i Neher, ali Klej ima prvenstvo, zato što ga je prvi objavio. Ovo je učinjeno u kratkom članku (mart, 1934) u holandskom časopisu *Physica*, na osnovu razlika koje je on primetio u ekvatorskom ulegnuću krive intenziteta prilikom dva putovanja 1934, između Amsterdama i Batavije — jedno kroz Suecki Kanal, drugo oko Rta Dobre Nade. Nemajući pojma o Klejovom radu i publikaciji, mi smo prvi put objavili svoje rezultate na javnom sastanku Nacionalne akademije nauka (National Academy of Sciences) i na sastanku Fizičkog društva (Physical Society), aprila, 1934 god.

U našem slučaju, ovo otkriće nije bilo učinjeno odjednom. Mi smo skupljali podatke za to od jeseni 1932 god. Tok događaja koji je doveo do ovog otkrića bio je u vezi sa usavršavanjem tačnosti naših merenja na nivou morske površine. U toku dva putovanja na raznim brodovima, u decembru 1932 god. i januaru 1933 god., mi smo utvrdili da ekvatorsko ulegnuće krive intenziteta iznosi 7 ± 1 procenat između Los Anđelesa i Perua, kao što je bilo izmereno pomoću osetljivog „Neherovog elektroskopa“, koji je bio zaštićen olovnim štitom od 10 cm debljine. Drugi posmatrači su u to vreme objavili da ovaj ekvatorski minimum iznosi 16 procenata između ova dva ista mesta.

U avgustu, 1933, dr Neher i ja postavili smo ovaj isti autoregistrujući aparat, zaštićen sa 10 cm debelim olovom u kapetanovu kabinu na parobrodu „Prezident Garfield“, društva Dolar Lajn, a tri meseca kasnije, posle njegovog povratka u Los Andeles, pošto je krstarilo do obala Kine, Singapura, Crvenog Mora, kroz Sredozemno More i Atlantski Okean do Njujorka, i natrag u Los Andeles kroz Panamski Kanal, mi smo u Pasadenu odneli i razvili film; našli smo da su merenja bila dobra sve dok se nije stiglo do Njujorka. Ova merenja su nam otkrila (10 januara, 1934)

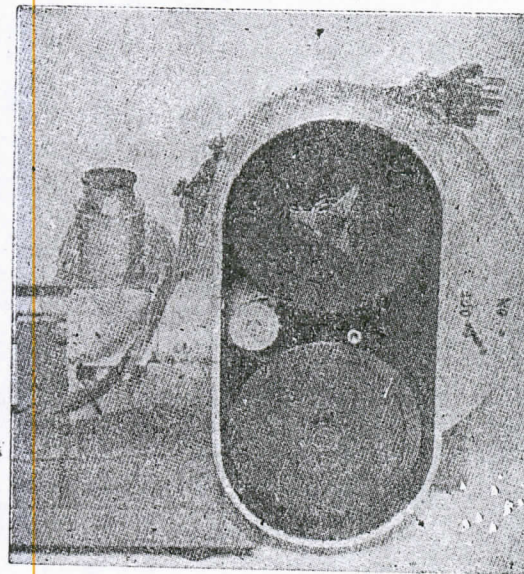
efekat geografske dužine „longitudinalni efekat“¹. Jer, dok je ekvatorski minimum intenziteta bio 7 ± 1 procenat idući od Los Anđelesa do Molenda, on je bio 12 ± 1 procenat, ili skoro za 1,8 procenata veći, idući u Singapur iz Kobe i Šangaja.

Sa naše tačke gledišta ovo je otkriće bilo od velike važnosti, jer je pokazalo da je jedan od elemenata prilikom tumačenja, koji smo do tada pripisivali fenomenima kosmičkih zrakova, bio pogrešan. Najjednostavniji način da se objasne efekti onog dela kosmičkih zrakova koji nije osetljiv prema magnetnom polju bio je da se pretpostavi da se on sav praktično sastoji iz upadnih fotona, i to je bilo gledište koje sam ja dosledno zastupao sve do tog vremena. Otkriće efekta geografske dužine u samom ekvatorskom pojasu pokazalo je dve stvari: prvo, da zemljino magnetno polje, čak i na velikim udaljenostima iznad površine — recimo 5000 milja — nije simetrično u odnosu na osovinu koja prolazi kroz zemljino središte, nego je nesumnjivo nagnuto na jednu stranu, i, drugo, da u najmanju ruku onoliko elektrona koliko je potrebno radi objašnjenja efekta geografske dužine mora da proдре u zemlju sa tako ogromnom energijom, da bi bili u stanju da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja čak na nekim mestima u ekvatorskom pojasu. Drugim rečima, bar jedan deo onih kosmičkih zrakova koji su neosetljivi prema magnetnom polju, kao što je određeno na osnovu efekta geografske širine, mora da bude elektronski po svojoj prirodi. Ovo je bilo od bitnog značaja.

Međutim, s obzirom na razlike koje su dobili razni posmatrači merenjem efekta geografske širine na nivou morske površine, mi smo, januara 1934 god., smestili jedan naš autoregistrujući elektroskop na jahtu „Valero III“ kapetana Alana Hankoka i poslali ga s njim na tromesečno krstarenje do Guajakvila i ostrva oko obale Ekvadora. Sa

¹ Profesor J. Klej iz Amsterdama obaveštava me u pismu da je on nezavisno otkrio efekat geografske dužine na putu za Bataviju, od septembra 1933 do januara 1934 god., a što je vrlo ukratko objavljeno u *Physica*, mart, 1934 god., a potpunije *ibid.*, avgust 1934 god.

elektroskopom nije bilo potrebno raditi ništa drugo osim naviti sat jedanput u dva dana. Zbog toga što se kapetan Hancock triputa po nedelju dana zaustavljao u raznim lukama na ekvatorskom pojasu, i isto tako devet dana u luci Los Anđelesa, srednja vrednost intenziteta na svakom od ovih mesta, isto kao i na geografskim širinama između njih, određena je sa mnogo većom tačnošću nego što je do tada bilo postignuto. Slike 83 i 84 prikazuju aparat, a



Sl. 83. — U kameri se nalazi kalem filma za snimanje, dužine 100 stopa, širine 35 mm, koji pokretan satnim mehanizmom prolazi sa konstantnom brzinom pored otvora. Primena različitih zupčastih točkova dopušta razne brzine kretanja filmova, u zavisnosti od ocekivane jonizacije

sl. 85 jedan deo razvijenog filma. Brzina električnog pražnjenja u toku jednog sata data je nagibom svake dijagonalne linije na ovom filmu. Srednja vrednost iz 24 nagiba krivih daje srednju vrednost intenziteta za taj dan; a srednja vrednost od $24 \times 7 = 168$ nagiba krivih daje srednju vrednost

za nedelju dana. Na gornjoj krivoj sl. 86 prikazan je definitivni grafikon rezultata kačetana Hąnkoka. Tačno je da se duž gornje kontinualne krive nalaze još i vrednosti dobivene na drugim putovanjima, ali podacima koji su dobiveni na brodu „Valero III“, a koji se lako razlikuju od ostalih, data je naročita važnost pri određivanju gornje krive. Čitanja koja su izvršena u luci Los Andelesa bila su skoro za 1 procent niža (vidi sl. 86) nego srednja vrednost čitanja koja smo dr Neher i ja dobili između Los Andelesa i Siatla, a i u Njujorku, tako da celokupno ekvatorsko ulegnuće krive intenziteta, koje se odnosi na Los Andeles, je upravo iznad



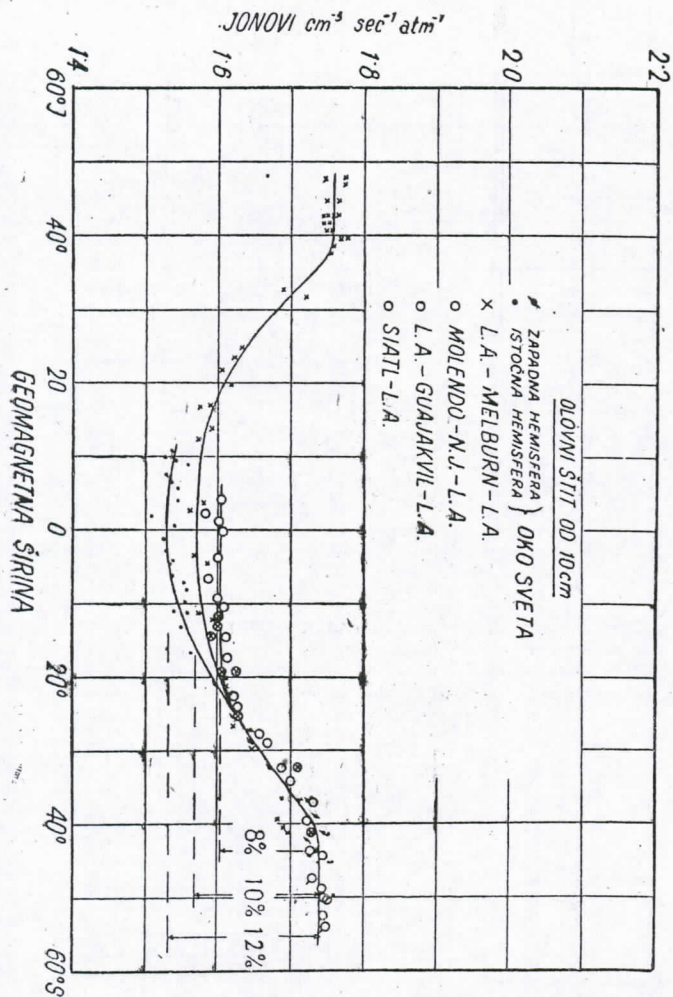
Sl. 84. — Olovni štit od 11 cm, koji je prevučen oblogom od livenog gvožđa, debljine 1/2 cola, upotrebljen je za većinu ispitivanja, da bi se obezbedilo od lokalnih promena u zračenju

7 procenata, dok ono koje se odnosi na srednje vrednosti dalje prema severu, iznosi, kao što je prikazano, sasvim blizu 8 procenata.

Da bi se videlo da li su varijacije između Molenda, Peru, i Sjedinjenih Država bile drukčije za elektroskop bez štita i elektroskop obavijen 10 cm debelim štitom od olova, dr Serž Korf (Serge Korff), koji je vršio posmatranja sa našim registrujućim elektroskopima u Peruu, doneo je, maja 1934, jedan elektroskop bez štita od Molenda do Los Andelesa. Nađeno je da ekvatorska razlika, koja se opet odnosi na gornju srednju vrednost, ovom prilikom iznosi 8,2 procenta. Mi na taj način sada imamo rezultate za tri razna putovanja od Molenda do Los Andelesa, i još jedan od Njujorka kroz Panamski Kanal do Los Andelesa, a svi oni



Sl. 85. — Tipična slika jednog registrovanja dobivenog na nivou morske površine pri ovom ispitivanju, koje je bilo vršeno širom celog sveta. Dve od horizontalnih linija daju barometrijske i temperaturske podatke



Sl. 86. — Efekat geografske dužine meren pomoću elektroskopa sa štitom. Ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja od 12 procenata nađeno je u blizini Singapura (istočna hemisfera). Ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta od 10 procenata nađeno je idući od Los Andelesa do Melburna. Ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta od 8 procenata nađeno je u toku leta, idući od Siatla ili Njujorka do Guajakvila ili Molenda

pokazuju sa velikom saglasnošću da ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja u ovoj oblasti iznosi 7 ± 1 procent u odnosu na intenzitet tog zračenja kod Los Andelesa, a 8 procenata u odnosu na srednju od mnogih vrednosti dalje prema severu.

Najzad, da bi smo videli da li bi smo dobili intermedijarnu vrednost pri prelazu preko ekvatora na mestu koje se nalazi u sredini između Molenda i Singapura, mi smo, u leto 1934, postavili dva elektroskopa — jedan bez štita a jedan sa štitom od 10 cm olova — u kabinu prvog oficira Grehama, na parobrodu „Monteri“ (društva Matson Lajn), koji je preko Honolulua plovio tamo i natrag između Los Andelesa i Melburna pa smo dobili na oba elektroskopa ekvatorsko ulegnuće na krivoj intenziteta kosmičkog zračenja od $10,1 \pm 1$ procenta.¹ Ovaj rezultat može da se uporedi sa ekvatorskim minimumom od 10,2 procenta, koji je upravo objavljen kao srednja vrednost ulegnuća na krivoj intenziteta nađena pri prelazu istog puta preko ekvatorskog pojasa u toku jedanaest putovanja između Vankuvera i Sidneja, koja je dobivena pomoću aparata što su ih dali dr Kompton i dr Tarner.² Isto tako, naša vrednost ekvatorskog ulegnuća na krivoj intenziteta, koju smo našli na zapadnoj obali Južne Amerike, može da se uporedi sa Klejovom poslednjom vrednošću³ u istoj oblasti, koja iznosi 6 procenata sa olovnim štitovima, a 8 procenata bez štitova. Slika 86 daje na jednom grafikonu rezultate dobivene na ovaj način pomoću Neherovih aparata poslatih na više putovanja oko sveta, a sl. 87 daje kombinovane rezultate naših jedanaest putovanja preduzetih sa Neherovim aparata

¹ Teoriski, trebalo bi da postoji neka razlika između procenta ekvatorskog ulegnuća, na krivoj intenziteta, koja se dobiva pomoću elektroskopa sa štitom i bez štita, ali tokom tri putovanja, pri kojima smo upotrebljavali aparate bez štita, razlika, ako ona postoji, bila je u granicama naših grešaka posmatranja.

² Phys. Rev. LII (1937), 141.

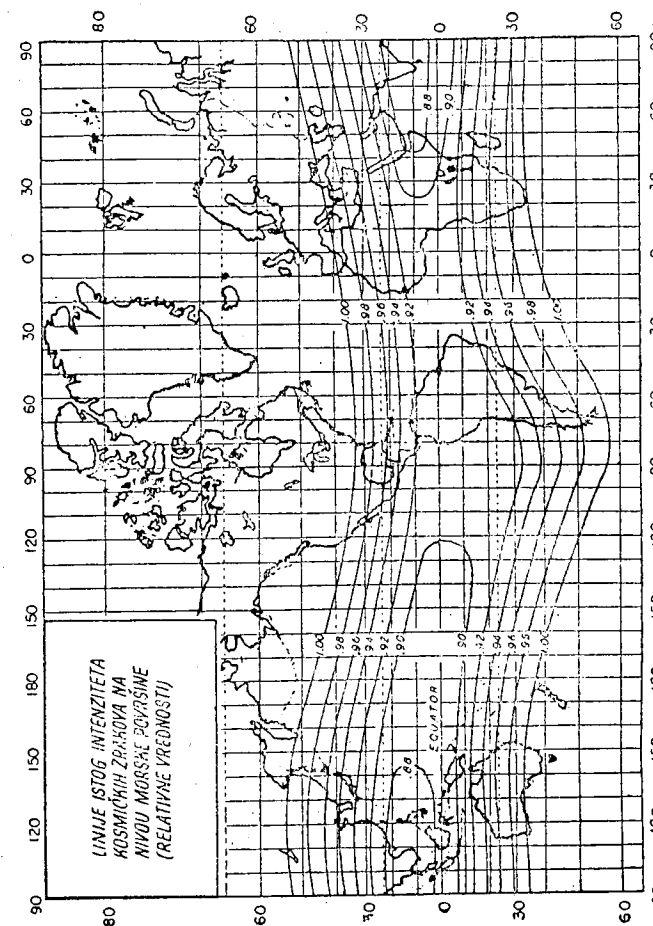
³ Clay, Bruins, and Wiersma, Physica, III (1936), 746.

tima, da bi se dobile varijacije intenziteta kosmičkih zrakova na nivou morske površine u celom svetu. To je bila prva karta ove vrste koja je ikad objavljena.¹ To je karta koja odražava osobine zemljinog magnetnog polja sve do daleko u prostor, više nego samo na zemljinoj površini, kako to pokazuje obična pomorska karta.

Sada smo u stanju da saberemo, kao što je niže učinjeno, najznačajnije rezultate gornjih proučavanja efekata geografske dužine na nivou morske površine. Ako se čovek uputi sa neke severne magnetne širine i kreće prema jugu po nekoj geografskoj dužini koja ga vodi preko magnetnih ekvatorskih oblasti u blizini Sumatre ili Indije, nalazi 12 ± 1 procenata ekvatorskog opadanja intenziteta kosmičkih zrakova na nivou morske površine; ali ako se pređe na drugu stranu zemljine kugle i putuje na jug od neke severne geografske širine, tako da se pređe magnetni ekvator dalje od zapadne obale Južne Amerike, nalazi se 8 ± 1 procenata ekvatorskog opadanja intenziteta. Ovaj nedostatak simetrije, koji je na taj način nađen kod zemljinog magnetnog polja hiljadama milja daleko u prostoru, gde se određuju efekti kosmičkih zrakova, izgleda da odražava magnetnu asimetriju, koja je nađena na zemljinoj površini; jer ne samo da linija koja veže severni i južni magnetni pol ide bliže Americi nego Aziji, nego i površinska vrednost horizontalne komponente zemljinog magnetnog polja iznosi blizu Batavije 0,4 gausa, dok je ona samo 0,3 gausa u blizini Ekvadora i Perua. Jednom reči, površinske osobine zemljinog magnetnog polja pokazuju se ovde da se odražavaju kao efekti koji se dešavaju hiljadama milja iznad površine; i mi sada, prvi put, imamo mogućnosti za proučavanje osobina ovog polja daleko u vasioni.

Sa gledišta prirode upadnih kosmičkih zrakova tumačimo ovaj ekvatorski efekat geografske dužine otkriven na ovaj način kao da znači da moraju postojati neki upadni naelektrisani korpuskularni zraci (slobodni elektroni ili

¹ Carnegie Inst. Washington Year Book, № 34 (December 13, 1935), str. 343; isto tako Phys. Rev., L (1936), 24.



Sl. 87. — Rezultati istraživanja na nivou morske površine prikazani su linijama istog intenziteta kosmičkih zrakova. Ove linije su obično paralelne sa geomagnetnim ekvatorom; izuzeci su blizu donjeg dela Južne Amerike i duž magnetnog ekvatora, gde se javlja efekat geografske dužine. Od gornje linije prema severu, i od donje linije prema jugu, intenzitet na nivou morske površine ostaje konstantan, izuzev u slučaju magnetnih oluja i efekata atmosfere temperature u toku zime

protoni) dovoljne energije da prodru kroz zemljino polje na magnetnom ekvatoru na strani Južne Amerike, ali kojima je sprečeno prodiranje na magnetnom ekvatoru u blizini Sumatre ili Indije, zbog jačeg magnetnog polja koje postoji na toj strani zemljine kugle. Definicija za upadne kosmičke zrake koji nisu osetljivi prema magnetnom polju biće zato otsada upadni fotoni (ako takvi postoje) plus upadni slobodni elektroni ili protoni sa dovoljnom energijom da dopru do ekvatora kroz barijeru zemljinog magnetnog polja na onoj strani zemljine kugle gde se nalazi Azija. Ovo će odmah biti uzeto da odgovara vertikalno upadnoj naelektrisanjoj korpuskularnoj energiji od 17 milijardi elektron-volta.

Svi naučni radnici koji izučavaju kosmičke zrake du-guju neobično mnogo Lemetru i Valarti za najpotpunije i najtačnije analize koje su dosad izvršene o odnosima između upadnih elektronskih energija prema putanjama naelektrisa-nih čestica koje pokušavaju da dopru do zemljine površine kroz barijeru zemljinog magnetnog polja.¹ Njihovi su rezultati grafički prikazani na sl. 88, koja je reprodukcija njihove slike 10 u *Physical Review*, L (1936), 503. Kriva koja je označena sa I na dijagramu pokazuje proračun koji su dali ovi autori za energiju, koja je potrebna u funkciji geografske širine da jedan elektron dopre *vertikalno* do zemlje. Ova kriva, međutim, proračunata je prema pretpostavci magnetnog polja koje je simetrično oko severnog pola, za koji se smatra da se nalazi na 78° 30' N širine i 69° 0' W dužine, i koje na magnetnom ekvatoru ima jačinu polja koja zahteva da upadni elektron ima energiju od 15 milijardi elektron-volta, da bi tu dospeo vertikalno na zemlju. Da bismo postupili što je moguće bolje prilikom objašnjavanja asimetrije, od koje zavisi efekat geografske dužine koji je gore iznet, a još i da bi smo dobili srednju vrednost, držeći se Lemetra i Valarte da je vertikalni ulaz na ekvatoru 15 milijardi elektron-volta, profesor Neher i ja,

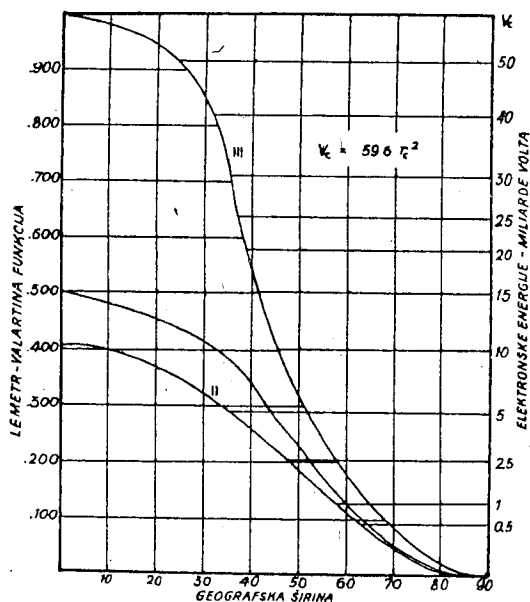
¹ Vidi Lemaitre and Vallarta, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 87, ali naročito *Phys. Rev.*, XLIX (1936), 719 i L (1936), 503.

vođeni donekle povećanjem efekta geografske dužine od 8 na 12 procenata, idući od Perua ka Indiji, utvrdili smo da energija koja je potrebna da elektron vertikalno dopre na zemlju na ekvatoru u Indiji iznosi 17 milijardi elektron-volta, a 13 milijardi elektron-volta za odgovarajuću vrednost energije u Molendu.

Mi smo došli do ovih brojeva na sledeći način: ako se držimo celih brojeva, kao što neizbežne nesigurnosti koje ovde postoje to zahtevaju, naš jedini mogućan način da dođemo do srednje vrednosti 15 bio je da uzmemo 18 i 12, 17 i 13, ili pak 16 i 14. Poslednji par brojeva nije predstavljao toliku asimetriju, koliku smo smatrali da smo našli, dok su 18 i 12 uslovljavali isuviše veliku; tako smo izabrali 17 i 13. Izgleda da kasnija *eksperimentalna* ispitivanja takođe opravdavaju naš izbor (17 i 13).

Pomoću Lemetr—Valartinog dijagrama sada je moguće mnogo razumnije diskutovati za datu upadnu energiju — recimo milijardu (10⁹) elektron-volta — o dvema kritičnim geografskim širinama λ_2 i λ_1 , pomenutim već ranije. Tako, sl. 88 pokazuje da bi ovi upadni elektroni od milijarde volta upravo počeli tangencijalno da upadaju sa zapadnog horizonta na širini od 58°, i na taj način počinju da dodiruju sam vrh atmosfere. Slika 88 pokazuje dalje, da, kad ne bi bilo atmosfere, ovi upadni elektroni od milijardu volta počeli bi vertikalno da dopiru na zemlju (kriva I) na geografskoj širini 60°, a najzad bi na geografskoj širini 65° (kriva III) ceo njihov snop potpuno upadao; čak i oni koji bi ulazili sa istočnog horizonta tangencijalno davali bi svoj udeo gornjoj atmosferskoj jonizaciji. Tako bi geografska širina 65° u ovom slučaju odgovarala geografskoj širini λ_1 (kriva III), na kojoj počinje južna ivica sada potpuno izgrađene „polarne kape“ ravnomernog intenziteta kosmičkih zrakova. Na sličan način, ako uzmemo drugi slučaj, upadni elektroni od 6 milijardi elektron-volta prvo bi se opazili u gornjim slojevima atmosfere na geografskoj širini 32° (kriva II), ali zbog otpora atmosfere ne bi se opazili na nivou morske površine dok ne bi ulazili skoro

vertikalno, recimo kod 38°, i premda oni ne bi upotpunili svoju polarnu kapu u *gornjim slojevima vazduha* dok se ne bi dostigla geografska širina 50° (kriva III), otpor atmosfere bi ograničio njihovu efektivnost na nivou morske površine na usku oblast koja bi iznosila otprilike od 37° do 43°. Docnije će se mnogo više upotrebiti Lemetr—Valartini rezultati koji su dati na sl. 88.



Sl. 88. — Lemetr—Valartina funkcija r_c je data prema geografskoj širini za tri pravca. Kriva I odgovara vertikalnom pravcu, kriva II odgovara zapadnom horizontu, a kriva III odgovara istočnom horizontu. Elektronske energije su nanesene duž desnog kraja dijagrama (Lemetr i Valarta)

V. ISTOČNO-ZAPADNI EFEKAT

Zemljino magnetno polje bilo je podesno ne samo da bi se odredilo da li postoji naelektrisana korpuskularna komponenta kod upadnih kosmičkih zrakova, nego takođe — pošto se na ovo pitanje odgovorilo potvrdno — da se

odgovori i na dalje pitanje o znaku naelektrisanja koje prevladuje kod upadnih čestica. Tako, u ekvatorskom pojasu, na primer, gde efekat geografske dužine dokazuje da postoje upadne naelektrisane čestice sa dovoljno energije da dopru do atmosfere kroz barijeru zemljinog magnetnog polja, ako su ove čestice pretežno pozitivne, onda, pošto magnetne linije sile iznad zemlje idu u pravcu od juga prema severu, u saglasnosti sa pravilom desne ruke, naelektrisane pozitivne čestice koje upadaju, recimo vertikalno, moraju da osele silu koja ih gura prema istoku, tako da će one padati na zemljinu atmosferu ne u vertikalnom pravcu, nego u pravcu koji je nagnut prema zapadu od vertikale. S druge strane, negativno naelektrisane čestice padaće na zemlju dolazeći pretežno u pravcu koji je nagnut na istok od vertikale. Takozvani „Gajger—Milerovi brojači“ veoma su podesni za određivanje pravca u kome naelektrisani korpuskularni zraci padaju na zemlju. Ako se dve takve brojačke cevi, recimo sa prečnikom od 1 cola i dužine od 6 cola, postave u pravcu sever—jug jedna iznad druge, recimo na razmaku od jedne stope jedna od druge, postavljene na vertikalni nosač ili okvir, koji može da se nagne prema istoku ili prema zapadu, pa ako su upadne naelektrisane čestice na ekvatoru pretežno pozitivne, više će ih proći kroz oba brojača, i biće više udara registrovano, kad je vertikalni okvir nagnut prema zapadu nego li kad je nagnut prema istoku. S druge strane, ako su upadni naelektrisani korpuskularni zraci pretežno negativno naelektrisani, biće veći broj zrakova koji prolaze kroz brojače kad je uređaj nagnut prema istoku nego kad je nagnut prema zapadu. Rosi (Rossi) i Lemetr i Valarta su predložili da se ovaj opit izvede negde u ekvatorskom pojasu ili blizu njega; i, zaista, Rosi je tražio ovaj efekat, ali bez uspeha.¹ Taj efekat su, međutim, otkrili, nezavisno

¹ Rossi, *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 606; *Rend. Lincei*, XIII (1931), 47, i *Nuovo Cim.*, VIII (1931), 85. Vidi isto tako, *Phys. Rev.*, XLV (1934), 212.

T. H. Džonson¹ (T. H. Johnson), iz Bartol-zadužbine i Alvarez (Alvarez) i Kompton², sa Univerziteta u Čikagu, pri čemu su ovi istraživači, u proleće 1933, postavili brojačke cevi u planinama blizu Meksiko Sitija i konstatovali da, kad su nagnuli svoj vertikalni sistem brojača prema zapadu, dobili su više odbrojavanja nego kad su ga nagnuli prema istoku, i time su dokazali da su upadne naelektrisane čestice pretežno pozitivne. Ovaj rezultat je bio iznenađujući s obzirom na činjenicu da, dok Anderson nije otkrio pozitivni elektron, pozitivno naelektrisanje je bilo nađeno samo u jezgrima atoma a, uglavnom, jezgra su mnogo manje rasprostranjena nego što su negativni elektroni, koji sačinjavaju ekstranuklearne ljuske atoma. Izgledalo bi da obilnost nalaženja ovih negativnih čestica i lakoća sa kojom se one odvajaju od atoma govori u prilog njihovom preovlađivanju u komponenti kosmičkih zrakova koja je osetljiva prema magnetnom polju; međutim, u svakom slučaju, posmatrani pravac istočno-zapadnog efekta nedvosmisleno pokazuje da preovlađuju neke vrste pozitivnih čestica. Rosi³, Korff⁴, Neher⁵ i Klej⁶ kontrolisali su i proširili ove eksperimente, i svi se u suštini slažu sa prethodnim rezultatima. Ovo je eksperimentalna činjenica čije će tumačenje verovatno jednoga dana biti od bitne važnosti za naše razumevanje kosmičkih procesa, ali će zato biti potrebno još više eksperimentalnog rada.

Međutim, sasvim nezavisno od znaka upadnih čestica, čak i da su sve istog znaka, ne opaža se nikakav istočno-zapadni efekat za zrake koji se nalaze u Epštajnovoj i

¹ Johnson, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 834; isto tako *ibid.* XLVIII (1935), 287, za vrlo opširan članak.

² Alvarez and Compton, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 835.

³ Rossi, *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 606; *Rend. Lincei*, XIII (1931), 47; i *Nuovo Cim*, VIII (1931), 85. Vidi isto tako *Phys. Rev.*, XLV (1934), 212.

⁴ Korff, *Phys. Rev.*, XLVI (1934), 74.

⁵ Neher, još nije objavljen.

⁶ Clay, *Physica*, VII (1933), 363.

Lemetrovoj polarnoj kapi ravnomernog intenziteta kosmičkih zrakova, koja, kao što se sećamo, važi za zrake date energije sve do neke određene geografske širine, pri čemu se ova širina pomiče sve dalje prema jugu sa povećanjem vrednosti energije upadnih čestica. Ovo znači da bi istočno-zapadni efekat na nivou morske površine u Severnoj i Južnoj Americi trebalo da se posmatra samo južno od oko 41° geomagnetne širine. On, ustvari, pokazuje maksimum na magnetnom ekvatoru, kao što je T. H. Džonson eksperimentalno dokazao. Zemljino magnetno polje, naravno, utiče na naelektrisane čestice u polarnoj kapi isto tako kao i izvan nje; ali ravnomeran intenzitet u toj kapi znači da ovo polje prouzrokuje da se isto toliko zrakova savije pod datim upadnim uglom ka zemljinoj površini kao i izvan nje.

TABLICA XVI

Istočna i zapadna odbrojavanja koja je izvršio T. H. Džonson u Cero de Pasko, Peru, visina 4300 metara, na magnetnom ekvatoru.

Zenitni ugao Z	Celokupna odbrojavanja zapadna C_w	Celokupna odbrojavanja istočna C_e	Asimetrija A	Verovatna greška za A
15°	59,295	55,049	0,084	0,0042
30°	39,601	35,418	0,125	0,0054
45°	11,024	9,764	0,139	0,0085
60°	6,760	6,028	0,174	0,015

Tablica XVI¹ pokazuje kako je upravo pronađen istočno-zapadni efekat i kako su na njemu izvršena merenja. Procentualna asimetrija A jednostavno se uzima kao razlika između istočno-zapadnih odbrojavanja podeljenih sa polovinom njihovog zbira. Na ekvatoru ova asimetrija A ne izgleda da se primetno razlikuje na nivou morske površine prema asimetriji na visini Cero de Pasko, naime, na 4300 metara; niti postoji ikakav razlog da se očekuje da bude razlike. Međutim, isto onako kao što je bilo nađeno prilikom

¹ Vidi, Johnson, *Phys. Rev.*, XLVIII (1935), 290.

našeg ispitivanja pomoću aviona, da se polarna kapa ravnomernog intenziteta kosmičkih zrakova prostire dalje prema jugu na nivou morske površine nego što je to na velikim visinama, tako bi i na *ovim intermedijarnim geografskim širinama* istočno-zapadni efekat trebalo da se poveća sa visinom, kao što je Džonson i našao da se to dešava u njegovim prvim posmatranjima u Meksiku.

Rezultati koji su izloženi u tablici XVI predstavljaju posmatranja koja su izvršena 1935 god.; ali 1939 god. Džonson, svetski autoritet u pogledu istočno-zapadnog efekta, objavio je nove rezultate¹ o radu koji je obavljen u ekvatorskom pojasu, gde su bila vršena istočno-zapadna posmatranja do velikih visina pomoću istraživačkih letova balonima: tom prilikom je nađeno da je asimetrija *čak manja nego na nivou morske površine, čime je nagoveštena mogućnost o postojanju nekog lokalnog izvora istočno-zapadnog efekta.*

Džonson je tumačio svoje rezultate uzimajući da postoji jednak broj upadnih pozitrona i negatrona, pa je tada pretpostavio da zapaženi mali pozitivni višak odgovara izvesnom broju upadnih protona. Ovo je interesantna pretpostavka, ali ja iznosim druge dve, od kojih svaka možda bolje odgovara rezultatima koji se nalaze u sledećim glavama.

Neka se pretpostavi 1), da pozitivni višak potiče usled činjenice da za negatron — koji je stvoren u vasioni kao jedan član nekog „elektronskog para“ — kada dolazi blizu zemlje, postoji nešto veća verovatnoća da ga uhvate jonizovani atomi u udaljenim oblastima atmosfere nego što je slučaj sa pozitronom. Ili, ako bi se ovo rešenje odbacilo, neka se pretpostavi 2), da stalno ali još neobjašnjeno negativno naelektrisanje na zemlji ima težnju da daje donekle prednost upadnim pozitronima više nego negatronima.

Ove pretpostavke bi ograničile neuravnoteženi odnos između pozitivnih i negativnih čestica na izvesnu oblast relativno blizu zemlje u poređenju sa njenim poluprečnikom,

¹ *Rev. Mod. Phys.*, XI (1939), 208, i VIII (1938), 104; isto tako Johnson and Barry, *Phys. Rev.*, LVI (1939), 219.

pa bi se izbegla pretpostavka o ma kakvoj električnoj neravnoteži kroz vasionu. Ovaj princip uravnoteženosti ili održanja naelektrisanja, jako su isticali kompetentni fizičari kao pravu *nužnost*, i, zaista, već pedeset godina je opšte priznat kao umesan prigovor *ma kojoj* teoriji, koja bi postulirala mogućnost da zemlja bude bombardovana česticama velike brzine *isključivo* jednog znaka pre nego takvim česticama oba znaka ili čak i bez ikakvog znaka. Ovaj princip je fatalan po teoriju primarnih upadnih pozitivno naelektrisanih protona, sem ako se električna uravnoteženost u prostoru ne proizvodi na neki drugi način.

U svakom slučaju, i pozitroni i negatroni pri sudaru sa jednim atomskim jezgrom u spoljnoj atmosferi moraju u tom sudaru praktično potpuno da pretvore svoju energiju u fotone; postoji, međutim, siguran dokaz da ovi fotoni, zbog toga što ih apsorbuju atmosferska jezgra, stvaraju mezotrone, o kojima će biti govora u sledećoj glavi. Mi još imamo mnogo da saznamo o stvarnim procesima na koji se način apsorbuje energija kosmičkih zrakova u zemljinoj atmosferi i površinskim slojevima.

GLAVA XVIII

MEZOTRON

I. MERENJA IZVRŠENA NA GEOGRAFSKIM ŠIRINAMA
PRAKTIČNO DO VRHA ATMOSFERE

Na sl. 82 pretstavljeni su rezultati prvog ispitivanja kosmičkih zrakova, koje je izvršeno u leto 1932 na visinama do 22000 stopa pomoću aviona, a koje je nastavljeno u proleće 1933 na visinama do 29000 stopa, što je mnogo važnije, i u seriji od 5 geografskih širina, od 63° N geomagn. šir., sve do magnetnog ekvatora u Peruu, na približno jednakim visinama. Ovi rezultati, koji su prvi put objavljeni u Američkom fizičkom društvu (American Physical Society), u decembru 1932,¹ a koji su, kada su kasnije, 1933 i 1934 god., bili dopunjeni otkrićem i kvantitativnim merenjem efekta geografske dužine na nivou morske površine, bili su ubedljiviji u pogledu karaktera i osobina kosmičkih zrakova nego ma koji eksperimenti izvršeni do tog vremena, ali oni su samo poslužili da ukažu na potrebu letova na još veće visine. Međutim, bilo je očigledno potrebno da se ovi letovi izvrše na takav način, da bi se učinile jasnim *razlike* na geografskim širinama pri mnogo većim visinama nego što su do tada bile dostignute. Jer, na osnovu ukupno sabranih električnih pražnjenja Neherovog registrujućeg elektroskopa, koji je bio odašiljan do vrha atmosfere, odmah će biti pokazano da se lako mogu dobiti i broj upadnih

¹ R. A. Millikan, *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 667; i I. S. Bowen, R. A. Millikan, and H. V. Neher, *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 252.

čestica i celokupna energija kosmičkih zrakova koja iz vasiona prodire u zemlju kroz svaki kvadratni santimetar sfere koja bi na vrhu atmosfere obuhvatala zemlju, pri čemu je razmatranje zasnovano na do tada neospornoj pretpostavci da se sva ova energija najzad javlja kao jonizacija u atmosferi ili ispod nje, a da nikakva primetna količina energije ne ostaje u neutralnom obliku. Jonizacija ispod nivoa morske površine već je bila poznata na osnovu naših merenja ispod površine vode, koja su ranije izvršena, i mogu se prema tome dodati. Ova je, međutim, bila praktično neznatna u poređenju sa jonizacijom atmosfere i, prema tome, za nas nije bila od interesa.

Neuspeh svih letova balona sa posadom, da se s njima dospe na velike visine, ili čak da se dobije serija letova na raznim geografskim širinama, predstavljao je najozbiljniju prepreku. U Evropi Kolherster¹, Hess², i Pikar—Kozins (Piccard—Cosyns)³ su izvršili značajne letove ove vrste na jednoj jedinoj geografskoj širini, a u Americi su poznati Fordni—Setlov (Fordney—Settle) let, novembra 1933 god.⁴, i takozvani Kepner—Stifensov (Kepner—Stephens) let, jula 1934 god., pri kojima su oni sa sobom odneli gore, zajedno sa drugim aparatima, naše elektroskope za ubeležavanje kosmičkih zrakova Neherovog tipa, koji su dali dobre rezultate, ali od kojih nijedan nije bio sposoban da otkrije mnogo traženi efekat zemljinog magnetnog polja na upadne naelektrisane čestice — ključ celog problema. Prema tome, naša sledeća briga bili su letovi na vrlo velikim visinama sa elektroskopima za ubeležavanje, a na raznim geografskim širinama.

Teškoća da se merenja kosmičkih zrakova vrše na raznim geografskim širinama, a na visinama većim od oko 30000 stopa — što je otprilike granica do koje smo bili u

¹ Kolhörster, *Phys. Zeit.*, XIV (1913), 1066 i 1158.

² Hess, *Phys. Zeit.*, XIV (1913), 610.

³ Piccard i Cosyns, *Compt. Rend.*, CXCIV (1932), 606.

⁴ *Proc. Int. Conf. Nuclear Physics* (London, 1934), str. 212 i 221.

moгуćnosti da dopremo sa avionima u proleće 1933 god. — bila je u tome što, da bismo dobili željenu tačnost merenja intenziteta na velikoj visini, bilo je potrebno da ponovo naelektrišemo naše autoregistrujuće aparate Neherovog tipa svakih četiri ili pet minuta u toku jednog letenja, a ovo smo postizali u avionima i balonima kojima upravlja čovek noseći gore bateriju od 350 volta, koja je služila kao izvor električnog punjenja. Da bismo vršili ispitivanja na većim visinama, koje se mogu dostići sa balonima za meteorološka ispitivanja, bilo je potrebno da se usavrši tehnika neprestanog uzastopnog naelektrisanja električnog punjenja Neherovog elektroskopa u toku samog leta iz jednog kondenzatora umesto iz baterije, pošto je baterija imala težinu veću od dozvoljene. Posle nekoliko godina ispitivanja i nekih neuspeha pri probnim letovima u San Antoniju, u leto 1935 god., dr Neher, uz pomoć dr S. K. Hejnisa (S. K. Haines), rešio je problem konstruisanja vrlo lakog kondenzatora za električno punjenje, kapaciteta deset hiljada cm, koji je prilikom leta gubio manje od jedne desetine od procenta svog električnog punjenja na sat.

Sa ovim novim Neherovim aparatima, koji su, sa svim mehanizmima za ponovno električno punjenje i ubeležavanja za elektroskope, barometre i termometre, imali težinu od samo oko 1400 grama, mi smo, u avgustu 1936,¹ izvršili uspešne letove sa Fort Sam Hjustona, San Antonio, Teksas (geomagn. šir. 38,7° N), uz pomoć Vojnog odreda za vezu koji se tu nalazio. Ovi letovi su nam dali precizne rezultate intenziteta kosmičkih zrakova sve do pritiska od 12,9 mm živinog stuba, odnosno za razmak puta koji iznosi 98,3% od ukupnog puta do vrha atmosfere.² Onda smo odmah sav

¹ *Phys. Rev.*, L (1936), 992.

² Pfcerov (Pfozter) značajan let, koji je izvršen ne sa elektroskopom, nego sa trostrukim vertikalnim brojačima, dosegao je gore do 10 mm živinog stuba (vidi *Zeit. f. Phys.* CII [June, 1936], 23 i 41). Isto tako u leto 1937 god. mi smo dostigli visine na kojima je pritisak bio 9,9 mm živinog stuba, odnosno 98,8% od puta do vrha atmosfere (vidi *Phys. Rev.*, LIII [1938], 855).

uređaj ukrkali na brod i sa dr Neherom poslali u Madras, Indija (geomagn. šir. 3° N), pa smo uz odličnu saradnju Indiske meteorološke službe, tamo ponovili vrlo blizu magnetnog ekvatora isti način merenja koji je bio već izvršen u San Antoniji. Rezultati ovih merenja su omogućili Bouenu, Milikenu i Neheru¹ da dobiju odgovor na jedno pitanje koje je zadavalo velike brige u čitavoj oblasti kosmičkih zrakova — onom pitanju koje nam je bar pet godina svima zadavalo glavobolju. Istorijat i važnost ovoga pitanja su sledeći:

Od vremena prvog kvantitativnog dokaza — koji je prvi izneo Kao,² 1930 god. — da nova vrsta apsorpcije fotona γ -zrakova, koju vrši olovo, počinje da se javlja pri upadnoj energiji od oko 1 milion elektron-volta, teoretičari su pokušavali da izvedu moguće zakone takve nuklearne apsorpcije; jer, pre ovoga smatralo se da su zakoni *ekstra-nuklearne* apsorpcije, koji su pretstavljeni Klajn-Nišininom formulom, dovoljni da vode računa o celokupnom procesu apsorpcije. Openhajmer i Pleset³ su, 1933 god., prihvatili novo-otkrivenu činjenicu proizvođenja parova pozitron-negatron pri udaru fotona o jezgra atoma i načinili je osnovom jedne teorije o *nuklearnoj* apsorpciji fotona, koja je apsorpcija, naravno, trebalo da se doda Klajn-Nišininoj apsorpciji ekstra-nuklearnih elektrona; Loricen i njegova grupa, takode sa Kaliforniskog instituta za tehnologiju, pokazali su da je ova teorija pozvana da objasni činjenice o apsorpciji fotonâ u celoj oblasti energije, počev od 1 miliona pa sve do 17 miliona elektron-volta, koju su oni tada počeli da ispituju. Ali teškoća koja nastaje kada se ova teorija primeni na kosmičke zrake bila je u tome, što ona nije dopuštala čak ni da zraci od milijarde volta, pa bilo da se oni sastoje od fotonâ ili od elektronâ, mogu da prodru, u najboljem slučaju, više od jedan do dva metra vodenog sloja. Bete i Hajtler (Heitler)⁴ detaljnije su

¹ Bowen, Millikan i Neher, *Phys. Rev.*, LII (1937), 80.

² Chao, *Phys. Rev.*, XXXVI (1930), 519.

³ Oppenheimer i Plesset, *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 53.

⁴ Bethe i Heitler, *Proc. Roy. Soc.*, CXLVI (August, 1934), 83—112.

razradili ovu teoriju, naročito s obzirom na njenu primenu kod apsorpcije elektronâ velike energije. Osnovna pretpostavka na kojoj počiva ova teorija, sada opšte poznata kao „Bete—Hajtlerova teorija o apsorpciji elektronâ“, već je data napred. Bitna karakteristika te teorije je u tome da elektroni, kad pokušaju da prodru kroz materiju, s obzirom na njihovu neobično malu masu, moraju da se ponašaju na način, na koji teške čestice, kao što su protoni ili α -zranci, ne mogu da se ponašaju, naime, oni moraju da budu naglo zaustavljeni ili usporeni čim prodru u neko relativno teško telo kao što je atomsko jezgro; međutim, ovaj proces naglog usporavanja, odnosno „bremzovanja“ je ono što je uglavnom potrebno da pretvori upadnu energiju u elektromagnetni udar, nazvan impulsno zračenje ili „difraktovani foton X-zraka“ ili „ γ -zrak“, a koji usled brzog sudara sa nekim drugim jezgrom proizvodi jedan elektronski par (+ i —); svaki član ovog para sudarom sa još jednim drugim jezgrom pretvara svoju energiju u impulsno zračenje, tako da se prvobitna energija vrlo brzo smanjuje raspodelom između sve većeg i većeg broja fotona i elektrona sa sve manjom i manjom energijom, usled stalnog ponavljanja ovih procesa „impulsno zračenje“ — stvaranje parova, pri čemu sve ovo skupa sačinjava „kaskadni pljusak“ kosmičkih zrakova.

Ova Openhajmer—Bete—Hajtlerova teorija apsorpcije, kako fotona tako i elektrona, primenjivana je sa uspehom svuda kvantitativno, kad god je ispitivana u oblasti energija od nekoliko miliona elektron-volta.¹ Ona je zahtevala da gubitak energije elektronâ ili fotonâ, kad prolaze kroz dati sloj materije, bude proporcionalan upadnoj energiji — drugim rečima, ona je zahtevala da apsorpcioni koeficijent bude konstantan, bez obzira kakva je vrednost upadne energije, i zahtevala je da apsorpcija bude proporcionalna za Z^2 , kada zračenje prolazi kroz zapreminu koju sadrži dati broj atoma sa raznim atomskim brojem, gde Z znači atomski

¹ Crane i Lauritzen, *Proc. Int. Conf. Physics*, Vol. I: *Nuclear Physics* (London, 1934), str. 130—43.

broj. Oba ova uslova izgledalo je da su bila zadovoljena kada su zranci na kojima se vršilo ispitivanje imali malu energiju, tj., od milion do možda 300 miliona elektron-volta, kao što su eksperimentalno pokazali Anderson i Nedermajer.² Međutim, ovo očevidno nije važno za kosmičke zrake velike energije. Zašto ne? Zato što teorija nije dopuštala da fotoni ili elektroni kosmičkih zrakova mogu da prodru kroz više od nekoliko santimetara olova ili najviše nekoliko metara vode, uprkos činjenice da je vrlo rano, naime, u Milikenovim i Kameronovim prvim ispitivanjima iz 1925 god. u jezerima koja dobivaju vodu od otopljenog snega prvi put nesumnjivo dokazano da kosmički zranci zaista prodiru² ne samo kroz 1 atmosferu — 10 metara vodenog stuba — nego kroz ne manje od 10 atmosfera, tj. do dubina u jezerima (na primer jezero Džem, Kalifornija) koje iznose bar 300 stopa (100 metara) vode. Neki dočniji eksperimentatori objavljuju da vrlo mali tragovi zračenja prodiru daleko dole sve do 1400 stopa vodenog ekvivalenta.³

Ali, dok po gornjoj teoriji nije bilo dopušteno da elektroni ma kako velike energije mogu da prodru kroz sloj olova debljine preko nekoliko santimetara, Vilsonove komore su pokazale tragove koji se očigledno nisu razlikovali od elektronskih tragova, a koji prodiru bez znatne promene pravca kroz olovo debljine 15 ili 20 cm. Osim toga, ja sam već ukazao da kosmički zranci, kakve nalazimo na nivou morske površine, izgleda da se u raznim supstancama pokoravaju zakonu apsorpcije koja je približno proporcionalna gustini. Ovo znači skoro isto što i zakon proporcionalnosti sa Z umesto zakona Z^2 , kao što zahteva teorija. Samo prilikom merenja fenomenâ pljuskova pronađen je Bete—Hajtlerov Z^2 — zakon na osnovu ispitivanja Rosija i drugih; ali ovi feno-

¹ Anderson i Neddermeyer, *Phys. Rev.*, L (1936), 256.

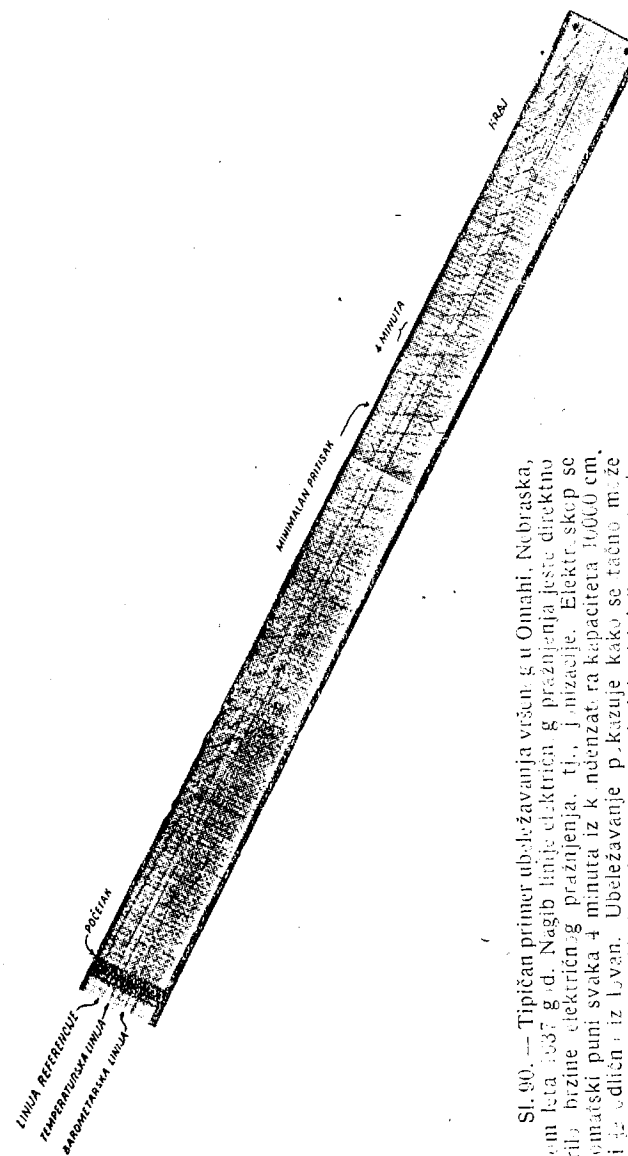
² Vidi isto tako, Rossi, *Zeit. f. Physik*, LXXXII (1933), 151, za čestice kosmičkih zrakova koje u pravim linijama probijaju kroz 1 metar debljine olova.

³ J. Barnóthy i M. Forró, *Phys. Rev.*, LV (1939), 870; isto tako V. C. Wilson, *Phys. Rev.*, LV (1939), 6.

meni izgleda da su bili proizvedeni u najvećem broju kao posledica onoga što je Rosi nazvao „meko ili neprodorna komponenta“ kosmičkih zrakova, komponenta koja je dostizala maksimum svoje efikasnosti proizvodnja ruskova



Sl. 89. — Momenat uzletanja balona sa elektroskopom koji je udešen za stratosferske letove. Prilikom ovog uzletanja bilo je upotrebljeno samo 4 balona. Kada se išlo do najvećih visina (9,9 mm živinog stuba), mi smo redovno upotrebljavali 10 balona ;



Sl. 90. — Tipičan primer ubeležavanja vršnog u Omaha, Nebraska, tokom leta 1937 g. d. Nagib linije električne g. praznjenja jeste direktno merilo brzine električnog praznjenja, tj. jonizacije. Elektr. sklop se automatski puni svaka 4 minuta iz k. n. izlaza kapaciteta 10000 cm, koji je odličan iz Laven. Ubeležavanje p. kazuje kako se tačno može dobiti jonizacija kosmičkih zrakova na ma kojoj visini (bar. metarska linija). Trenutak kada je jedan od balona koji nosi prsnu i kada je počelo spuštanje označen je strelicom minimalnog pritiska

pri debljini olova od oko 1,6 cm, tako da je izgledalo da bi mi mogli biti u pravu ako pretpostavimo da Bete—Hajtlerova teorija važi za zrake male energije, ali ne i za zrake velike energije.

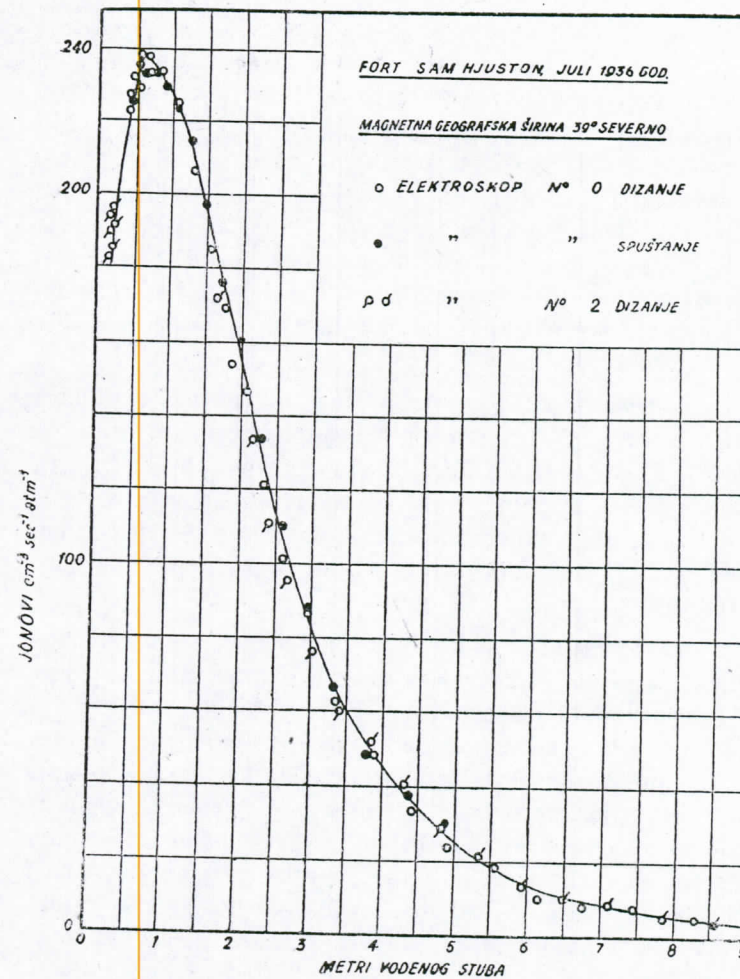
Ovo je bio najjednostavniji put da se izađe iz teškoće, a i put koji sam ja lično odabrao.¹ I doista, tek u jesen 1936 god. ja sam skrenuo pažnju na gore pomenute fenomene „dometa“, koji su u vezi sa određenim energetičkim trakama kosmičkih zrakova, od kojih se jedna nalazi blizu Pasadene na nivou morske površine, a druga blizu Spoukejna na visini od 22000 stopa, a u kojima sam video dokaze nedostatka Bete—Hajtlerovog zakona za energije od milijardu i više volta. Isto tako, svi teoretičari — Bete, Hajtler, Openhajmer, i Bleket — izrazili su svoje uverenje da ovaj zakon ne bi mogao da važi za vrlo velike energije, jer je on nepomirljiv sa vrlo velikom prodornošću koju je pokazao eksperiment.

Ovi novi eksperimenti na velikim visinama, koje su izveli Bouen, Miliken, i Neher, ipak su pokazali da mi svi nismo bili u pravu i da prestanak važenja Bete—Hajtlerovog zakona za velike energije nije put kojim može da se izađe iz prethodnih očiglednih kontradikcija o kosmičkim zracima.

Eksperimentalno obrazloženje gornjeg tvrdjenja nalazi se u grafikonima prikazanim na slikama 91, 92 i 93, koji daju punom linijom naznačene krive na raznim geografskim širinama, sve do 1 ili 2 procenta od vrha atmosfere,² o

¹ Millikan, *Carnegie Inst. Washington Year Book*, № 35 (December 11, 1935), str. 349.

² Što se tiče površine ispod krive — a ona je merilo za celokupnu upadnu energiju koja ulazi u atmosferu na kvadratni santimetar gore pomenute zemljine sfere — ona se ne bi primetno promenila zbog neke veće visine nego što je ova koja je dostignuta, jer krive pokazuju da se jonizacija naglo povećava do izvesne visine, pa onda naglo opada dok balon nastavlja da se penje i da, zbog toga razloga, preko izvesne tačke gornja atmosfera postaje tako retka, da upadni zraci uopšte ne mogu da se sudare sa ikakvim znatnim brojem molekula, što je uslov koji se postiže kada se kriva praktično vrati do x jednako 0. Kao što



Sl. 91. — Kriva visina — jonizacija za oba leta, № 0 i № 2, svedena na jone na kubni santimetar pri atmosferskom pritisku. Pritisci su u metrima vodenog stuba ispod vrha atmosfere (10 metara vodenog stuba = 1 atm.)

se vidi, i u San Antoniju i u Madrasu kriva se spušta toliko dole prema početku da zato nema uvođenja nikakve znatnije greške, ukoliko se tiče celokupne površine ispod nje, kada tu površinu produžujemo sve do početka. Prema tome, za praktične svrhe je tačno, da se ove krive smatraju kao da pomoću njih stvarno produžujemo naša merenja do samog vrha atmosfere.

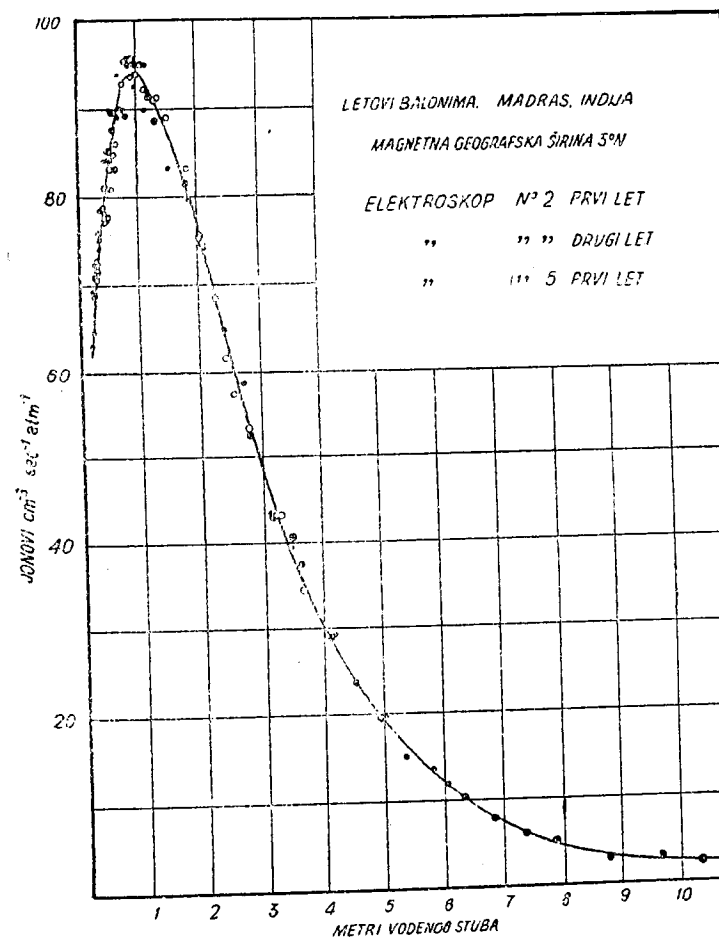
odnosu koji važi između broja jona kosmičkih zrakova koji se stvaraju na kubni santimetar u sekundi u našem elektroskopu, čija je komora napunjena gasom pod pritiskom (svedeno na 1 atmosferu vazduha), i debljine vazdušnog sloja ispod gornje granice atmosfere, koja je debljina merena u ekvivalentnim metrima vodenog stuba, na visini na kojoj se nalazi sam elektroskop. Sledeće iznenađujuće, i, u većini slučajeva, nove činjenice, odmah padaju u oči pri pregledu ovih krivih.

1. Upadni kosmički zraci, ma kakva da je njihova priroda, bivaju tako brzo apsorbovani kao celina u spoljnim slojevima atmosfere, da čak i u ekvatorskom pojasu (sl. 92), gde je efekat zemljinog magnetnog polja na njih najveći, oni dolaze do uravnoteženja sa svojim sekundarnim zracima i proizvode svoju maksimalnu jonizaciju pre nego što prodru kroz prvi deseti deo atmosfere.

2. Od te maksimalne tačke nadalje, u svima slučajevima, neobično naglo im se smanjuje intenzitet po jednoj eksponencijalnoj jednačini, pri čemu je njihov zakon apsorpcije sličan onome kod γ -zrakova, a ne onome kod čestica koje manifestuju takve fenomene dometa kao što čine β -zruci male energije, protonski zraci, ili α -zruci. Fenomeni dometa koji se ovde zapažaju i o kojima se govorilo na prethodnim stranicama, zaista se javljaju na nivou morske površine i na drugim relativno malim visinama, ali uopšte nisu karakteristični za apsorpciju kosmičkih zrakova u gornjim slojevima atmosfere.

3. Dubina ispod vrha atmosfere pri kojoj se dostiže maksimalna jonizacija, a koja je dubina uvek manja od jedne desetine od atmosfere, menja se samo neznatno kada se ide od San Antonija (sl. 91), gde nijedan elektron sa energijom manjom od $6,8 \times 10^9$ elektron-volta ne može vertikalno da prodre kroz barijeru zemljinog magnetnog polja, do Madrasa (sl. 92), gde nijedan elektron sa energijom manjom od 17×10^9 elektron-volta ne može na sličan način da prodre.

4. Razlika između krivih uzetih kod San Antonija i Madrasa omogućila je da se prvi put odredi potpuna kriva jonizacije proizvedene u atmosferi usled upadnih naelektri-



Sl. 92. — Jonizacija kao funkcija dubine, u ekvivalentnim metrima vodenog stuba, ispod vrha atmosfere u Madrasu, Indija, geomagnetna širina 3°N

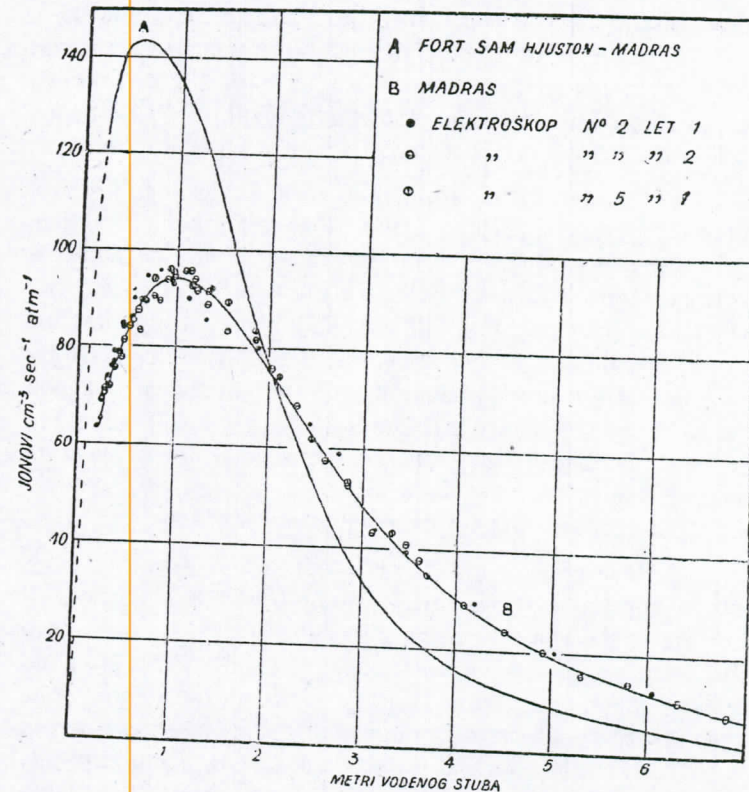
sanih čestica, koje se nalaze u ograničenoj traci energija sa procenjenom srednjom vrednosti od oko 10×10^9 elektron-volta,¹ i baš naročito ova kriva (sl. 93, kriva A), iako se vidi da je ona po karakteru vrlo slična drugim krivama potpunog zračenja (sl. 91 i 92), baca tako mnogo nove svetlosti na apsorpciju i jonizaciju kosmičkih zrakova; jer mi smo ovde potpuno u nemogućnosti da učinimo ono što su mnogi od nas ranije uvek činili, naime, ne možemo da se pozivamo na sve manje i manje prodorne fotonske komponente upadnog zračenja da bismo objasnili nagli porast jonizacije sa povećanjem visine. Svi efekti koji potiču od upadnih fotona nalaze se u opštoj osnovnoj jonizaciji kosmičkog zračenja, koja se, pošto je ista na svim geografskim širinama, eliminiše ako se od krive 91 oduzme kriva 92. Ova „nova primena zemljinog magnetnog polja“ u ovom slučaju jeste dakle ona, koja nam daje tačno poznatu traku naelektrisanih čestica, izvesno bilo slobodnih elektrona ili protona (pri ovim energijama magnetno polje samo ne može da napravi razliku između njih) ogromnih ali prilično dobro određenih energija, i ona nam omogućuje da sa potpunom sigurnošću vidimo kako upravo jezgra iz molekula vazduha apsorbuju naelektrisane čestice ove energije srednje vrednosti od nekih 10 milijardi elektron-volta. Kriva A na sl. 93 odmah nam daje ovaj zakon apsorpcije i omogućuje nam da upoređujemo ovu stvarnu brzinu apsorpcije sa onom koju zahteva Bete—Hajtlerova teorija, u obliku kako su je proširili Karlson (Carlson) i Openhajmer (sl. 94).

5. Dole do dubine jedne trećine atmosfere od vrha (3,3 metra vodenog stuba) ova kriva se prilično dobro slaže, kao što je prikazano na sl. 94, sa Bete—Hajtlerovom teo-

¹ 6,8 i 17 odgovaraju česticama koje *vertikalno* upadaju, dok elektroskopi ubeležavaju zrake izvesnih energija koje leže blisko vrednostima 6,8 i 17 a koje upadaju sa strane pod uglom (vidi sl. 88). Ipak površina ispod svake krive je još uvek celokupan zbir jonizacija-energija iznad San Antonija, u prvom slučaju, a iznad Madrasa u drugom, iako srednja vrednost, koja je napred uzeta kao 10, ne može precizno da se odredi, a niti je ovo važno za sadašnje svrhe.

rijom nuklearne apsorpcije, kao što su je nedavno proširili Karlson i Openhajmer, a onda Babha (Bhabha) i Hajtler.¹

6. Vanredno nagla apsorpcija ovog zračenja, koje je zavisno od geografske širine, sa apsorpcionim koeficijentom, koji je skoro konstantan i nezavisan od upadne energije,



Sl. 93. — Kriva A pokazuje jonizaciju na svim dubinama sve do 7 metara vodenog stuba, a koja potiče od elektrona koji prodiru u atmosferu sa energijama između 6,8 milijardi elektron-volta i 17 milijardi elektron-volta. Ova kriva je razlika između krivih na sl. 91 i sl. 92. Kriva B je ista kao ona koja je prikazana na sl. 92, ali je nacrtana u istoj srazmeri kao i kriva A. Površine (ili upadne energije) ispod obe krive su skoro iste.

¹ Bhabha i Heitler, *Proc. Roy. Soc.*, CLIX (1937), 432; vidi isto tako Bhabha, *ibid.*, CLXIV (1938); 257.

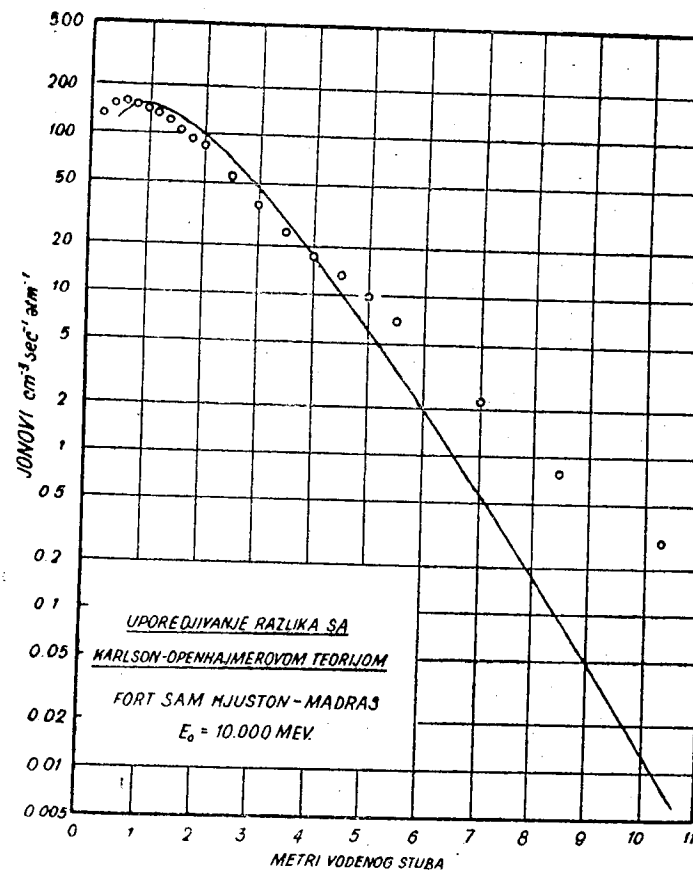
kvalitativno govori u prilog „teorije pljuskova“ gore pomenutih autora kao glavnog uzroka jonizacije gornjih slojeva atmosfere, koju proizvode upadni elektroni čak i ovako ogromne energije, jer protoni ne mogu da budu „bremzovani“ pa da tako prouzrokuju fotone velike energije. Međutim, naravno da je tačno, da bi se mogla učiniti *ad hoc* pretpostavka da se proizvodnjem nuklearne dezintegracije vazduha, njihova brzina apsorpcije ne bi mogla ovde da razlikuje od normalne Bete—Hajtlerove brzine apsorpcije slobodnih elektrona.

7. Deo jonizacije kosmičkih zrakova koji je osetljiv prema geografskoj širini (sl. 94), a konstantovan u donjem delu atmosfere, znatno je prodorniji nego što pretskazuje gore pomenuta proširena Bete—Hajtlerova teorija apsorpcije elektrona; pri svem tom, dok na daljini jedne dvadesetine atmosfere od vrha, ovi zraci od 10×10^9 elektron-volta, koji su osetljivi prema magnetnom polju, proizvode 144 jona po kubnom santimetru u sekundi (kriva A, sl. 93), na nivou morske površine njihov celokupni jonizacioni uticaj spada na samo 0,3 jona po kubnom santimetru u sekundi, tj., otprilike na 1/500 deo od njihove vrednosti blizu vrha atmosfere.

8. Dva gore pomenuta rezultata pod 7 pokazuju da je proces nuklearne apsorpcije upadnih čestica komplikovaniji i zahteva stvaranje prodornijih sekundarnih zrakova nego što je zamišljeno u jednostavnim fizičkim pretpostavkama koje se pokoravaju Bete—Hajtlerovoj teoriji, ali u isto vreme i da je celo potomstvo sekundarnih zrakova, bez obzira na njihovu prirodu, bilo smanjeno skoro do nule kada dopre do nivoa morske površine pri čemu se samo otprilike jedna desetina od jonizacije na nivou morske površine, pa ma koliko ona bila mala, može uopšte da objasni pomoću zrakova koji su osetljivi prema magnetnom polju.

9. Deo jonizacije kosmičkih zrakova koji su osetljivi prema geografskoj širini, konstantovan u donjoj atmosferi, potiče dakle praktično od sekundarnih efekata različite prirode, koji proizlaze od apsorpcije upadnih naelektrisanih čestica u gornjoj desetini atmosfere.

10. Prividni apsorpcioni koeficijent, naime, 0,54 na metar vodenog stuba, stvarne krive (A, sl. 92), koja predstavlja sveukupnost sekundarnih uticaja, koji sve dole do nivoa morske površine proizlaze iz apsorpcije upadnih na-



Sl. 94. — Uspoređivanje Karlson—Openhajmerove teorije za jonizaciju na raznim dubinama (izvučena, puna linija), koja nastaje usled upadnih elektrona, čije su prosečne energije 10.000.000.000 elektron-volta sa direktno posmatranim jonizacijama (kružići). Srazmera je logaritamska. Podudaranje je prilično dobro pri vrhu, ali počev od 5 metara vodenog stuba pa naniže do nivoa morske površine (10 metara vodenog stuba) jonizacija opada mnogo sporije — tj., zraci su mnogo prodorniji nego što teorija dopušta.

elektrisanih čestica u najvišim slojevima samog vrha atmosfere (jer ovaj koeficijent dobro odgovara celoj krivoj apsorpcije od nivoa morske površine, odnosno od 10 metara vodenog stuba, pa sve do 2,5 metra vodenog stuba) je približno isti kao onaj koji je Džonson našao za istočno-zapadni efekat; na ovaj način, ovo pokazuje da su čestice koje prouzrokuju efekat geografske širine i istočno-zapadni efekat iste vrste u mestima njegovih posmatranja.

Kratak pregled eksperimenata i zaključaka, koji je na taj način dat, ne ostavlja nikakvu neizvesnost u pogledu netačnosti moje ranije pretpostavke, da posmatrana ogromna prodorna moć naelektrisanih čestica u fenomenima kosmičkih zrakova treba da se objasni za energije reda veličine od milijardu ili više volta obaranjem zakona kao što je Bete—Hajtlerov zakon, koji iziskuje vrlo brzu apsorpciju elektrona. Kao što eksperimenti u Vilsonovoj komori direktno pokazuju, zaista postoje prodorne čestice koje se nalaze u kosmičkim zracima na nivou morske površine, na koje zrake se uopšte ne može primeniti nikakav zakon nagle apsorpcije, kao što je Bete—Hajtlerov zakon. U ovom smislu, kosmički zraci zaista pokazuju obaranje te teorije; ali, pošto smo ovim eksperimentima dokazali da se čak i elektroni od deset milijardi volta vrlo brzo apsorbuju u gornjoj atmosferi, u suštini baš kao što to iziskuju bitne pretpostavke koje leže u osnovi Bete—Hajtlerovog zakona, ili možda čak i brže, ne postoji nikakva alternativa nego da se zaključi, da ovi u velikoj meri *prodorni zraci*, koji su posmatrani dalje dole u atmosferi, najpre u jezerima koji dobivaju vodu od istopljenog snega, zatim u Vilsonovim komorama i na moru i na Pajks Piku, *nisu slobodni elektroni*, jer oni pokazuju prodornu moć koju nemaju slobodni elektroni čak i kad imaju njihovu energiju. Ali šta su onda ti zraci?

Ukoliko se tiče samih naelektrisanih korpuskularnih zrakova, pošto upravo samo masa ili inercija (nesposobnost da naglo budu „bremzovani“), tj., nesposobnost da proizvode „radijativne sudare“ (sudare uz emisiju zračenja), sačinjava bitnu razliku između sposobnosti slobodnih elektrona da

budu apsorbovani i teških čestica, *mi nemamo drugog izlaza sem da ove u velikoj meri prodorne naelektrisane čestice, koje su primećene u Vilsonovim komorama na nivou morske površine, ubrojimo u neku vrstu relativno teških čestica*. U jednom predavanju u Institutu Poenkare u Parizu, oktobra 1931 god., ja sam pozitivne članove novootkrivenih naelektrisanih parova nazvao „protonima“; a i Ože (Auger) u Francuskoj, i Viljams (Williams) u Engleskoj su kasnije smatrali ove prodorne tragove kao tragove protona; ali, pošto su ove prodorne čestice otprilike podjednako pozitivne i negativne po znaku, *onda, ako bi one bile protoni, tada bi ovi eksperimenti sa kosmičkim zracima ukazivali na postojanje jedne druge nove čestice, naime, negativnog protona*. Ne postoji nikakav drugi dokaz za tačnost ove pretpostavke. Postoji, ipak, veoma dobar dokaz, koji su izneli Anderson i Nedermajer, da te čestice ne mogu da budu toliko teške kao protoni, zbog toga što izgleda da su oni sposobni da prenesu svoju energiju na ekstra-nuklearne elektrone mnogo lakše nego što to može da čini telo teško kao proton.

Prema tome, da bi ostavili u izvesnoj meri kao otvoreno pitanje njihovu pravu prirodu, Anderson i Nedermajer, koji su sa njima radili u našoj vertikalnoj Vilsonovoj komori sve od 1934 god., najpre su ih jednostavno nazvali „X-česticama“, pri čemu im je jedina nova karakteristična osobina bila što su te čestice bile dovoljno teške da ne mogu da budu naglo zaustavljene, pa im se, prema tome, energija velikim delom ne pretvara u impulsno zračenje (fotoni). Preostajala je samo količina mase (masivnost) pomoću koje bi se jedna naelektrisana čestica mogla da učini prodornijom, ako bi smo bili prisiljeni, kao što izgleda da jesmo na osnovu gore pomenutih eksperimenata, *da napustimo zamisao da velika energija sama po sebi može da učini da elektron bude prodoran*. Tačno je da se tragovi ovih prodornih čestica sa energijama preko 300.000 elektron-volta ne raspoznaju po debljini od tragova slobodnih elektrona, da je njihovo naelektrisanje zaista isto kao i kod elektrona, i da su one slične elektronu po tome što njihovo naelektrisanje može

da bude ili pozitivno ili negativno. Međutim, gore pomenuti eksperimenti izgleda da definitivno odriču veliku prodornu moć slobodnim elektronima sve do ogromnih energija od 10 milijardi elektron-volta. Kosmički zraci nas uče nekim čudnim novim stvarima o kojima pre nismo ni sanjali.

II. OTKRIĆE MEZOTRONA

U prethodnom izdanju ove knjige, napisanom 1934 a objavljenom januara 1935 god., posle izlaganja uspeha teorije parova kod apsorpcije γ -zrakova, kao što ju je teoretski razradio Openhajmer, a eksperimentalno Loricen, Fauler i Krejn, ja sam glavu završio sledećim paragrafom, u kome sam ponovio pogrešno mišljenje, kojega smo se u to vreme praktično svi držali, da je vrlo velika posmatrana prodorna moć „elektronskih tragova“ velike energije, koju su Anderson i Nedermajer tako jasno dokazali u svojim eksperimentima (vidi dole) ustvari značila, da su pri dovoljno velikim energijama slobodni elektroni promenili svoje ponašanje, izgubivši sposobnost da budu „bremzovani“ ili da proizvode radijativne sudare, pa zato dobijaju osobine vrlo prodornih čestica. Gore pomenuti paragraf glasi:

Sve ovo je važna potvrda zahteva teorije parova za ovu malu oblast frekvencija koja se ovde ispituje. Međutim, izgleda da je definitivno utvrđeno, na osnovu naših merenja kosmičkih zrakova, kao i na osnovu onih koja su vršili Štajnke i njegovi saradnici u Kenigzbergu, da zakon Z^2 apsorpcije ipak ne može da važi za veće energije. Ova merenja pokazuju da, kada se upotrebe razni apsorbeni za iste fotone kosmičkih zrakova, apsorpcija je približno proporcionalna prvom stepenu atomskog broja nego li drugom stepenu. Celokupni mehanizam nuklearne apsorpcije mogao bi, prema tome, da se promeni kada se dostignu ove velike energije. Ovo je jedno interesantno polje na kome je i naše eksperimentalno i naše teoretsko znanje još vrlo nepotpuno, ali na kome se novi podaci naglo povećavaju, tako da pitanje koje je ovde postavljeno prilično obećava da će se naći skoro rešenje.

Ovaj paragraf, a naročito poslednja izjava u njemu, bila je potstaknuta interesantnim rezultatima, koje su upravo tada dobivali Anderson i Nedermajer, o čemu je prethodni

izveštaj bio dat na Internacionalnoj konferenciji za nuklearnu fiziku (London, oktobra, 1934 god.).

Ovi eksperimenti su se zasnivali na pažljivim statističkim istraživanjima izvršenim sa Vilsonovom komorom u Pasadeni blizu nivoa morske površine, na krivinama i energijama mnogih hiljada korpuskularnih tragova kosmičkih zrakova, koji su prodirali kroz našu vertikalnu Vilsonovu komoru u magnetnom polju poznate jačine i pokazivali merljive promene u krivinama tragova pre i posle prolaza kroz blokove ugljenika i olova, postavljenih preko sredine Vilsonove komore.

Anderson i Nedermajer su (1934 god.) rekli sledeće:

Ova merenja krivina za čestice kosmičkih zrakova u granicama 300 meV i 6000 meV, pokazala su približnu brojnu jednakost između pozitivnih i negativnih čestica u svim intervalima energije, izuzev što u oblasti najveće energije izgleda da pozitivne čestice preovlađuju. Pozitivne čestice u ovoj grupi, ukoliko one predstavljaju sekundarne čestice, moraju, naravno, sve da potiču od *nuklearnih* sudara. Podaci o elektronskim prolascima kroz ugljene i olovne ploče, koji su dati u tablici 3, pokazuju da je verovatnoća za *direktno* *proizvođenje* *jednog* *sekundarnog* *elektrona* *putem* *nuklearnog* *sudara* *veoma* *mala* (vidi poslednji stubac). Ukupno uzev, u toku 2439 prolazaka, posmatrano je da su elektroni prošli kroz ukupno 1215 cm ugljenika a 663 cm olova. Ovo odgovara ekvivalentu od 24 m vode za ugljenik i 52 m vode za olovo, ako se pretpostavi da je verovatnoća *proizvođenja* *jednog* *sekundarnog* *zraka* *pri* *sudaru* *sa* *jednim* *jezgrom* *proporcionalna* *sa* Z . Ako je ova verovatnoća proporcionalna sa Z^2 , tada su 663 prolaska kroz olovo ekvivalentna sa 520 m vode. Ova posmatranja, uzeta prema tome sva zajedno, predstavljaju ekvivalent elektronskog prolaska kroz najmanje 76 m vodenog stuba ili više nego 7 puta kroz zemljinu atmosferu. Kod svih ovih prolazaka nisu bili posmatrani, sem negatonskih sekundarnih zrakova [koji naravno nastaju od ekstra-nuklearnih sudara], od kojih svi imaju manje energije od 300 meV, *nikakvi* *pozitronski* *sekundarni* *zraci*, *izuzev* *tri* *slučaja* *elektronskih* *parova* *iz* *olova*, *čija* *je* *kombinovana* *energija* *bila* *manja* *od* *300* *meV*.

Činjenica da pri ovim prolascima, koji su ekvivalentni prolazu čestica najmanje sedam puta kroz zemljinu atmosferu, nije bilo nijednog slučaja elektronskog sudara, pri kome su se proizvodili sekundarni zraci velike energije ($E > 300$ meV), bilo pozitivnog bilo negativnog znaka, vrlo je jak dokaz da samo neznan broj elektrona kosmičkih zrakova na nivou morske površine može direktno da proizlazi iz elektronskih sudara u atmosferi ili drugom materijalu koji vrši ap-

sorpciju. Ovaj zaključak zavisi od opravdane pretpostavke da se elektroni kosmičkih zrakova, prolazeći kroz atmosferu, ne ponašaju u osnovi drukčije pri proizvodnji elektronskih sekundarnih zrakova od elektrona kosmičkih zrakova, koji su posmatrani u Vilsonovoj komori. Na osnovu gornjih činjenica zaključuje se da praktično svi elektroni kosmičkih zrakova na nivou morske površine, ukoliko su oni zemaljskog porekla, mogu da se pripišu samo *fotonskim* sudarima sa jezgrima.

TABLICA XVII

Materijal i debljina ploče	Broj elektronskih prolazaka	Broj sekundarnih negatrona	Broj sekundarnih pozitrona
1,0 cm ugljenika	810	38	0
1,0 cm olova	397	15	2 poz.-neg. para
1,1 cm olova	176	7	0
0,2 cm olova	267	3	1 poz.-neg. par
0,025 cm olova	789	8	0

Drugim rečima *ovi posebni „elektronski tragovi“ nisu proizveli nikakav veći broj radijativnih sudara*, onakvih kakvi prouzrokuju impulsno zračenje (fotone).

Osim ovoga, na strani 182 izveštaja *Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics* iz 1934 god., ova dva autora pokazuju da njihove prodorne čestice ne mogu da budu protoni, jer, prolazeći kroz postavljene olovne i ugljene ploče, posmatrane čestice prenose ili gube usled sudara sa ekstranuklearnim elektronima u tim pločama četiri puta više energije nego što im zakoni sudara dopuštaju da izgube, ako čestice koje prolaze imaju masu kao protoni. Oni, u jednoj belešci pri dnu strane ovako produžuju:

Bouen, Miliken i Neher našli su da zraci koji su osetljivi prema zemljinom magnetnom polju poseduju prividan apsorpcioni koeficijent, koji iznosi oko 1,0 na metar vodenog stuba. Ako su ovi zraci, koji su osetljivi prema magnetnom polju, uglavnom upadni elektroni, kao što svi podaci pouzdano ukazuju na to, tada izgleda teško da se dovede u sklad veliki apsorpcioni karakter ovih zrakova sa očigledno malim stepenom međusobnog dejstva između čestica i ploča od olova i ugljenika u našoj Vilsonovoj komori. Pošto vrednosti za Hg mnogih čestica primećenih u komori (5×10^6 do 20×10^6 gaus-cm) leže u istoj oblasti kao i Hg vrednosti čestica koje zemljino magnetno polje eliminiše svojim dejstvom, to bi odsutnost velikog broja sekundarnih zrakova koji se proizvode u pločama, bilo elektrona bilo fotona, *mogla da*

ukazuje na razliku u karakteru između čestica velike energije koje su primećene u Vilsonovoj komori, i onih upadnih čestica koje sačinjavaju deo snopa kosmičkih zrakova koji je osetljiv prema magnetnom polju. Podaci su, međutim, samo prethodno saopštenje, i, diskusije radi, mi smo u ovom izveštaju pretpostavili da su čestice velike energije koje prolaze kroz naše ploče sve praktično elektroni (Kurziv je moj)..

Gore pomenuto tvrđenje koje sam istakao kurzivom, učinjeno sredinom leta 1934 god., jeste prva indikacija, ukoliko sam ja mogao da nađem, koju je igde iko učinio o otkriću eksperimentalnog stanja koje bi „moglo“ da iziskuje da se u fiziku uvede nova čestica sa većom masom od slobodnog elektrona a manjom masom nego proton. U to vreme, ovo je bilo tako revolucionarna hipoteza, da je trebalo mnogo dalekovidosti i ne malo smelosti da bi se ona postavila. Jedini drugi izlaz, pošto su slobodni elektroni bili eliminisani usled posmatrane prodorne moći (koja nalaže da ne može da bude radijativnih sudara, vidi sl. 96), i pošto su protoni bili isto tako eliminisani zbog isuviše velikog prenosa energije pri sudarima sa ekstra-nuklearnim elektronima, sastojao se u pretpostavci da se desila bitna promena pri dovoljno velikim energijama u načinu međusobnog dejstva elektrona sa jezgrima atoma. Ovo poslednje je bio put kojim sam ja lično išao, kao što je gore pokazano, a, čineći to, ja sam bio u vrlo odabranom društvu.

Međutim, Anderson i Nedermajer, odmah posle Londonske konferencije, tj., u jesen 1934 god., otpočeli su novo i detaljnije istraživanje, da vide je li opravdano da se na ovaj način izbegne gore pomenuta teškoća. *Ovo je bilo pre nego što su naši letovi sa istraživačkim balonom bez posade (prikazano na sl. 91 i 92) bili izvršeni, sa kojima su naši elektroskopi bili odneseni tako reći do vrha atmosfere — a bilo je na godinu dana pre nego što je ma gde i ma kakva teoriska sugestija bila data, da bi moglo da bude nekog teoriskog razloga¹ da mogu postojati čestice intermedijarne mase između mase slobodnog elektrona i mase protona.*

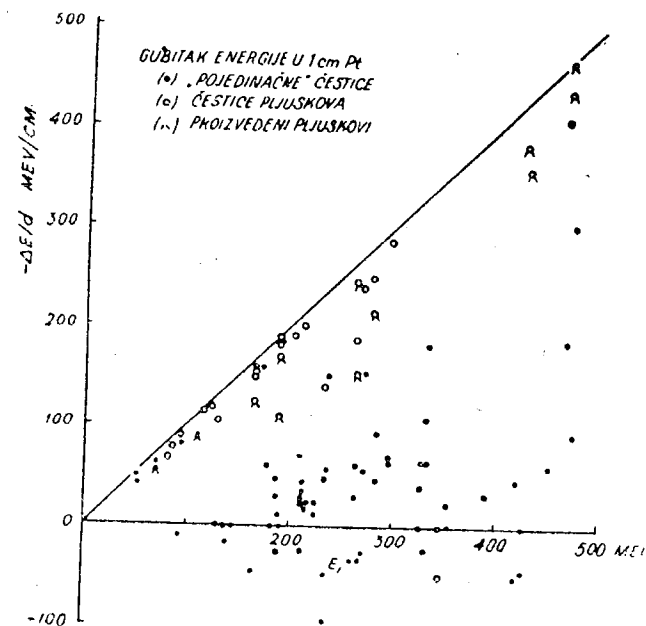
¹ Ovu sugestiju je dao Jukava (Yukawa) (vidi *Collected Papers from Osaka University*. II [1935], 52), koji je, iz čisto teoriskih razloga,

Znajući da elektroni koji postoje u pljuskovima kosmičkih zraka sigurno proizvode radijativne sudare sa okolnim atomskim jezgrima i tako svoju energiju uveliko pretvaraju u impulsno zračenje, Anderson i Nedermajer su počeli da proučavaju statistički, a u isto vreme i vrlo marljivo, kao što su učinili u svom članku upravo objavljenom na međunarodnoj konferenciji u Londonu, prodornu moć, odnosno gubitak energije koji su pokazivali elektroni, sastavni delovi pljuskova, kada su prolazili i kroz olovni blok i kroz platinski blok debljine od jednog santimetra; ovaj poslednji je ekvivalentan debljini od skoro 2 cm olova. Druga polovina njihovog plana rada bila je u tome da izvrše takvu seriju merenja na tragovima koji su se pre javljali pojedinačno nego kao delovi pljuskova. Oni su našli da čestice kosmičkih pljuskova, u granicama energije između 100 Mev i 500 Mev za slučaj elektrona, mogu jedva da prođu kroz njihov platinski blok, dok su obično tragovi koji su se javljali pojedinačno zadržavali veliki deo svoje upadne energije i posle prolaska. Drukčije rečeno, *два traga iste krivine u magnetnom polju*, od kojih je jedan *pojedinačan* trag, kao što su oni koji su upotrebljeni pri ispitivanjima objavljenim gore u tablici 3, i drugi, koji je komponenta kaskadnog pljuska, *stvarno su imali vrlo različite prodorne moći*, pa bi prema tome mogli da budu razvrstani samo kao *različite* čestice.

Njihovi rezultati su svi skupljeni i prikazani na sl. 95. Ovde su apscise energije u Mev, ordinate su gubitak energije pri prolazu kroz jedan santimetar platine. Krugovi se odnose na čestice kosmičkih pljuskova, dok se crne tačke

pošto se bavio problemom sile između protona i neutrona, u jednačini $\mu_0 = h/\lambda c$ zamenio vrednost λ , prečnik jezgra, sa 5×10^{-12} , i tako dobio $\mu_0 = 2 \times 10^2$ elektronskih masa. On tada napominje: „pošto takav kvant sa velikom masom nikad nije bio eksperimentalno nađen, gornja teorija izgleda da nije na pravom putu“. Hajtler je kasnije pokazao da Jukavina prvobitna teorija mora da pretrpi izmene da bi prikazala pravu zavisnost sile dejstva neutron-proton od orijentacije njihovih spinova. Međutim, veza između dometa i mase je sasvim nezavisna od ovih razmatranja.

odnose na čestice koje se javljaju *pojedinačno*. Sve tačke koje se odnose na čestice koje prolaze kroz platinu moraju, naravno, da budu ispod kose linije na dijagramu, pošto je ova linija tako povučena da odgovara celokupnom gubitku upadne energije čestice u bloku. Dati grafički podaci u za-



Sl. 95. — Gubitak energije u 1 cm Pt kao funkcija upadne energije. Vrednosti energije su izračunate za elektronsku masu. Rezultat se ne menja, ako se E tumači kao impuls umesto kao energija.*

ključku pokazuju da se u Wilsonovim komorama javljaju bar dve razne vrste čestica kosmičkih zraka koje su karakterisane velikim razlikama u prodornoj moći. Pošto se

* Anderson—Nedermajerova beleška pri dnu strane: „Za dato naelektrisanje, Hq je proporcionalno impulsu nezavisno od mase, to jest, $p = cHq/c$, a pošto se impuls. a ne energija, meri poluprečnikom krivine, rezultat merenja krivine treba da bude izražen kao impuls, kada se ne zna tačno kolika je masa. Možemo da izrazimo impuls vrednostima energije koju bi elektron imao kada bi njegova krivina

obe vrste čestica nalaze u granicama istih energija, *energetičke* razlike ne mogu učiniti da jedna vrsta bude prodornija nego druga. Anderson i Nedermajer nisu dve godine ništa objavili o svojim otkrićima, da bi, ovu po svemu bitnu osobinu utvrdili, pre nego što učine ma kakav određen javan zaključak, osim onoga koji je, kao što je gore naznačeno, objavljen u leto 1934 god. Oni su nov izveštaj dali na sastanku u Pasadeni i dozvolili su da izveštaj o tome, koji je u potpunosti naveden na strani 566/7, bude objavljen u *Science* (20 novembra 1936 god., str. 9 Dodatka).

ČESTICE U KOSMIČKIM ZRACIMA SLIČNE ELEKTRONU ALI IPAK RAZLIČITE OD NJEGA

Dr Karl D. Anderson je obavestio svoje kolege na Kaliforniskom institutu za tehnologiju o otkriću jedne nepoznate čestice, za koju bi se moglo pokazati da je isto tako važna kao i pozitron, upravo kratko vreme pošto je bio izvešten da za njegovo otkriće pozitrona i njemu pripada jedan deo Nobelove nagrade za 1936 god.

Dr Anderson je bio našao da se u kosmičkim zracima nalaze električne čestice koje proizvode tragove koji su veoma slični tragovima elektrona, ali koji su bili sasvim drukčiji od ma čega što je do tada bilo poznato ili ispitivano. Izgledalo je da čestice imaju neobično veliku prodornu moć i da lako ne izbacuju elektrone iz materije u onoj meri kako to čine elektroni koji bi imali istu energiju.

U mnogim hiljadama fotografija kosmičkih zrakova, koje su dobivene u Pasadeni, na Pajks Piku, i u Panami, ima mnogo primera koji su verovatno obični elektroni (osnovna čestica koja je negativno naelektrisana i koja je pronađena pre više godina), koji proizvode pljuskovne sekundarnih čestica pri svoim prolazanju kroz aparat. Ali

traga bila ista kao ona koju ima čestica koja se posmatra. Ovo nije sasvim uobičajeno, ali pošto je vrlo mnogo podataka objavljeno u vrednostima elektronskih energija, on je pogodan da bi se izbeglo nepotrebno objašnjavanje ili nedostatak preciznih podataka. Tako, na primer, jedan elektron sa impulsom od 100 mev ima energiju ove iste vrednosti, dok bi teža čestica sa istim impulsom imala manju energiju, u zavisnosti od njene mase. Prirodna elektronska jedinica, mc , je takođe pogodna, pošto je impuls μmc vezan za masu km , a kinetička energija ϵmc^2 pomoću odnosa $\epsilon = (\mu^2 + k^2)^{\frac{1}{2}} - k''$.

postoji još jedan fenomen, usamljeni tragovi koji prolaze kroz olovne ploče a da ne stvaraju nikakve vidljive sekundarne efekte. Ovo su one do tada nepoznate čestice. Dr Anderson ne usuđuje se da objasni šta bi mogle da budu te nepoznate čestice, ali on je nagovestio da one verovatno imaju isto naelektrisanje kao i elektroni, premda im masa nije ista.

Jednom drugom prilikom u svom govoru koji je održao prilikom dobijanja Nobelove nagrade, decembra 1936, dr Anderson je napisao sledeće:

Ove neobično prodorne čestice iako nisu slobodni pozitivni i negativni elektroni, sastoje se izgleda i iz pozitivnih i iz negativnih čestica sa jedinicom naelektrisanja, pa će dati interesantan materijal za dalja proučavanja.

Njihov potpuniji izveštaj o njihovim eksperimentima i rezultatima bio je primljen od strane časopisa *Physical Review*, od 30 marta 1937, i objavljen je u tom časopisu 15 maja 1937 god.

Upravo ovaj dokaz, dobiven na osnovu podataka koji se nalaze na sl. 95, a koji su dobiveni tokom godina 1934, 1935, i 1936, a upotpunjeni krajem leta 1936, zatim prodiskutovani sa dr Openhajmerom i sa mnom u Pasadeni, a na koje se i Openhajmer pozvao u svojoj raspravi povodom 300-godišnjice Harvard univerziteta, septembra 1936, prvi put je odlučno presekao mogućnost za ispravnost našeg tumačenja, da tvrdi ili prodorna komponenta kosmičkih zrakova potiče samo od promene u načinu interakcije između slobodnih elektrona i atomskih jezgra, prilikom povišavanja energije slobodnih elektrona koji odozgo padaju na atomska jezgra do velikih vrednosti. Letovi balona sa elektroskopima, čiji su podaci objavljeni na slikama 91, 92 i 93, vršeni su u toku istog ovog leta i jeseni 1936 god. Iako su ovi letovi na drugi način dokazali isti rezultat, koji je prikazan podacima na sl. 95, podaci koji se nalaze na slikama 91, 92 i 93 nisu bili pretstavljeni grafički u vreme kad su Anderson i Nedermajer dali svoj izveštaj i, ustvari, ovi podaci su najpre bili objavljeni u *Carnegie Institute of Washington Year Book* № 35 (11 decembra 1940), str. 349.

Od leta 1936 god., kada je definitivno i neosporno otkriveno postojanje nove čestice, čija je masa intermedi-jarna između mase slobodnog elektrona i mase protona, do datuma 7 decembra 1941, kad smo mi svi bili mobilisani za novu vrstu delatnosti, pojavila su se četrnaest raznih određivanja, odnosno procena ove mase (Tablica XVII).

S obzirom na ogromne teškoće i neminovne greške koje se javljaju pri ovim određivanjima mase, odstupanja prikazana u poslednjem stupcu Tablice XVII nisu iznenađujuća, čak i ako prikazane razlike nemaju neku realnu podlogu

TABLICA XVII

Publikacija	Masa mezotrona izražena masom elektrona
1. C. D. Anderson and S. H. Neddermeyer, <i>Phys. Rev.</i> , L (1936), 263, sl. 12 i 13, sa objašnjenjima ispod slika bez brojnih vrednosti
2. J. C. Street and E. C. Stevenson, <i>Phys. Rev.</i> , LII (1937), 1003	200 ± 50
3. P. Ehrenfest, Jr., <i>Compt. Rend.</i> , CCVI (1938), 408	~ 200
4. E. J. Williams and E. Pickup, <i>Nature</i> , CXLI (1938), 684	160 — 220
5. D. R. Corson and R. B. Brode, <i>Phys. Rev.</i> , LIII (1938), 215 i 773	200 ± 50
6. S. H. Neddermeyer and C. D. Anderson, <i>Phys. Rev.</i> , LIV (1938), 88	~ 240
7. S. H. Neddermeyer and C. D. Anderson, <i>Rev. Mod. Phys.</i> , XI (1939), 191	220 ± 35
8. A. J. Ruhlig and H. R. Crane, <i>Phys. Rev.</i> , LIII (1938), 266	120 ± 30
9. Y. N. Nishina, M. Takeuchi, and I. Ichimiya, <i>Phys. Rev.</i> , LV (1939), 585	180 ± 20
10. H. Maier Leibnitz, <i>Zeit. f. Physik</i> , CXII (1939), 569	55 — 270
11. Leprince Ringuet et al., <i>Phys. Rev.</i> , LIX (1941), 460	240 ± 20
12. J. G. Wilson, <i>Proc. Roy. Soc. A</i> , CLXXII (1939), 521	250 ± 50
13. R. B. Brode and M. A. Starr, <i>Phys. Rev.</i> , LIII (1938), 3	~ 200
14. Donald J. Hughes, <i>Phys. Rev.</i> , LX (1941), 414	180 ± 25
15. Yukava, <i>Proc. Phys. Math. Soc.</i> , Japan, XVII (1935), 48	~ 200

izvan eksperimentalnih nesigurnosti. Međutim, postoje dva od ovih određivanja kod kojih greške treba da su manje nego u ma kojem od drugih, naime, jedno je ono koje je prikazano na sl. 100 i koje je opisano u tekstu pod njom, i ono pod brojem 11 u Tablici XVII. Ova poslednja metoda, koja je navedena pod br. 11, ne sadrži u osnovi ništa drugo sem zakona sudara između dva elastična tela, pri čemu je mezotron ono telo koje udara, a elektron — pogođeno telo. Ova dva određivanja složila su se vrlo dobro i izgledalo je da ukazuju da masa nove čestice iznosi 220 ± 30 elektronskih masa. Međutim, 1938 god., s obzirom na kvantno-teoriska razmatranja i velike eksperimentalne razlike koje su prikazane u belešci pri dnu strane, Nedermajer¹ je pokrenuo diskusiju o mogućnosti da postoje mezotroni više-struke vrednosti, a Leprens Renge (Leprince Ringuet) i Lerilije (Lherilier)² su objavili (1944 god.) jednu fotografiju, snimljenu u Vilsonovoj komori, o jednostavnom sudaru između mezotrona i ekstra-nuklearnog elektrona, koja vrlo pouzdano, kao što oni misle, daje za mezotron masu $\mu_0 = 900 \pm 12$ procenata elektronskih masa. Ovo sada potstiče na dalje ispitivanje Nedermajerove sugestije i zahteva više eksperimentalnih podataka.

III. DAVANJE IMENA MEZOTRONU

Istorijat davanja imena mezotronu je sledeći: dr Anderson, jedan od njegovih pronalazača, na osnovu potpuno uobičajenog načina, predložio je ime „mezotron“, koje potiče od korena dve grčke reči $\mu\epsilon\sigma\omicron\varsigma$ i $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$. Izbor ovog imena bio je skoro neizbežan zbog činjenice što je niz vrlo sličnih osnovnih čestica — elektron, pozitron, negatron — bio već sasvim usvojen u opštoj upotrebi, a i s obzirom na još jednu činjenicu, da reč „mezotron“ tačno opisuje šta je nova čestica, naime, *intermediarna čestica*, koja ima sve oso-

¹ *Phys. Rev.*, LIII (1938), 102.

² *Compt. Rend.* CCXXI (1944), 465.

bine kao i elektron, sem što je po masi intermedijarna između elektrona i protona, ali je, kako izgleda, čak i po masi mnogo bliža elektronu nego protonu; uz to mezotron je nestabilna čestica ograničenog trajanja života (oko $2,8 \times 10^{-6}$ sekundi)¹, koja ima elektronsko naelektrisanje i, kao elektron — a ne kao proton, — može da bude ili + ili —; osim toga, ova čestica se na kraju svoga života, kako izgleda, pretvara u elektron. Kako iz praktičnih tako i iz etimoloških razloga, dr Andersonu je, dakle, izgledalo da je „mezotron“ naziv koji najbolje odgovara. Prema tome, 28 septembra 1938, ja sam napisao dr Boru u Kopenhagen sledeće:

Pošto je znatan broj imena bio predložen za prodornu česticu, čije su postojanje prvi put tačno odredili Nedermajer i Anderson, što je sada, mislim, opšte priznato (vidi G. Wentzel, Sonderdruck aus der Naturwissenschaften 1938, 26, Jahrg., Heft 18, str. 273), pišem vam u nadi da će ime za ovu česticu, koje je Anderson predložio i koje meni izgleda da je najzgodnije, naime, „mezotron“, odnosno intermedijarna čestica, biti opšte usvojeno. Ne izgleda li vam da je ovo najpogodnija oznaka koja je do sada predložena?

Njegov odgovor je glasio:

Zahvaljujem vam na vašem ljubaznom pismu od 28 septembra, i sa zadovoljstvom vam javljam da su na jednoj maloj konferenciji o problemima kosmičkih zrakova, koju smo upravo održali u Kopenhagenu, svi prisutni, uključujući Ožea, Bleketa, Fermija, Hajzenberga i Rosija, bili u potpunoj saglasnosti sa Andersonovim predlogom da se za prodorne čestice kosmičkih zrakova usvoji ime „mezotron“. Istorija otkrića ovih čestica je zaista jedna od najlepših, a obazrivost koju sam ja pokazao za vreme diskusije nezaboravnih dana pretprošlog proleća u Pasadeni bila je samo diktirana svesnošću o ogromnim posledicama Andersonovog rada, ako dokaz za nove čestice bude zaista ubedljiv. Sada ja ne znam da li da se čovek više divi Jukavinom oštromlju i vidovitosti ili upornosti sa kojom je grupa u vašem Institutu nastavila rad u traženju simptoma novih efekata. Milo mi je što će dr Bogild (Boggild), iz naše grupe u Kopenhagenu, imati jedinstvenu priliku da iz neposredne blizine prati ovaj iznenađujući razvitak.

¹ Vidi Neher i Stever, *Phys. Rev.* LVIII (1940), 766. U ovom članku date su referencije o ranijem radu na ovom polju, koji su vršili Hes, Bleket, Rosi, Emert (Ehmert), Ojler (Euler) i Hajzenberg, Bete i Blok (Block).

Dalja diskusija o najboljem imenu za novu česticu bila je ponovo pokrenuta na naučnom sastanku o kosmičkim zracima, koji je održan, u junu 1939, na univerzitetu u Čikagu. Dr A. H. Kompton u svom predgovoru u objavljenom izveštaju¹ navodi sledeće činjenice: Prisutnih je bilo oko 300 ljudi, među kojima su se nalazili predstavnici većine vodećih istraživačkih grupa koji su radili na ovom ispitivanju. Bilo je uzeto u razmatranje šest raznih imena, naime: „mezotron“, „mezon“, „mezoton“, „bariton“, „jukon“, i „teški elektron“. Nijedno od ovih šest imena nije dobilo sasvim odlučnu većinu svih glasova, a nijedno od poslednja četiri nije imalo „nikakvu znatniju podršku“, dok su glasovi za prva dva bili „otprilike podjednaki“. Urednik (Kompton) zaključuje ovom izjavom: „Osim slučajeva gde su autori izričito tražili da se ostavi drugi naziv, mi smo izabrali upotrebu naziva „mezotron“. Ovo je sada oznaka koja se upotrebljava u američkim, japanskim i engleskim² publikacijama, dok se u spisima u Evropi još upotrebljavaju razni nazivi, kao što su „mezotron“, „mezoton“, „mezon“³ i „teški elektron“.

IV. POSTANAK I KRAJ MEZOTRONA

Ma koliko da je još nepotpun dokaz o prirodi ovih prodornih čestica, koje sačinjavaju skoro 80 procenata tragova na hiljadama snimaka tragova uzetih u Vilsonovoj komori Norman Bridž laboratorije (a koji je procenat inače u opštoj saglasnosti sa svima docnijim radovima izvršenim na drugim mestima), naime o tome, da li su te čestice delom pozitivni i negativni protoni ili da li su one sve pozitivne i negativne čestice intermedijarne mase između protona i elektrona, tj. mezotroni, — u svakom slučaju postoji tačan

¹ *Rev. Mod. Phys.*, XI (1939), 122

² Vidi, Williams and Blackett, *Nature*, CXLV (1940), 102; CXLII (1938), 992.

³ „Mezon“ zbunjuje, jer je već to određena grčka reč koja ima sasvim drugo značenje, tj., „sredina, međuprostor, a onda i utrina“.

dokaz u pogledu mesta odakle većina njih dolazi. Jednom reči, jasno je da bar ogromna većina onih čestica koje nalazimo u donjem delu atmosfere i ispod nivoa morske površine uopšte ne dolaze spolja, izvan atmosfere, kao što smo svi prvobitno pretpostavljali da čine posmatrane prodorne čestice, nego se one pre najvećim delom *proizvode* kao sekundarne prodorne čestice u našoj atmosferi putem neke vrste nuklearnih sudara, koje drugi zraci, verovatno fotoni (koji sami po sebi moraju da budu sekundarni zraci, pošto su primarni fotoni eliminisani uzimanjem razlike između krivih 91 i 92, da bi se dobila kriva 93A), vrše sa jezgrima atoma koji sačinjavaju atmosferu. Detaljniji razlozi za tačnost ovog gledišta sleduju.

Sadašnja diskusija o *vrlo velikom značaju* podataka koje sadrže slike 91 i 92 počiva na postulatu u koji se verovatno neće više ozbiljno posumnjati, da se sva energija kosmičkih zrakova koja dolazi na sekundu na cm^2 sa nebeskog svoda u zemljinu atmosferu, a na ono mesto gde se balon sa elektroskopom nalazi za vreme leta, javlja na kraju krajeva u obliku atmosferske ili subatmosferske jonizacije. Ona bi se mogla dobiti u elektron-voltima jednostavno množenjem brzine proizvodjenja jonova u sekundi na cm^2 , koji su stvarno primećeni pri letu balona sa elektroskopom koji je nošen sve do vrha atmosfere, sa energijom potrebnom za proizvodnje jednog jona u vazduhu, naime, 32 elektron-volta.

I ovde opet, upadni kosmički zraci koji su „osetljivi prema magnetnom polju“, kada spolja ulaze u zemlju na datoj geografskoj širini, moraju da budu ili slobodni elektroni ili protoni. Ovo je zbog toga što pri energiji od milijarde ili više elektron-volta ove dve vrste čestica postaju slične po tome kako na njih dejstvuje zemljino magnetno polje. Uzgred budi rečeno, za energije iznad 10^9 elektron-volta protoni i slobodni elektroni su isto tako bitno slični po debljini jonskih tragova koje oni proizvode. Na sličan način, za vrednosti H_p , koje su veće od 3×10^6 (što za jedan elektron znači energiju veću od 9×10^7), debljine tragova slobodnih elektrona i mezotrona ne razlikuju se

jedne od drugih. Iz toga sledi da zbir efekata jonizacije svih upadnih fotona i svih jednostavno naelektrisanih upadnih korpuskularnih zrakova veće energije nego otprilike 17 milijardi elektron-volta (što predstavlja energiju koja je potrebna da se na ekvatoru u Indiji dopre do zemlje) sačinjava *opštu osnovnu jonizaciju kosmičkih zrakova* koja je ravnomerna svuda po zemljinoj površini. Ova opšta osnovna jonizacija čini (vidi gl. XVII) $(100 - 8) + 100 = 92$ procenta od celokupne jonizacije na nivou morske površine na magnetnom ekvatoru u Peruu, a $(100 - 13) + 100 = 87$ procenta od celokupne jonizacije na nivou morske površine u Južnoj Indiji.

Oduzimanjem krive 92 od krive 91, mi smo iz dobivene krive 93A eliminisali *efekat svih upadnih fotona* svih energija, a isto tako i efekte svih upadnih naelektrisanih čestica čija je energija veća od oko 17×10^9 elektron-volta. Ovo znači da *svi efekti* koji se javljaju na krivoj 93A potiču samo od upadnih slobodnih elektrona ili upadnih protona, čija je energija manja od oko 17 milijardi elektron-volta. Neposredno ili posredno, dakle, kriva 93A zahteva da mezotron bude potomak ili upadnog elektrona ili upadnog protona. Međutim, teorija kaže da, s obzirom na to da je elektron veoma lak, jedino slobodan elektron može skoro bez gubitka da pretvori svoju energiju u foton, koji onda prodoran mezotron, kao što je onaj koji sačinjava oko 80 procenta svih desetina hiljada tragova koje su Anderson i Nedermajer fotografisali na nivou morske površine i na Pajks Piku. Sem toga, oni nisu našli nikakav eksperimentalan dokaz da su njihovi mezotroni, a još mnogo manje protoni, dovoljno laki da *znatnim delom* pretvore svoju energiju u usporno zračenje i tako proizvedu mezotrone male energije, apsorbujući se u drugim jezgrima; a što se tiče protona čija je masa deset puta veća, nije se ni od kuda pojavio dokaz da oni ikad proizvode ikakvo drugo sem *neobično meko* usporno zračenje. Pa ipak, vrlo značajna ispitivanja o Hofmanovim jonizacionim udarima — retke pojave

za koje su potrebne upadne energije čak iznad 20 milijardi elektron-volti — koje su vršili Bote i Šmajzer (Schmeiser)¹ Kristi (Christy) i Kusaka (Kusaka)², i, 1946 god., Lap (Lapp)³, definitivno su dokazala postojanje dve vrste „mezotronske udara“, „brzih i sporih“, koji se razlikuju po veličini prostornog ugla isto toliko znatno kao i po energiji, pri čemu ova poslednja proizlazi iz prethodnih usled posredovanja „fotona proisteklih iz mezotronskog uspornog zračenja koje potiče iz sudara sa teškim atomima“.

Sama činjenica, da mezotroni potiču od udara fotona na jezgra, izgleda da je proverena njihovim nedavno objavljenim veštačkim dobivanjem u betatronu, novom elektronskom akceleratoru od stotinu miliona volta (društva „Dženeral Elektrik“) koji je izumeo dr Kerst (Kerst), sa univerziteta u Ilinojsu. Betatron može da proizvede snop β -zrakova od 100.000.000 elektron-volta; a, isto kao i u običnoj cevi za X-zrake, udar ovih β -zrakova od 10^8 elektron-volta o metu izaziva X-zrak sa energijom sve do 10^8 elektron-volta, koji, ako se sada propuste kroz Vilsonovu komoru, prouzrokuju jonske tragove koji liče na mezotronske tragove. U ovom slučaju nameće se zaključak da se ova posebna vrsta mezotrona, ako su oni zaista to, proizvodi *jedino* usled udara fotona na jezgra atoma koji se nalaze u zidovima ekspanzione komore.⁴

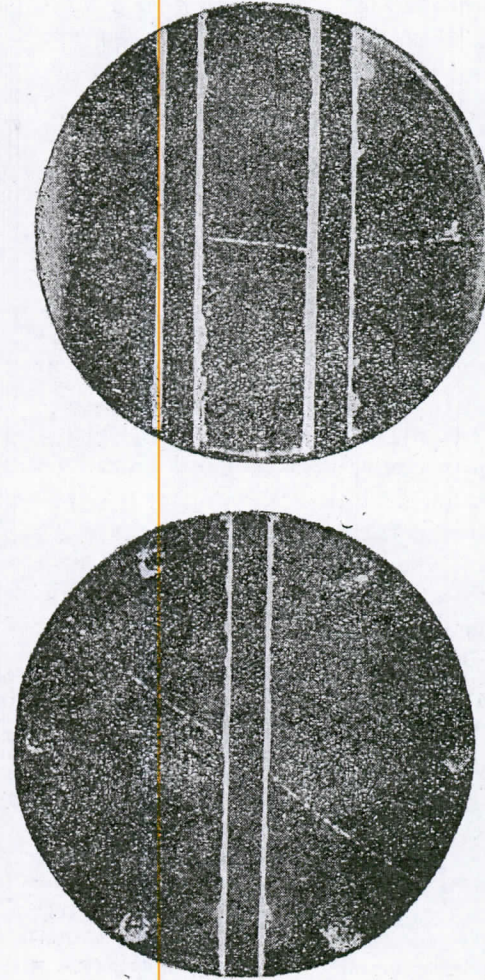
Upoređivanje slika 96, 97 i 98, sa objašnjenjima ispod njih, pokazuje kako u pogodnim granicama energije slobodni elektronski tragovi, protonski tragovi i mezotronske tragovi mogu bez dvoumljenja da se raspoznaju. Tako, na primer, slike 97 i 98 pokazuju pojedinačne tragove koji se međusobno jedva mogu da razlikuju, a koji upadaju u olovni

¹ *Naturwissenschaften*, XXVII (1939), 305.

² *Phys. Rev.*, LIX (1941), 414.

³ *Phys. Rev.*, LXIX (1946), 321.

⁴ Ovde pomenuti eksperimenti sa betatronom nisu doveli do proizvodnje veštačkih mezotrona, ali su ovi ipak najzad proizvedeni nedavno uz pomoć ciklotrona u Berkeley-u [Lattes i Gardner, 1947]. — Prim. red.



Sl. 96 i 97. — Andersonov dokaz mezotronske traga:

Hg Krivina	Ako je njegova energija iznosi	Elektron E(ev)	Ako je njegova energija iznosi	Proton E(ev)	Ako je njegov iznosi	proton domet u vazduhu	Ako je njegov iznosi	proton domet u Pb
$3,8 \times 10^5$	Sl. 96, gornji trag	113×10^6		$7,0 \times 10^6$		60 cm		$< 0,1$ mm
$2,9 \times 10^5$	Sl. 96, donji trag	86×10^6		$4,1 \times 10^6$		20 cm		$< 0,1$ mm
$2,9 \times 10^5$	Sl. 97, gornji trag	240×10^6		$20,0 \times 10^6$		660 cm		< 1 mm
$8,0 \times 10^5$	Sl. 97, srednji trag	220×10^6		$25,0 \times 10^6$		540 cm		< 1 mm
$7,3 \times 10^5$	Sl. 97, donji trag	160×10^6		$13,0 \times 10^6$		200 cm		< 1 mm

... ovo nisu protoni

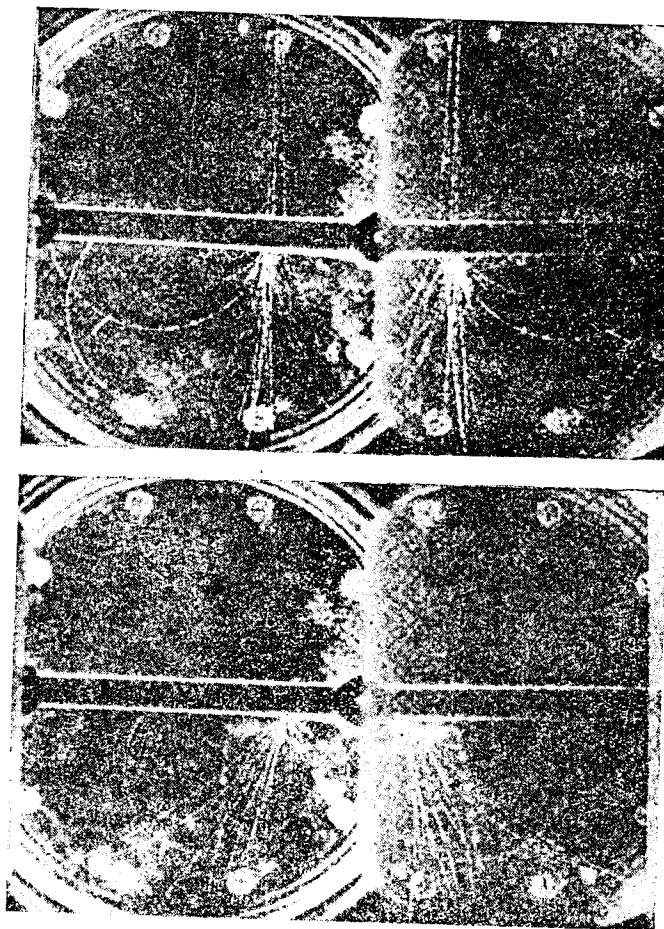
blok debljine 1 cm na sl. 97, a u platinski blok debljine 1 cm na sl. 98 (donja slika). Kaskadni pljuskovi koji se pojavljuju na donjoj strani platinskog bloka na obema fotografijama sl. 98 odmah ukazuju na činjenicu da su sve čestice koje su prodrle sa gornje strane ovog bloka bile slobodni elektroni. Međutim, čestica koja prodire sa gornje strane gornjeg olovnog bloka, na sl. 97, jeste vrlo prodorna i ničim ne pokazuje da stvara pljuskove prolazeći kroz ma koji od ova dva olovna bloka. Međutim, objašnjenje pod tom slikom pokazuje da čestica, kad bi zaista imala svoju krivinu u postojećem magnetnom polju od 15000 gaussa, ona bi morala biti ili slobodan elektron od 240×10^9 elektron-volta ili proton od 2×10^7 elektron-volta. Međutim, poslednja dva stupca koji pokazuju koliko bi ogromni ti dometi ili daljine putovanja ove dve čestice u olovu mogli da budu pre nego što se iscrpu energije čestica prilikom proizvodjenja jonova, odmah pokazuju da čestica koja je u pitanju, i koja je odveć prodorna da bi mogla biti elektron, isto je tako potpuno isključena iz kategorije protona, pa, prema tome, ona sa drugom česticom, prikazanom na sl. 96, mora da bude klasifikovana kao mezotron. Da bismo mogli da odredimo njihove mase, potrebno je da smo u mogućnosti da merimo osim njihove *krivine* i njihove dometa¹; ali slike 96 i 97 nam to ne omogućuju. Nedermajer i Anderson² utvrdili su na sledeći način potrebne uslove za određivanje *mase*, pod pretpostavkom da se zna naelektrisanje:

1) Merenje dometa i krivine u magnetnom polju, 2) jonizacija (dobivena određivanjem broja kapljica na *cm* jonskog traga) i krivina, 3) jonizacija i domet, 4) bliski elastični sudari sa elektronima, 5) skretanje pod dejstvom električnog i magnetnog polja. Prve tri metode obuhvataju bitno iste stvari i iziskuju poznavanje veze između jonizacije, ili gubitka energije, i brzine čestice. Pošto su teorijske veze za njih samo delimično eksperimentalno proverene, ove metode zbog toga donekle trpe. One su takođe podložne prilično velikim eksperimentalnim nesigurnostima, koje se mnogo menjaju sa brzinom i samom masom

¹ Za potpunije tumačenje relacija dometa vidi, Livingston and Bethe, *Rev. Mod. Phys.*, IX (1937), 261.

² *Rev. Mod. Phys.*, XI (1939), 199.

čestice. Poslednje dve metode su manje podložne primedbama prve vrste, jer one zavise samo od najosnovnijih zakona mehanike i elektriciteta. Četvrta metoda je možda najubedljivija od svih, jer bi trebalo da ona bude primenljiva u širokoj oblasti impulsa i masa, gde



Sl. 98. — Ove slike prikazuju elektron ili elektrone, pre nego fotone, koji se zarivaju u platinski blok, i izvestan broj elektronskih parova koji izlaze na donjoj strani olova. Ovi pokazuju da su tragovi koji ulaze u platinske blokove sa gornje strane, i na donjoj i na gornjoj slici, elektroni a ne mezotroni

su druge metode ili potpuno neprimenljive ili sasvim nesigurne. Ona, međutim, ima taj eksperimentalni nedostatak, što su ispravni podaci neobično retki i što se pod najboljim uslovima mogu tek sporo dobivati.

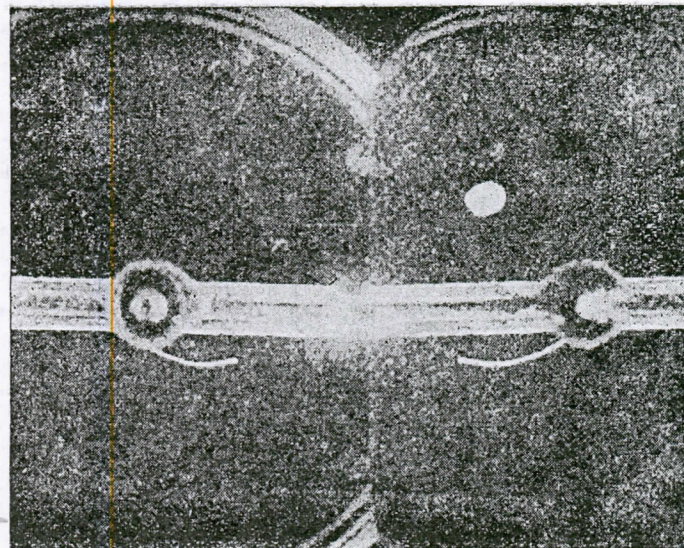
S obzirom na gornje teškoće i vrlo veliku važnost kvantitativnog određivanja mase mezotrona, Nedermajer i Anderson, da bi dobili fotografiju jednog mezotrona koji dopire do kraja svoga dometa u gasu koji se nalazi u Wilsonovoj komori, preduzeli su težak zadatak da postave Gajger-Milerov brojač u njihovu Wilsonovu komoru i da ga vežu pomoću jedne koincidentne sprege sa drugim brojačem, koji je bio smešten iznad Wilsonove komore. Oni su pomoću ove metode, između deset hiljada snimljenih fotografija, dobili jednu koja verovatno sadrži više podataka o mezotronima nego što je pronađeno na ma kojoj pojedinačnoj fotografiji snimljenoj do tada. Oni to obrazložavaju na sledeći način:

Iako četiri nezavisne vrednosti za masu mogu da se dobiju na osnovu podataka koje daje ova fotografija (sl. 99), najtačnija vrednost mase treba da se dobije samo iz početne vrednosti $H\alpha$ čestice i količine materije kroz koju čestica prođe pre nego što se zaustavi, tj., njenog dometa u gasu Wilsonove komore. Ovaj gas se sastoji iz $\frac{2}{3}$ helijuma i $\frac{1}{3}$ argona, čiji totalni pritisak iznosi 1 atmosferu, koji zajedno sa alkoholnom parom u komori odgovara, po moći zaustavljanja, vrednosti od 0,5 atmosfera vazduha.

Kao što se vidi, trag je oštar, tako da su bila mogućna vrlo tačna merenja krivine i dometa.

Krajnje određivanje treba da je znatno tačnije nego ijedno koje je do tada izvršeno. Prema najboljoj prognozi koju sada možemo da učinimo u pogledu debljine materije kroz koju čestica u brojaču prođe, izgleda da joj masa iznosi otprilike 240 elektronskih masa. Ostala tri određivanja mase, 1) na osnovu veze između specifične jonizacije i vrednosti $H\alpha$ za gornji deo traga, 2) pomoću jonizacije i $H\alpha$ ispod brojača, i 3) pomoću $H\alpha$ i zaostalog dometa ispod brojača, sva skupa daju vrednosti koje su u skladu sa ovom koja je gore navedena. Početna energija čestice, pre nego što prođe kroz brojač, iznosi 10 Mev, a energija sa kojom izlazi je oko 210.000 ev. Potpuno je jasno da ova čestica uopšte ne može da ima ni elektronsku ni protonsku masu (vidi objašnjenje pod sl. 99).

Interesantna karakteristika ove fotografije je činjenica što je stvarno primećeno da se čestica zaustavlja u gasu u komori. Nikakav



Sl. 99. — Nedermajer—Andersonova fotografija kosmičkog zraka koji iščezava — mezotrona. Pozitivno naelektrisana čestica, od oko 240 elektronskih masa i 10 Mev energije, prolazi kroz staklene zidove i bakarni cilindar jedne brojačke cevi i izlazi sa energijom od oko 0,21 Mev. Magnetno polje je 7900 gausa. Ostatak dometa čestice, pošto ona izide iz brojača, iznosi 2,9 cm u komori (ekvivalentno dometu od 1,5 cm u vazduhu pod normalnim atmosferskim uslovima). Ona se zaustavlja u gasu i može da pretrpi dezintegraciju uz emisiju pozitivnog elektrona koji se ne vidi jasno na fotografiji. Jasno je iz sledećih razmatranja da je nemoguće da trag potiče od čestica bilo elektronske bilo protonske mase. Iznad brojača specifična jonizacija čestice je suviše velika da bi bilo dozvoljeno da se ona pripíše elektronu sa ovolikom posmatranom krivinom. Krivina traga čestice iznad brojača odgovarala bi onom delu krivine od 1,4 Mev i specifičnoj jonizaciji od oko 7000 jonskih parova/cm, koja je bar trideset puta veća od specifične jonizacije koja je predstavljena na fotografiji. Krivina ($q \approx 3$ cm) dela traga ispod brojača odgovarala bi energiji od 7 Mev, kad bi trag poticao od elektrona. Elektron ove energije bi imao specifičnu jonizaciju, koja se neprimetno razlikuje od one jonizacije obične čestice velike energije, koja stvara tanak trag, a sem toga ona bi imala domet od bar 3000 cm u vazduhu pod normalnim atmosferskim uslovima, umesto 1,5 cm koji je stvarno primećen. Sem toga, kada bi čestica imala elektronsku masu i izlazila iz brojača sa takvom brzinom, da njena specifična jonizacija bude dovoljno velika da bi odgovarala onoj koja je predstavljena na fotografiji, njen zaostali domet u vazduhu, pod normalnim atmosferskim uslovima, bio bi manji od 0,05 cm umesto primećenih 1,5 cm. Proton sa krivinom traga ispod brojača imao bi energiju od samo 25.000 elektron-volta, a domet manji od 0,02 cm u vazduhu pod normalnim atmosferskim uslovima.

potpuno siguran dokaz o naknadnoj dezintegraciji (za koju je Open-
hajmer u Pasadeni dao sugestiju, a koju sadrži i Jukavina teorija) ne
može da se nađe na fotografiji. Postoje ipak tri kapljice koje se javljaju
na slici sa leve strane, koja je direktan lik, a i na slici na desnoj
strani, koja je lik u ogledalu. Stereoskopsko posmatranje pokazuje da
su ove kapljice poredane tako kao da pokazuju kratak otsečak elek-
tronskog traga, koji bi proisticao sa onog mesta u gasu na kome se
čestica zaustavila i odatle bio upravljen prema brojaču. Zbog relativno
slabog svetlosnog izvora koji je upotrebljen u ovim eksperimentima,
elektronski tragovi su vrlo nejasni. Ove kapljice mogle bi da pokazuju,
prema tome, da se čestica, pošto se zaustavila, razložila uz emisiju
pozitivnog elektrona. Pošto je sama čestica pozitivno naelektrisana,
ona ne bi mogla da bude eliminisana apsorpcijom u neko jezgro¹.

Međutim, ma kakva da je neizvesnost što se tiče kraja
života mezotrona koji je prikazan na sl. 99, ne može da
bude nikakve sumnje o tome šta se dešava na fotografiji
koju su snimili Viljams i Roberts (Roberts).² Ova jasno po-
kazuje (sl. 100) jedan mezotron, za koji se tačno može utvr-
diti da je pozitivnog znaka, kako dolazi do kraja svog do-
meta u gasu Vilsonove komore, a iz njegove završne tačke,
prema rečima autora, „polazi brzi elektronski trag, čija je
kinetička energija mnogo veća nego kinetička energija mezo-
trona, ali koja može da se uporedi sa njegovom energijom
mase. Ovo pokazuje da se mezotron pretvara u elektron, i
u tom slučaju značajna paralela između mezotrona i Juka-
vine čestice još je uočljivija. Prema Jukavinoj teoriji, po-
smatrani fenomen može da se opiše kao dezintegracija me-
zotrona uz emisiju elektrona, što na taj način predstavlja
najjasniji oblik β -dezintegracije“.

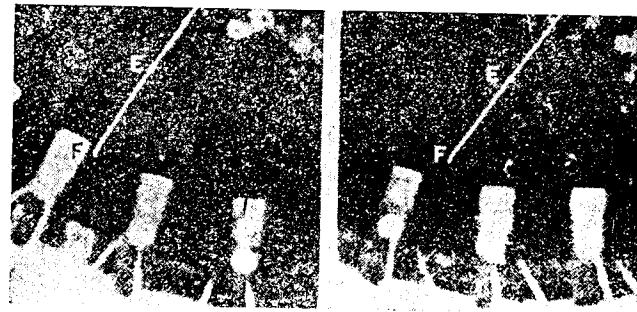
Ove fotografije, dakle, neobično mnogo osvetljavaju
mekhanizam prenosa energije kosmičkih zrakova iz gornjih
oblasti atmosfere na nivo morske površine i ispod njega, pri
čemu se pretpostavlja da energija jednog sekundarnog fotona,
na primer, proizvedenog u gornjim slojevima atmosfere kao
jedan od elemenata jako apsorbljivog pljuska, dejstvuje na
neko jezgro. Iz tog nuklearnog sudara proizlazi mezotron ili

¹ Neddermeyer and Anderson, *Phys. Rev.*, LIV (1938), 89.

² E. J. Williams and G. E. Roberts, *Nature*, CXLV (1940), 102.

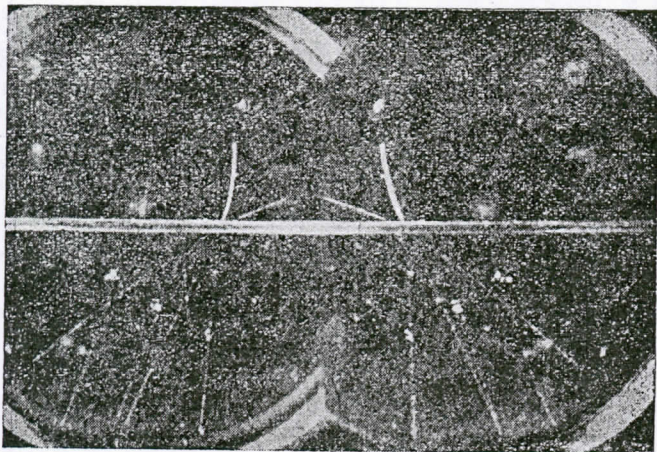
mezotroni, koji, pošto su prodorne čestice, brzo odnose ener-
giju nadole tokom svog trajanja (10^{-6} sekundi), a onda pre-
trpe dezintegraciju, proizvodeći elektrone na kraju svoga
dometa, koji onda sa svoje strane izazivaju kaskadne plju-
skove, a ovi sačinjavaju 20 procenata tragova primećenih
na nivou morske površine.

Još nešto više rasvetljavaju ovu istoriju fotografije
prikazane na slikama 101 i 102, koje su snimili Anderson i
Nedermajer na Pajks Piku u leto 1935, a koje su ovde repro-
dukovane sa njihovim objašnjenjima, onako kao što su ona
bila napisana u to vreme, izuzev kurziva, koji sam ja umet-
nuo. Ta objašnjenja pokazuju koliko su ovi autori još u



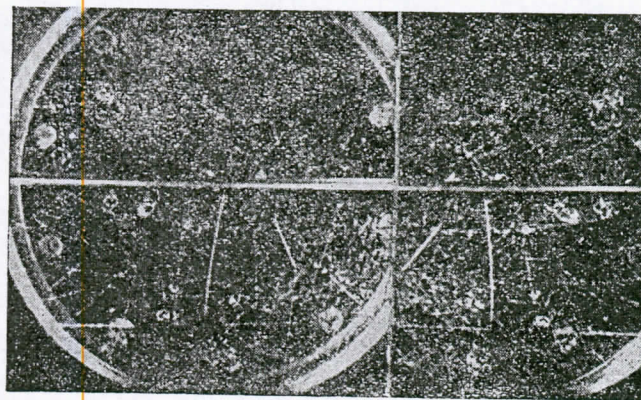
Sl. 100. — Vilijams—Robertsov stereoskopski snimak transfor-
macije pozitivnog mezotrona, na kraju njegove dužine života (10^{-6}),
u pozitron.

ono vreme jasno razumeli nemogućnost tumačenja njihovih
fotografija u Vilsonovoj komori bez uvođenja nekih novih
osobina za jonizujuća sredstva, sem onih koje su mogle da
se pripišu slobodnim elektronima i protonima. Ustvari, *ove*
dve fotografije, sa objašnjenjima pod njima tačno kao što su
onda napisana, mogu se smatrati kao pravi datum otkrića me-
zotrona. Poslednje dve rečenice na kraju objašnjenja ispod
sl. 101 pokazuju kako su dobro autori uviđali da je u ovoj
fotografiji jasno pokazana jedna potpuno nova vrsta nuk-
learne reakcije — reakcija pri kojoj, u oštroj suprotnosti



Sl. 101. — Pajks Pik, 7900 gausa. Dezintegracija, proizvedena jednim nejonizujućim zrakom, dešava se u jednoj tački olovne ploče debljine 0,35 cm, odakle je izbačeno šest čestica. Jedna od čestica (koja jako jonizuje), izbačena je skoro vertikalno naviše, ima domet protona od 1,5 Mev. Njena energija (data njenim dometom) odgovara $H_0 = 1,7 \times 10^5$, odnosno poluprečniku od 20 cm koji je triputa veći od primećene vrednosti. Ako je posmatrana krivina potpuno dobivena dejstvom magnetnog skretanja, bilo bi potrebno da se zaključi da ovaj trag predstavlja neku masivnu česticu sa odnosom e/m mnogo većim nego što je onaj kod protona ili ma kog drugog poznatog jezgra. Pošto ne postoje na raspoloženju eksperimentalni podaci o mnogostrukom rasipanju protona male energije u argonu, teško je proceniti do koje je mere rasipanje moglo da izmeni krivinu u ovom slučaju. Prema tome, čestica se privremeno tumači kao proton. Druga čestica, koja je izbačena nadesno prema gore, može da bude ili elektron ili brzi proton. Četiri čestice koje su izbačene nadole pozitivno su naelektrisane i ne jonizuju dovoljno jako da bi predstavljale protone prikazanih krivina. Ako su one pozitivni, njihove energije su 105, 250, ~ 500, odnosno 60 Mev. Zbir energija ovih šest čestica, koje postaju pri ovoj dezintegraciji, mora da prelazi 1000 Mev. Pošto se elektronski pljusak koji odozgo upada u komoru, dešava pri ovoj ekspoziciji jednovremeno sa dezintegracijom u ploči, to ova poslednja verovatno proizlazi od sudara fotona ili neutrona, koji se stvorio zajedno sa elektronima u pljusk. Činjenica da lake čestice primaju tako mnogo energije ide u prilog fotonu. Ova dezintegracija, pri kojoj su sve izbačene čestice verovatno pozitivno naelektrisane, predstavlja proces koji se u osnovi bitno razlikuje od običnog elektronskog pljuska; ona pokazuje da je naelektrisanje izbačeno iz jezgra i prisiljeno da se javi u obliku lakih čestica.

sa proizvodnjem pljuskova, jedan „nejonizujući zrak“, koji je trebalo da bude ili neutron ili foton (a oni daju preimućstvo fotonu), prodire u jezgro atoma olova i prouzrokuje njegovu eksploziju, pa na taj način izbacuje šest mezotronskih tragova koji su pronađeni na sl. 101. Svi ovi tragovi polaze u svim pravcima iz jednog zajedničkog centra. Anderson i Nidermajer, u svom objašnjenju pod slikom, pošto su pokazali da kratki, teški trag koji izbija nagore ne može da bude proton ili α -čestica, opet ga još „privremeno tumače kao proton“, pošto pisci još nisu bili definitivno objavili otkriće mezotrona.



Sl. 102. — Pasadena, 4500 gausa. Jedan kompleksni elektronski pljusak, koji nije jasno definisan po pravcu, i tri teške čestice sa specifičnom jonizacijom koja je izvesno veća od one kod elektrona. Znak naelektrisanja dveju od ovih teških čestica, koje su predstavljene kratkim tragovima, ne može da se odredi, ali pretpostavka da one predstavljaju protone u skladu je sa indikacijama koje daje fotografija. Treći teški trag se javlja iznad 0,35 cm debele olovne ploče, gde mu specifična jonizacija nije primetno različita od one koju ima elektron. On prodire kroz olovnu ploču i javlja se u donjoj polovini komore skoro kao vertikalni trag blizu sredine. Ispod ploče on pokazuje veću jonizaciju nego elektron, i skreće u magnetnom polju, tako da to ukazuje na pozitivno naelektrisanu česticu. Vrednost H_0 ove čestice može očigledno da bude najviše $1,4 \times 10^5$ gaus-cm, što odgovara energiji protona od 1 Mev i dometu od samo 2 cm u komori, dok je primećeni domet veći od 5 cm. O jednoj teškoći iste prirode bilo je govora pri opisu sl. 101.

Iz izloženog se vidi da nuklearna apsorpcija energije upadne naelektrisane čestice mora da bude sasvim složen fenomen. Zaista, već ima dokaza da postoje bar četiri razna mehanizma takve apsorpcije, i oni mogu da se pretstave na sledeći način:

1. Prvi je impulsno zračenje i proizvođenje parova. Ovakav mehanizam izgleda da ima ogroman, pretežan uticaj u višim slojevima atmosfere i da pretstavlja, uopšte, glavno sredstvo nuklearne apsorpcije.

2. Drugi je ona vrsta apsorpcije koja je predstavljena na slikama 63 i 64, tj. Hofmanovim jonizacionim udarima. Izgleda da je dovoljno ubedljiv dokaz koji je dao Karmikael. (Carmichael),¹ da bi se moglo desiti, iako vrlo retko, da celokupna energija fotonâ od 2— ili 3— milijarde volta može da se pretvori u Hofmanov jonizacioni udar putem jednog nuklearnog sudara, uz pretvaranje u energiju raspodeljenu na nekoliko hiljada tragova (+ i —) elektronskih zrakova male energije. Ovo znači, da bi nuklearna apsorpcija energije naelektrisanih čestica morala da bude bar malo brža nego što to predviđa Bete—Hajtlerov zakon.

3. Treća vrsta apsorpcije je ona koja je prvi put pronađena u Andersen—Nedermajerovim fotografijama, kao što je ona na sl. 101, koje su pokazale kako jezgro eksplodira uz emisiju mezotronâ, a u nekim slučajevima i protonâ i neutronâ.

¹ Carmichael, *Proc. Roy. Soc.*, CLIV (March, 1936), 123—245. Suština Karmikaelovog zaključka je da „mora da postoji neki proces usled koga pojedinačan kosmički zrak velike energije biva naglo zamenjen hiljadama posebnih jonizacionih čestica“. Najveći jonizacioni udar koji je on primetio u toku od 1500 sati u sudu kapaciteta 175 litara nije veći od onog što ga mi primećujemo u elektroskopu sa komorom kapaciteta 1,6 litara. Proizlazi da se praktično sva energija udara oslobađa u samoj jonizacionoj komori. Karmikael nikad ne nalazi da ova dostiže do petnaest milijardi elektron-volta. Drugim rečima, jedanput u 100 sati može da se desi sudar u zidu tako blizu unu trašnoj površini, da bi se oslobodio najveći deo energije upadnog zraka u samoj komori.

4. Četvrta vrsta apsorpcije je proizvodnja, odnosno stvaranje — direktno ili indirektno, verovatno usled sudara fotonâ sa jezgrima — prodornih čestica ili mezotronâ, koji su uglavnom, ako ne i potpuno, sposobni za prenos upadne energije kosmičkih zrakova do nivoa morske površine i ispod njega. Ovi mezotroni imaju moć da na kraju svog života (10^{-6} sekundi) stvaraju nove elektrone i da na taj način prenose pljuskova dole do mnogo većih dubina nego što bi inače dopuštala Bete—Hajtlerova teorija. Nije nam potreban bolji dokaz da postoji neki mehanizam koji može da prenese efekte pljuskova duboko dole u atmosferu, kojima prosta Bete—Hajtlerova teorija poriče mogućnost da mogu da dopru, nego što nam pružaju slike 59—63, koje, dok su snimane na nivou morske površine, pokazuju pljuskove koji se sastoje od mnogo elektronskih tragova (+ i —), koji su proizvedeni nuklearnim sudarima koji nastaju u olovu od fotonâ i elektronâ od $1\frac{1}{2}$ milijarde i 2 milijarde volta. Vajšedel (Weischedel)¹ je nalazio ovakve pljuskove, ne odveć često već povremeno, na velikim dubinama pod vodom. Mi zato imamo direktan, nedvosmislen dokaz da mezotroni imaju sposobnost da nose dole energiju koja je potrebna za ove efekte pljuskova i da je oslobađaju na nivou morske površine ili ispod njega.

Postoje dva originalna članka na kojima ozbiljan istraživač na ovom polju može korisno da se upozna iz prve ruke. Jedan članak od Ojlera, Hajzenbergovog učenika (*Zeit. f. tech. Phys.*, XVIII, [October, 1937], 517), značajan je naročito s obzirom na njegov datum, zbog tačnosti njegove analize i njegove jasnoće, kratkoće i objektivnosti — a ni sada još uopšte nije zastareo. Drugi, od Lapa (*Phys. Rev.*, LXIX [1946], 321), je važan i vrlo savremen. Iz njega navodim nekoliko rečenica: „Podaci o jonizacionim udarima sačinjavaju jedini eksperimentalan dokaz da je većina velikih jonizacionih udara pod debelim štitovima izazvana uspornim zračenjem mezotronâ u elektromagnetnom polju nekog jezgra. Pri energijama

¹ Weischedel, *Zeit. f. Phys.*, CI (1936), 744.

od oko 10^{10} elektron-volta, ovaj proces zračenja (usporno zračenje), preovlađuje nad bliskim sudarom (udarni proces) mezotrona sa elektronom“. Ovo otstojanje u ma kojoj vrsti materije, pri kome je gubitak zbog zračenja naelektrisane čestice koja prolazi kroz tu materiju, upravo jednak jonizaciji ili gubitku energije pri sudaru, naziva se „jedinica zračenja“. Za elektron koji prolazi kroz materiju ova jedinica iznosi $\frac{1}{2}$ cm u Pb, $\frac{1}{2}$ m u vodi, $\frac{1}{2}$ km u vazduhu. Recipročna vrednost ove dužine je približno proporcionalna $\rho Z^2/A$, gde je ρ = gustina, A = atomska težina, Z = atomski, redni broj. Samo za energije preko 10^{10} elektron-volta usporno zračenje mezotrona postaje značajno. Mezotroni sa tom energijom trpe neznatno smanjenje intenziteta pri prolazu kroz atmosferu.

GLAVA XIX

PRIRODA I BROJ UPADNIH PRIMARNIH ZRAKOVA

I. RASPOZNAVANJE PRIMARNIH I SEKUNDARNIH EFEKATA

Ranijih godina prilikom vršenja eksperimenata sa kosmičkim zracima svi smo mi neminovno izvodili pogrešne zaključke, kako eksperimentatori tako i teoretičari, zbog prećutne pretpostavke da pri našim merenjima na nivou morske površine i pri drugom eksperimentisanju na onim visinama do kojih se može doći na planinama, mi imamo posla sa jonizacijom proizvedenom direktno usled procesa apsorpcije, koji oslabe X-zrake, β -zrake ili α -zrake, kada ovi prolaze kroz materiju. Ja sam lično već 1932 god. u mom predavanju¹ pred Američkim fizičkim društvom jako istakao činjenicu da ogroman deo primećenih atmosferskih efekata nastaje usled sekundarnih reakcija, a ne usled samih primarnih zrakova; ali tek 1936 god. nađen je eksperimentalan dokaz u slici 93, kriva A, da samo jedan od pet stotina, čak i od onih upadnih naelektrisanih korpuskularnih zrakova od 10 milijardi volta, može da dopre dole do nivoa morske površine; a što se tiče upadnih fotona, njihovi efekti su u svakom slučaju eliminisani iz slike 93, A; međutim, nezavisno od te činjenice, grupa Openhajmer—Lorice—Bete—Hajtler—Babha je razvila teoriju kaskadnih pljuskova 1933-34 god., sa njenim dokazima, i pokazala je da nikakvi primarni fotoni uopšte ne mogu da počnu da dopiru dole do nivoa morske površine, s obzirom na ograničenja koja nameće teorija pljuskova.

¹ *Phys. Rev.*, XLIII (1933), 661.

Isto tako, postojanje energetske trake kosmičkih zrakova na nivou morske površine ili blizu njega, na magnetnoj geografskoj širini Pasadene (41°) jednostavno pokazuje da, u granicama tačnosti upotrebljenog elektroskopa ili drugih aparata za merenje koji su upotrebljeni, samo upadni slobodni elektroni (ili možda protoni; vidi dole), čije su energije veće od oko 6 milijardi elektron-volta, u stanju su da vrše neke merljive uticaje daleko dole do nivoa morske površine. Pošto, međutim, eksperiment pokazuje da upadni naelektrisani korpuskularni zraci sa energijama iznad 6 milijardi volta stvarno manifestuju svoj uticaj na nivou morske površine, sada se sasvim pretpostavlja da oni ovo postižu intermedijarnim proizvodnjem, u gornjim oblastima atmosfere, prvo fotonâ, a onda i prodornih mezotronâ usled toga što atmosferska jezgra apsorbuju ove fotone.

Bilo da su prethodne pretpostavke tačne ili netačne, u svakom slučaju slika 93, A, sigurno sadrži sve jonizacione uticaje, primarne i sekundarne, jednostavne i komplikovane, koje upadne naelektrisane čestice prosečne energije od 10 milijardi elektron-volta (koje se nalaze približno između granica $6,7 \times 10^9$ elektron-volta i 17×10^9 elektron-volta), bilo da su protoni ili elektroni, mogu da proizvedu u našoj atmosferi.

Isto tako ova kriva A, slika 93, i njen logaritamski ekvivalent, koji sačinjava nanesene tačke na slici 94, daju interni dokaz da same upadne naelektrisane čestice imaju moć proizvodjenja čestica koje su prodornije nego one same, zbog nekog direktnog ili indirektnog procesa, dok se njihov uticaj prestire kroz atmosferu. Ovo je jasno izneto upoređivanjem između teorije i eksperimenta, koje je prikazano na slici 94. Tako na logaritamskoj skali upotrebjenoj na slici 94, izvučena kriva koju su proračunali Karlson (Carlson) i Openhajmer pokazuje promenu jonizacije sa dubinom sloja ispod vrha atmosfere, kao što je pretskazano u našem elektroskopu za upadne elektrone samo na osnovu dva osnovna mehanizma koji leže u osnovi Bete—Hajtlerove teorije pljuskova, naime, impulsnom zračenju (*usporno zračenje*) i stvaranju parova. Ovo slaganje je sasvim dobro od vrha pa sve

dole do dubine od $2\frac{1}{2}$ metra vodenog stuba. Međutim, činjenica da eksperimentalne tačke, uzete iz slike 93, A, dostižu svoj maksimum malo bliže vrhu atmosfere nego što to čini teoriska kriva ukazuje na to, da se na vrhu atmosfere apsorpcija energije upadnih naelektrisanih čestica i sledstveni umnožak jonizacije dešavaju *čak i brže* nego što to pretskazuje Bete—Hajtlerova teorija. Ovo znači da postoje drugi mehanizmi apsorpcije upadnih kosmičkih zrakova i naknadno proizvodjenje jonova, osim onih mehanizama koje postulira teorija pljuskova. Neki od ovih mehanizama nabrojani su u prethodnoj glavi. Ali donja polovina krive na slici 94 pokazuje da tamo, naprotiv, jonizacija *ne iščezava ni blizu tako brzo sa dubinom, kao što to Bete—Hajtlerov mehanizam zahteva*. Drugim rečima, *zračenje postaje sve prodornije i prodornije ukoliko se ono dalje spušta u atmosferi. Ovo samo znači da postoji neki mehanizam pomoću kojega upadne naelektrisane čestice proizvode u atmosferi prodornije nosioce energije na dole*. Takve čestice jesu mezotroni iz prethodne glave. U sledećem odeljku raspravljaje se da li su upadne čestice koje proizvode ove mezotrone samo elektroni ili samo protoni ili kombinacija obe vrste čestica. Stvarni rezultat iznesenih razmatranja u ovom odeljku sastoji se u tvrđenju da postoji dobar dokaz da *su praktično svi efekti kosmičkih zrakova, koji su primećeni u donjem delu atmosfere, sekundarni efekti — razletanja čestica raznih vrsta — proizvedeni u gornjim slojevima atmosfere spoljnjim uticajem elektrona (+ i —), ili zajedno grupisanih elektrona, protona i fotona koji, bez obzira kakva da im je energija, ne mogu sami da prodru kroz gornje slojeve zbog moćne barijere koja je određena zakonima nuklearne apsorpcije*.

II. RASPOZNAVANJE EFEKATA UPADNIH SLOBODNIH ELEKTRONA I UPADNIH PROTONA

Iznad 10^9 elektron-volta zemljino magnetno polje utiče bitno na isti način na protone i slobodne elektrone zbog relativističkog povećanja mase pri brzinama koje su vrlo bliske brzini svetlosti, i prema tome, za datu energiju oni

počinju da dopiru do zemlje kroz to magnetno polje na istoj geografskoj širini. *Zemljino magnetno polje zato ne pravi razliku između protona i elektrona čije su energije 10^9 ili više elektron-volta.*

Ovo stanje, međutim, ne važi kad se razmatraju činjenice *sudara*. Zbog svoje sposobnosti da prenosi impuls, proton je skoro dve hiljade puta teži od elektrona, i iz toga razloga mnogo je prodorniji čak i od mezotrona. Proton ne može naglo da bude zaustavljen, kao što to može elektron, i on je prema tome mnogo manje sposoban da vrši radiativne sudare i da na taj način stvara fotone impulsnog zračenja, koji su potrebni kako za proizvodnju pljuskova, tako, očevidno, i za apsorpciju koju vrše jezgra pri stvaranju mezotrona usled nuklearnih eksplozija (sl. 101).

Ali postoji takođe i druga razlika, koja je od vrlo velikog značaja. Otkrićem pozitrona i stvaranja elektronskih parova nađeno je da su i pozitroni i negatroni u stanju da bombarduju zemlju u podjednakom broju; ali protoni su svi istoga znaka, a ovo je, po mom mišljenju, fatalno za protonsku teoriju upadnih čestica osetljivih prema zemljinom magnetnom polju (vidi dole). O ovim dvema karakteristikama protona — njihova masenost i efekat njihovog pozitivnog naelektrisanja koje nije neutralisano — raspravljajući se sada u vezi sa činjenicama koje su objavljene u slikama 92, 93, A, i 94.

Videće se da postoji upadljiva sličnost između slika 93, A, i 92. Prva od ove dve krive ne može da sadrži nikakve efekte osim onih koje proizvode upadni elektroni (+ i —) i upadni protoni, ako takvi postoje, ali u svakom slučaju svi sa prosečnom energijom koja iznosi 10 milijardi elektron-volta. S druge strane, slika 92 ne sadrži nijedan od efekata upadnih zrakova kojih ima na sl. 93, A, jer su oni svi isključeni oduzimanjem slike 92 od slike 91. Slika 92 tada sadrži efekte svih upadnih fotona svih mogućih energija i sve efekte svih vrsta upadnih naelektrisanih čestica, sem onih koje su eliminisane, pošto imaju energije koje su manje od 17 milijardi elektron-volta. *Sličnost između slika 92 i*

93, A, plus ranije izložene činjenice, daju tada sugestiju da možda veći deo, ako ne i svi upadni kosmički zraci jesu naprosto pozitivni i negativni elektroni.

Prvi razlog za ovu sugestiju jeste što protoni, zbog svoje masenosti, sigurno ne mogu naglo da budu zaustavljeni i, prema tome, njihova energija ne može na taj način da se pretvori u fotone, i to takve kakvi su stvarno bitni za vrlo brzu apsorpciju sasvim blizu vrha atmosfere, kao što je izneseno i na slici 93, A, i na slici 92. Drugo, ako na vrhu atmosfere upravo apsorpcija protona proizvodi mezotrone, kao što su predlagale pristalice upadnih protona, pošto su sami mezotroni prodorne čestice, oni ne mogu kao sekundarne čestice da proizvode brzu jonizaciju, koja se vidi na vrhu slike 93, A, i 92; jer i protoni i mezotroni nisu čestice koje sačinjavaju pljuskove. Treće, protoni, ukoliko se tiče celokupnog eksperimentalnog dokaza koji danas imamo, uvek su čestice sa pozitivnim naelektrisanjem; i, prema tome, postoji isti razlog da se poriče mogućnost kontinualnog bombardovanja zemlje pomoću protona velike brzine, kakav se iznosio kroz pedeset godina poricanjem mogućnosti da zemlju kontinualno bombarduju negativni elektroni velike brzine, naime, da takvo razdvajanje naelektrisanja, kao što bi ono iziskivalo, stvara polja koja sprečavaju razdvajanja. Ovo je razlog zašto, izuzev u ograničenim i lokalnim prilikama, pozitivna i negativna naelektrisanja moraju da budu u ravnoteži kroz celu vasionu. Ja mislim da je ovo bar pedeset godina opšte priznat princip. Suan (Swann) ga je nedavno sasvim iscrpno obrazložio. Naravno, ova vrsta teškoće za elektrone nestala je sa otkrićem pozitrona i sa stvaranjem elektronskih parova, koji održavaju u ravnoteži naelektrisanja upadnih elektrona.

Iz ovih razloga, i s obzirom na činjenicu da još niko nije video negativan proton, koliko ja mogu da vidim, upadni protoni umesto upadnih elektrona (+ i —) nemaju

¹ *Phys. Rev.*, XLIV (1933), 124, i LX (1941), 470.

baš neku razumnu verovatnoću.¹ Čak i uspostavljanje električne ravnoteže, uvođenjem pretpostavke da su upadne čestice kosmičkih zrakova pola protoni a pola negatroni, čime se uklanja ova teškoća, ipak ostavlja nedirnutom isto toliko ozbiljnu teškoću o ogromnoj prodornoj moći protona zbog njihove masenosti. Ovo bi isto tako vodilo očekivanju da bi mogle da postoje dve geografske širine, kao što je ona koja je nađena na 41°, na kojima efekti ove dve razne vrste čestica sa potpuno različitom prodornom moći najpre dopiru do nivoa morske površine kroz otpor koji im suprotstavlja atmosfera. *Do sada uopšte nema nikakvog eksperimentalnog dokaza da takav efekat postoji.* Jedini put koji su predložile pristalice upadnih protona, da bi se izbegao efekat takve prodorne moći, jeste u tome da se pretpostavi da svi upadni protoni nestaju vrlo brzo u sasvim spoljašnjim slojevima atmosfere usled apsorpcije koju vrše atmosferska jezgra; ali mora se pretpostaviti da oni takvom apsorpcijom stvaraju mezotrone, koji su sami po sebi prodorne čestice nesposobne da brzo pretvaraju svoju energiju u jonizaciju. Međutim, kao što je već naznačeno, gornji delovi na slikama 93, A, i 94 pokazuju da brzina proizvođenja jonova mora da bude, ako ništa drugo, bar veća a ne manja od one koja postoji u slučaju ako su sve upadne čestice slobodni elektroni (+ i —).

М. МИЛЕНКО СОСНИНЪ

Pretpostavka, opet, da postoje i pozitivni i negativni protoni, koju neki predlažu, iako se njome zaobilaze teškoće električne neravnoteže, udaljuje oblik apsorpcione krive pri vrhu još više od harmonije koju iziskuje Bete—Hajtlerova teorija, koja se, kao što pokazuje slika 94, sada blisko slaže sa posmatranom krivom, ali iziskuje, ako išta, pre više jonizacije nego manje, da bi se dobilo savršenije slaganje između teorije i eksperimenta.

¹ Jedan drugi izlaz bi mogao da bude pretpostavka da se upadni protoni potpuno pretvaraju u mezotrone, kada dodirnu vrh atmosfere, posle čega odmah nastaje pretvaranje mezotrona u elektrone, pre nego što oni znatno prođu nadole. Ja verujem da će fizičari više voleti upadne elektrone nego takvu vrstu hipoteze.

Prema tome, oblik gornjeg dela slike 93, A, njeno približno slaganje u visokim slojevima atmosfere sa krivom pljuskova slike 94, njena sličnost sa slikom 92 i inherentna nesposobnost masivnih čestica, kao što su protoni ili mezotroni da proizvedu fotone impulsnog zračenja, kakvi su potrebni za apsorpciju visinskih pljuskova — sve ove činjenice vrlo ubedljivo govore u prilog tumačenja slika 93, A, i 92 na osnovu teorije upadnih slobodnih elektrona (+ i —), a protiv teorije upadnih protona ma koje vrste. Teorija slobodnih elektrona će, prema tome, otsada biti bar privremeno usvojena.

III. RASPOZNAVANJE UPADNIH ELEKTRONA I UPADNIH FOTONA

Svi upadni kosmički zraci koji su osetljivi prema magnetnom polju moraju, naravno, da budu upadne naelektrisane čestice, i mi ćemo odmah utvrditi upravo koji deo od celokupne energije upadnih kosmičkih zrakova unose takve čestice. Ali naši eksperimenti do sada nisu dali nikakav bitan dokaz o relativnini ulogama koje igraju upadne naelektrisane čestice i upadni fotoni pri proizvođenju onog dela primećenih upadnih efekata koji *nisu osetljivi prema magnetnom polju*. Pošto, ipak, energije upadnih fotona i upadnih elektrona prvobitno bivaju apsorbovane u atmosferi putem istog mehanizma, naime, onog koji proizvodi pljuskove, i pošto je ovaj proces bitno isti posle prvog akta, pa bilo da ga izaziva ulazni foton ili ulazni elektron, jasno je da je nemoguće raspoznati ova dva u granicama energije iznad 17 Mev. Kao što je već pokazano, ovo ne bi bilo tačno kad bi ove upadne čestice velike energije bili protoni, koji bi, s obzirom na njihovu masenost a isto tako i s obzirom na masenost ma kakvih mezotrona koje bi oni mogli proizvesti kao sekundarne čestice, verovatno pokazali apsorpcionu krivu potpuno drukčiju od one koja je stvarno prikazana na slici 92, i za koju se gore smatralo, zbog njene sličnosti sa slikom 93, A, da potiče od samih elektrona ili

verovatno od elektrona i fotona zajedno. Jer, ako postoje ikakvi upadni fotoni, bez obzira kakve su im energije, oni bi morali da postoje, pored upadnih zrakova naelektrisanih čestica, čija je energija iznad 17 Mev, u efektima koji sačinjavaju opštu osnovnu jonizaciju kosmičkih zrakova, koja je ravnomerno raspoređena po zemljinoj površini i koja daje sliku 92. Postojanje kako ekvatorskog istočno-zapadnog efekta tako i ekvatorskog efekta geografske dužine pokazuje da neki deo ove opšte osnovne jonizacije sa slike 92 mora da potiče od naelektrisanih čestica.

Ma da u onom delu upadnih zrakova koji nisu osetljivi prema magnetnom polju ne možemo da odvojimo ove elektronske zrake velike energije od fotonskih zrakova, moguće nam je da nađemo celokupnu energiju kosmičkih zrakova, koju unosi onaj deo zrakova koji je osetljiv prema magnetnom polju, a sem toga možemo da nađemo još i kako je ta celokupna energija raspoređena među zracima različite energije. Tako merenje pomoću elektroskopa celokupne jonizacije koja se proizvodi na svim visinama, prilikom letova izvršenih sve do vrha atmosfere u San Antoniju i Madrasu, omogućilo je da se sasvim tačno odrede jonizacioni efekti dosta uske trake upadnih korpuskularnih zrakova čija prosečna energija iznosi 10 milijardi elektron-volta. Koliko može iz ovoga da se nauči, vidi se iz sledećeg:

Pošto desna strana krive A slike 93 eksponencijalno opada, i na nivou morske površine (10 metara vodenog stuba) ima vrednost od samo 0,3 jona, jasno je da je površina ispod morskog nivoa (ili više od 10 metara vodenog stuba) između krive i X-ose neznatno mala u poređenju sa odgovarajućom površinom iznad nivoa morske površine. Direktno posmatrana kriva (A, sl. 93) vidi se kako se pruža skoro do vrha, a isprekidana linija produžuje je sa vrlo malom nesigurnošću¹ do samog vrha. Otuda, ova površina ispod krive A, kad se ta kriva produži do nivoa morske površine, prosto je integral ili zbir svih jonova koje su u stanju svi

¹ Vidi, *Phys. Rev.*, LIII (1938), 217, za potpuniju diskusiju.

ulazni elektroni energija između 6,7 i 17 milijardi elektron-volta da proizvedu po kubnom santimetru u sekundi u našem elektroskopu, dok se on podiže od nivoa morske površine do vrha. Ovo stvarno iznosi $2,8 \times 10^7$ jonova. Pošto se sva energija ovih upadnih elektrona troši na proizvođenje jonova, možemo onda da uzmemo ovu površinu, odnosno ovaj broj jonova, kao merilo celokupne energije koja se unese u zemlju u sekundi na kvadratni santimetar zemljine površine od strane svih upadnih elektrona koji su obuhvaćeni gornjim granicama energije. Da bi se ovo obračunavalo na elektron-volte, broj elektron-volta potrebnih za stvaranje jednog jonskog para u vazduhu množimo sa 32. Tako dobivamo 9×10^8 elektron-volta. I ovde, ako želimo da nađemo koliko elektrona u ovim granicama energije padne na svaki kvadratni santimetar zemljine površine (gornja atmosfera) u sekundi, treba samo izvršiti deljenje sa prosečnom energijom koja se nalazi između $6,7 \times 10^9$ i 17×10^9 , naime, oko 10×10^9 ; i tako dobivamo sasvim tačno, da *jedan takav elektron od 10 milijardi volta ulazi u svaki kvadratni santimetar površine gornje atmosfere svakih 11 sekundi*. Ovako dobivamo sasvim tačno i pouzdano obaveštenje o broju kosmičkih zrakova, izvesnih određenih energija, koji lete kroz prostor. Ovaj rezultat bio bi opet isti kad bi upadne naelektrisane čestice bile protoni umesto elektrona, ili kad bi one zaista bile neka smeša protona ili elektrona, pošto je rezultat izražen brojem oslobođenih jedinica naelektrisanja (elektroni).¹

¹ Međutim, sledeće upoređivanje rezultata nađenih na slici 93, A, sa numeričkim izračunavanjima koja su primenljiva samo za upadne elektrone, izgleda da definitivno isključuje protone kao mogućnost. Broj naelektrisanih korpuskularnih zrakova, koji padaju u sekundi na kvadratni santimetar zemljine sfere na vrhu atmosfere, jeste celokupna upadna energija, tj., $2,8 \times 10^7 \times 32$ elektron-volta $\div 10 \times 10^9$ elektron-volta = 0,09. Obeležimo ovaj broj sa N. Pošto je N broj zrakova date energije koja ulazi na svaki kvadratni santimetar na sekundu, celokupan broj koji prolazi kroz naš elektroskop poluprečnika r , kada je on postavljen upravo izvan atmosfere, gde je izložen svim zracima koji prodiru iz svih pravaca iz hemisfere iznad njega, iznosi $2\pi r^2 N$. Ovi zraci prolaze kroz svaku moguću tetivu sfere poluprečnika r , a

Sasvim na isti način možemo da analiziramo krivu koja je prikazana na slici 92, a ponovljena na donjoj krivoj slike 94. Kada izmerimo površinu ispod ove krive, nalazimo da je ta površina približno ista kao ona kod krive A, slika 93. Tačnije, uzimajući u obzir jonizaciju ispod nivoa morske površine, ova površina je za 8 procenata veća nego površina ove poslednje krive. Znamo, dakle, sasvim tačno da *celokupna energija kosmičkih zrakova, koju donose elektroni čija je energija veća od 17 milijardi elektron-volta, plus sva energija, koju donose fotoni svih energija, iznosi otprilike isto koliko i energija koju donose sami elektroni čije su energije između 6,7 i 17 milijardi elektron-volta.*

Sledeći eksperimentalni korak, na koji je jasno bilo ukazano, sastojao se u tome, da se uzmu krive dubinske jonizacije, slične onima koje su prikazane na slikama 91 i 92, na većem broju geografskih širina koje se prostiru što je moguće dalje gore prema severnom magnetnom polu, tako da bi se našla potpuna raspodela energija svih upadnih elektrona. U avgustu i početkom septembra 1937 god., dr Neher i ja smo, prema tome, izvršili jedanaest novih letova, pri kojima smo dostigli minimalan pritisak od 9,9 mm žive, što je ekvivalentno vrednosti od 98,8 procenata puta do vrha atmosfere. Tri od ovih uspešnih letova izvršena su u Saskatunu, Kanada (60,3° Sev. magn. šir.), a osam u Omahi, Nebraska, S. A. D.

prosečne dužine ovih tetiva iznose $4r/3$. Ako sada pretpostavimo da se, s obzirom da je zid elektroskopa neobično tanak, jedini jonizacioni efekat koji se stvara u vazduhu pri atmosferskom pritisku u elektroskopu (jer sva dobivena čitanja sa našim elektroskopima, čije su komore napunjene argonom, svedena su na vazduh pri $p = 76$ cm Hg, $t = 23^\circ$ C) nalazi u jonovima proizvedenim u gasu elektroskopa duž jonskog traga, čiji je broj ovde uzet da iznosi 60 na santimetar dužine, tada izraz za broj jona po kubnom santimetru u sekundi proizvedenih u elektroskopu usled pomenutih zrakova iznosi
$$\frac{2\pi r^2 N \times (4r/3) \times 60}{4\pi r^3/3}$$
 = 120 N = 11 jonova po kubnom santimetru u sekundi.

Ako je gornja pretpostavka tačna, ova vrednost od 11 jona po kubnom santimetru u sekundi treba da nam da presek gornje krive sa osom jonizacije. Na slici smo produžili isprekidanom linijom na-

(51,3° Sev. magn. šir.). Isto tako, slika 90 pokazuje tipičan film koji je dobiven sa Neherovim elektroskopom pri jednom od ovih letova. Kao što je ranije utvrđeno, Neherov elektroskop se iz kondenzatora automatski punio svaka 4 minuta, tako da nije gubio više od 0,5 procenata svoga naelektrisanja na sat. Celokupna težina koju su podigli deset balona (sl. 90), koji su bili vezani jedan za drugi, iznosila je oko 1900 gr. Aparat sâm teži 1400 gr. Film pokazuje ubeležavanje koje je dobiveno za vreme trajanja letenja tokom 3 sata i 20 minuta. Visina sa koje je počelo spuštanje zbog prskanja balona, otprilike posle dva sata, može da se vidi na filmu. Kombinovani rezultati svih ovih letova na raznim visinama nalaze se na slici 103. Ovo pokazuje u istoj srazmeri četiri krive dubinske jonizacije, koje su svedene sa pritiska od 2 atm. koji vlada u elektroskopu, čija je komora napunjena argonom, na vazduh od 20° C, i pod pritiskom od 76 cm žive, a koje su snimljene na četiri razne magnetne širine, naime, one u Madrasu (3° Sev.), San Antoniju (38° Sev.), Omaha (51,3° Sev.), i Saskatunu (60,3° Sev.).

Potpuno nov i sasvim neočekivan rezultat, do koga se došlo na osnovu ovog upređivanja, bila je relativno neznačajna razlika između krivih Omahe i Saskatuna. Ovo znači da, iako se barijera zemljinog magnetnog polja snižava idući od Omahe do Saskatuna od oko 2,9 do 1,4 milijardi volta,

značenu krivu od poslednje posmatrane tačke do tog preseka, i tako smo dobili potpunu krivu jonizacije do vrha atmosfere koju proizvode upadne naelektrisane čestice čije su energije između $6,7 \times 10^9$ i 17×10^9 elektron-volta.

Pošto se broj jonova koje proizvode ovi zraci vidi iz A, sl. 93, da bi se dostigao maksimum od 144 jona po kubnom santimetru u sekundi, povećanje broja jonova koji prodiru kroz 0,5 m vodenog stuba iznosi oko $144/11 =$ trinaest puta. Ovo nije daleko od vrednosti koju su proračunali Karlson i Openhajmer na osnovu Bete—Hajtlerove teorije za elektrone ove energije koje apsorbiraju atmosfera. Broj koji su oni izračunali za elektrone od 10 milijardi volta iznosi 12,6. *Rezultat pruža delić novog dokaza da su praktično svi upadni zraci, koji su osetljivi prema geografskoj širini, stvarno elektroni i da nikakav znatan broj protona ili drugih prodornih čestica nije pomešan sa njima.*

ipak postoji vrlo malo nove elektronske energije koja dolazi u atmosferu u ovoj oblasti energija.

Oko 1 jula 1938 god. mi smo isto tako dobili slične krive dubinske jonizacije u Bismarku, Severna Dakota (magn. šir. $56,3^\circ$ Sev.) i našli smo da je kriva isto toliko visoka kao u Saskatunu — možda i malo viša. Prema tome, izgleda da je opravdan zaključak, da iako elektroni kosmičkih zrakova, čije su energije veće od onih koje su potrebne da se probiju kroz barijeru zemljinog magnetnog polja na magnetnoj širini $56,3^\circ$ (Bismark), naime, 1,9 milijardi elektronvolta, ulaze u zemljinu atmosferu u velikim količinama, ipak praktično nema nikakvih upadnih elektrona manje energije nego što su oni koji upravo mogu da prođu na toj magnetnoj širini.¹ Ovi rezultati ne razlikuju se od onih koje je, u avgustu 1938, objavio T. H. Džonson², a koji u eksperimentima vršenim sa brojačima do visine od 2 metra vodenog stuba nije mogao da nađe razliku između konstatovanih odbrojavanja u Mineapolisu i u Čerčilu. Isto tako, Karmikael i Dajmond (Daymond)³ su u maju 1938, objavili da su pri vrlo saglasnim elektroskopskim merenjima do visina od 12,7 mm žive, vršenih u oblasti do 5° od severnog magnetnog pola, dobili ne samo isti oblik krive nego, u granicama nesigurnosti apsolutnih merenja, otprilike i istu jonizaciju koju smo mi posmatrali u Bismarku i Saskatunu. Naša sopstvena opažanja iz aviona, 1932 god., u kojima nismo našli nikakve razlike na 21000 stopa između Spoukejna i jezera Kormorant, pokazuju ovu istu osobinu.

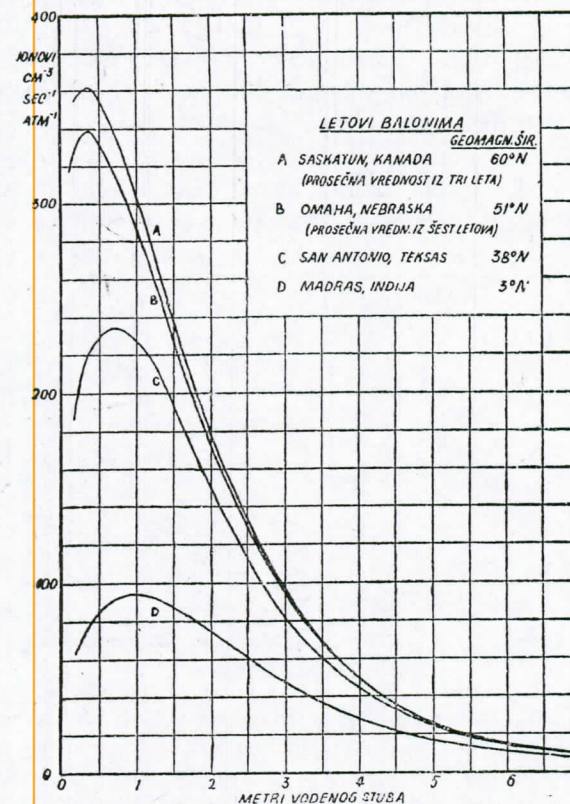
Slika 103 pokazuje postupak kako se dobiva kvantitativno upoređivanje energija koje kosmički zraci razne ener-

¹ Prvi put objavljeno u *Carnegie Inst. Reports, Year Book* № 36 (December 10, 1937), str. 364. Izlaganje kurzivom koje se tamo nalazi jeste sledeće: „Dolazimo do zaključka da se praktično celokupna sadržina energije upadnih zrakova koji su osetljivi prema geomagnetnoj širini nalazi u traci između 3×10^9 i 17×10^9 elektron-volta“. Vidi isto tako *Science*, LXXXVII (May 13, 1938), 427 i *Phys. Rev.*, LIII (1938), 855.

² *Phys. Rev.*, LIV (1938), 151.

³ *Nature*, CXLI (May 2, 1938), 910.

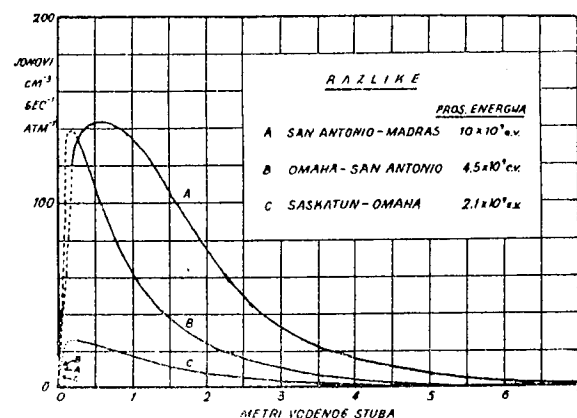
gije unose u atmosferu. Površina ispod krive D, slika 103, naravno, predstavlja osnovnu opštu jonizaciju koja potiče od upadnog zračenja koje nije osetljivo prema magnetnom polju, a koje je ravnomerno širom cele zemlje, i preko koje se superponiraju da bi se dobila kriva C, svi ostali zraci koji su oset-



Sl. 103. — Rezultati letova balonima na četiri razne geomagnetske širine

ljivi prema magnetnom polju (elektroni), a koji mogu da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja u San Antoniju i da proizvedu jonizaciju u elektroskopu. Ostali zraci koji su osetljivi prema magnetnom polju, i koji, u Omahi,

mogu da prođu kroz barijeru zemljinog magnetnog polja, daju krivu B. Na sličan način kriva A je dobivena u Saskatunu. Na slici 104, prema tome, tri krive, A, B i C, predstavljaju, respektivno, razlike između krivih C i D, i B i C, i A i B, sa slike 103. Površina ispod krive A na slici 104 odgovara celokupnoj, odnosno zbirnoj jonizaciji koju stvaraju u sekundi po svakom kubnom santimetru elektroskopa svi upadni elektroni koji prolaze kroz elektroskop, a čije su energije od 6,7 do 17 milijardi elektron-volta, od kojih poslednja dva broja, prema Lemetrovim i Valartinin izračunavanjima, predstavljaju energiju koju iziskuje jedan elek-



Sl. 104. — Površine ispod ovih krivih, A, B, i C, su iste kao i površine između krivih C i D, odnosno B i C, odnosno A i B slike 103; a svaka površina predstavlja u grubome energiju koju unose elektroni poznate prosečne energije od 10 milijardi, odnosno 4,8 milijarde, odnosno 2,1 milijarde elektron-volta. Tačke A, B i C na y-osi su izračunate vrednosti jonizacije koje potiču od ovih elektrona upravo izvan atmosfere

tron da bi probio barijeru zemljinog magnetnog polja u San Antoniju, odnosno u Madrasu, pa da vertikalno uđe u atmosferu. Prosečna energija upadnih elektrona, koji stvaraju ovu jonizaciju, iznosi onda, kao što je gore rečeno, približno oko 10 milijardi elektron-volta.

Na sličan način prostor ispod krive B, slika 104, je jonizacija koja potiče od upadne trake elektrona, čija je energija između 2,9 (Omaha) i 6,7 milijardi elektron-volta, odnosno opet, približna srednja vrednost iznosi 4,8 milijardi elektron-volta. Slično ovome, prostor ispod krive C, slika 104, jeste jonizacija koja potiče od upadne trake elektrona, čija je energija između 1,4 (Saskatun), i 2,9 milijardi elektron-volta, odnosno srednja vrednost iznosi 2,1 milijard elektron-volta.

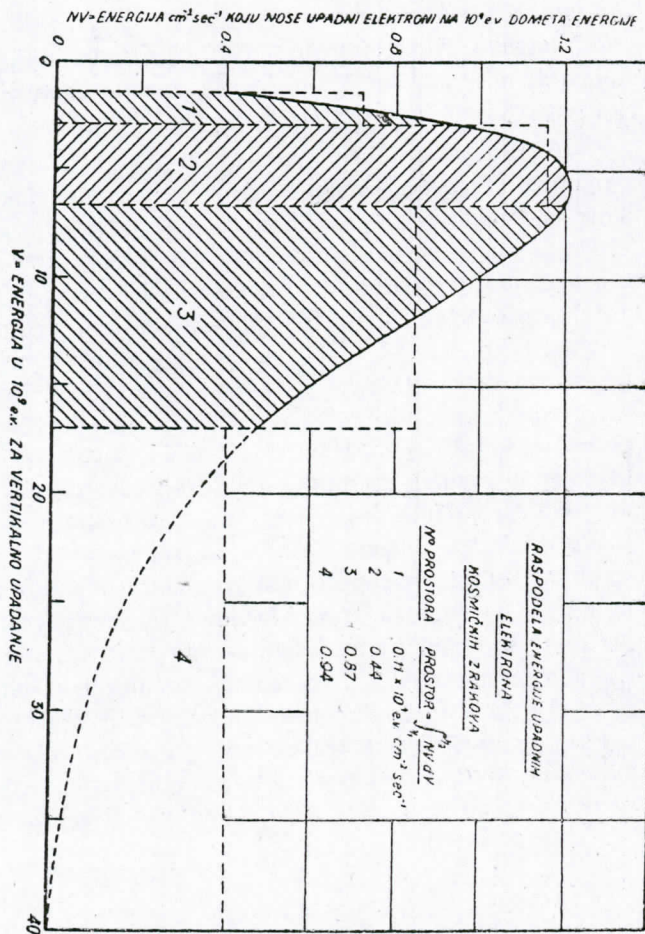
Na slici 105 pravougaona površina, koja je konstruisana na V (odnosno elektron-volt $\times 10^6$) — osi, podešena je da bude proporcionalna celokupnoj ili zbirnoj jonizaciji, koju u elektroskopu proizvode svi elektroni koji ulaze između geografske širine Saskatuna ($60,3^\circ$ Sev. magn. geogr. šir.) i Omaha ($51,3^\circ$ Sev. magn. šir.). Ovo je površina ispod krive C, slika 104. Na sličan način, pravougaona površina 2 udešena je da bude proporcionalna celokupnoj jonizaciji koju u elektroskopu proizvode svi jonovi koji prođu kroz zemljino magnetno polje između Omaha i San Antonija. To je površina ispod krive B na slici 104. Isto tako pravougaona površina 3 je površina ispod krive A, slika 104, dok je pravougaona površina 4 ona površina ispod krive D, na slici 103, tj, ona predstavlja celokupnu jonizaciju koju u elektroskopu proizvode svi zraci, ma koja da im je priroda, fotoni ili elektroni, koji ulaze u atmosferu na ekvatorskom pojasu, tj., u Madrasu.

Površine 1, 2 i 3 na slici 105 predstavljaju, naravno, jonizacije koje potiču od upadnih elektrona čije se energije nalaze u približnim granicama, prikazanim na V-osi na slici; međutim, površina 4, s druge strane, predstavlja celokupni izmereni jonizacioni efekat svih zrakova koji ulaze u ekvatorski pojas, bez obzira kakva im je priroda. Ukoliko su ovi zraci fotoni, mi uopšte ne znamo koje im energije odgovaraju. Mi ih samo uključujemo zajedno sa elektronskim zracima, čija je energija iznad 17 milijardi elektron-volta (deo površine 4 ispod krive naznačene isprekidanom linijom), zato

što se oni u ekvatorskom pojasu nalaze zajedno sa elektronskim zracima.

Pošto smo na ovaj način konstruisali pravougaonike 1, 2 i 3, na osnovu direktno posmatranih jonizacija priči

Sl. 105. — Površine ispod A, B i C na sl. 104 su smeštene između odgovarajućih vrednosti pojedinačnih energija elektrona, V , za vertikalno upadanje. Na taj način ordinata daje energiju koju elektroni nose prema zemlji, a ovi elektroni imaju energije koje se nalaze između V i $V + dV$.



ćemo zadatku ne menjajući ni na koji način ove površine, da podesimo njihove oblike pri vrhovima na način koji nam je diktovan jedinom pretpostavkom, da ovde postoji neka

vrsta *kontinualne* raspodele energija upadnih elektrona, dok se njihove energije menjaju od 1,4 do 17 milijardi elektron-volta. Ovaj nametnuti uslov vodi do definitivnih oblika površina 1, 2 i 3, kao što je prikazano na slici 105; a doista je značajno koliko se ova kriva malo menja po obliku, sve do vrednosti energija od 17 milijardi elektron-volta, kada se nametne jedan uslov: „nikakvi nagli prelomi u krivoj“. Ova kriva, prema tome, daje samo grubu prvu aproksimaciju stvarne raspodele energija upadnih elektrona sve do 17 milijardi elektron-volta. Ne postoji nikakav naročiti razlog da se ona uvede, sem u interesu onih koji žele da rade sa *kontinualnom* raspodelom, koja se prilično dobro približuje stvarnoj raspodeli, pa bilo da je ona ustvari kontinualna ili diskontinualna.

Postoji prilična verovatnoća da ekstrapolacija ove krive elektronske energije i preko 17 milijardi elektron-volta (vidi isprekidane linije koje prolaze kroz površinu 4), ima neke veze sa stvarnošću, ali očevidno ne postoji sigurnost. Pošto smo izvršili njenu ekstrapolaciju na slici 105, ona sama daje računa za nešto više od polovine zbirne jonizacije koju elektroskop stvarno pokazuje u ekvatorskom pojasu. Ostatak primećene jonizacije u Madrasu ovde smo prikazali ostatkom pravougaonika 4, koji je sasvim proizvoljno unapred udešen da se prostire toliko daleko udesno koliko se prostire kriva elektronske energije pre nego što dođe blizu V-ose. Ovo je više ili manje prirodno zbog mogućnosti međusobnog pretvaranja elektrona i fotona jednih u druge putem nuklearnih sudara. Ipak, mora da se naglasi da je pravougaonik 4 umetnut samo da bi se na karti imala pretstava *celokupne jonizacije koja potiče od svih kosmičkih zrakova koji uđu u ekvatorski pojas, bez obzira kakve su oni prirode*, a ne radi tvrdnje da fotonski deo površine 4 leži između granica energija između kojih je nađen na slici. Za sadašnja razmatranja nema nikakve naročite važnosti gde u energetičkom spektru leže ovi hipotetični fotoni.

IV. OPŠTI ZAKLJUČCI U POGLEDU RASPODELE ENERGIJE IZMEĐU UPADNIH KOSMIČKIH ZRAKOVA

Postoje izvesni određeni zaključci koji mogu da se izvedu iz slike 104, kao na primer:

1. Prvi, da *kosmički zraci, kako uđu u atmosferu, neosporno imaju, bar grubo uzev, određenu trakastu strukturu*. Ovo je pre u više mahova bilo istaknuto, ali nikad dosada kao rezultat direktnih, besprekornih merenja energije.

2. Drugi, da se *maksimum energije kosmičkih zrakova, koju elektroni unose u atmosferu u severnoj hemisferi, gde su vršena naša merenja, nalazi na otprilike 6 milijardi elektron-volta*, i da kriva raspodele energije upadnih elektrona naglo opada sa obe strane ove tačke, spadajući na strani manje energije, kod 1,4 milijardi elektron-volta, na primer, na manje od trećine maksimalne vrednosti, a na strani veće energije, recimo kod 20 milijardi elektron-volta, isto tako na otprilike trećinu njene maksimalne vrednosti.

3. Celokupna energija kosmičkih zrakova koju unose elektroni, čija je energija iznad 17 milijardi elektron-volta, plus sva energija kosmičkih zrakova koju unose fotoni svih energija, otprilike je ista kao energija koju unose sami elektroni čije energije leže između 6,7 i 17 milijardi elektron-volta, a ova energija je čitava dva puta veća od one koju unose svi upadni elektroni sa energijama manjim od 6 milijardi elektron-volta. Drugim rečima, celokupna energija kosmičkih zrakova dolazi nam kao relativno oštro ograničena traka.

4. Površine 1, 2 i 3, na slici 105, podeljene površinama 1, 2, 3 i 4 pokazuju da je više od 60 procenata celokupne upadne energije kosmičkih zrakova nesumnjivo osetljivo prema magnetnom polju, pa se, prema tome, sastoji od upadnih naelektrisanih čestica, koje su gore protumačene kao upadni slobodni elektroni. Međutim, pošto su podaci koji su ušli u konstrukciju krivih na slici 105, dobiveni u raznim godinama, to smo Neher, Pikerling i ja odlučili, 1940 god., da sa velikom pažnjom, sukcesivno ali brzo, ponovimo celu seriju merenja na raznim geomagnetnim širinama, koja su predstavljena

na slici 103; i ova merenja *dovela su do kvantitativnog zaključka, da je 65 procenata celokupne ulazne energije kosmičkih zrakova nesumnjivo osetljivo prema magnetnom polju i da ima upadnu korpuskularnu energiju manju od 17 milijardi elektron-volta*. U najboljem slučaju, dakle, upadni fotoni ne mogu da nose više od 35 procenata upadne energije kosmičkih zrakova.

5. Sličnost količine energije koju unose fotoni, naime, samo deo (verovatno mnogo manje od polovine) od energije koja je predstavljena površinom 4, znači, očigledno, da *ulazni elektroni uopšte ne postižu ravnotežu sa njihovim sekundarnim zracima pre nego što uđu u atmosferu*; jer, u slučaju ravnoteže, Karlson i Openhajmer su pokazali da „pri ma kojoj energiji i debljini $t > 1$ ($t = 0,4$ m vodenog stuba) uvek ima više γ -zrakova nego elektrona“,¹ dok na slici 105 površina koja se pripisuje fotonima jedva da je veća od jedne šestine one površine koja se pripisuje elektronima. Ovaj poslednji zaključak ne zasniva se samo na tačnosti Karlson—Openhajmerovih proračunavanja; jer, kao što pokazuju prevojne tačke krivih na slikama 92 i 93, ulazni elektroni, čak i sa srednjom energijom od 10 milijardi volta, stvarno dolaze u ravnotežu sa njihovim sekundarnim zracima pre nego što prodru čak i jednu dvadesetinu puta kroz atmosferu; tako da, ako se smatra kao utvrđeno da su ulazni korpuskularni zraci elektroni,² neznatan broj fotona koji ih prati pokazuje, već samo sa kvalitativne tačke gledišta, da *ovi zraci nisu nikad mogli da prodru kroz znatnu količinu materije, u poređenju sa nekom atmosferom, pre nego što su ušli u sunčani sistem*.

¹ *Phys. Rev.*, LI (1937), 225.

² Ovo je zaključak do kojega se došlo u *Phys. Rev.*, LIII (1938), 217.

GLAVA XX

HIPOTEZA ATOMSKE ANIHILACIJE S OBZIROM
NA POREKLO KOSMIČKIH ZRAKOVA

I. MESTO POREKLA KOSMIČKIH ZRAKOVA

Na kraju prethodne glave, s obzirom na neznatan broj fotona koji su nađeni u upadnim kosmičkim zracima, bili smo prisiljeni da zaključimo da ovi zraci ulaze u atmosferu a da nisu prošli kroz dovoljno materije da bi uspostavili ravnotežu sa svojim sekundarnim zracima, pa prema tome *ne mogu da imaju svoje poreklo ni na zvezdama niti, iz istih razloga, na ma kojim drugim mestima u vasioni, gde bi se materija nalazila u znatnim količinama.*

Ovaj zaključak je bio potpuno u saglasnosti sa najznačajnijom osobinom kosmičkih zrakova, koju smo Cameron i ja proverili sa naročitom pažnjom u jednoj dolini Visokih Anda u Boliviji, 1926 god. Sa našeg položaja Mlečni Put se uopšte nije video u toku polovine vremena našeg posmatranja. Ni na jednom od tri elektroskopa, na kojima su vršena merenja u podesnim intervalima za vreme od nekoliko dana, nismo mogli da utvrdimo ma kakav trag nekog efekta koji bi poticao od pojave i iščezavanja Mlečnog Puta iznad nas. Na osnovu ovih eksperimenata mi smo zaključili: *kosmički zraci dolaze nam ravnomerno sa svih strana nebeskog svoda i zacelo imaju poreklo u nekoj vrsti aktivnosti koja se dešava u dubinama vasiona, i to sigurno „s one strane Mlečnog Puta“.*¹

¹ R. A. Millikan and G. H. Cameron, *Nature*, CXXI (1928), 19.

Isto tako, sâmo postojanje takve krive raspodele upadnih energija kosmičkih zrakova kao što je ona koja je eksperimentalno nađena (sl. 105), sa svojim jako izraženim maksimumom od blizu 6 milijardi elektron-volta, ne može da se dovede u saglasnost sa idejom da su upadni zraci, dolazeći k zemlji, prošli čak i kroz toliko materije koliko oni susreću u prvoj desetini ili čak dvadesetini naše atmosfere; jer krive na slici 103 pokazuju koliko moćno apsorbuju ovi gornji atmosferski slojevi, i na koji način oni transformišu upadnu traku neke date srednje energije. Tako, pošto prvobitni upadni elektroni sigurno imaju energije sa priličnim brojem različitih vrednosti — neki male, neki intermedijarne, neki velike — kao što je prikazano na slici 105, *kriva raspodele energije, koja nastaje usled prolaza ovih elektrona kroz malu količinu materije, imala bi oblik krive koja kontinualno raste kad opadaju vrednosti energije.*

Dokaz koji je izveden na osnovu toga što postoji ovaj jako izražen maksimum na otprilike 6 milijardi elektron-volta izgleda, dakle, da je u saglasnosti sa onim dokazom izvedenim iz male vrednosti komponente fotona: *da upadni elektroni kosmičkih zrakova ne prolaze kroz znatnu količinu materije na svom putu od svoje polazne tačke do zemlje.*

Mi smo isto tako obratili pažnju na pitanje, da li bi uticaj sunčevog magnetnog polja mogao da bude odgovoran za maksimum na otprilike 6 milijardi elektron-volta, i odlučili smo da to poreknemo iz razloga što nalazimo nesumnjivo nove zrake koji upadaju između Omahe i Saskatuna, pri kojim geografskim širinama energije koje ulaze vertikalno, a koje dopušta *zemljino magnetno polje*, iznose respektivno oko 2,9, i 1,4 milijarde elektron-volta. Pitanje koje je ovde pokrenuto obuhvata znanje o jačini opšteg sunčevog magnetnog polja, kojim mi za sad još ne raspolazemo. Prema najboljim pokušajima koji postoje za njegovo određivanje, vrednost toga polja na površini sunca verovatno je bliža vrednosti 16 nego vrednosti 25 gausa. Ova prva vrednost bi pomerila krajnju domašajnu tačku kosmičkih zrakova koji

potiču od sunca znatno severnije od mesta Bizmark, i, prema tome, ne bi trebalo da znatno utiče na krivu na slici 105.

Prema izračunavanjima dr Epštajna,¹ koji je izvršio pažljivo kvantitativno ispitivanje efekta sunčevog magnetnog polja na elektrone koji dolaze u sunčani sistem, to polje bi verovatno potpuno zaustavilo elektrone koji bi bili upravljani prema zemlji na putu kroz to polje, ako oni imaju energije od 1 milijarde elektron-volta ili manje.

Gornja razmatranja, uzeta zajedno, izgleda mi da opravdavaju bar privremeni zaključak, da *kosmički zraci dolaze iz svog mesta postanka u intergalaktičkom prostoru bez velike promene na svom putu.*

Pošto sada imamo direktan, nedvosmislen dokaz da su više od 65 procenata upadnih zrakova naelektrisane čestice, koje se ponašaju kao što slobodni elektroni treba da se ponašaju, i kako smo zaključili na osnovu pravougaonika 4 na slici 105, da se preko polovine zrakova koji nisu osetljivi prema magnetnom polju, tj., preko 80 procenata svih upadnih zrakova ponašaju kao slobodni elektroni, to ćemo sada privremeno da usvojimo „sugestiju“, koja proizlazi iz sličnosti krivih 92 i 93, A, pa ćemo da pretpostavimo, radi jednostavnosti, da *praktično svi upadni kosmički zraci ne samo da dejstvuju na sličan način, nego se verovatno i sastoje iz slobodnih elektrona koji na neki način potiču iz atomskih transformacija koje se dešavaju, i koje mogu da se dese samo pod uslovima kakvi postoje u međuzvezdanom prostoru.*

II. ISTORIJA HIPOTEZE O ATOMSKOJ ANIHILACIJI

Džins je 1904 god.² dao prvu privremenu sugestiju o atomskoj anihilaciji kao izvoru zračne energije svezda. Ovo je bilo vreme kada se smatralo da je sva masa električnog porekla, a Džinsovo shvatanje bilo je jednostavno da bi po-

¹ *Phys. Rev.*, LIII (1938), 862; vidi isto tako Janossy, *Zeit. f. Phys.*, CIV (1937), 430.

² *Nature*, LXX (1904), 101; vidi isto tako Eddington, *Nature*, XCIX, (1917), 445.

zitivni i negativni sastojci neutralnog atoma *moгли*, pod pogodnim uslovima, da se sjedine i ponište jedan drugog, pri čemu bi se oslobađala energija zračne toplote; jer ogroman i potpuno nerešen problem astronomije i geologije u to vreme bio je da se na neki način protumači kako sunce može da održava svoju toplotu u toku toliko ogromnog perioda vremena koliko to izgleda iziskuju geološki argumenti.

Sledeće godine (1905) Ajnštajn¹ je dao svoju čuvenu jednačinu $E = mc^2$, u kojoj je E energija u ergovima, m masa u gramovima, a c brzina svetlosti u santimetrima u sekundi. Kad bi se na taj način pretpostavilo da se zvezdana žarišta hrane celokupnom masom zvezde, količina dobivene toplote bila bi više nego dovoljna da zadovolji ma koji predloženi period vremenskog trajanja. Međutim, ova ideja potpune anihilacije mase kao izvora zvezdane toplote nije naročito isticana do otprilike 1920 god., kada ju je Edington prihvatio i uključio kao deo svoje teorije zvezdane evolucije.

U međuvremenu, Harkins i Vilson,² sa univerziteta u Čikagu, polazeći od zamisli o izgrađivanju svih 92 elemenata iz vodonika, razvili su, 1915 god., ideju o „frakciji sklapanja“, koju je Aston prikazao na svom čuvenom grafikonu (vidi sl. 79).

Ukoliko se tiče ideje frakcije sklapanja, dok se koristi Ajnštajnovom jednačinom, ona je prvobitno imala u vidu mogućnost oslobađanja toplotne energije samo na osnovu procesa *izgrađivanja* svih drugih elemenata iz vodonikovih atoma — proces u kojem svaki vodonikov atom, iako u svom slobodnom stanju ima masu od 1,0083 jedinice atomske mase, ima masu, posle svog sjedinjavanja u kiseonikov atom, koja iznosi samo 1,0000 jedinicu atomske mase i prema tome u procesu gubi deo svoje mase, naime, 0,0083 jedinice, ili približno 1 procenat svoje mase.

Harkins i Vilson su u svom prvobitnom članku istakli da je ovaj gubitak mase svakog vodonikovog atoma približno

¹ *Ann. d. Phys.* XVIII (1905), 639.

² *Phil. Mag.* XXX (1915), 723—34, i XLII (1921), 305.

isti, bez obzira koji se od običnih elemenata izgrađuje iz vodonika. Drugim rečima, kada vodonik sudeluje u izgrađivanju ma koga elementa, kao što je nekako morao nekad da učini, on gubi otprilike 1 procenat svoje mase, pa je, dakle, ovo sve što stoji na raspoloženju za pretvaranje u energiju zračenja, tj., za loženje sunčevih žarišta.

Kada smo 1928 god. Kameron i ja tragali za izvorom energije kosmičkih zrakova, koji bi odgovarao našim posmatranim apsorpcionim krivama, u jezerima na velikim visinama, pošto je Edington u to doba objašnjavao razvijanje toplote zvezda na bazi potpune anihilacije atomâ u suncu, znajući na osnovu naših eksperimenata na Andima da kosmički zraci uopšte ne dolaze sa sunca ili zvezda, mi smo isprobali jedinu mogućnu alternativu, kao što smo mislili, naime, ideju frakcije sklapanja ili atomske sinteze, pa smo našli da jedna ili dve od naših apsorpcionih traka tako dobro odgovaraju po ovoj teoriji, da smo postavili privremenu hipotezu da se ovaj proces *izgrađivanja* težih atoma iz vodonika možda dešava svuda oko nas u vasioni, a energije frakcije sklapanja koje se oslobađaju pri ovom procesu *izgrađivanja* sačinjavale bi kosmičke zrake. Ovo je bilo pre nego što su te energije postale tačno poznate na osnovu *direktnog merenja* i kada je izgledalo da njihove indirektno određene vrednosti pokazuju da gubitak mase usled *izgrađivanja* težih elemenata iz vodonika daje pogodne energije na osnovu poznatih vrednosti takozvanih „frakcija sklapanja“.

Međutim, počev od 1931 god., ova mogućnost je bila sasvim napuštena iz dva razloga: prvo, najveća energija koja se može dobiti od frakcije sklapanja u slučaju ma koga elementa koji ima osetnu obilnost nalaženja, na primer, gvožđa, bila je 0,48 gr. na gram-atom, ili otprilike pola milijarde elektron-volta; međutim, u jesen 1931 god., Anderson i Milliken prvi su *direktno*¹ merili energije kosmičkih zrakova pa su našli da one dostižu sve do iznad 6 milijardi elektron-volta, a to je mnogo više nego što bi se moglo objasniti ma

¹ *Phys. Rev.*, XL (1932), 325; isto tako XLI (1932), 405 i XLV (1934), 352.

kakvim mogućnim frakcijama sklapanja. *Samo ovo već je bilo odlučujuće i dovoljno.* Drugo, upravo ovi isti procesi atomskog izgrađivanja, koji obuhvataju iste frakcije sklapanja, izgleda sada da u Beteovim rukama uspešno objašnjavaju sunčevu toplotu.¹ Ako je ovo zaista tako, mora se pretpostaviti da upravo ti procesi *parcijalne* anihilacije usled izgrađivanja atoma, za koja smo mi prvi pretpostavili da se dešavaju *izvan* zvezda da bi objasnili kosmičke zrake, dešavaju se, umesto toga, u *unutrašnjosti* sunca da bi se objasnilo njegovo oslobađanje toplote. Međutim, pošto eksperiment kaže da kosmički zraci ne dolaze nipošto ni sa sunca ili zvezda, čovek je opet sada sprečen da upotrebljava ove iste procese da bi objasnio poreklo kosmičkih zrakova. Drugim rečima, ima puno razloga da se zadrži princip koji je izvršno prikazao Bouen svojim tumačenjem linija nebulijuma,² da *uslovi koji postoje u međuzvezdanom prostoru omogućuju bar neke vrste transformacija atomske energije koje nisu moguće u zvezdama* ili tamo gde je god materija pod stalnim molekularnim bombardovanjem. Ne postoji, naravno, uopšte nikakva sumnja • tome kada je u pitanju poreklo linija nebulijuma.

Obe gornje teškoće — naime, ona koja je prouzrokovana ogromnim energijama i ona usled ravnomernosti raspodele posmatranih izvora — nestaju ako se jednostavno preokrenu ranije sugestije pa se pretpostavi da sunčeva toplota potiče od *izgrađivanja* atoma koje se dešava u unutrašnjosti sunca, dok *kosmički zraci potiču od procesa potpune anihilacije koji se odigrava u međuzvezdanom prostoru*, ili, bolje, usled *potpune* umesto *parcijalne* transformacije atomskih masa mirovanja u energiju kosmičkih zrakova. Pitanje koje se tada postavlja jeste: do koje se mere ova poslednja sugestija kvantitativno održava?

¹ *Phys. Rev.*, LV (1939), 103, 434; *Phys. Soc. Reports* (1939), str. 1—15.

² *Astrophys. Jour.*, LXVII (1928), 1. Isto tako, za potpuniju diskusiju gornje sugestije, vidi Millikan, Neher and Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 399 i 400.

Postoje dve tačne kvantitativne činjenice koje su već utvrđene, naime, 1) slika 105, reprodukovana iz *Physical Review*, LIII (1938), 859, pokazuje maksimum upadne energije „naelektrisanih čestica“ negde između 5 i 10 milijardi elektron-volta; i 2) sigurno ne manje, a verovatno mnogo više, od 60 procenata celokupne upadne energije kosmičkih zrakova nose ove naelektrisane čestice, jer ovo je odnos zbir površina pravougaonika 1, 2 i 3 prema površinama 1, 2, 3 i 4 (vidi tablicu na sl. 105).

III. OBILNOST NALAŽENJA OBIČNIH ATOMA U MEĐUZVEZDANOM PROSTORU I ENERGIJE KOJE SE OD NJIH MOGU DOBITI

Sada, međutim, da bi se izvršio potreban proračun, treba znati koji su najobičniji elementi u međuzvezdanom prostoru, gde izgleda da postaju kosmički zraci. Ovde opet možemo da se pozovemo na jedno Bouenovo značajno otkriće, jer su Bouen i Vajz (Wyse)¹ izvršili, na osnovu spektroskopskih posmatranja na prstenastim maglinama, određivanja relativne obilnosti nalaženja atoma u prostorima između zvezda. Isto tako Alerova (Aller) i Mencilova (Menzel) ne-

¹ Bouen i Vajz nedavno su pomoću spektroskopskih metoda odredili obilnost nalaženja elemenata u maglinama i objavili su to u *Lick Obs. Bull.*, XIX (1939), 1. Njihovi rezultati su prikazani u priloženoj tablici u kojoj brojevi, dati u stupcima za obilnost nalaženja, jesu eksponenti koji su potrebni da pokažu broj atoma u datoj za-

Element	Obilnost nalaženja	Element	Obilnost nalaženja	Element	Obilnost nalaženja
H	11—	Ne	8	K	6+
He	10	Na	≤7+	Ca	7—
Li	< 8—	Mg	7+	Sc	< 6+
Be	<< 8—	Al	< 8—	Ti	<< 7—
B	< 9	Si	< 9	V	<< 8
C	9	P	< 8	Cr	<< 7
N	9—	S	8	Mn	Δ 7
O	9	Cl	7+	Fe	7+
F	6	A	7		

davna određivanja (*Astrophys Jour.*, CII [1945], 263) sasvim su za naše svrhe dovoljna kontrola Bouenovih i Vajzovih rezultata, iako je po njima relativna obilnost nalaženja vodonika i helijuma prema ugljeniku, azotu, i kiseoniku nekih deset puta veća nego po Bouenu i Vajzu, a oni ne daju nikakve podatke za silicijum. Pošto su ispitivane prstenaste magline u nekim slučajevima udaljene više od jedne svetlosne godine, a to je 6 milijardi milja od stimulusne zvezde, čovek teško može da ne uzme vrednosti relativne obilnosti nalaženja kao što se primenjuju na međuzvezdan prostor; a s obzirom na naša proveravanja u vezi sa Mlečnim Putom, isto tako i na intergalaktičan prostor.

Evo rezultata gore pomenutih autora. Oni nalaze da vodonikovi atomi i helijumovi atomi stoje na prvom i drugom mestu po obilnosti nalaženja, pri čemu je vodonik otprilike deset puta više rasprostranjen od helijuma. Oni dalje nalaze da četiri druga atoma imaju otprilike istu obilnost nalaženja, koja međutim u svakom slučaju iznosi oko jedne desetine obilnosti nalaženja helijuma. Nijedan drugi atom nema obilnost nalaženja veću od jedne desetine obilnosti nalaženja kojega od ova četiri, a većina ostalih imaju vrednosti manje od jednog stotog. Ove četiri vrste najobilnijih atoma jesu:

premini prostora. Tako broj 11, koji dolazi iza vodonika, znači 10^{11} vodonikovih atoma, dok broj 9, koji se nalazi prema ugljeniku, znači 10^9 ugljenikovih atoma, itd. Znak nesigurnosti \leq , koji se u tablici odnosi na silicijum, potiče, kako Bouen kaže, od vrlo male nesigurnosti da li je jedna od upotrebljenih kritičnih linija zaista linija silicijuma ili nije; ali u svakom slučaju, pošto aluminijum ima atomsku težinu 27, njegov uticaj na kosmičke zrake ne bi mogao da se odvoji, na osnovu naših oglada, od uticaja koji ima silicijum atom. tež. 28), a na sličan način svi mogući efekti koji potiču od fosfora ili sumpora bili bi tako bliski uticajima silicijuma, da bi se sa ogromnom teškoćom mogli raspoznati jedni od drugih. Ovaj složeni uticaj može zato, radi jednostavnosti, da se nazove „hipotetična silicijumova traka“. Isto tako, kiseonikova traka može da u sebi ima neke efekte anihilacije neona, jer Bouenova tablica pokazuje da je neon otprilike deset puta manje obilan od kiseonika. On bi trebalo da proizvodi anihilacione zrake čija vrednost energije iznosi 9,4 milijarde elektron-volta.

ugljenik, azot, kiseonik, i silicijum.¹ Obilnost nalaženja ove četiri vrste atoma koji preovlađuju u skladu je sa njihovim poznatim strukturama i stabilnostima.

Energija mase mirovanja vodonikovog atoma izlazi po Ajnštajnovoj jednačini da je upravo malo manja od 1 milijarde elektron-volta (tačno, 932 miliona). Ako je, dakle, ova masa mirovanja sposobna da potpuno bude pretvorena u kosmičke zrake, pošto princip impulsa mora u svakom slučaju da bude zadovoljen, jedini način da se ova dva uslova mogu zadovoljiti jeste pojavljivanje jednog para elektrona ili fotona,² koji polaze iz tačke u kojoj je izvršena anihilacija mase mirovanja H_1 u suprotnim pravcima, svaki sa energijom od oko 500.000.000 elektron-volta. Epštajn³ je pokazao da elektron koji ima ovu energiju ne bi mogao da prođe kroz sunčevo magnetno polje i da dopre do zemlje, pa se zato i ne može očekivati da ćemo ga ovde naći. Čak i kad sunčevo magnetno polje ne bi bilo dovoljno jako da spreči elektron da dopre do zemlje, on bi mogao da prođe kroz zemljino magnetno polje samo sasvim blizu pola i, s obzirom na njegovu malu energiju, bio bi apsorbovan u gornjim oblastima atmosfere gde ga ne bi mogli otkriti naši elektroskopi ili brojači, iako bi on mogao mnogo da bude u vezi sa efektima polarne svetlosti.

Pomoću gore pomenutog postupka vidi se da bi helijumovi atomi, atomske težine 4, proizveli kosmičke zrake od 2 (tačnije 1,9) milijarde volta. Prema Epštajnu, ako se uzme da vrednost opšteg sunčevog magnetnog polja nije veća od 16 gausa — pretpostavka koja je u saglasnosti sa najnovijim radovima — onda naelektrisani korpuskularni zraci od 2 milijarde elektron-volta ne bi sunčevim magnetnim poljem bili sprečeni da dopru do zemlje; a, sem toga, slika 88 pokazuje da bi oni bili sposobni da vertikalno prođu kroz zem-

¹ Vidi str. 612, nap. 1.

² U slučaju vodonika, premda ne i u slučaju težih atoma, manjak mase bi isključivao protone ili neutrone.

³ *Phys. Rev.*, LIII (1938), 862; vidi isto tako L. Janossy, *Zeit. f. Phys.*, CIV (1937), 430.

ljino magnetno polje na svim geografskim širinama severno od oko 54°. Geomagnetna širina Bizmarka iznosi 56,3°. Uz to, kada bi bilo ma kakvih upadnih zrakova čija je energija između 1,9 i 1,4 milijarde elektron-volta, slika 88 još pokazuje da bi svi oni trebalo da budu sposobni da prođu kroz zemljino magnetno polje u Saskatunu (geomagn. šir. 60,3° Sev.). Takvi zraci ne bi trebalo da budu sprečeni da dopru do zemlje ni gorepomenutim sunčevim magnetnim poljem, tako da bi celokupna energija kosmičkih zrakova koja ulazi na širini Saskatuna i višoj od nje trebalo da bude veća nego ona koja ulazi na geomagnetnoj širini Bizmarka. Ovo je bilo u suprotnosti sa rezultatima koje smo dobili prilikom letova naših balona (sl. 103), koji su i kod Saskatuna i kod Bizmarka¹ dospeli praktično do vrha atmosfere. Međutim, ako su zraci koji su nađenj kod Bizmarka zaista hipotetična helijumova traka, tada ne bi trebalo da bude nikakvog povećanja intenziteta kosmičkih zrakova kada se ide severno od Bizmarka, a *nikakvo takvo povećanje ni mi niti iko drugi nije do sada našao.*

Isto tako, zraci ugljenikove anihilacije, ako postoje, treba da imaju energiju od $(932 \times \frac{12}{2}) = 5,6$ milijardi elektron-volta pa bi, prema slici 88, počeli da ulaze na zapadnom horizontu otprilike na 30° geografske širine, a počeli bi vertikalno da se javljaju otprilike na 42°, i u potpunosti bi padali na istočnom horizontu otprilike kod 49° geografske širine. Ovo pokazuje da bi dvostruki, vertikalni koincidentni brojači mogli da otkriju njihovu prvu pojavu na 42° ili 43° geomagnetne širine. Na sličan način očekivalo bi se da se zraci azotove anihilacije, čija je energija 6,5 milijardi elektron-volta, pri upotrebi vertikalnih brojača prvi put pojave otprilike na 39° geomagnetne širine. Zraci kiseonikove anihilacije, čija je energija 7,5 milijardi elektron-volta, mogli bi da se traže pomoću sličnog tehničkog postupka negde između 33° i 36° širine. Najzad, jedna druga južna ivica širokog platoa energije kosmičkih zrakova, koji odgovara ulazu sili-

¹ Bowen, Millikan and Neher, *Phys. Rev.*, LIII (1938), 855.

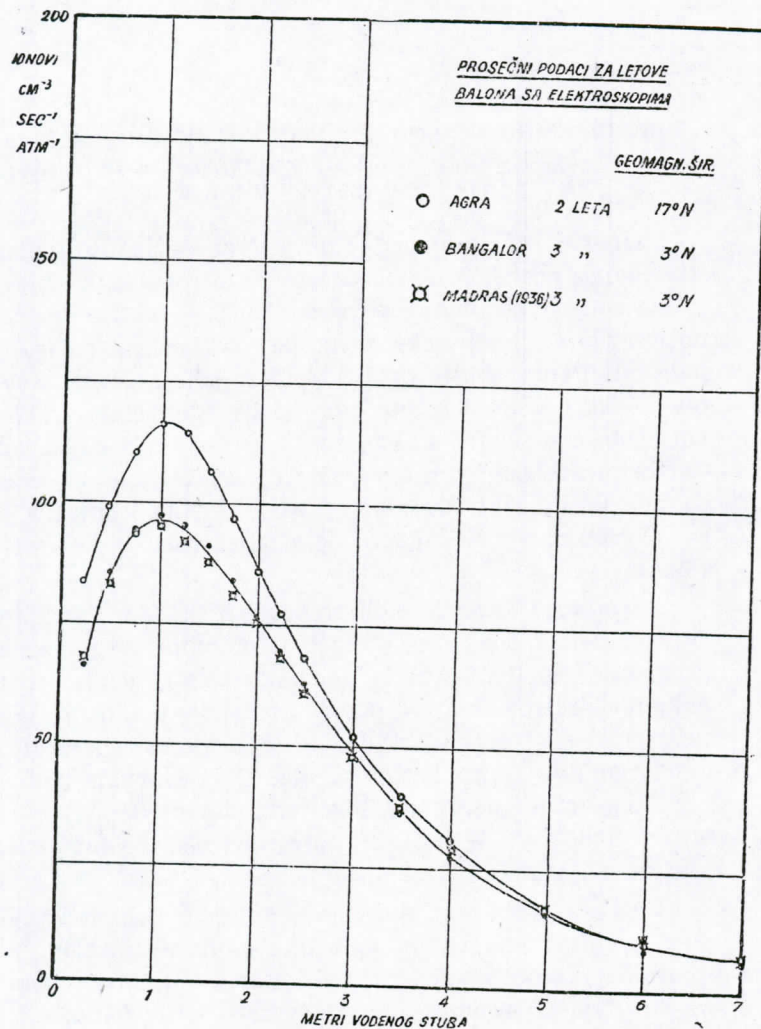
cijumovih anihilacionih zrakova, moglo bi se očekivati da će se javiti kad se krećemo od ekvatora prema severu, na geomagnetnoj širini pri kojoj energija koja je potrebna za vertikalno prodiranje kroz zemljino magnetno polje iznosi 14 (13,2) milijardi elektron-volta; a od tog mesta nadole do magnetnog ekvatora, gde, u Indiji, energija potrebna za vertikalno prodiranje, iznosi 17 milijardi elektron-volta, ne bi trebalo da bude nikakve druge promene u intenzitetu vertikalno upadnih kosmičkih zrakova. Posmatrane ivice uzastopnog niza platoa energije kosmičkih zrakova, koji se međusobno prekrivaju i odgovaraju energijama od 2, 6, 7, 8 i 14 milijardi elektron-volta, ne bi trebalo očekivati da budu oštre ili, doista, da se uopšte mogu odrediti, s obzirom na ogromno uzajamno prekrivanje traka, dokle god se kao aparati za detekciju upotrebljavaju elektroskopi koji su osetljivi na zrake koje dolaze iz svih pravaca. Međutim, upotrebom vertikalnih brojača moglo bi se eksperimentalno lako konstatovati mesto ovoj predviđenoj seriji traka i platoa energije.

IV. EKSPERIMENTALNO PROVERAVANJE OVIH PREDVIĐANJA IZVRŠENO U INDIJI

Da bi se ispitala gornja predviđanja ma sa kakvom tačnošću, jasno da je bilo potrebno da se pomoću *vertikalnih brojača* izvrše *određivanja* geomagnetnih širina ulaska onih energija kosmičkih zrakova koje *vertikalno* upadaju kada se ide od ekvatora prema magnetnom polu. Bilo je isto tako jasno da, ako bi sav potrebni uređaj za vršenje ovog merenja bio na raspoloženju, Indija bi bila najbolje, ustvari, jedino pogodno mesto na svetu za ova najznačajnija ispitivanja; jer dok je u Indiji potrebno da naelektrisani korpuskularni zraci, koji vertikalno upadaju, imaju 17 milijardi volta da bi prošli kroz barijeru zemljinog magnetnog polja na ekvatoru, potrebno je da oni imaju energiju od oko 13 milijardi volta da bi to učinili na drugoj strani zemljine površine, tj., u Peru, tako da je samo u Indiji bilo moguće da se nađe geomagnetna širina od koje bi se, idući prema

severu, našli hipotetični anihilacioni zraci silicijuma, čija je energija 13,2 milijardi elektron-volta, dok južno od te geografske širine oni ne bi postojali. Pošto, prema Bouenu, ne postoje atomi čija je atomska težina između atomske težine kiseonika i silicijuma, a koji bi imali dovoljnu obilnost nalaženja da bi u zemlju mogli da šalju znatniju količinu energije kosmičkih zrakova, i, na sličan način, pošto nema nijednog atoma čija bi atomska težina bila veća od težine silicijuma, a koji bi imao istu toliku obilnost nalaženja, moglo bi se očekivati da se u Indiji nađe potpuno ravan plato energije kosmičkih zrakova za *vertikalne zrake*, koji bi se pružao od Madure na magnetnom ekvatoru, sve gore do otprilike 20° geografske širine, gde bi trebalo da silicijumovi zraci budu sposobni da vertikalno prodru; a tada idući još dalje prema severu, trebalo bi da se konstatuje nagli porast ka jednom platou na novom nivou energije na geomagnetnoj širini pri kojoj se dešava ovo prodiranje silicijumovih zrakova.

Na osnovu Lemetr—Valartinih krivih smatralo se da vertikalna energija, koja je potrebna za prodiranje kod Agre (geomagn. šir. 17,3° Sev.), iznosi 15,4 milijardi elektron-volta, a da kod Pešavara, koji je samo 7,7° dalje prema severu, ona iznosi 12,4 milijardi elektron-volta. Mi smo procenili da zraci silicijumove anihilacije, ako oni postoje, treba da se jave otprilike na 20° geomagnetne širine. Zbog izvesne neizvesnosti u pogledu tačnosti ovih proračunavanja, Agra je bila izabrana kao najsevernija tačka u kojoj je bilo povoljno da se vrši ispitivanje, a da još bude prilično sigurno da će tačka posmatranja biti južno od geomagnetne širine ulaza silicijumove trake čija je energija 13,2 milijardi elektron-volta, pa prema tome još na hipotetičnom ekvatorskom platou energije. Pešavar, najseverniji grad u Indiji, bio je izabran kao najpogodnije mesto do kojega se može dopreti da bi se dospelo severno od geomagnetne širine upada vertikalno ulazne silicijumove trake i na plato između geomagnetnih širina vertikalnog ulaza silicijumove i kiseonikove trake. Iz razloga pogodnosti, Bangalor je bio izabran umesto Madure da bi se izvršila posmatranja na ekvatoru, pošto se približni zakon



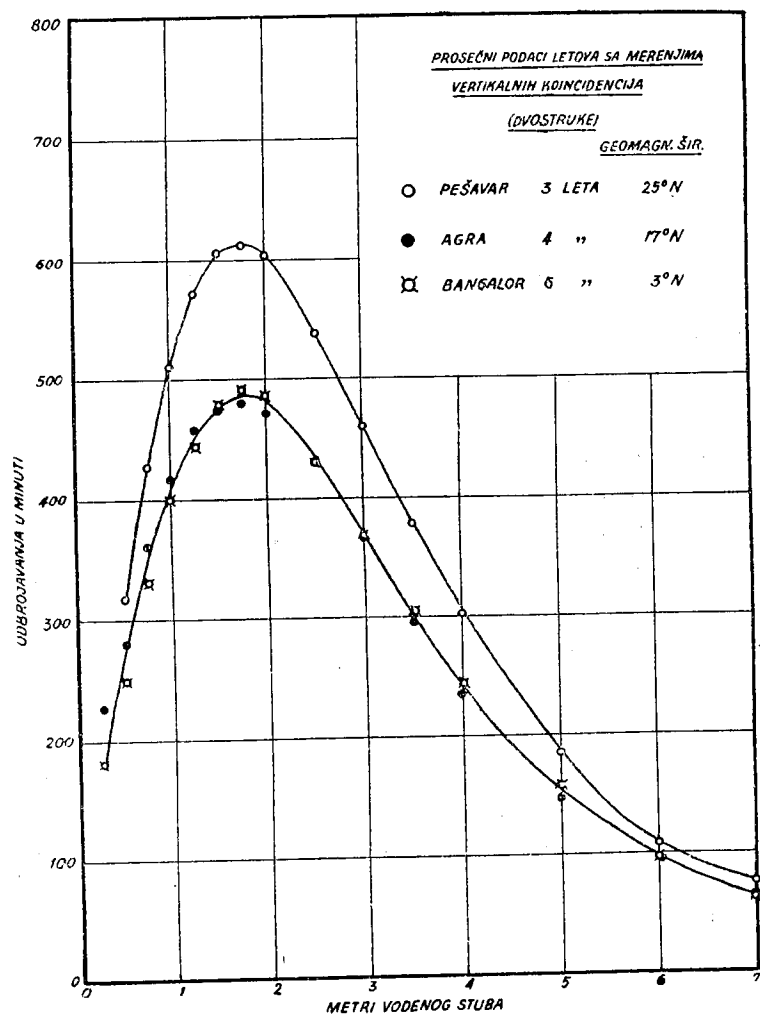
Sl. 106. — Prosečni podaci za letove balona sa elektroskopima na magnetnoj širini 17,3° Sev. i 3° Sev. Treba uočiti da, iako dva niza tačaka na krivoj za Madras—Bangalor, od kojih oba leže na 3° geo. magn. šir., odgovaraju posmatranjima vršenim u razmaku od više od tri godine, jedna jedina kriva odlično odgovara obema serijama posmatranja. Ovo dobro potvrđuje i pouzdanost posmatranja i mogućnost ponavljanja uslova. Površina ispod Agra-krive je ovde za 8 procenata veća nego ispod Bangalor—Madras-krive, u saglasnosti sa našim predviđanjima na osnovu sl. 88 za elektroskopska ubeležavanja.

promene upadne energije sa geomagnetnom širinom φ , naime, $\cos^4 \varphi$ za $\varphi = 3^\circ$ sasvim malo razlikovao od vrednosti za $\varphi = 0$. Ova razmatranja, dakle, dovela su do odluke da se izaberu mesta u Indiji na kojima bi imala da se izvrše ispitivanja o upadnim energijama vertikalnih zraka.

Kada su aparati za merenje, koji se šalju do vrha atmosfere, elektroskopi ili jednostruki brojači, koji su osetljivi na zrake koji pogadaju u njih iz svih pravaca umesto samo iz vertikalnog pravca, analiza postaje mnogo komplikovanija, naročito u ekvatorskim širinama; međutim, Lemetr-Valartine krive (vidi sl. 88) pokazuju da bi hipotetični silicijumovi zraci, sa energijom od 13,2 milijardi elektron-volta u svakom slučaju prodirali kroz vrh atmosfere u izvesnoj meri čak i na ekvatoru, pa bi se atmosferska jonizacija, koja potiče od ovih zraka, prema tome kontinualno povećavala sve gore do geomagnetne širine, pri kojoj bi vertikalni zraci dospevali dole do zemlje, pa čak i iza te geomagnetne širine do izvesne granice, sve gore do otprilike 40° Sev.

Kao što je prikazano na slikama 106 i 107¹ (vidi naročito objašnjenje pod sl. 107), oba gornja predviđanja o ponašanju Neherovih elektroskopa za ubeležavanje i dvostrukih brojača — ove poslednje su skicirali i napravili Neher i Pickering u laboratoriji Norman Bridž u Pasadeni, Kalifornija — bila su tačno onakva kakva su nađena na osnovu eksperimenata u Indiji između magnetnog ekvatora i 25° Sev. geomagnetne širine, tako da bi se, ukoliko se tiče Indije, za hipotetičnu silicijumovu traku tačno moglo reći da na zadovoljavajući način predviđa, kvalitativno i kvantitativno, do sada posmatrane efekte geografske širine.

¹ H. V. Neher and W. H. Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 407.



Sl. 107. — Izvod podataka merenja sa vertikalno poredanim brojačima. Uočite da ovde, kao što je predviđeno, uopšte nema nikakvog vidljivog povećanja u intenzitetu između Bangalora i Agra, prilikom merenja pomoću indikatorskih uređaja sa dvostrukim vertikalno poredanim brojačima, ali zapazite isto tako da, kad se ide prema severu samo 7,7° između Agra i Pešavara, naglo se javlja povećanje od 21 procenta, otkrivajući na taj način: 1) Predviđeni ravni plato energije kosmičkih zrakova konstantnog intenziteta između magnetnog ekvatora i Agra za vertikalno upadne zrake, i 2) ulazak onoga što smo nazvali jakom trakom zrakova silicijumove anihilacije između Agra i Pešavara. Treba uočiti maksimum kod 610 jonova.

V. PREDVIĐANJA I PRVI DOKAZ O VRLO DUGAČKOM PLATOU ENERGIJE VERTIKALNO UPADNIH KOSMIČKIH ZRAKOVA KONSTANTNOG INTENZITETA OD JUŽNOG PERUA DO CENTRALNOG MEKSIKA

Godine 1933 prvi put je primećeno,¹ kao što je već izloženo, da postoji značajno povećanje intenziteta kosmičkih zrakova na nivou morske površine kada se elektroskop za ubeležavanja pošalje oko sveta po ekvatorskom pojasu od Indije do Perua. Pošto prema hipotezi koja se ovde proverava, jedina od pet hipotetičnih traka kosmičkih zrakova koja ima energiju da uopšte dopre u ekvatorski pojas jeste silicijumova traka, gornje posmatranje može samo da znači da ovi silicijumovi zraci, koji nemaju dovoljno energije da na ekvatoru u Indiji dopru do zemlje, mogu to da čine u Peruu.

Sem toga, energija ovih zrakova iznosi 13,2 milijardi elektron-volta, dok energija koja je potrebna za vertikalno prodiranje kod Perua već se godinama smatra da iznosi 13 milijardi elektron-volta — prema Epštajnu nešto manje. Posmatrani efekat geografske dužine je, dakle, u saglasnosti sa hipotezom koja je u toku ispitivanja, tj., snižavanje barijere zemljinog magnetnog polja, idući od Indije do Perua, trebalo bi da bude sasvim dovoljno da bi dozvolilo da hipotetični silicijumovi zraci u punoj jačini vertikalno padnu u Peruu.

Ali pri svem tom, zbog jake apsorpcije koju vrši atmosfera pri drugim upadnim uglovima osim vertikalnog, posmatranja izvršena pomoću elektroskopa na nivou morske površine zaista sasvim grubo odgovaraju vertikalno upadnim kosmičkim zracima i zato treba da predstavljaju, iako mnogo manje oštro, seriju traka i platoa energije za koje bi se moglo pretpostaviti da su karakteristični pre za vertikalne zrake nego za same postepene promene sa širinom u ekvatorskom pojasu, koje su promene inače karakteristične za elektroskope kada se ovi pošalju gore do vrha atmosfere, gde zraci iz svih pravaca mogu kroz njih da prođu.

¹ R. A. Millikan and H. V. Neher, *Phys. Rev.* XLVII (1935), 205.

Pošto, prema tome, hipotetični silicijumovi zraci već dopiru do zemlje u Peruu, moglo bi se očekivati, kada se ide severno od Molenda, da se nađu čak i pomoću elektroskopâ, *indikacije* bar dugačkog platoa energije, koji bi trebalo da postoji za *vertikalne* zrake između širine, pri kojoj silicijumovi zraci, čija je energija 13,2 milijardi elektron-volta, mogu vertikalno da prodru kroz zemljino magnetno polje i širine na kojoj sledeća mogućna traka zrakova manje energije, naime, kiseonikovih zrakova čija je energija samo 7,5 milijardi elektron-volta, počinje da prodire.

I zaista, izgleda da su Miliken i Kameron pronašli ovaj plato energije pomoću elektroskopskih merenja na nivou morske površine već na prvom putovanju za Južnu Ameriku, koje su preduzeli u avgustu 1926 god.,¹ u cilju ispitivanja efekta geografske širine na kosmičke zrake; jer oni uopšte nisu našli nikakvu promenu u intenzitetu kosmičkih zrakova na nivou morske površine, kada se ide otprilike od 28° Sev. magnetne geografske širine, gde su prvi put izvršili svoja merenja u toku putovanja u kabini za bežičnu telegrafiju parobroda „Mongolija“, i na kraju svog putovanja u Molendou, koji se nalazi upravo ispod magnetnog ekvatora. Ali postojanje ovog predviđenog platoa energije na morskoj površini mnogo je izrazitije naznačeno, kao što i treba da bude, na osnovu mnogo pažljivijih merenja prikazanih na slici 86, koja su *dobivena kada autori uopšte nisu bili vođeni nikakvom teorijom*, nego su samo pokušali da dobiju što mogu tačnija merenja u pogledu promene intenziteta na nivou morske površine, dok su njihovi elektroskopi putovali od Los Andelesa do Molendoa na jahti „Valero III“, koja se, prema instrukcijama, s vremena na vreme danima zaustavljala na putu da bi se dobila tačna merenja na nekoj datoj širini.²

Na osnovu rezultata koji su prikazani na gornjoj krivoj slike 86, izgleda da je opravdan zaključak da od magnetnog

¹ Vidi *Phys. Rev.*, LXI (1942), 402.

² R. A. Millikan and H. V. Neher, *Phys. Rev.*, LXVII (1935), 207.

ekvatora sve gore do 20° Sev., ili možda do 25° Sev., zaista postoji izvestan plato energije nepromenljivog intenziteta kosmičkih zrakova, čak kao što je mereno pomoću elektroskopa na nivou morske površine. Ovo se upadljivo ne slaže, kao što pokazuje gornja kriva na slici 86, sa kontinualnim porastom između 0° i 25°, koji je nađen na onoj strani zemljine lopte gde se nalazi Indija, a gde hipotetična silicijumova traka treba da upada između ovih geografskih širina.

Zaista postoji na gornjoj krivoj slike 86, kao što je ona nacrtana, početak izvesnog porasta između 20° i 25°; ali on je u svakom slučaju vrlo neznatan i, sa tačke gledišta ove hipoteze, on ne bi bio tu da ne postoji nesavršenost kojom elektroskopi registruju *vertikalne* zrake na nivou morske površine. Ustvari, za potpuno vertikalne zrake nivo energije treba da se pruža gore do otprilike 33° ili 34° širine. Takvo je bilo naše objavljeno predviđanje 1941 god. pre nego što smo učinili ikakav dalji pokušaj da ga proverimo.

Isto tako, posmatranja koja su 1932 god. izvršili Bouen, Miliken i Neher, a onda još i A. H. Kompton, na nivou morske površine otkrila su sa velikom tačnošću energetičku traku kosmičkih zrakova, koja je tako upadljivo prikazana na slici 86 i *koja je tačno na geografskoj širini na kojoj treba da bude, da bi ukazala na ulazak hipotetičnih kiseonikovih i azotnih anihilacionih traka u atmosferu, čije su energije 7,5 i 6,5 milijardi elektron-volta*. Na osnovu Lemetr-Valartinih krivih, koje su reprodukovane na slici 88, smatra se da je trebalo da ove dve trake budu u mogućnosti da vertikalno dopru do zemlje na geomagnetnim širinama između 33°—36°, odnosno 37°—40°.

Međutim, treba naročito da se primeti da zaravnjenost platoa energije kosmičkih zrakova na nivou morske površine, koja je stvarno nađena severno od 41° geomagnetne širine, ne ukazuje na nepostojanje upadnih kosmičkih zrakova čije su energije neposredno ispod 6 milijardi elektron-volta, jer

¹ R. A. Millikan, H. V. Neher and W. H. Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 403.

postoji sasvim određen dokaz da je 6 milijardi elektron-volta otprilike donja granica energije upadnih zrakova, koji, usled apsorpcionog efekta atmosfere, imaju sposobnost da vrše svakojače osetne uticaje sve dole do nivoa morske površine. Na velikim visinama u atmosferi mora zato da se traži drugi dokaz da postoje trake ugljenikovih i helijumovih zrakova, kao i da postoji teoriski plato energije kosmičkih zrakova između ovih hipotetičnih ugljenikovih zrakova, čija je energija 5,6 milijardi elektron-volta, i helijumovih zrakova, čija je energija 1,9 milijardi elektron-volta.

Jak dopunski dokaz da postoji dugačak plato energije kosmičkih zrakova konstantnih intenziteta između geografskih širina ulaska hipotetične silicijumove i kiseonikove trake nalazi se u ubeleženim merenjima prilikom avionskih letova koja su izvršena i u Peruu i u Panami tokom jeseni 1932 god., a koja su reprodukovana na slici 82.¹ Donja od tri krive pokazuju da čak i gore do visina od 22.000 stopa ne može da se utvrdi nikakva razlika između intenziteta kosmičkih zrakova na 0° i 20° geografske širine, jer jedna te ista kriva izvrsno odgovara tačkama koje su uzete na obema geografskim širinama. Ovo ne samo da se nalazi u velikoj suprotnosti sa onim što je nađeno u Indiji pri upotrebi elektroskopa na ovim visinama, kada se ide od 0° samo do 17,3, umesto 0° do 20° (vidi sl. 106, pri čemu se Agra-kriva nalazi dosledno iznad Bangalor-krive), nego to ne bi moglo ni da postoji i kad bi bilo zrakova ma kakve osetno veće energije nego što su kiseonikovi zraci, koji ulaze između hipotetične silicijumove i kiseonikove trake, jer Lemetr—Valartine krive (sl. 88) pokazuju da kiseonikovi zraci, čija je energija 7,5 milijardi elektron-volta, ne bi uopšte mogli da uđu na 20°, dok bi ma koji zraci čija je energija mnogo bliža energiji trake od 13,2 milijardi elektron-volta trebalo da su bili u mogućnosti da to učine. Otuda, rasuđivajući samo po analogiji u ponašanju silicijumove trake u Indiji, trebalo bi sigurno da bude neke razlike između čitanja u

¹ Bowen, Millikan and Neher, *Phys. Rev.*, XLVI (1934), 642.

Panami i u Peruu, naročito na visinama od 22.000 stopa. *Ova posmatranja u Panami i Peruu zaista su u svakom pogledu u skladu sa hipotezom, s obzirom da postoji dugačak plato energije između geografskih širina ulaska hipotetične silicijumove i kiseonikove trake.*

VI. DOKAZ POMOĆU VERTIKALNO POREĐANIH DVOSTRUKIH BROJAČA U MEKSIKU U DECEMBRU 1941, O POSTOJANJU 1) DUGAČKOG PLATO A ENERGIJE IZMEĐU 0° I 33° GEOMAGNETNE ŠIRINE, 2) O ULASKU TRAKA KISEONIKOVE I AZOTOVE ANIHILACIJE

1. Prvo od tri gornja predviđanja, koje je stvarno učinjeno 1941 god. a objavljeno u aprilu 1942, — osam meseci pre nego što smo mogli da izvršimo ma kakva nova eksperimentalna ispitivanja — bilo je da, ako se posmatranja na nivou morske površine (ili posmatranja vršena na površini zemljinog tla koja su svedena na normalan nivo) vrše sa dvostrukim vertikalnim koincidentnim brojačima umesto sa elektroskopima, ranije posmatrano povećanje vrednosti jonizacije kosmičkih zrakova, koje počinje kod elektroskopa na 21° geomagnetne širine, kao što je prikazano na gornjoj krivoj slike 88, ne bi se javilo do otprilike one širine na kojoj bi se očekivalo da traka kiseonikove (ili neon-kiseonikove) anihilacije (na 7,5 milijardi elektron-volta) vertikalno prođe kroz zemljino magnetno polje, recimo, na 33°—36° Sev. geomagnetne širine. Ovde bi trebalo da započne nagli porast jonizacije i da se potpuno završi, kada se posmatrača budu pomerili za 6° ili 7° prema severu, ili taman toliko da se omogući da zraci i kiseonikove i azotove anihilacije (na 7,5 i 6,5 milijardi elektron-volta) vertikalno prođu kroz zemljino magnetno polje. Ova geografska širina potpune pojave na nivou morske površine vertikalno upadnih azotovih zrakova očekivala se, na osnovu prethodnih eksperimenata, kada su elektroskopi parobrodom bili nošeni na jug od luke Los Anđelesa (geomagn. šir. 40,4°), da bi bili manje od jednog stepena udaljeni od te luke, koja se već i sama nalazi skoro pola stepena južno od Pasadene (40,7°).

Nije se očekivao nikakav dalji porast na nivou morske površine kada se ide severno od geografske širine ulaska zrakova azotove anihilacije, pošto se za zrake ugljenikove anihilacije (čija je energija 5,6 milijardi elektron-volta) smatralo da nisu sposobni da prošire svoj uticaj toliko daleko dole sve do nivoa morske površine. Ustvari, elektroskopi koji su u toku leta bili odneti na putovanja po nivou morske površine nisu nikada pokazali nikakvo povećanje joni- zacije kada se ide severno od Pasadene.

Posmatrana odbrojavanja na površini zemljinog tla pri ovom putovanju, vršena sa istim standardnim brojačkim aparatom i korigovana, kao što je pokazano, da bi ih sveli na normalnu visinu, dala su vrednosti prikazane u tablici XIX, pri čemu je vrednost kod Pasadene, koja pretstavlja 29.736 odbrojavanja (18 sati), bila uzeta kao 100. Pošto čitanja u Akapulku, Valesu, Monteriju, San Antoniju, Džonkšonu sadrže svako samo po 5.000 do 10.000 odbroja- vanja, može se proceniti da im treba pripisati nesigurnost od otprilike 2 procenta, odnosno dva puta statistička „vero- vatna greška“, koja za 6.000 odbrojavanja iznosi otprilike 1 procenat. U ovim granicama sva čitanja pokazuju dobro slaganje, iako ona u San Antoniju i Džonkšonu pokazuju maksimum dozvoljenog odstupanja. Njihova srednja vrednost je bez sumnje bolji odraz o stanju na toj geografskoj širini nego ijedno od ova dva čitanja. Značaj poslednjeg stupca srednje vrednosti na tablici XIX sa stanovišta naše hipoteze jeste: a) da zraci kiseonikove anihilacije dostižu maksimalnu vrednost kod Monterija, otprilike 3^o iznad one geografske širine na kojoj prvi put počinje da se javlja njihov efekat, tj., upravo malo južnije od Viktorije (efektivni uglovi koje obuhvata par brojača bili su 25^o popreko, 45^o uzduž); b) da u Laredu, 2^o iznad Monterija, efekti vertikalno ulaznih azo- tovih zrakova još ne počinju da se javljaju, drugim rečima da ovde ima izvesnih dokaza da postoji vrlo kratak, ali možda primetan plato energije između geografskih širina prvog ulaska vertikalno upadnih zrakova kiseonikove i azotove anihilacije; c) da zraci azotove anihilacije počinju da se javljaju u in-

T A B L I C A XIX

Izvod odbrojavanja na površini zemljinog tla sa standardnim brojačkim aparatom od Akapulka do Pasadene

Mesto	Odbro- javanja	Vreme u minutima	Broj udara u minuti	Paulinovo harmon ubeležavanje	Korigovani broj udara*	Prosečan broj udara†
Akapulko (geomagn. šir. 25,8°)	5004	208	24,0	29,91	24,9	90
Vales (geomagn. šir. 31,0°)	6005	246	24,4	29,92	25,3	91
Viktorija (geomagn. šir. 32,8°), 10 dec.	13585	504	27,0	29,03	25,9	94
Viktorija (geomagn. šir. 32,8°), 28 dec.	8086	304	26,6	29,30	26,1	94
Monteri (geomagn. šir. 34,6°)	5797	197	29,5	28,42	26,5	96
Laredo (geomagn. šir. 36,7°)	16408	633	25,9	29,70	26,4	95
San. Antonio (geomagn. šir. 38,7°)	6747	239	28,2	29,25	27,6	100
Džonkšon Teksas (geomagn. šir. 38,7°)	11171	370	30,2	28,17	26,6	96
Pasadena (geomagn. šir. 40,7°)	29736	1073	27,7	29,50	27,7	100

* Korigovani brojevi udara prema Paulinovom barometarskom ubeležavanju od 29,50. Korekcija je 0,9^o za 0,1%.
† Poslednji stubac ne pokazuje nikakvu promenu od Akapulka do Valesa (5,2^o = 360 milja), ali pokazuje po- većanje od 3,5 do Viktorije (1,8^o = 124 milja), jedno dalje povećanje do Monterija (1,8^o = 124 milja), i opet drugo povećanje do San Antonija (5,8^o = 400 milja), i konačno povećanje do Pasadene (2,0^o = 145 milja).

tervalu od 2° , između Lareda i San Antonija, tj., otprilike na 37° geomagn. šir.; d) da, kao i u slučaju kiseonika, 3° dalje na sever, tj., na 4° geomagn. šir., ovi azotovi zraci u potpunosti upadaju, kao što pokazuje ubeležavanje u Pasadeni na $40,7^{\circ}$ geomagn. šir.; e) da, kao što su Bouenova elektroskopska posmatranja pokazala, upadni kiseonikovi i azotovi zraci jesu skoro jednaki po energiji, pošto dodati procenat odbrojavanja koji unosi kiseonik, iznosi $95,3 - 90,5 = 4,8$, dok onaj koji unosi azot iznosi $100 - 95,3 = 4,7$.

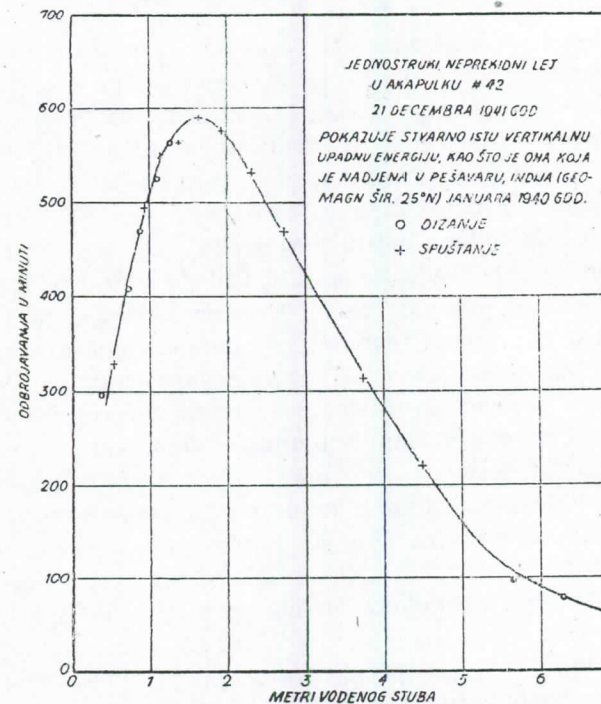
Ukoliko se, dakle, radi o vertikalno upadnim ubeležavanjima na površini zemljinog tla, predviđanja naše hipoteze su potvrđena sa neočekivanom potpunosti.

2. Drugo ispitivanje predviđanja ove hipoteze nalazi se u poređenju celokupne energije koja vertikalno upada u Pešavaru, Indija (geomagn. šir. 25°), i Akapulku (geomagn. šir. $25,8^{\circ}$).

Hipoteza zahteva da vertikalno upadni zraci, koji su merljivi na oba mesta, budu jednostavno zraci silicijumove anihilacije. Oni treba, prema tome, da imaju istu totalnu energiju, sem ako se intenzitet ovih zrakova promenio u intervalu od dve godine, koliko je prošlo između vremena merenja na ova dva vrlo različita mesta.

S druge strane, ma koja vrsta *kontinualne raspodele* energije vertikalno upadnih zrakova iziskuje da energija koja ulazi kod Akapulka bude veća nego kod Pešavara, i to iz dva razloga: prvo, Akapulko je $0,8^{\circ}$ dalje prema severu nego što je Pešavar, pa bi već iz samog ovog razloga, po ma kakvom zakonu kontinualne raspodele, trebalo da bude propušteno više zrakova. A drugo, zemljino magnetno polje koje izaziva zakašnjanje jeste ustvari znatno slabije kod Akapulka nego kod Pešavara, tako da bi, sa ma kojom *kontinualnom* raspodelom upadnih energija, trebalo više zrakova da imaju dovoljnu energiju da pri istoj geografskoj širini budu propušteni u Severnoj i Južnoj Americi nego li u Aziji. Pomenuta hipoteza poriče mogućnost ma koga od ovih efekata.

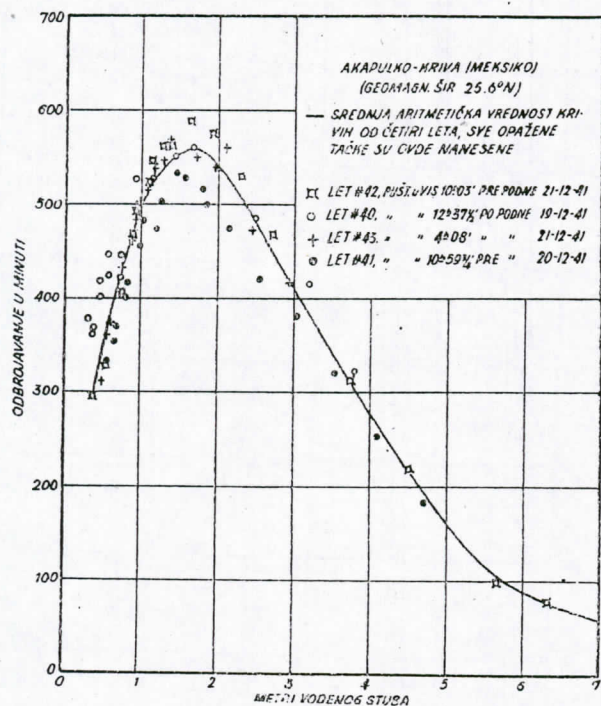
Da bi se razjasnilo ovo pitanje, izvršeno je pet raznih letova u Akapulku, od kojih su četiri bila prilično uspešna. Rezultati petog leta nisu bili upotrebljivi. Najbolji od ovih letova (sl. 108) dao je, u granicama do 6 procenata, istu energiju vertikalnih kosmičkih zrakova kao što je vrednost koja je nađena prilikom posmatranja koja su vršena u Pe-



Sl. 108. — Najbolja kriva koja je ubeležena pri jednostrukom letu u Akapulku. Površina je za oko 5,8 procenata manja nego za odgovarajuću krivu koja je ubeležena u Pešavaru (vidi sl. 107 sa maksimumom kod 610). Ovde je maksimum kod 587

šavaru dve godine ranije. Srednja vrednost u Akapulku (vidi sl. 109) ipak je bila za 8,3 procenta manja, a ne veća, od one u Pešavaru. Ovaj rezultat, prema tome, jasno se nalazi u protivrečnosti sa hipotezom kontinualne raspodele energije, osim ako se ne pretpostavi da se od januara 1941

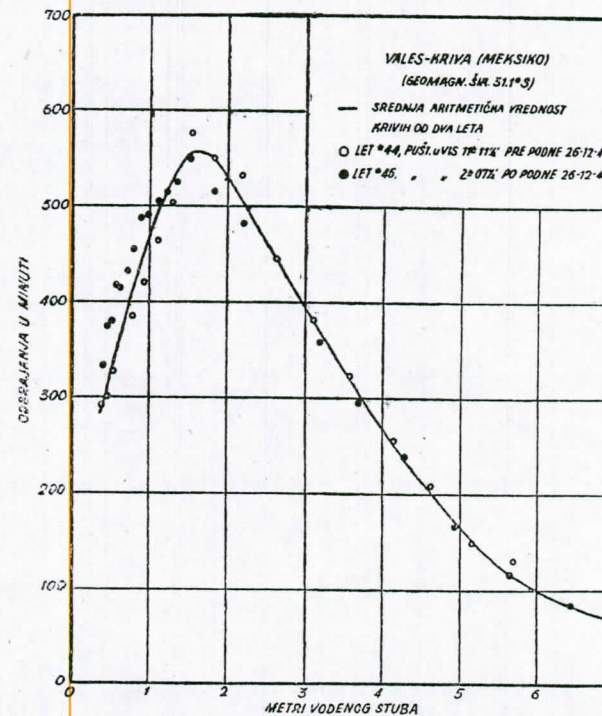
god., kada su se vršila merenja u Pešavaru, desilo neko znatno smanjenje energije upadnih kosmičkih zrakova. S druge strane, mnogo manja, ili možda nikakva promena ne bi bila potrebna da bi se ubeležavanja dovela u sklad sa hipotezom atomske anihilacije, pošto bi primećene razlike mogle da budu mnogo manje nego što obuhvata 5 procenta nesigurnosti, za koje smo mi procenili da bi mogli da postoje i u Pešavaru i u Akapulku.



Sl. 109. — Svako pojedinačno posmatranje, koje je vršeno prilikom ova četiri leta u Akapulko, ubeleženo je na sl. 109. Najbolja kontinualna kriva koja se mogla dobiti naznačena je za svaki od četiri leta. Konačna, punom linijom izvučena kriva koja je prikazana jeste srednja aritmetička vrednost ove četiri krive. Ovde je maksimum kod 560 jona.

Obično, kod svih ovih krivih svaka ubeležena tačka je stvarno nađeni broj udara u intervalu od 4' minuta pri tome letu na zabeleženom prosečnom pritisku u tom intervalu.

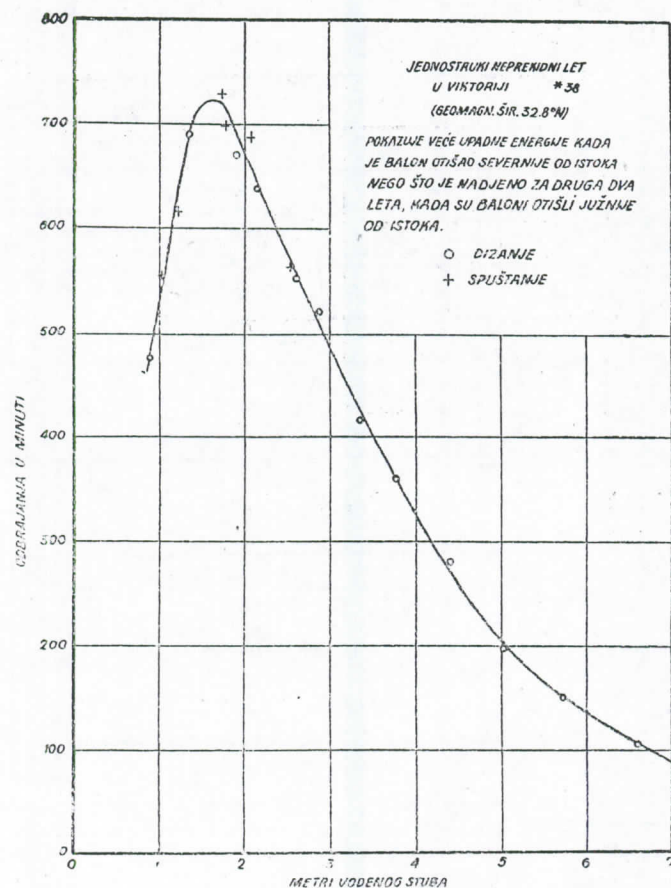
Međutim, dva niza posmatranja, koja su izvršena u razmaku od četiri godine (1936—1940) i u Madrasu, Indija, i u San Antoniju, Teksas, nisu dala nikakav dokaz o promeni usled vremena u ovom posebnom intervalu od četiri godine, tako da je možda bolje da se objasni da se kod krivih za Pešavar i za Akapulko onih 4,2 procenta otstu-



Sl. 110. — Punom linijom izvučena kriva je srednja aritmetička vrednost krivih samo od dva leta, koja su izvršena u Valesu; sve opažene tačke su ubeležene kao i na sl. 109. Maksimum je kod 560 jona

panja od njihove srednje vrednosti nalaze u granicama nesigurnosti posmatranja, naročito zato što su, kada su vršena ta ispitivanja, upotrebljeni različiti brojači i razni načini ubeležavanja. I doista, slika 109 pokazuje da, sa raznim brojačima i pri sukcesivnim letovima koji su izvr-

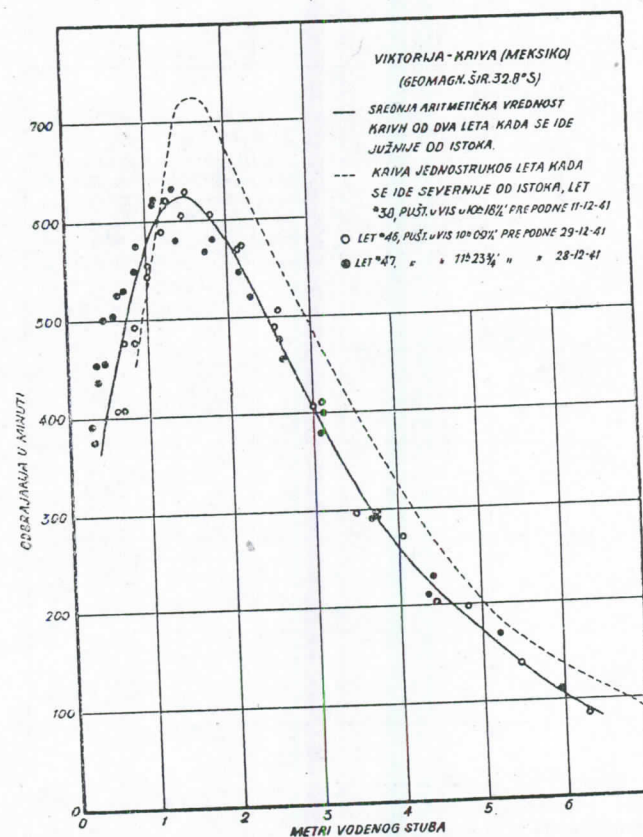
šeni istoga ili uzastopnih dana, razlika u krivama je ponekad tako velika koliko iznosi i razlika prikazana između Pešavara i Akapulko-krivih.



Sl. 111. — Let koji prikazuje najveću energetičku površinu od ma kojega od tri leta koji su izvršeni u Viktoriji. Pri ovom letu balon je otišao severnije od istoka. Maksimum je kod 720 jonova

3. Treća, najviše upadljiva i nedvosmislena potvrda predviđanja vidi se kada se izvrši poređenje prosečne krive u Akapulku (sl. 109) sa prosečnom krivom u Valesu, koji

se nalazi na 5,2°, odnosno 360 milja dalje prema severu (vidi sl. 110). Ove krive uopšte ne pokazuju nikakve razlike. Ovaj rezultat, uzet zajedno sa rezultatom avionskih letova u Panami i Arekvipi 1932 god. (sl. 82), daje odličan dokaz da postoji dugačak plato energije kosmičkih zrakova konstant-



Sl. 112. — Punom linijom naznačena kriva je srednja vrednost od dva leta u Viktoriji, kada su baloni otišli južnije od istoka; a isprekidanom linijom naznačena kriva, jednostruki let pri kome su baloni otišli severnije od istoka. Prema tome, geografska širina Viktorije, geomagn. šir. 32,8° Sev., smatra se da je sasvim blizu širine prvog ulaska trake zrakova neon-kiseonikove anihilacije. Maksimum je kod 650 jona

nog intenziteta, koji se prostire od ekvatorske širine u Peruu pa sve gore do otprilike 33° geomagn. šir. u Meksiku. Sem toga, ovi rezultati se potpuno slažu sa rezultatima dobivenim na površini „zemljinog tla“, koji su izloženi gore u tabl. XIX.

4. Premda se uopšte nisu našle nikakve dopune vertikalnim zracima koji upadaju kod Akapulka, ako se ide na sever od Akapulka do Valesa (360 milja), ipak, ako se ide još samo 114 milja dalje prema severu, naime, od Valesa do Viktorije, onda i odbrojanja na površini zemljinog tla i celokupna vertikalno upadna energija, koja je dobivena na osnovu krivih prilikom letova u Viktoriji, pokazuju nedvosmisleno povećanje (vidi sl. 111 i 112).

5. Na osnovu krivih koje su dobivene prilikom letova u Viktoriji, postoji dokaz da samo svega nekoliko milja od Viktorije zraci kiseonikove anihilacije počinju vertikalno da upadaju. Merenje na površini zemljinog tla vršeno je na hotelskom imanju, usred grada. Da bi se izbegla interferencija za vreme letenja, kamion sa opremom je bio oteran van varoši „na čistinu“, ne dalje od 4 milje jugoistočno od grada, a letenje koje je tamo izvedeno, pri kome je vetar odneo balone nešto severnije od istoka, otkrilo je znatno više upadne energije (vidi isprekidanom linijom naznačenu krivu, sl. 112) nego pri ma kojem od dva leta, kada je vetar odneo balone nešto južnije od istoka, tako da izgleda tačno da na širini Viktorije kiseonikova grupa zrakova anihilacije prvi put ulazi vertikalno.

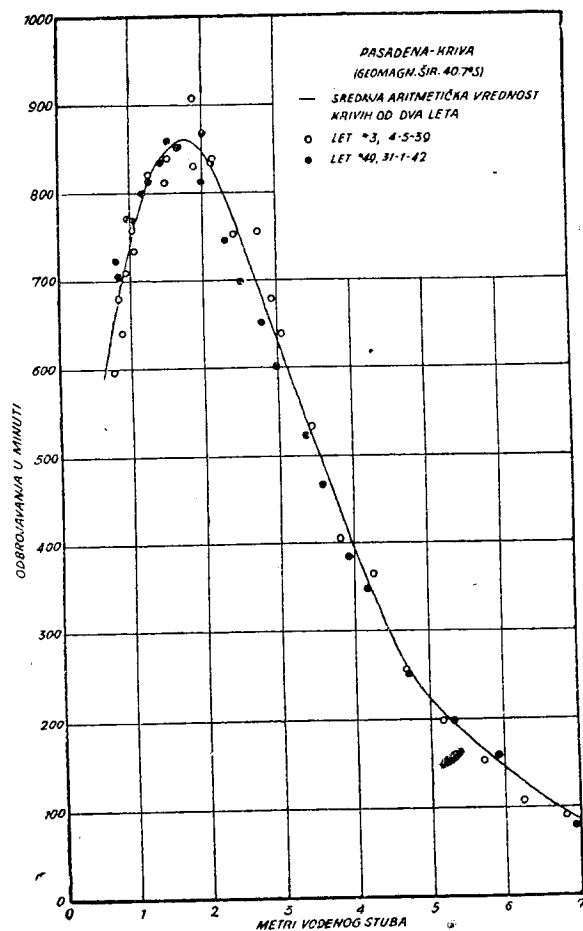
VII. PRVI POKUŠAJ DA SE U SJEDINJENIM DRŽAVAMA
PROVERE PREDVIĐANJA HIPOTEZE DA POSTOJE
ZRACI UGLJENIKOVE I HELIJUMOVE ANIHILACIJE

I pored velike preopterećenosti u radu zbog ratnih prilika u to vreme, autori su, krajem marta 1942, uzeli jednu nedelju dana odmora da bi pokušali da ispituju predviđanje hipoteze: prvo, u pogledu ulaska jedne trake zrakova ugljenikove anihilacije (5,6 milijardi elektron-volta) malo severnije od Pasadene; drugo, da li postoji jedan

ravan plato energije kosmičkih zrakova konstantnog intenziteta severno od ove geografske širine, koji bi se pružao gore do geografske širine ulaska predviđene trake zrakova helijumove anihilacije (1,9 milijardi elektron-volta). Zbog nepovoljnog vremena i nekoliko nezgoda izvršili smo samo dva dobra leta. jedan u Sent-Džordžu, Jutah (geomagn. šir. $44,8^{\circ}$ Sev.), koji je samo 4° , odnosno 287 milja bliži severnom magnetnom polu od Pasadene (geomagn. šir. $40,7^{\circ}$ Sev.), i jedan u Pokatelu (geomagn. šir. 51° Sev.), koji je $6,2^{\circ}$, odnosno 428 milja bliži severnom magnetnom polu od Sent-Džordža. Rezultati ova dva leta ucrtani su na slici 114 i treba da se uporede sa srednjom vrednosti dva dobra leta u Pasadeni, koji su ubeleženi na slici 113. Za žaljenje je što ograničeno vreme i drugi uslovi nisu dozvolili više letova na svakoj od dve gore pomenute najsevernije geografske širine, tako da bi što veći broj posmatranja doprineo dokazu; a namera nam je da ponovimo i proširimo ova posmatranja čim mirnodopske prilike to dopuste. Ipak rezultati ova dva leta, kao što su ubeleženi na pokretnoj traci, pokazali su odlično slaganje, tako da dobiveni rezultati treba da budu u veoma znatnom stepenu pouzdani. Izgleda da oni sa velikom sigurnošću pokazuju, prvo, ulazak zrakova ugljenikove anihilacije između Pasadene i Sent Džordža, i, drugo, sasvim ravan plato energije, koji se prostire od Sent Džordža do Pokatela. Širina ulaska vertikalno upadnih helijumovih zrakova, kao što je izračunato na osnovu Lemetr-Valartinih krivih, nalazi se na 54° geomagnetne širine, a to je samo 3° iznad Pokatela. Zatim, sigurno je da se između Omahe (geomagn. šir. $51,3^{\circ}$) i Bizmarka (geomagn. šir. $56,3^{\circ}$) zaista javlja grupa novih zrakova, čija je energija oko 2 milijarde elektron-volta.

Najbolji dokaz koji do sada imamo za ovo poslednje tvrđenje proizlazi iz naših najnovijih letova balona sa elektroskopima, koji su izvršeni u toku leta 1940 god., neposredno posle našeg povratka iz Indije. Sva gornja predviđanja u pogledu rezultata, koji su se mogli očekivati na osnovu naših eksperimenata na geografskim širinama sa vertikalnim

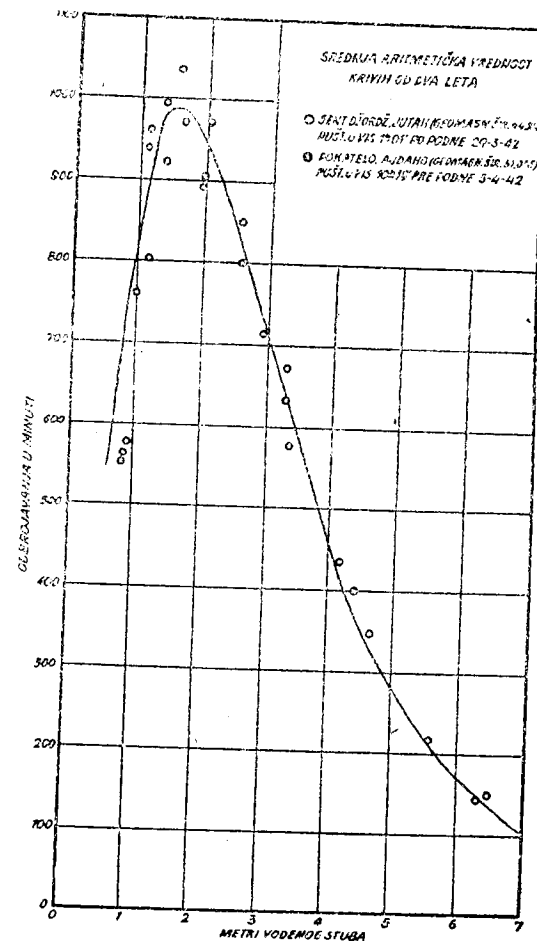
brojačima u Meksiku, izvršena su u toku proleća 1940 god., kada nam je naš uspeh u Indiji prvi put dao nadu da smo na pravom putu. Međutim, znali smo da ne možemo stvo-



Sl. 113. — Na geografskoj širini Pasadene zraci anihilacije i kiseonika i azota izgleda da su sposobni da potpuno vertikalno upadaju. Maksimum je kod 860 jona

riti potrebne nove aparate za manje od godinu dana da bi ova predviđanja pažljivo eksperimentalno ispitali. Ali bili

smo snabdeveni odličnim elektroskopima za ubeležavanje, i to istim onakvim kakve smo sem brojača upotrebljavali u Indiji. Prema tome, pošto celokupna energija kosmičkih



Sl. 114. — Kriva pokazuje da praktično ne postoji nikakva nova energija koja vertikalno ulazi u dugom razmaku geografskih širina između Sent Džordža i Pokatela, iako postoji jasan dokaz za ulazak zrakova ugljenikove anihilacije između Pasadene i Sent Džordža (Jutah). Treba uočiti maksimum kod 980 jona

Elektroni

zrakova. koja ulazi u atmosferu na ma kojoj geografskoj širini, bez obzira iz kojega pravca, jeste važno merenje koje bi najtačnije moglo da se izvrši pomoću elektroskopa, i pošto je, sem toga, bilo od vrlo velike važnosti da se serija takvih merenja izvrši na nizu geografskih širina sukcesivno u vrlo kratkom razmaku vremena, kako bi se smanjila mogućnost promena u zavisnosti od vremena, i pošto je ovo bio jedini tačan način da se dobije odnos upadnih zrakova koji su osetljivi na magnetno polje prema onima koji nisu, mi smo, u leto 1940, odlučili da za vreme od dve nedelje prekinemo i naše hitne ratne poslove i naša pripremanja za gore pomenuta ispitivanja sa vertikalnim brojačima, koja su bila planirana za 1941—1942 godinu, da bi u septembru 1940 izvršili seriju letova balonima sa elektroskopima.

Mi nismo uopšte smatrali da je ovo odgovarajuća zamena za pokušaje da se pomoću vertikalnih brojača utvrdi geografska širina ulaska vertikalno upadnih zrakova helijumove anihilacije. Mi još imamo nameru da to učinimo, čim posleratne prilike to dozvole; ali videće se da sadašnji podaci, dobiveni pomoću elektroskopa na ovim velikim geografskim širinama, bacaju mnogo svetlosti na ovo pitanje i na druge važne probleme, kao što je to dalje pokazano.

Ova ekspedicija je, dakle, bila preduzeta 1940 god. iz sledećih razloga: 1) imali smo gotove aparate i mogli smo da izvršimo ove visoke letove balonima sa elektroskopima uz izvanredne prednosti vrlo stabilnih vremenskih uslova, koji obično prevladavaju na Srednjem Zapadu krajem leta i početkom jeseni; 2) zato što smo već prilikom letova balonima sa elektroskopima na vrlo velikim visinama a na velikim geomagnetnim širinama (Omaha, Bizmark, Saskatun) našli do sada neobjašnjene promene sa vremenom,¹ kojih očevidno nije bilo u Indiji,² a za koje smo smatrali da bi mogle bar delimično da nestanu, ako se izvrši serija letova na raznim geografskim širinama, i to svih u jednom godišnjem

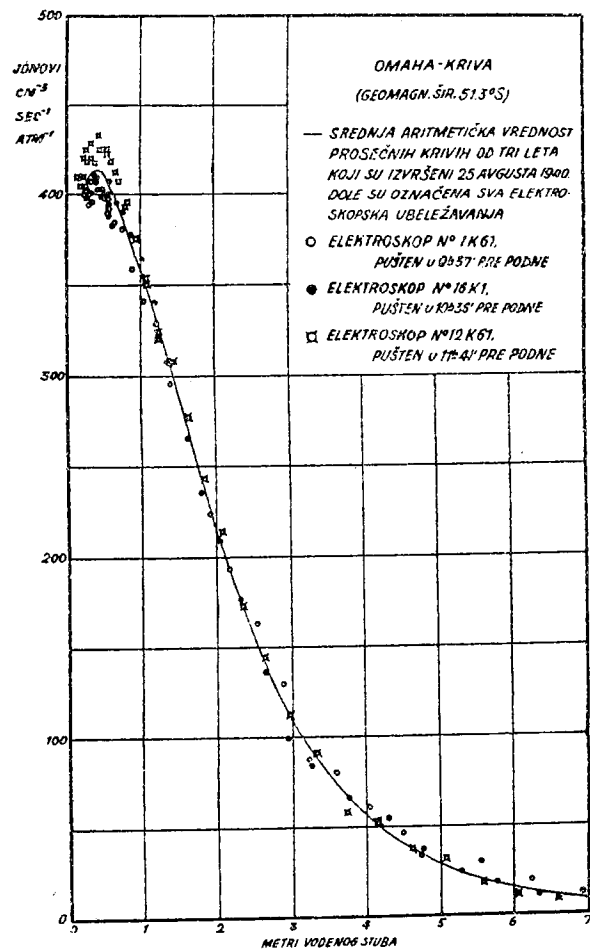
¹ Vidi Millikan, Neher and Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 405—6.

² *Ibid.*, str. 408, naročito sl. 1.

dobu i što je moguće brže jedno za drugim; 3) zato što bi takva serija letova balona sa preciznijim elektroskopima utvrdila sa većom sigurnošću vezu između delova upadnih kosmičkih zrakova koji su osetljivi prema magnetnom polju i onih koji nisu, tj., takvih koji su do tada bili definisani samo u terminima celokupne zbirne vrednosti jonizacije koja je nađena na datoj geografskoj širini na osnovu merenja jonizacije izvršenih pomoću elektroskopa dok su oni nošeni od najnižeg mesta na kome se može zapaziti jonizacija kosmičkih zrakova sve gore do vrha atmosfere; 4) zato što je s obzirom na pogodan oblik Lemetr-Valartinih krivih, na velikim geomagnetnim širinama bilo moguće da se donekle rasvetli, čak i uz pomoć letova balona sa elektroskopima, realnost postojanja i geografska širina ulaska trake helijumove anihilacije.

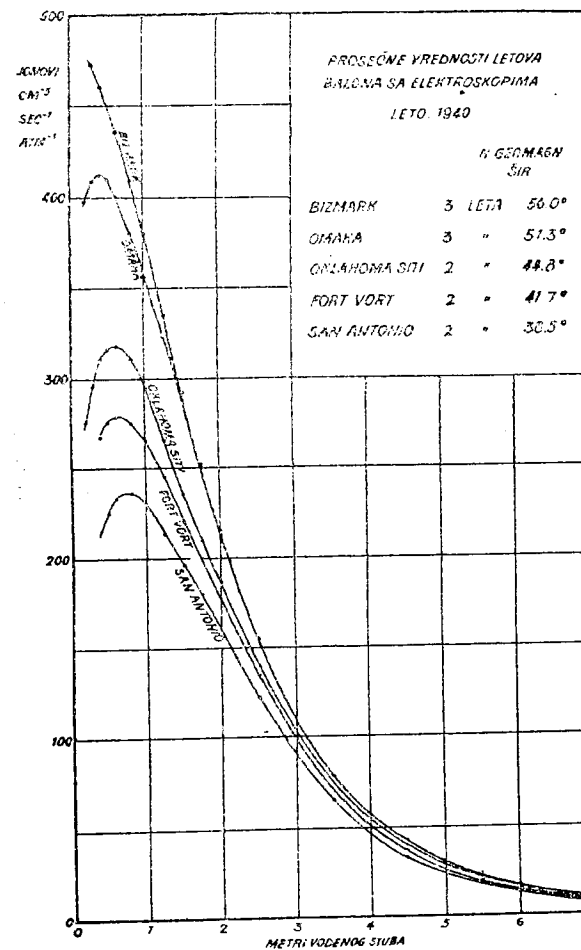
U Bizmarku, Severna Dakota, tri leta su izvršena istog dana, 21 avgusta 1940, pri čemu su doktori Neher i Pickering vršili posmatranja; prvi par balona, koji je bio upotrebljen da nosi uvis elektroskop za ubeležavanje, bio je pušten u 8^h 45' pre podne, drugi u 9^h 50' pre podne, a treći u 1^h 46' posle podne. Četiri dana kasnije, naime, 25 avgusta 1940, izvršena su još tri slična leta u Omahi: prvo dizanje balona počelo je u 9^h 47' pre podne, drugo u 10^h 36' pre podne, a treće u 11^h 41' pre podne. Ovaj postupak je ponovljen u Oklahoma Sitiju, 29 avgusta, u Fort Vortu, 2 septembra sa dva leta i u San Antoniju, 3 septembra sa dva leta. Svi ovi letovi izvršeni su, prema tome, u toku od 13 dana, za koje su vreme atmosferski uslovi bili naročito stabilni. Prema tome, za niz dobivenih krivih postoji veća verovatnoća da budu bez onih grešaka prouzrokovanih usled mogućnih promena intenziteta upadnih kosmičkih zrakova u toku vremena, nego što je to slučaj kod krivih koje smo ranije objavili, a od kojih su neke registrovane u razmaku od nekoliko godina. Sem toga, mi nikad nismo vršili seriju letova sa raznim elektroskopima koji su skroz pokazivali toliko veliku međusobnu saglasnost na svakom datom mestu koliku su to ovi imali.

Slika 115, na primer, pokazuje upravo kako smo postupali sa podacima u Omaha. Ona je u svemu karakteri-



Sl. 115. — Detalji prikazuju nepromenljivost koja je dobivena u tri sukcesivna leta za jedan dan. Slična nepromenljivost je konstatovana između komponentnih krivih koje sačinjavaju svaku od pet prosečnih krivih na sl. 116.

stična za podatke koji su dobiveni kod svih ovih pet raznih geografskih širina. Na ovoj slici svako čitanje fotografskog



Sl. 116. — Meki helijumovi zraci pokazuju razliku za Bizmark-Omahu samo na velikim visinama. Njihova energija, pošto iznosi samo 1,9 milijardi elektron-volta, ne omogućuje im da prošire njihov uticaj dole do dva metra vodenog stuba. Međutim, prisutnost prodornih ugljenikovih zraka, čija je energija tri puta veća (5,6 milijardi elektron-volta), konstatuje se na geografskoj širini između Omaha i Oklahoma Sitiya, a odatle su ove dve krive odvojene sve do oko 6 metara vodenog stuba

filma za svaki od ova tri leta, koji su vršeni u Omahi, prvo je ubeleženo; potom, da bi se dobila konačna kriva srednje vrednosti za ovo mesto na osnovu ovih ubeležavanja, naš postupak se sastojao u tome da zasebno nacrtamo celu krivu punom linijom za svaki let; zatim, da brzo pročitamo na svakoj od ove tri krive jonizaciju za datu visinu, recimo, jonizaciju koja odgovara visini od dva metra vodenog stuba ispod vrha atmosfere; posle toga, da nađemo prosečnu vrednost iz ova tri merenja na visini od dva metra vodenog stuba; i, pošto smo dobili ovu vrstu prosečne vrednosti za celu seriju izabranih visina sve do blizu vrha atmosfere, dokle god dostižu merenja, mi smo kroz ove prosečne tačke nacrtali konačnu krivu. Ona je izvučena punom linijom na slici 115. Ova kriva je ponovo reprodukovana na slici 116, zajedno sa krivima srednje vrednosti, koje su uglavnom dobivene na ovaj način kod svih pet naznačenih geografskih širina. Površina ispod svake od ovih krivih je totalan integral energije kosmičkih zrakova koji ulaze u atmosferu na datoj geografskoj širini. Ona može da se svede, kao i obično, na elektron-volte množenjem sa 32, prosečnim brojem elektron-volta potrebnih da se u vazduhu proizvede jedan jon.

Na osnovu najpažljivijeg proučavanja, ukoliko smo mi bili u stanju da ga izvedemo na Lemetr-Valartininim krivama,¹ koje su reprodukovane na slici 88, a uz pomoć malog podešavanja, naročito u slučaju kiseonikove trake, zbog činjenice koja je već izložena, da dalje od zapadne obale Južne Amerike elektronska energija koja je potrebna da se vertikalno prođe kroz otpor magnetnog zemljinog polja na ekvatoru iznosi 13 milijardi elektron-volta umesto 15 milijardi elektron-volta, kako su pretpostavili Lemetr i Valarta (što je verovatna tačna pretpostavka za izračunavanje upadnih

¹ Ibid., str. 397; vidi isto tako Lemetrove i Valartine originalne članke u *Phys. Rev.*, XLIX (1936), 719, i L (1936), 503; isto tako LXIII (1933), 87. Izračunavanja u tablici XX su zasnovana na merenjima na originalnom Lemetr-Valartinom dijagramu (ibid., L [1936], 503, sl. 10). On je veći, i na njemu se može tačnije vršiti merenje nego na sl. 88.

energija severno od Pasadene), mi smo u tablici XX procenili kritične magnetne geografske širine za ulazak zrakova kosmičke anihilacije, na osnovu merenja pomoću elektroškopa, a isto tako, u poslednjem stupcu, na osnovu merenja vertikalnih brojača.

Tablica XX pokazuje koliko je rđavo uzastopno prekrivanje krivih i koliko je prema tome nemogućnost da se one razmrse, *sem u slučaju helijumove trake*. Međutim, zbog velike razlike u energiji između helijuma i ugljenika, prva je u stanju da prodre na svim geografskim širinama iznad

TABLICA XX
Kritične geomagnetne širine u Severnoj Americi za ulazak zrakova kosmičke anihilacije

Atom	Energija (milijarde elektron-volta)	Geomagnetna širina		
		prvog ulaska na zapadnom horizontu	potpunog ulaska na istočnom horizontu	vertikalnog ulaska
He	1,9	50°	59°	54°
C	5,6	32°	49°	42°
N	6,5	27°	48°	39°
O	7,5	22°	46°	33°

50°, tako da na bazi hipoteze atomske anihilacije, ako novi kosmički zraci upadaju između 50° i 59°, kada se ide prema severu, oni mogu da budu samo zraci helijumove anihilacije. Zaista, kao što je prikazano na slici 116, ne može da bude nikakve neizvestnosti o pojavi nove trake zrakova između Omaha i Bizmarka, i to trake tako malo prodorne, kakvi i treba da budu helijumovi zraci, tako da ona ne može da vrši svoj uticaj ni dole do nivoa od 2 metra vodenog stuba, posle koje se dubine vidi na slici 116 da se Bizmark-kriva potpuno podudara sa Omaha-krivom.

Ovako uopšte ne stoji stvar u pogledu razlike između Omaha i Oklahoma Siti-krivih, zato što ova razlika u prvom redu potiče od ugljenikove trake, jer ugljenikovi zraci imaju energiju od 5,6 milijardi elektron-volta, koja je dovoljna

da ovi zraci vrše svoj uticaj nadole skoro do nivoa morske površine. Ako, s druge strane, pretpostavimo da se energija upadnih kosmičkih zrakova nalazi između ugljenikove i helijumove trake, onda bi se sigurno moglo očekivati da se Oklahoma Siti-kriva poklapa sa Omaha-krivom na mnogo većoj visini nego što slika 117 pokazuje da je to slučaj.

Mi očekujemo da što je moguće pre, odredimo širinu ulaska vertikalno upadnih helijumovih zrakova metodom vertikalnih brojača; ali ovaj dokaz ovde što se tiče postojanja i položaja ulaska, tako je dobar, da mi verujemo da će ovo predviđanje biti sigurno potvrđeno, kao što je bila potvrđena cela serija predviđanja o kojima se gore diskutovalo. Ali, u svakom slučaju, *ukoliko se u našim eksperimentima dosad daleko otišlo, nisu bili dobiveni nikakvi rezultati na osnovu naših ispitivanja u Indiji, u Južnoj Americi, u Kanadi, u Meksiku ili u Sjedinjenim Državama, koji ne bi bili u skladu sa predviđanjima hipoteze atomske anihilacije o poretku kosmičkih zrakova.*

VIII. UPOREĐIVANJE VERTIKALNO UPADNIH ENERGIJA KOSMIČKIH ZRAKOVA OSETLJIVIH PREMA MAGNETNOM POLJU, KOJE DONOSE NA ZEMLJU ZRACI SILICIJUMOVE, KISEONIKOVE, AZOTOVE I UGLJENIKOVE ANIHILACIJE

Ranije¹ je pokazano da osnovna opšta jonizacija energije kosmičkih zrakova koji nisu osetljivi prema magnetnom polju sigurno nije veća od 40 procenata, a stvarno je 35 procenata, od celokupne energije kosmičkih zrakova koja neprestano bombarduje zemlju.

Kada se kao osnova uzme celokupna energija kosmičkih zrakova koji nisu osetljivi prema magnetnom polju, mogu se sa znatnom sigurnošću proceniti relativne energije kosmičkih zrakova neosetljivih prema magnetnom polju koje na zemlju donose zraci anihilacije četiri vrste atoma, silicijuma, kiseonika, azota, i ugljenika, i to na sledeći način:

¹ Millikan, Neher and Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 397—413.

Da bi se kao osnovica dobila izvesna brojna vrednost, pomoću planimetra se izmeri celokupna površina ispod srednje vrednosti Bangalor-krive A, slika 117. Najbolje merenje koje se sada može postići za energiju koju unose vertikalni silicijumovi zraci biće, dakle, jednako razlici između površine srednje vrednosti Pešavar-krive B i srednje vrednosti Bangalor-krive A (sl. 117). Na sličan način razlika između

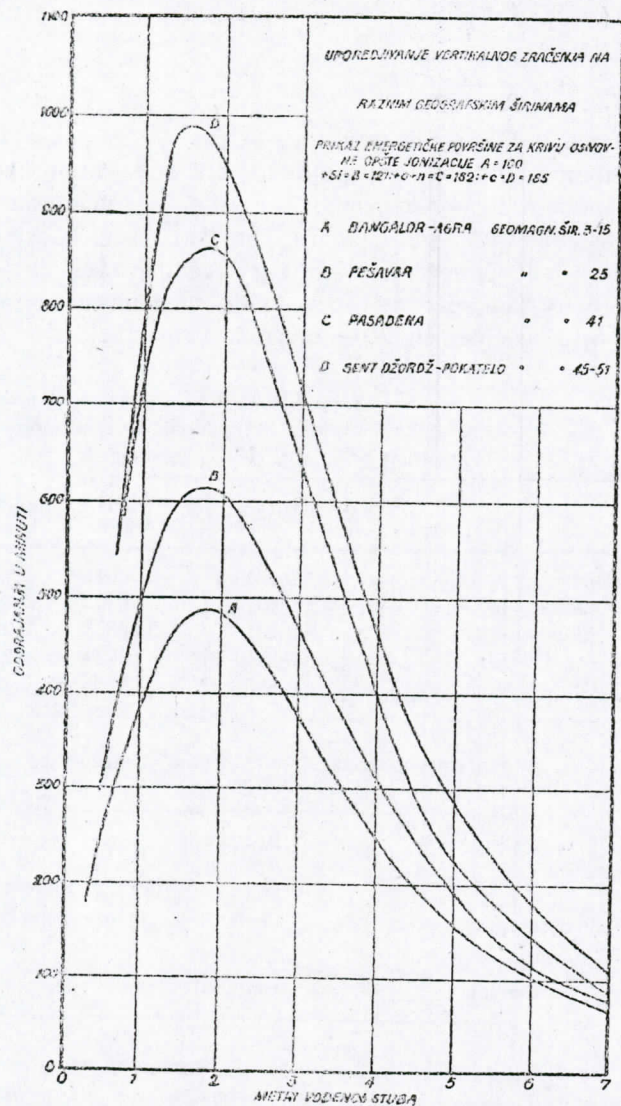
T A B L I C A X X I

Površine ispod krivih, brojne i relativne vrednosti

Bangalor—Madras	65,7	100
Pešavar	79,0	121
Pasadena	106,2	162
Sent Džordž—Pokatelo	122,1	185

površine ispod srednje vrednosti Pasadena-krive C i Pešavar-krive B je merilo zajedničke energije, koju vertikalno unose zraci anihilacije kiseonikovih i azotovih atoma koji su osetljivi prema magnetnom polju. Već je izneseno nešto dokaza u odeljku VI, iz kojih se može zaključiti da ove dve vrste anihilacionih zrakova imaju približno istu količinu energije. Na sličan način, razlika između prosečne vrednosti Sent Džordž—Pokatelo-krive D i prosečne vrednosti Pasadena-krive C, daje energiju koju vertikalno unose zraci ugljenikove anihilacije. Stvarno izmerene površine ispod ove četiri krive date su u drugom stupcu tablice XXI, dok treći stubac daje relativne vrednosti, kad se uzme Bangalor—Madras kao osnovica.

Na taj način vidi se, da je količina energije ove četiri vrste zrakova anihilacije vrlo približno ista, naime, za silicijum — 21; kiseonik — 20,5; azot — 20,5; i za ugljenik — 23. Ovo nije baš sasvim onaj zaključak koji je izveden na osnovu Bouenovih spektroskopskih merenja na prstenastim maglinama; jer, prema tim merenjima, relativna *obilnost nalaženja*, pre nego relativna energija ove četiri vrste atoma u međuzvezdanom prostoru jeste otprilike ista za sve četiri vrste. Ako za sve četiri vrste ovih atoma postoji ista mo-



Sl. 117. — Pokazuje da energija kosmičkih zrakova, koju vertikalno donose na zemlju zraci silicijumove anihilacije (krive B—A), iznosi 21 procenat od energije zemljinih kosmičkih zrakova koja nije osetljiva prema magnetnom polju ili energiji uopšte osnovne jonizacije (kriva A); zatim, da zraci kiseonikove i azotove anihilacije unose zajedničku energiju (kriva C—B), koja iznosi $162 - 121 = 41$ procenat na krivoj A, od kojih je po 20,5 procenata ekvivalent za svaku posebno, najzad, da zraci ugljenikove anihilacije (krive D—C) unose energiju, koja iznosi $185 - 162$, odnosno 23 procenata krive A; tako da se za silicijumove, kiseonikove, azotove i ugljenikove atome smatra da daju skoro jednake količine energije za atomsku anihilacionu energiju kosmičkih zrakova

gućnost da se njihove energije mase mirovanja transformišu u elektronski par, tada su ova merenja kosmičkih zrakova u saglasnosti sa Bouenovim spektroskopskim merenjima utoliko, što obe ove metode ukazuju na istu relativnu obilnost nalaženja za ugljenikove, azotove, i kiseonikove atome. Međutim, pošto je energija mase mirovanja silicijuma dva puta veća od one za svaki od druga tri atoma, gornji dokaz za podatke o kosmičkim zracima ukazivao bi da je obilnost nalaženja silicijumovih atoma u međuzvezdanom prostoru otprilike za polovinu manja od one koju ima svaki posebno od ugljenikovih, azotovih, i kiseonikovih atoma. Ovako veliko neslaganje verovatno ne bi bilo izvan onih granica koje sam Bouen procenjuje kao nesigurnost njegovih merenja.

Da bi se objasnila činjenica što je 65 procenata celokupne energije upadnih kosmičkih zrakova osetljivo prema magnetnom polju, a samo 35 procenata nije (ovaj deo koji nije osetljiv prema magnetnom polju odgovara površini ispod Bangalor-krive), bilo bi potrebno da se zracima helijumove anihilacije pripíše upadna energija kosmičkih zrakova, ako se Bangalor uzme za bazu, vrednost $(100/0,35) - 185 = 100$, odnosno energija četiri i jedna trećina puta veća od one energije koju unose, recimo, zraci ugljenikove anihilacije. Međutim, pošto helijumova masa mirovanja iznosi samo jednu trećinu od one mase koju ima ugljenik, njegova obilnost nalaženja bi, na osnovu ovih brojeva, trebalo da bude otprilike $4,33 \times 3$, odnosno trinaest puta veća od obilnosti nalaženja koju ima ugljenik. Međutim, ovaj zaključak, ipak, ne može da se izvede; jer mi smo prećutno pretpostavili da bi 35 procenata, koji su dobiveni na osnovu elektroskopskih merenja, isto tako važili kada bi se upoređivali i vertikalno upadni zraci. Ne postoji, međutim, nikakav razlog da se očekuje da ovo bude tačno. Ne može, dakle, da se izvede nikakav zaključak u ovoj oblasti sve dok ne izvršimo nameravanu seriju merenja na geografskim širinama sa vertikalno poređanim dvostrukim brojačima, za niz geomagnetnih širina severno od 51° geomagn. šir.

IX. PROMENLJIVOST U INTENZITETIMA UPADNIH
KOSMIČKIH ZRAKOVA

Mi smo poslednjih godina više puta objavljivali otkriće velikih i dosada potpuno neobjašnjivih promena u intenzitetima upadnih kosmičkih zrakova, koji su mereni pomoću metode elektroskopa u severnom delu Sjedinjenih Država.¹

Tako, između 21 avgusta i 3 septembra 1937, izvršili smo uspele letove balonima sa elektroskopima kod Omahe do takvih visina da bi definitivno u našim elektroskopima dostigli jonizaciju koja je iznad maksimuma. Vrednost ove jonizacije na vrhu atmosfere, kada se ona svede na gustinu vazduha pri normalnim atmosferskim uslovima, bila je 338 jona/cm³. 1938 god. namerno smo otišli u Omahu u zimu (22 i 23 decembra) i ponovili ove eksperimente, pa smo našli da maksimum jonizacije na vrhu atmosfere iznosi 364 jona, što pretstavlja povećanje od skoro 8 procenata. Isto tako, vidi se na osnovu letova koji su ovde objavljeni, da maksimum jonizacije koji je konstantovan (vidi sl. 115 i 116) na vrhu atmosfere, 25 septembra 1940, iznosi 413 jona/cm³, a to je povećanje od 13,4 procenta prema onom od decembra 1938.

Isto tako, maksimum koji smo dobili u Bizmarku u toku leta 1938 (5 jula) iznosio je 374 jona/cm³, dok maksimum u Bizmarku, koji je nađen 21 avgusta 1940, a koji je objavljen na slici 116, bio je 485 jona/cm³, što znači povećanje od 29,7 procenata prema onom iz 1938 god.

Sem toga, naš maksimum, koji smo dobili u Oklahoma-Sitiju sredinom jula (11, 12, 13) 1938, bio je 280 jona/cm³, dok maksimum koji je konstatovan u toku leta 1940, i to 29 avgusta (vidi sl. 116), iznosi 319 jona/cm³, a to je povećanje od 14 procenata prema onom iz 1938 god.

Uporedite gornje rezultate sa sledećim činjenicama. Mi smo vršili letove balonima sa elektroskopima u San Antoniju tokom leta 1936, i dobili smo maksimum od 234

¹ Vidi, R. A. Millikan and H. V. Neher, *Phys. Rev.*, LVI (1939), 491.

jona/cm³, i ponovili smo ove letove 3 septembra 1940, i našli smo (vidi sl. 116) potpuno isti maksimum kao 1936 god., naime, 234 jona/cm³. Isto tako, ne samo da je naš maksimum u Madrasu, Indija, bio isti 1936 kao i onaj u februaru 1940, nego, kao što je pokazano u izveštaju o našem radu¹ u Indiji, ove dve krive, koje su dobivene u razmaku od četiri godine, nigde se ni po čemu ne razlikuju.

TABLICA XXII

Promene u horizontalnoj komponenti H zemljinog magnetnog polja u C. G. S. jedinicama

	1915	Godišnje promene	1940
Bizmark	0,161	—0,00027	0,154
Omaha	0,197	—0,00049	0,185
Oklahoma-Siti	0,241	—0,00063	0,225
Sent Džordž	0,247	—0,00037	0,238
Maunt Vilson	0,265	—0,00035	0,256

Magnetni podaci sa Maunt Vilsona, Kalifornija;
Tukson, Arizona; Čeltenhama, Meriland

3 septembra 1937	Bez oluje
10 juli 1938	Bez oluje
15 juli	Mala oluja, 13—17 jula
22 decembra	H oko 0,00030 ispod normalnog
avgust 1940	
septembar	Bez oluja

Jednom reči, dok izgleda da kosmički zraci koji upadaju kod Madrasa i kod San Antonija ostaju neverovatno konstantni, dotle oni koji upadaju u severnom delu Sjedinjenih Država pokazuju neverovatne fluktuacije.

Mi pokušavamo na sledeći način da objasnimo ovo čudnovato ponašanje sa stanovišta hipoteze atomske anih-

¹ Vidi H. V. Neher and W. H. Pickering, *Phys. Rev.*, LXI (1942), 408, sl. 1.

lacije: zbog jednostavnosti pretpostavljamo da kosmički procesi koji proizvode kosmičke zrake prouzrokuju sasvim konstantno upadanje ovih pet traka kosmičkih zrakova. Prema Bouenu, helijum je deset puta obilniji od ugljenika, azota, kiseonika ili silicijuma; pa čak i sa tačke gledišta energije, ako je mogućnost transformacije celokupne mase mirovanja u elektronski par ista za sve atome, energija u helijumovoj traci je oko 3,5 puta veća od one koja se nalazi u ugljenikovoj, azotovoj i kiseonikovoj traci, a oko 1,5 puta veća od one energije koja postoji u silicijumovoj traci.

TABLICA XXIII

Vrednosti H za Tukson koje odgovaraju godini i mesecu kada su gornja merenja kosmičkih zrakova bila vršena

O m a h a	B i z m a r k
Sept. 1—30, 1937, 26189 γ	Jul. 1—31, 1938, 26182 γ
Dec. 1—31, 1938, 26162 γ	Avg. 1—31, 1940, 26141 γ
Avg. 1—31, 1940, 26140 γ	
Oklahoma-Siti	
Jul. 1—31, 1938, 26182 γ	
Avg. 1—31, 1940, 26141 γ	

I Bizmark i Omaha leže blizu južne ivice polarne kape zrakova helijumove anihilacije, za koju smo mi, na osnovu merenja pomoću vertikalnih brojača, izračunali da se nalazi na 54° Sev. geomagn. šir., a na osnovu elektroskopskih merenja da je između 50° Sev. geomagn. šir. i 59° Sev. geomagn. šir. Čak i sa neznatnim promenama zemljinog magnetizma, ova ivica helijumove polarne kape pomerace se prema severu ili jugu; a pošto je otpor koji se suprotstavlja upadnim elektronima vrlo mali na severnim geografskim širinama, relativni efekat promena zemljinog magnetnog polja može da bude odgovarajuće veličine, u zavisnosti od vrste uzroka koji izaziva promenu. Na ekvatorskim širinama, gde je otpor koji se

suprotstavlja ovim upadnim elektronima, recimo, osam puta veći nego u Bizmarku ili Omaha, fluktuacije zemljinog magnetnog polja imaće manji uticaj, a uopšte nikakav uticaj osim u slučaju kada je mesto posmatranja blizu ivice jedne od pet polarnih kapa koje odgovaraju širini ulaska jedne od traka kosmičkih zrakova. МИЛЕНКО БОСНИЋ

Pri sadašnjim ispitivanjima, prema tablici XX, helijumovi zraci sa zapadnog horizonta prolaze kroz elektroskop već u gornjim slojevima atmosfere, pa bi vrlo mala promena zemljinog magnetnog polja, koja bi učinila da se traka pomeri, recimo, za 2° ka jugu, prema Lemetr-Valartinim krivama, prebacila veći deo energije helijumove trake na vrh Omaha-krive. Ona se verovatno stvarno tamo i nalazi kod onih posmatranja pri kojima Omaha-kriva ide većma uvis nego što smo opazili da ona to čini pri ma kojem od naših drugih ispitivanja na tome mestu.

Oklahoma Siti je jedino mesto, sem Bizmarka i Omaha, u kome su primećene ove promene, pa i ovde su one u manjoj meri bile osetne. Oklahoma Siti je stvarno sasvim blizu izračunate širine ulaska ugljenikove trake. Razlog za velike vrednosti koje su 1940 god. dobivene za Bizmark-, Omaha- i Oklahoma Siti-krive jeste taj, što su se tada ivice helijumove i ugljenikove polarne kape nalazile južnije nego za vreme prethodnih merenja. Sem toga, kao što pokazuje tablica XX, nagib podizanja na novi plato energije mnogo se proširuje kod traka koje su dalje prema jugu. Ovo je još jedan razlog zašto mala promena zemljinog magnetnog polja ima neznatan efekat na širinama koje se nalaze južnije, a veliki efekat na onim koje su severnije.

Prema ovoj hipotezi, povećanje intenziteta kosmičkih zrakova u Bizmarku i Omaha znači pomeranje ivice helijumove polarne kape prema jugu, a takvo pomeranje, sa svoje strane, znači slabljenje jačine zemljinog magnetnog polja. Takvo slabljenje je stvarno prikazano u tablici XXII, koju je pripremio d-r Nikolson (S. B. Nicholson), iz observatorije Mount Wilson, koji radi na iznalaženju uzajamne veze između aktivnosti sunčevih pega i magnetnih oluja, a

koji nam isto tako kaže da magnetne oluje obično pre odgovaraju nekom slabljenju nego jačanju zemljinog magnetnog polja. Dalji dokaz takvog slabljenja zemljinog magnetnog polja između maja 1936 god. i maja 1938 god. može da se vidi na slici 1,¹ koju smo uzeli iz članka Forbuša (S. E. Forbush),² iz Karnegijeve Zadužbine u Vašingtonu.

Kao još jedno dalje proveravanje ove verovatne povezanosti između intenziteta kosmičkih zrakova i jačine zemljinog magnetnog polja u zapadnom delu Sjedinjenih Država, direktor Geodetske obalske ogleadne stanice L. O. Kolbert (Colbert) bio je ljubazan da nam da podatke, koje smo mi sastavili u obliku kakav je prikazan u tablici XXIII. Ona je određenija nego tablica XXII, jer pokazuje da se u svakom od gore posmatranih perioda vremena (godina i mesec) u kojem smo mi primetili povećanje intenziteta kosmičkih zrakova iznad njegove vrednosti na istom mestu u nekoj drugoj godini i mesecu takođe dogodilo i neko odgovarajuće malo smanjenje horizontalne komponente zemljinog magnetnog polja u magnetnoj opservatoriji u Tuksonu.

X. KOMPONENTA KOSMIČKIH ZRAKOVA KOJA JE OSETLJIVA PREMA MAGNETNOM POLJU

S obzirom na veću tačnost ovih elektroskopskih merenja nego što je to bio slučaj sa prethodnim, mi smo, na osnovu novih krivih prikazanih na slici 116, koje su kombinovane sa nepromenjenim merenjima u Madrasu,³ izračunali da komponenta koja je osetljiva prema magnetnom polju, a koja je određena pomoću elektroskopskih merenja, iznosi 65 procenata od celokupne upadne energije kosmičkih zrakova. Ona u celosti potiče od upadnih naelektrisanih čestica, si-

¹ Vidi, R. A. Millikan and H. V. Neher, *Phys. Rev.*, LVI (1939), 492.

² S. E. Forbush, *Phys. Rev.*, LIV (1938), 975.

³ Vidi sl. 1, 7 i 8 Millikan, Neher and Pickering, *Phys. Rev.*, LXI, (1942), 397.

gurno elektrona ili protona. Zasad ne postoji način da se iznađe koji deo komponente koja nije osetljiva prema magnetnom polju potiče od naelektrisanih čestica, a koji od fotona, iako jedan njen deo nesumnjivo potiče od prvih, a verovatno skoro i sva komponenta.

Oževi proštrani pljuskovi. — Postoje izvesne vrste efekata kosmičkih zrakova za koje neki naučni radnici koji se bave problemima kosmičkih zrakova smatraju da se lako ne mogu dovesti u sklad sa hipotezom transformacije mase mirovanja atoma u elektronske parove u međuzvezdanom prostoru. Tako Ože¹ i njegovi saradnici u Parizu, pri eksperimentima pod vedrim nebom, našli su koincidencije između Gajger—Milerovih brojača nameštenih odvojeno na istoj horizontalnoj ravni na nekoliko stotina metara jedni od drugih. Pretpostavljajući da ove koincidencije potiču od kaskadnih pljuskova, koji se proizvode na vrhu atmosfere i koji dostižu svoj maksimum otprilike na nivou morske površine, za takve pljuskove se izračunava da na nivou morske površine odgovaraju totalnim energijama sve do 10^{15} elektron-volta, pa se pretpostavlja da ih proizvode primarne čestice, čije energije iznose čak do 10^{18} elektron-volta. Pošto niko nije primetio ni jednu jedinu česticu sa energijom preko 20×10^9 elektron-volta, neminovno se javlja sumnja u pogledu tačnosti pretpostavke na osnovu koje se dobivaju tako ogromne korpuskularne energije. Hipoteza atomske anihilacije primenjena na najteži atom, uranijum, dala bi elektronski par kosmičkih zrakova, od kojih bi svaki član imao energiju od samo 126 milijardi elektron-volta (odnosno $1,3 \times 10^{11}$ elektron-volta); i kad bi se javio siguran dokaz da postoje primarni kosmički zraci veće energije nego što je ova, tada bi, na bazi hipoteze, trebalo da se pretpostavi da veći agregati od uranijuma mogu da se pretvore u jedan jedini elektronski par. Premda su ovi ogromni pljuskovi stvarno vrlo retki događaji, meni ne izgleda da je vreme sazrelo za takvu pretpostavku.

¹ Pierre Auger, „What Are Cosmic Rays?“ (Chicago, University of Chicago Press, 1945), str. 96.

Šajnov (Schein), Džeseov (Jesse), i Volanov (Wollan)¹ eksperiment. Ukoliko se tiče hipoteze atomske anihilacije, nema nikakve razlike da li su proizvedeni parovi elektronski ili protonski parovi. Iz razlogâ koji su već dati, mislili smo da je dokaz za prve bolji nego za druge. Nils Arli (Niels Arley)² ipak smatra eksperiment Šajna, Džesea, i Volana kao „verovatno najneposredniji eksperiment koji pokazuje da je elektronska hipoteza nepomirljiva sa eksperimentalnim činjenicama“. Ovaj zaključak izgleda da je osnovan na mišljenju da blizu vrha atmosfere „tvrda komponenta ne prolazi ni kroz kakav maksimum“, nego se stalno povećava sve do vrha — mišljenje koje je definitivno opovrgnuto jednostavnom činjenicom da su mezotroni, koji sačinjavaju tvrdi komponentu, sigurno sekundarne čestice. Eksperiment se sastoji u tome, što se sistem brojača stavi ispod olovnih ploča debljine 4, 6, 8, 10, 12 i 18 cm, koje se odnesu gore do pritiska od 2 cm živinog stuba od vrha atmosfere, pa se konstatuje da nema više elektrona iz pljusкова ispod olovne ploče, čija je debljina 4 cm, kao ni ispod ma koje od onih ploča koje su deblje.

Međutim, na najvišem dostignutom položaju, celokupna minimalna količina materije iznad brojača iznosila je 4 cm olova plus 2 cm žive, tj., ne samo 2 cm žive, kao što je prikazano u autorovom dijagramu, nego, umesto toga ekvivalent od otprilike 7 cm olova. Ova debljina odgovara završenom delu „Rosijeve krive pljusкова“,³ tako da su ovi rezultati upravo ono što treba da se očekuje od upadnih elektrona. Potrebno je još eksperimentalnih činjenica pre nego što može da se usvoji ovaj argument za upadne protone.

Nove činjenice na polju nuklearne fizike, od kojih su kosmički zraci jedan deo, pristizale su ubrzanim korakom

¹ *Phys. Rev.*, LVII (1940), 847; LIX (1941), 615 i 930.

² „Cosmic Radiation and Negative Protons“, *Mat.-Fys. Meddel.*, Vol. XXIII (Kobenhavn, 1945). Ovo je jedan odličan pregled proučavane oblasti.

³ Pierre Auger, *op. cit.*, str. 44.

u toku poslednje decenije, pa bi se moglo očekivati da će se ova brzina u sledećoj deceniji još i povećati.

Veliki jonizacioni udari kosmičkih zrakova. — Proučavanja koja su osnovana na upotrebi zemljinog magnetnog polja kao spektrografa za iznalaženje korpuskularnih energija ne mogu da idu dalje od 17×10^9 elektron-volta; ali, ako je hipoteza atomske anihilacije tačna, ovo ne bi trebalo da bude granična energija upadnih čestica, jer iznad takozvane silicijumove trake — koja pretstavlja kompleks koji može da uključi energije Mg, Al, P i S, a da ne izide izvan granica našeg razlaganja njegove energije (uzete kao 13,2 milijarde elektron-volta) — trebalo bi da dođe (vidi dodatak I) mnogo slabija traka od oko 20 milijardi elektron-volta, koja potiče od A, K, Ca grupe atoma, a zatim složena Fe traka od oko 27 milijardi elektron-volta, koja uključuje V, Cr i Mn, a iza ovoga, do zemlje bi mogli doći vrlo retki udari koji potiču od još težih atoma; ali sve ovo skupljeno zajedno mora da bude < 35 procenata celokupne upadne energije kosmičkih zrakova.

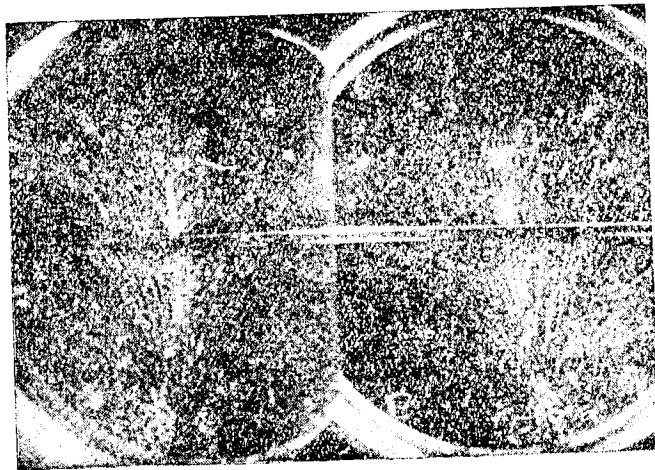
Eksperimentalna situacija iznad 17 milijardi elektron-volta prikazana je na slikama 118 i 119. Slika 118 prikazuje ogromno rasprskavanje koje su Anderson i Nedemajer snimili na Paiks Piku 1935 god. Ona pokazuje na stotinu tragova, čiji broj i dužina mogu da budu procenjeni, dok energija potrebna da se proizvede ovaj broj jonova može da bude izračunata. Međutim, metoda koja proizlazi iz slike 119 jednostavnija je i pouzdanija. Naglo parcijalno razelektrisanje vlakna Neherovog elektroskopa može tačno da se izmeri, a vrednost energije jonizacije proizvedene u elektroskopu može da se izračuna iz električnog kapaciteta sistema. Ovu tehniku vešto primenjuju Kristi i Kusaka¹, a i Lap.² Sve najveće energije koje su na ovaj način direktno primećene leže u granicama 10^{10} — 10^{11} elektron-volta. Jonizacioni udari koji sadrže direktno merene energije veće od

¹ *Phys. Rev.*, LIX (1941), 414.

² *Phys. Rev.*, LXIX (1946), 321.

2×10^{10} ne dešavaju se češće nego u intervalima od 4 dana. Međutim, ova vrsta proučavanja nalazi se još uvek u početnom stadijumu. Treba da očekujemo mnogo bolje razumevanje apsorpcije kosmičkih zrakova na osnovu daljeg proučavanja ovih fenomena.

Izvod o kosmičkim zracima. — Najznačajnija od gornjih činjenica o kosmičkim zracima može da se u kratkom izvodu

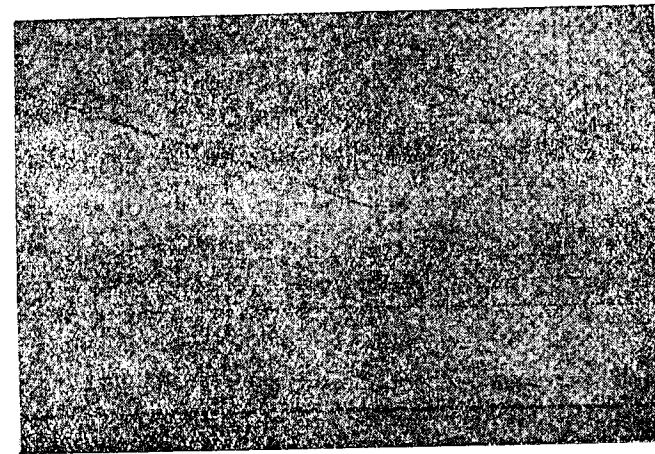


Sl. 118. — Jonizacioni udar (rasprskavanje) kosmičkog zraka koji pokazuje više od 300 tragova, ali koji su samo neznatno savijeni u magnetnom polju od 7900 gausa. Otuda ukupna energija ovih tragova verovatno prelazi 15 milijardi elektron-volta, odnosno $1,5 \times 10^{10}$ (vidi, Anderson and Neddermeyer, *Phys. Rev.*, L [1936], 265)

prikaže na sledeći način: Tačno je dokazano, da se kosmički zraci uglavnom sastoje od naelektrisanih čestica koje pogodaju zemlju sa svih strana nebeskog svoda. Ove čestice su sigurno ili elektroni ili protoni — verovatno elektroni — koji kontinualno bombarduju našu zemlju energijama koje su tačno izmerene u granicama energija koje se prostiru od oko 2 milijarde elektron-volta pa sve do 17 milijardi elektron-volta, u kojim se granicama nalazi 65 procenata celokupne upadne energije kosmičkih zrakova. Ovo su najveće korpuskularne energije koje su ikada nađene i tačno

izmerene. One su hiljadu puta veće od najvećih korpuskularnih energija koje su emitovane usled radioaktivnih transformacija u obliku α -, β - i γ -zrakova radijuma i torijuma.

Što se tiče izvora ovih tako ogromnih korpuskularnih energija, *pretpostavlja se* da jedan atom negde daleko u vasioni, oslobođen od efekata bombardovanja koje vrše drugi atomi, može, kad je dovoljno dugo vremena tako ostavljen



Sl. 119. — Jonizacioni udar od oko 10^9 elektron-volta, koji je otkriven na osnovu naglog skoka elektro-skopskog vlakna; i koji je izmeren pomoću električnih konstanti sistema Neherovog elektroškopa

sam sebi, da postane nestabilan i da izvrši samoubistvo, ili bolje rečeno, da pretvori svoju celokupnu energiju mase mirovanja, m , u saglasnosti sa Ajnštajnovom jednačinom $E = mc^2$, uz stvaranje para pozitivnih i negativnih elektrona, koji, s obzirom na Njutnov treći zakon kretanja, odleću jedan od drugog, svaki sa jednom polovinom energije, koja je izračunata iz poznate mase atoma koji eksploduje.

Po ovoj hipotezi, kad se krećemo od magnetnog ekvatora prema polu, trebalo bi da nailazimo na seriju uzastopnih geomagnetnih širina, gde bi na svakoj pojedinoj širini po jedan ili drugi od pet najrasprostranjenijih atoma

u međuzvezdanom prostoru¹ koji prvi bude osposobljen zbog svoje posebne energije, prodro kroz barijeru zemljinog magnetnog polja, tako da čovek može tu i da ga posmatra. U posebnom slučaju, kada se ide na sever od ekvatora u Indiji, vertikalno upadni zraci silicijumove anihilacije (13,2 milijardi elektron-volta) treba prvo da se jave na oko 20° ili 21° geomagnetne širine; kiseonikovi zraci (7,5 milijardi elektron-volta) treba da se jave na oko 33° ili 34° u Meksiku; azotovi zraci (6,5 milijardi elektron-volta) na oko 38° ili 39° u Sjedinjenim Državama; ugljenikovi zraci (5,6 milijardi elektron-volta) na oko 42° u Sjedinjenim Državama; a helijumovi zraci (1,9 milijardi elektron-volta) treba da se jave na 54°. Sem toga, dok se krećemo od ekvatora na sever prema polu, ne bi trebalo da se nađu nikakvi novi kosmički zraci koji vertikalno upadaju u zemlju između ma koje od ovih izračunatih širina. Pažljivo proučavanje raspodele geografske širine upadnih kosmičkih zrakova, dok se ide od ekvatora prema polu, sada je stvarno pokazalo da se dobro slaže sa ovom teorijom njihovog proizvođenja.

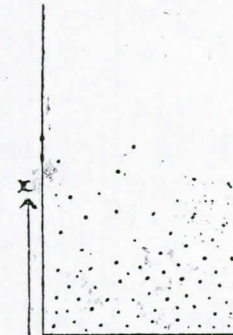
Ukupan broj gornje cele serije upadnih korpuskularnih kosmičkih zrakova, koji udaraju u vrh naše atmosfere na kvadratni santimetar zemljine lopte na tome nivou, izračunat je pomoću metoda prikazanih na prethodnim stranama, pa iznosi približno jedan udar svake dve sekunde. Međutim, uprkos ogromne energije svakog elektronskog udara, ukupna energija kosmičkih zrakova koja ulazi u zemlju, s obzirom na relativnu neučestanost udara, iznosi otprilike samo onoliko koliko i energija koja dolazi do zemlje u obliku svetlosti sa zvezda, što znači, i suviše je mala da ikada ma na koji način bude korisna kao neki znatan izvor energije čak i prodavcu „kokica“ na uglu ulice.

¹ Izuzev za vodonik, koji, iako ima najveću obilnost nalaženja od svih elemenata, i za koji se zaista pretpostavlja da sačinjava 90 procenata svemira, ima i suviše malu energiju mase da bi se ona mogla opaziti prilikom letova balona.

D O D A T A K A

IZRAČUNAVANJE VREDNOSTI ne IZ MOBILITETA I KOEFICIJENTA DIFUZIJE

Ako pretpostavimo da se gasni joni, koji su samo naelektrisani, molekuli ili gomile molekula, ponašaju tačno kao naelektrisani molekuli oko njih, oni će težiti da se rasturaju, kao što čine i drugi molekuli, i vršiće delimičan gasni pritisak tačno iste veličine kao što bi to vršio isti broj molekula ma kojeg gasa. Prema tome, zamislimo da je donji deo suda na sl. 120 ispunjen gasom po kome su raspoređeni joni, i zamislimo da ovi joni polako vrše difuziju naviše. Neka n' bude jonska koncentracija, tj. broj jona po kubnom santimetru na ma kome otstojanju x od dna suda. U tom slučaju broj N jonova koji prolaze svakog sekunda kroz 1 kv. cm — upravno na x na otstojanju x od dna suda — mora biti



Sl. 120

direktno proporcionalan gradijentu koncentracije $\frac{dn'}{dx}$, a činiatelj proporcionalnosti u datom gasu je po definiciji difuzioni koeficijent D jonova koji prolaze kroz ovaj gas, tj.

$$N = D \frac{dn'}{dx} \dots \dots \dots (42)$$

Ali kako je N takođe jednako proizvodu srednje brzine V , kojom joni struje naviše kod x , i broja jonova po kubnom

santimetru kod x , tj. kako je $N = n'V$, imamo na osnovu jednačine (42):

$$V = \frac{D \cdot dn'}{n' \cdot dx}$$

Sila koja djeluje na ove n' -jone, da bi prouzrokovala ovo kretanje naviše, predstavlja razliku u parcijalnom pritisku jona na vrhu i dnu jednog kubnog santimetra kod tačke x . Prema tome, ona je ravna $\frac{dp}{dx}$ dina, a razmera između sile koja djeluje i brzine proizvedene tom silom iznosi

$$\frac{\frac{dp}{dx}}{\frac{D \cdot dn'}{n' \cdot dx}}$$

Međutim, ovaj odnos mora biti nezavisan od posebnog tipa sile koja prouzrokuje kretanje. Zamislimo stoga iste n' -jone stavljene u pokret ne procesom difuzije, već dejstvom električnog polja jačine F . Ukupna sila koja djeluje na n' -jone bila bi u tom slučaju Fen' , a ako uzmemo v kao proizvedenu brzinu, onda će odnos između djelujuće sile i proizvedene brzine biti sada $\frac{Fen'}{v}$. Prema tome, na osnovu činjenice da je ovaj odnos stalan, ma kakva vrsta sile proizvodila ovo kretanje, imaćemo

$$\frac{Fen'}{v} = \frac{\frac{dp}{dx}}{\frac{D \cdot dn'}{n' \cdot dx}} \dots \dots \dots (43)$$

Ako sad v_0 označava brzinu u jedinici polja, količinu koja se tehnički zove „jonski mobilitet“ (pokretljivost jona), tada je $\frac{v}{F} = v_0$. A kako je parcijalni pritisak p pro-

porcionalan n' , tj. kako je $p = Kn'$, izlazi da je $\frac{dp}{p} = \frac{dn'}{n'}$.

Otuda se jednačina (43) svodi na

$$\frac{en'}{v_0} = \frac{1}{\frac{D}{p}}$$

ili

$$v_0 = De \frac{n'}{p} \dots \dots \dots (44)$$

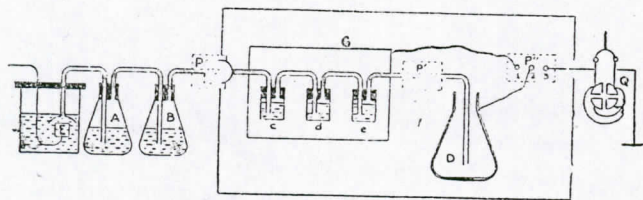
Međutim, ako pretpostavimo, ukoliko se tiče svih odnosa pritiska, da joni djeluju kao nenaelektrisani molekuli (ovo je možda bila jedna nesigurna pretpostavka u svoje vreme, ma da se pokazala kao tačna), imaćemo $\frac{n'}{p} = \frac{n}{P}$, gde n predstavlja broj molekula po kubnom santimetru vazduha, a P je pritisak koji oni proizvode, tj. vazdušni pritisak. Na osnovu jednačine (44) imaćemo onda

$$ne = \frac{v_0 P}{D} \dots \dots \dots (45)$$

D O D A T A K B

TAUNSENDOV PRVI POKUŠAJ ODREĐIVANJA
VREDNOSTI ZA e

Slika 121 pokazuje raspored upotrebljene aparature. Kiseonik koji se diže iz elektrode E provodi se prvo kroz rastvor kalijum jodida A , da bi se uklonio ozon; zatim kroz vodu u B , da bi joni mogli da obrazuju oblak. Ovaj vlagom zasićeni gas prolazi zatim kroz kanal u jednom električnom izolatoru — parafinskom bloku P — u sudiće



Sl. 121

c , d , e , koji sadrže koncentrisanu sumpornu kiselinu. Ovi sudići za sušenje uklanjaju vlagu iz vazduha i onaj deo električnog tovara koji se drži na jonima koji su u procesu provođenja kroz c , d , e stvarno dodirnuti sumpornu kiselinu. Suv vazduh koji sadrži ostatak električnog tovara izlazi kroz kanal u parafinskom bloku P' i ide u stakleni sud D . (Ako je gas koji se proučava lakši od vazduha, tj. vodonik, sud D je naravno bio izvrnut). Spoljna strana suda D je pokrivena kalajnim listom koji je u vezi sa

jednom od tri živine kapi koje nosi parafinski blok P'' . Ako vazduh u D ne sadrži u početku nikakav električni tovar, onda će se električni tovar koji je tačno ravan količini elektriciteta koja ulazi u stakleni sud D pojaviti indukcijom na kalajnom listu koji pokriva ovaj sud, i ova količina q_1 može se tada izmeriti vezivanjem živine kapi 2 za kap 3, koja je spojena sa kvadratnim elektrometrom Q , i posmatranjem skretanja u minutu. Na potpuno sličan način ukupna količina elektriciteta — koja je ostala svakog minuta u cevima za sušenje c , d , e — ravna je tačno količini koja se javlja indukcijom na spoljnim zidovima šupljeg metalnog suda G , koji okružuje cevi c , d , e . Ova količina q_2 može se izmeriti vezivanjem živine kapi 1 za kap 3 i posmatranjem skretanja kvadratnog elektrometra u svakom minutu. Broj kubnih santimetara gasa koji prolazi kroz aparat u minutu može se lako naći iz broja ampera struje koji su upotrebljeni u aparatu za elektrolizu E i iz elektrohemiskog ekvivalenta gasa. Deljenjem količina elektriciteta koje se javljaju svakog minuta u D i G , brojem kubnih santimetara gasa proizvedenog svakog minuta, dobivamo ukupnu količinu električnog tovara po kubnom santimetru koju nosi oblak.

Povećanje težine cevi za sušenje c , d , e po kubnom santimetru gasa koji prolazi, s odbitkom težine po kubnom santimetru zasićene vodene pare, daje težinu oblaka po svakom kubnom santimetru. Ovim se upotpunjuju merenja izložena pod (2) i (3), na str. 46.

Što se tiče (4), na istoj strani, Taunsend je utvrdio prosečnu veličinu vodenih kapljica prebacivanjem oblaka koji se javlja iz B u stakleni sud i posmatranjem koliko vremena je bilo potrebno gornjem delu oblaka da se slegne za izvestan broj santimetara. Poluprečnik kapljica može se tada dobiti na osnovu čisto teoriskih istraživanja, koja je izvršio Džordž Stoks¹, po kojima je brzina v_1 pada loptaste

¹ Lamb, *Hydrodynamics*, 1895, str. 533.

kapljice kroz gas, čiji koeficijent viskoznosti iznosi η , data formulom

$$v_1 = \frac{2}{9} \frac{ga^2}{\eta} \sigma$$

gde σ predstavlja gustinu kapljice. Na osnovu ovoga Taunsend je dobio srednji poluprečnik a kapljica i proračunao njihovu srednju težinu m pomoću poznate formule $m = \frac{4}{3} \pi a^3 \sigma$.

On je bio posle toga spreman da nastavi rad kao što je izloženo pod (5) — videti str. 46

D O D A T A K C

JEDNAČINA BRAUNOVOG KRETANJA

Vrlo prosto izvođenje ove Ajnštajnovne jednačine dao je Lanžven u Parizu¹, uglavnom na sledeći način:

Na osnovu kinetičke teorije gasova, imamo $PV = RT = \frac{1}{3} N m \bar{c}^2$, gde \bar{c}^2 predstavlja srednju vrednost kvadrata brzina molekula, N broj molekula u gram-molekulu, a m masu svakog od njih. Otuda je srednja kinetička energija termičkog kretanja E svakog molekula data formulom:

$$E = \frac{1}{2} m \bar{c}^2 = \frac{3}{2} \frac{RT}{N}$$

Kako prilikom posmatranja Braunovih kretanja beležimo samo kretanja duž jedne ose, podelićemo ukupnu energiju termičkog kretanja u tri dela, pri čemu svaki deo odgovara kretanju duž jedne od tri ose i, stavljajući da je brzina kretanja duž x -ose ravna $\frac{dx}{dt}$, dobivamo:

$$\frac{E}{3} = \frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{RT}{N} \dots \dots \dots (46)$$

Dakle, svaka Braunova čestica, kreće se, prema Ajnštajnovoj pretpostavci, sa srednjom energijom kretanja duž svake ose, veličine $\frac{1}{2} \frac{RT}{N}$. Ovo kretanje je posledica molekularnog bombardovanja, i da bismo mogli napisati jednačinu

Comptes Rendus, CXLVI (1908), 530

za kretanja u svakom trenutku jedne čestice na koju dejstvuju takve sile, potrebno je da znamo samo 1) vrednost X za x-komponente svih udara koje su molekuli izvršili toga trenutka, i 2) otpor koji medijum pruža kretanju čestice kroz njega. Ovu poslednju količinu označili smo kao jednaku sa Kv i utvrdili smo, da ona u slučaju kretanja uljanih kapljica kroz gas, ima vrednost

$$6\pi\eta a \left(1 + A \frac{l}{a}\right)^{-1}$$

Jednačinu kretanja čestice u ma kome trenutku pod molekularnim bombardovanjem možemo napisati u obliku

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -K \frac{dx}{dt} + X \dots\dots\dots (47)$$

Kako smo kod Braunovih kretanja zainteresovani samo apsolutnim vrednostima pomeranja bez obzira na njihov znak, poželjno je promeniti oblik ove jednačine, tako da ona obuhvati x^2 i $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$. Ovo se može postići množenjem svega

sa x . Na taj način, posle zamenjivanja $x \frac{d^2x}{dt^2}$ njegovom vrednošću $\frac{1}{2} \frac{d^2(x^2)}{dt^2} - \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ dobivamo:

$$\frac{m}{2} \frac{d^2(x^2)}{dt^2} - m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = -\frac{K}{2} \frac{d(x^2)}{dt} + Xx \dots\dots\dots (48)$$

Lanžven sada smatra da je srednji rezultat koji proizlazi iz primene ove jednačine u datom trenutku na veliki broj različitih čestica uvek isti.

Prema tome, stavljajući z za $\frac{d(\bar{x}^2)}{dt}$, gde \bar{x}^2 označava srednju vrednost ukupnog velikog broja različitih vrednosti za x^2 — on dobiva, posle zamenjivanja $\frac{RT}{N}$ za $m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ i s obzirom da uzimanjem srednje vrednosti, pošto X na

kraju krajeva može isto tako biti pozitivno kao i negativno, postaje $\bar{Xx} = 0$, imaćemo

$$\frac{m}{dt} \frac{dz}{dt} - \frac{RT}{N} = -\frac{Kz}{2}$$

Razdvajajući promenljive, ovo postaje:

$$\frac{dz}{\left(z - \frac{2RT}{NK}\right)} = -\frac{K}{m} dt,$$

koje integracijom između granica 0 i τ daje:

$$z = \frac{2RT}{NK} + Ce^{-\frac{K}{m}\tau} \dots\dots\dots (49)$$

Za ma koji razmak vremena τ koji je dovoljan za merenje, ova jednačina svodi se na vrednost prvog izraza. Jer, kad su Braunova kretanja uopšte primetljiva, a je 10^{-4} cm, ili manje, a pošto je K otprilike jednako $6\pi\eta a$, vidimo, uzimajući da je gustina čestice ravna jedinici, da je

$$\frac{m}{K} = \frac{\frac{4}{3}\pi(10^{-4})^3}{6\pi \cdot 0,00018 \times 10^{-4}} = 10^{-5}.$$

Otuda kad se uzme da je τ veće od 10^{-5} sekunada, izraz $e^{-\frac{K}{m}\tau}$ brzo dostiže nulu, tako da je za svaki merljivi vremenski razmak

$$z = \frac{2RT}{NK}$$

ili

$$\frac{d(\bar{x}^2)}{dt} = \frac{2RT}{NK}$$

a puštajući da $\Delta \bar{x}^2$ predstavlja promenu u \bar{x}^2 u vremenu τ

$$\Delta \bar{x}^2 = \frac{2RT}{NK} \tau \dots\dots\dots (50)$$

Ova jednačina znači da ako bismo mogli da posmatramo veliki broj n potpuno sličnih čestica u toku vremena τ , zatim

da dignemo na kvadrat pomeranje koje svaka čestica pretrpi za to vreme duž ose x , i da izvedemo srednju vrednost svih ovih kvadrata pomeranja, onda bi trebalo da dobijemo količinu $\frac{2RT}{NK}\tau$. Ali, moraćemo dobiti očigledno isti rezultat ako posmatramo jednu i istu česticu u toku n -vremenskih razmaka, dužine τ , a zatim izvedemo srednju vrednost ovih n -pomeranja. Ovaj poslednji postupak je očevidno pouzdaniji, jer se kod prvoga mora pretpostaviti potpuna istovetnost čestica.

D O D A T A K D

INERCIJA ILI MASA ELEKTRIČNOG TOVARA NA LOPTI POLUPREČNIKA a

Ako slika 122 predstavlja magnet polarne površine A , čija su dva pola rastavljena d cm i imaju ukupnu magnetizaciju M , gustinu magnetizacije σ , i jačinu polja između njih u iznosu H , onda rad koji je potreban za prenos jedinice pola od M do M' je Hd , a rad potreban za stvaranje polova M i M' , tj. za prenos M jedinica magnetizma

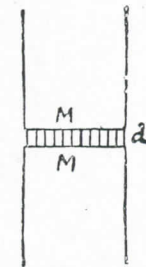
protiv srednje jačine polja $\frac{H}{2}$ iznosi $\frac{HMd}{2}$.

Otuda, ukupna energija E_1 magnetskog polja data je formulom

$$E_1 = \frac{HMd}{2} = \frac{HA\sigma d}{2},$$

ali pošto je $H = 4\pi\sigma$

$$E_1 = \frac{H^2 Ad}{8\pi}$$



Sl. 122

ili kako Ad predstavlja zapreminu polja, energija E po jedinici zapremine magnetskog polja data je formulom

$$E = \frac{H^2}{8\pi} \dots\dots\dots (51)$$

Jačina magnetskog polja na otstojanju r od električnog tovara u kretanju, u ravni tovara, je $\frac{ev}{r^2}$, ako je e električni tovar,

Остојин — треба бржати

a v njegova brzina. Osim toga, jačina magnetskog polja u tački koja je udaljena $r\theta$ od električnog tovara, gde θ označava ugao između r i pravca kretanja, data je formulom

$$H = \frac{ev}{r^2} \sin \theta.$$

Otuda ukupna energija magnetskog polja, stvorena dejstvom električnog tovara u kretanju, iznosi

$$\int E d\tau = \int \frac{H^2}{8\pi} d\tau$$

gde je τ elemenat zapremine, a integracija je proširena preko celog prostora. Međutim, izražavajući veličinama v , θ i ϕ , imaćemo

$$d\tau = r d\theta \cdot dr \cdot r \sin \theta d\phi$$

Prema tome, ukupna energija =

$$= \frac{e^2 v^2}{8\pi} \int \frac{\sin^2 \theta}{r^4} d\tau = \frac{e^2 v^2}{8\pi} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta = \frac{e^2 v^2}{3a}$$

Kako je kinetička energija = $\frac{1}{2} mv^2$, ekvivalent mase m električnog tovara u kretanju nalazi se stavljajući

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{e^2 v^2}{3a}$$

Prema tome,

$$m = \frac{2}{3} \frac{e^2}{a} \dots \dots \dots (52)$$

Poluprečnik loptastog električnog tovara, koji je imao masu jednaku posmatranoj masi negativnog elektrona, nalazi se umetanjem u poslednju jednačinu vrednosti $e = 4,803 \times 10^{-10}$ elektrostatičkih jedinica = $1,591 \times 10^{-20}$ elektromagnetskih jedinica i $\frac{e}{m} = 1,757 \times 10^7$ elektromagnetskih jedinica. Ovo daje

$$a = 1,9 \times 10^{-13} \text{ cm.}$$

Izraz koji je ovde dobijen za m očevidno važi samo dotle dok je magnetsko polje raspoređeno simetrično oko električnog tovara u kretanju, kao što je pretpostavljeno pri integraciji, tj. dotle dok je v malo u poređenju sa brzinom svetlosti. Kad v premaši 0,1 brzine svetlosti c , masa električnog tovara počinje da se merljivo povećava i postaje beskonačna kad se dostigne brzina svetlosti. Prema teoriji koju je razvio Lorenc, ako se masa za male brzine označi sa m_0 , a masa pri ma kojoj brzini v označi sa m , onda je

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots \dots \dots (53)$$

Ovo je formula za koju je Buherer utvrdio da važi u potpunosti za mase negativnih elektrona čije brzine iznose od 0,3 do 0,8 od brzine svetlosti.

D O D A T A K E

MOLEKULARNI POPREČNI PRESEK I SREDNJA SLOBODNA PUTANJA

Ako postoji jedan prost molekul u miru u kubnom santimetru, verovatnoća da će drugi molekul, koji je bačen kroz tu kocku, udariti o prvi molekul iznosi očevidno $\frac{\pi d^2}{1}$ gde je d srednji prečnik ova dva molekula. Ako ima n sadržanih molekula, verovatnoća sudara uvećana je sa n -puta, tj. ona postaje $\frac{n\pi d^2}{1}$. Ali, prosečno uzev, verovatnoća sudara pri prelaženju jednog santimetra predstavlja broj sudara koji su stvarno izvršeni pri prelaženju toga otstojanja. Srednja slobodna putanja l je pređeno otstojanje podeljeno brojem sudara učinjenih na tome putu. Otuda

$$l = \frac{1}{n \pi d^2} \dots \dots \dots (54)$$

Ovo bi bilo pravilan izraz za srednju slobodnu putanju jednog molekula koji se kreće kroz grupu molekula u miru. Međutim, ako su ovi molekuli u kretanju, oni će se ponekad kretati u pravcu sudara, koji bi se inače izbegao, tako da će sudari biti mnogobrojniji kad su molekuli u kretanju nego kad su u miru. Koliko bi ovi sudari bili mnogobrojniji zavisice od zakona raspodele brzina molekula.

Razmatranjem Maksvelovog zakona raspodele unosi se faktor $\sqrt{2}$ u imenitelj (videti Jeans, *Dynamical Theory of Gases*), tako da jednačina (54) postaje

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n \pi d^2} \dots \dots \dots (55)$$

D O D A T A K F

BROJ SLOBODNIH POZITIVNIH ELEKTRONA U JEZGRU ATOMA PO RADERFORDOVOJ METODI

Ako N predstavlja broj slobodnih pozitivnih elektrona u jezgru, e elektronski tovar, E poznati električni tovar na α -čestici, naime, $2e$, a $\frac{1}{2} m V^2$ poznatu kinetičku energiju α -čestice, onda — pošto su inercije negativnih elektrona sasvim neznatne u poređenju sa inercijom α -čestice — ako ova poslednja pretrpi приметnu promenu u pravcu, prilikom prolaza kroz atom, to će biti posledica dejstva nuklearnog tovara. Ako b predstavlja najbliži mogućan prilaz α -čestice središtu jezgra, tj. onaj koji nastaje kad se sudar vrši „centralno“, i kad je α -čestica odbačena pravo natrag sa svoje putanje, onda prvobitna kinetička energija $\frac{1}{2} m V^2$ mora biti ravna radu izvršenom protiv električnog polja prilikom približavanja do otstojanja b , tj.

$$\frac{1}{2} m V^2 = \frac{NeE}{b} \dots \dots \dots (56)$$

Međutim, ako pretpostavimo da sudar nije „centralan“, već da je prvobitan pravac α -čestice takav, da bi ako se održi njen pravac, najkraće otstojanje do kojeg se može približiti jezgru biće p (sl. 123). Skretanje α -čestice neće biti ovog puta 180° kao ranije, već neki drugi ugao ϕ . Iz geometrijskih svojstava hiperbole i osnovnih principa mehanike izlazi da je

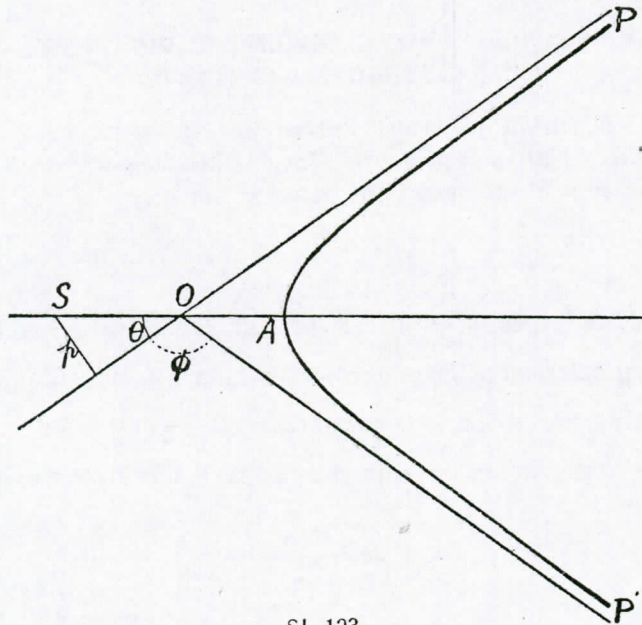
$$p = \frac{b}{2} \cotg \frac{\phi}{2} \dots \dots \dots (57)$$

Jer, neka PAP' predstavlja putanju čestice a $POA = \theta$; takođe neka je V brzina čestice pri ulazu u atom, a v njena brzina kod A . U tom slučaju na osnovu održanja ugaonog impulsa

$$pV = SA \cdot v \dots\dots\dots (58)$$

a na osnovu održanja energije

$$\frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{NeE}{SA}.$$



Sl. 123

Prema tome,
$$v^2 = V^2 \left(1 - \frac{b}{SA}\right) \dots\dots\dots (59)$$

Kako je ekscentričnost $\epsilon = \sec \theta$, a za svaki konični presek žižna daljina je ekscentričnost pomnožena sa polovinom veće ose, tj. $SO = OA \cdot \epsilon$, to sledi da je

$$SA = SO + OA = SO \left(1 + \frac{1}{\epsilon}\right) = p \csc \theta (1 + \cos \theta) = p \cotg \frac{\theta}{2}.$$

Međutim, na osnovu jednačina (58) i (59)

$$p^2 = SA(SA - b) = p \cotg \frac{\theta}{2} \left(p \cotg \frac{\theta}{2} - b\right).$$

Prema tome,

$$b = 2 p \cotg \theta \dots\dots\dots (60)$$

i kako je ugao skretanja ϕ ravan $\pi - 2\theta$, to sledi da

$$\cotg \frac{\phi}{2} = \frac{2p}{b} \dots\dots\dots (61) \text{ Q.E.D.*}$$

Na osnovu metode koja je upotrebljena u Dodatku E, jasno je da ako ima n atoma po kubnom santimetru metalnog lista debljine t , i ako svaki atom ima poluprečnik R , onda verovatnoća M , da će čestica čija je veličina srazmerno mala u poređenju sa R proći kroz jedan od ovih atoma prilikom proleta kroz metalni list, biće data formulom

$$M = \pi R^2 nt.$$

Na sličan način, verovatnoća m da će ona proći na odstojanju p od središta atoma iznosi

$$m = \pi p^2 nt.$$

Ako je ova verovatnoća mala u poređenju sa jedinicom, ona predstavlja deo p ma koga datog broja čestica koji proleće kroz list, koji će stvarno doći na odstojanje p od jezgra nekog atoma metalnog lista.

Deo od ukupnog broja čestica koje će udariti u granicama poluprečnika p i $p + dp$ dat je diferencijacijom:

$$dm = 2\pi p nt \cdot dp,$$

ali iz jednačine (57)

$$dp = -\frac{b}{2} \frac{1}{2} \csc^2 \frac{\phi}{2} d\phi.$$

Dakle,

$$dm = -\frac{\pi}{4} nt b^2 \cot \frac{\phi}{2} \csc^2 \frac{\phi}{2} d\phi.$$

* Quod erat demonstrandum. — Prim. red.

Prema tome, deo ρ koji je skrenut između uglova ϕ_1 i ϕ_2 , dat je integracijom

$$\rho = \frac{\pi}{4} ntb^2 \left(\cot^2 \frac{\phi_1}{2} - \cot^2 \frac{\phi_2}{2} \right).$$

Za ovaj deo od datog broja α -čestica koje su udarile u metalni list, utvrdili su Gajger i Marsden, neposrednim brojanjem metodom scintilacija, da on biva skrenut za uglove koji leže između ma kojih utvrđenih granica ϕ_1 i ϕ_2 . Kako su n i t poznati, b se može odmah naći. Utvrđeno je da vrednost b varira sa prirodom atoma, tako da je veće za teške atome nego za lake, i ima vrednost za zlato u iznosu od $3,4 \times 10^{-12}$ cm. Ovo je, dakle, gornja granica veličine jezgra atoma zlata.

Čim ovako utvrdimo b za ma koji atom, jednačina (56) može se rešiti po N , pošto su E , e i $\frac{1}{2} mV^2$ svi poznati. Na taj način utvrđeno je da broj slobodnih pozitivnih elektrona u jezgru iznosi otprilike polovinu atomske težine atoma i da je veličina jezgra vrlo sićušna u poređenju sa veličinom atoma.

DODATAK G

BOROVO TEORISKO IZVOĐENJE VREDNOSTI RIDBERGOVE KONSTANTE

Njutnova jednačina kružne putanje elektrona e koji se kreće oko središnjeg privlačnog električnog tovara E , na odstojanju a , sa rotacionom frekvencijom n glasi

$$\frac{eE}{a^2} = (2\pi n)^2 ma \dots\dots\dots (62)$$

Kinetička energija elektrona je $\frac{1}{2} m (2\pi na)^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{a}$. Rad koji je potreban za pokretanje elektrona sa njegove putanje na položaj mirovanja u beskonačnosti iznosi $\frac{eE}{a} - \frac{1}{2} m(2\pi na)^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{a}$. Ako označimo ovu količinu energije sa T , odmah će se videti da je

$$\left. \begin{aligned} 2a &= \frac{eE}{T} \\ &= \frac{\sqrt{2} T^{\frac{3}{2}}}{\pi e E \sqrt{m}} \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (63)$$

Ako ovu jednačinu kombinujemo sa (37), dobivamo odmah

$$T = \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{\tau^2 h^2} \quad 2a = \frac{\tau^3 h^2}{2\pi^2 m e E} \quad n = \frac{4\pi^2 m e^2 E^2}{\tau^3 h^3} \dots\dots\dots (64)$$

Prilikom menjaja putanje izračena energija mora biti

$$T_{\tau_1} - T_{\tau_2} = \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{h^2} \left(\frac{1}{\tau_1^2} - \frac{1}{\tau_2^2} \right),$$

a ako stavimo da je ovo jednako $h\nu$, dobićemo Balmerovu formulu (34),

$$\nu = N \left(\frac{1}{\tau_1^2} - \frac{1}{\tau_2^2} \right)$$

gde je

$$N = 2\pi^2 e^2 E^2 \frac{m}{h^3}$$

Pošto je za vodonik $E = e$, imamo

$$N = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3}$$

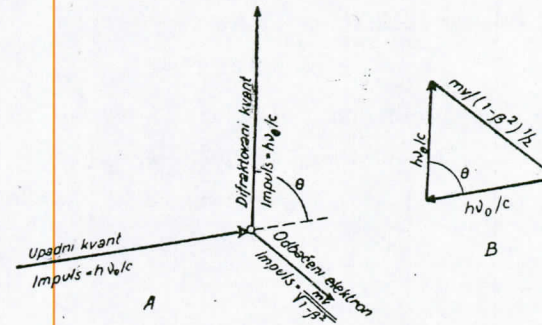
a na osnovu (64)

$$a = \frac{\tau^2 h^2}{4\pi^2 m e^2}$$

D O D A T A K H

KOMPTONOVO TEORISKO IZVOĐENJE PROMENE U TALASNOJ DUŽINI ETARSKIH TALASA ZBOG RASIPANJA KOJE SE VRŠI NA SLOBODNIM ELEKTRONIMA

Zamislamo, kao na sl. 124 A, da je kvant x-zraka, čija je frekvencija ν_0 difraktovan dejstvom jednog elektrona sa masom m . Impuls upadnog zraka biće $h\nu_0/c$, gde je c brzina



Sl. 124

svetlosti, a h Plankova konstanta, dok je impuls difraktovanog zraka $h\nu/c$ pod uglom θ sa početnim impulsom.

Načelo održanja impulsa zahteva da impuls uzmarka difraktovanog elektrona bude ravan vektorskoj razlici između impulsa ova dva zraka, kao na sl. 124 B. Momenat elektrona, $m\beta c/\sqrt{1-\beta^2}$ dat je na taj način pomoću sledećeg odnosa:

$$\left(\frac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \right)^2 = \left(\frac{h\nu_0}{c} \right)^2 + \left(\frac{h\nu}{c} \right)^2 - 2 \frac{h\nu_0}{c} \cdot \frac{h\nu}{c} \cos \theta \dots (65)$$

gde je β odnos brzine uzmarka elektrona prema brzini svetlosti. Ali, energija $h\nu_0$ u difraktovanom kvantu ravna je razlici energije upadnog kvanta $h\nu_0$ i kinetičke energije uzmarka elektrona na kome se vrši difrakcija, tj.

$$h\nu_0 = h\nu_0 - mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \dots\dots\dots (66)$$

Na taj način, imamo dve nezavisne jednačine koje sadrže dve nepoznate količine β i ν_0 . Rešavanjem jednačina nalazimo

$$\nu_0 = \nu_0 / (1 + 2a \sin^2 \frac{1}{2} \theta), \dots\dots\dots (67)$$

gde je

$$a = h\nu_0/mc^2 = h/mc \lambda_0 \dots\dots\dots (68)$$

ili, koristeći talasne dužine umesto frekvencija,

$$\lambda_0 = \lambda_0 + (2h/mc) \sin^2 \frac{1}{2} \theta \dots\dots\dots (69)$$

Zamenjujući usvojene vrednosti za h , m , i c ,

$$\lambda_0 - \lambda_0 = \Delta\lambda = 0.0484 \sin^2 \frac{1}{2} \theta \dots\dots (70)$$

DODATAK I

ELEMENTI, NJIHOVI ATOMSKI BROJEVI, ATOMSKE TEŽINE I HEMISKA MESTA

¹H
1.008

o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
2 He 3.99	3 Li 6.94	4 Be 9.1	5 B 11.0	6 C 12.00	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.0	
10 Ne 20.2	11 Na 23.00	12 Mg 24.32	13 Al 27.1	14 Si 28.3	15 P 31.04	16 S 32.06	17 Cl 35.46	
18 Ar 39.88	19 K 39.10	20 Ca 40.07	21 Sc 44.1	22 Ti 48.1	23 V 51.0	24 Cr 52.0	25 Mn 54.93	26 Fe 55.84
	29 Cu 63.57	30 Zn 65.37	31 Ga 69.9	32 Ge 72.5	33 As 74.96	34 Se 79.2	35 Br 79.92	27 Co 58.97
36 Kr 82.02	37 Rb 85.45	38 Sr 87.63	39 Y 88.7	40 Zr 90.6	41 Nb 93.5	42 Mo 96.0	43 Mn 97.90	28 Ni 58.68
	47 Ag 107.88	48 Cd 112.40	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 120.2	52 Te 127.5	53 J 126.90	
54 X 130.2	55 Cs 132.81	56 Ba 137.37	57 La 139.0	58 Ce 140.25	59 Pr 140.6	60 Nd 144.3	61 Pm 150.4	62 Sm 152.07
67 Ho 163.5	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.05	71 Lu 175.0	72 Hf 178.5	73 Ta 181.8	74 W 183.8	63 Eu 151.96
	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (210.0)	85 At	64 Gd 157.25
86 Em (222.0)	87 Fr	88 Ra 226.0	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	65 Tb 158.93
								66 Ds 162.5
								67 Ho 163.5
								68 Er 167.3
								69 Tm 168.9
								70 Yb 173.05
								71 Lu 175.0
								72 Hf 178.5
								73 Ta 181.8
								74 W 183.8
								75 Re 186.2
								76 Os 190.0
								77 Ir 192.2
								78 Pt 195.0

Elementi, čiji atomski brojevi nisu izloženi po redu atomskih težina, pretstavljani su kurzivnim slovima. Brojevi koji odgovaraju još neotkrivenim elementima otštampani su debljim tipom slova.*

* Elementi sa rednim brojevima 43, 61, 85, 87, a zatim 93, 94 95 i 96, koje Millikan nije bio pravilno zabeležio ili uneo, uvedeni su u ovaj spisak sa njihovim današnjim imenima, pošto je njihova egzistencija sigurno dokazana. — Prim. red.

- 1 Vodonik
- 2 Helijum
- 3 Litijum
- 4 Berilijum
- 5 Bor
- 6 Ugljenik
- 7 Azot
- 8 Kiseonik
- 9 Fluor
- 10 Neon
- 11 Natrijum (sodijum)
- 12 Magnezijum
- 13 Aluminiyum
- 14 Silicijum
- 15 Fosfor
- 16 Sumpor
- 17 Hlor
- 18 Argon
- 19 Kalijum (Potasijum)
- 20 Kalcijum
- 21 Skandijum
- 22 Titan (Titanijum)
- 23 Vanadijum
- 24 Hrom
- 25 Mangan
- 26 Gvožđe
- 27 Kobalt
- 28 Nikal
- 29 Bakar
- 30 Cink
- 31 Galijum
- 32 Germanijum
- 33 Arsen
- 34 Selen (Selenijum)
- 35 Brom
- 36 Kripton
- 37 Rubidijum
- 38 Stroncijum
- 39 Itrijum
- 40 Cirkon (Cirkonijum)
- 41 Niobijum
- 42 Molibden
- 43 Tehnecijum
- 44 Rutenijum
- 45 Rodijum
- 46 Paladijum
- 47 Srebro
- 48 Kadmiyum
- 49 Indijum
- 50 Kalaj
- 51 Antimon
- 52 Telur
- 53 Jod
- 54 Ksenon
- 55 Cezijum
- 56 Barijum
- 57 Lantan
- 58 Cer (Cerijum)
- 59 Prazeodim (Prazeodijum)
- 60 Neodim (Neodijum)
- 61 Prometijum
- 62 Samarijum
- 63 Europijum
- 64 Gadolinijum
- 65 Terbijum
- 66 Disprozijum
- 67 Holmijum
- 68 Erbijum
- 69 Tulijum
- 70 Iterbijum
- 71 Lutecijum (Kasiopejum)
- 72 Hafnijum
- 73 Tantal (Tantalum)
- 74 Tungsten (Volfram)

- 75 Renijum
- 76 Osmijum
- 77 Iridijum
- 78 Platina
- 79 Zlato
- 80 Živa
- 81 Talijum
- 82 Olovo
- 83 Bizmut
- 84 Polonijum
- 85 Astat
- 86 Niton (Radon)
- 87 Francijum
- 88 Radijum
- 89 Aktinijum
- 90 Torijum
- 91 Protoaktinijum
- 92 Uran (Uranijum)
- 93 Neptunijum
- 94 Plutonijum
- 95 Americijum
- 96 Kirijum

D O D A T A K J

U sledećem pregledu izložene su najvažnije fizičke konstante, čije je vrednosti bilo moguće utvrditi, otprilike u naznačenim granicama, na osnovu izolovanja i merenja elektrona i merenja Avogadrovog broja, N_0 .¹

e Elektron	$e = (4,803 \pm 0,005) \times 10^{-10}$ e. c. j.
N_0 Avogadrova konstanta	$N_0 = (6,023 \pm 0,003) \times 10^{23}$ mol ⁻¹
c Brzina svetlosti	$c = 2,99774 \pm 0,00010$ cm sec ⁻¹
h Plankov elemenat akcije	$h = (6,624 \pm 0,006) \times 10^{-27}$ erg. sec.
$\frac{e}{m}$ Specifično naelektrisanje elektrona	$\frac{e}{m} = (1,7592 \pm 0,0015) \times 10^7$ aps. e. m. j. g. ⁻¹
$\frac{M_H}{m}$ Odnos masa neutralnog H-atoma i elektrona	$\frac{M_H}{m} = 1837$
F Faradej	$F = 9648,9$ e. m. j. mol ⁻¹
$\frac{h}{e}$ Fotoelektrični odnos	$\frac{h}{e} = (1,3786 \pm 0,0008) \times 10^{-17}$ e. s. j. erg. sec ⁻¹
n_0 Broj gasnih molekula u ccm na 0°C i 76 cm Hg	$n_0 = 2,737 \pm 0,002 \times 10^{19}$

¹ Raymond T. Birge, *Phys. Rev.*, LX (1941), 785.

k Bolcmanova konstanta :

$$\left(\frac{R_0}{N_0} = \frac{8,315 \times 10^7}{6,023 \times 10^{23}} \right) = k = (1,381 \pm 0,001) \times 10^{-16} \text{ erg. stepen}^{-1}$$

M_1 Masa atoma jedinične atomske težine :

$$m_0 = (1,6604 \pm 0,0006) \times 10^{-24} \text{ grama.}$$

M_H Masa vodonikovog atoma u gramovima :

$$m = (1,6748 \pm 0,007) \times 10^{-24} \text{ grama.}$$

c_2 Vinova konstanta spektralnog zračenja

$$c_2 = 1,432 \pm 0,0030$$

σ Stefan—Bolcmanova konstanta ukupnog zračenja

$$\sigma = (5,6728 \pm 0,0037) \times 10^{-5} \text{ erg. cm}^{-2}$$

d Konstanta krist. rešetke kalcita

$$d = 3,0290 \pm 0,001 \text{ \AA}$$

R_∞ Ridbergova konstanta

$$R_\infty = 109737,30 \pm 0,017 \text{ cm}^{-1}.$$

INDEKS IMENA

A

- Adamar* 84
Ajnštajn 134, 135, 136, 138, 141, 142, 143, 159, 163, 197, 218, 219, 220, 222, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 234, 240, 245, 251, 252, 286, 316, 330, 335, 343, 346, 347, 349, 366, 370, 374, 380, 381, 509, 514, 565.
Ajring Karl 142, 241
Aler 512
Alvarez 438
Amaldi 390
- Anderson* 300, 304, 306, 307, 308, 310, 313, 314, 315, 316, 318, 326, 329, 345, 358, 365, 366, 368, 369, 383, 438, 447, 459, 460, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 473, 476, 478, 479, 480, 481, 483, 484, 510, 555, 556.
Aristotel 13
Arti 554
Arnold H. D. 89, 90, 91, 92, 112, 115, 415
Aston 308, 347, 348, 375, 381, 509
Avogadro 31, 166.

B

МИЛЕНКО ВОСНИЋ

- Bade* 289
Balmer 191, 195, 198, 200, 252
Barkla 178, 184
Barnel 197
Barneti 447
Barton 277
Begeman 54
Bejnbridz 347, 375
Beker 335, 342, 351, 365
Bekerel 276, 325, 384, 474
Bekon 13
Benet 336, 407
- Bete* 373, 380, 381, 382, 383, 384, 445, 446, 447, 450, 454, 455, 456, 458, 470, 476, 484, 485, 487, 488, 489, 492, 497, 511
Birge 584
Bhabha 455, 487
Bleket 173, 180, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 320, 324, 366, 368, 421, 450, 470, 471.
Blükni 132
Blök 470

Bodoševski 133, 135
Bogild 470
Bolcman 77, 238
Boltvad 145, 333
Bor 194, 195, 196, 197, 198, 199,
 200, 201, 202, 204, 206, 209,
 210, 211, 213, 224, 225, 226,
 227, 238, 239, 240, 241, 250,
 251, 254, 255, 256, 257, 266,
 267, 269, 274, 389, 390, 470
Bote 335, 342, 343, 345, 351,
 365, 413, 414, 474

Bouen 131, 203, 228, 260, 263,
 273, 278, 283, 286, 290, 330,
 379, 407, 416, 418, 442, 445,
 450, 511, 512, 513, 515, 517,
 523, 524, 528, 545, 547, 549
Brag 128, 171, 183
Braun 121, 126, 133, 138, 139,
 555
Brige 89
Brins 431
Brode 468
Buherer 170, 571

C

Cerner 151, 152, 153

Corson 468

Cviki 289

Č

Čadvič 312, 313, 314, 315, 335,
 337, 345, 346, 347, 348, 349,
 350, 351, 363, 364, 365, 368,
 372, 373, 392

Čao 317, 330, 331, 332, 365, 366,
 367, 368, 445

D

Dajmond 498
Daton 7
Daning 390
De Brojfi Luj 135, 136, 137,
 139, 147, 148, 184, 188, 213,
 226, 240, 241, 243, 247
De Valvil 135, 147
Dešaso 355, 356, 359
Dešo 133
Demokrat 8, 11, 18
Dempster 375

Deric 125, 160
Devis 227
Devidson 242
Di 340, 342
Dian 225
Dife 15
Dimon 236, 237, 239
Dirak 241, 243, 316, 324, 359,
 366
Donald 468
Dopler 238, 239
Drude 230

Dž

Džaut 12
Džermer 242
Džese 554

Džonson T. H. 438, 439, 440,
 458, 498

Đ

Đins 365, 381, 508

E

Edington 381, 382, 508, 509, 510
Eleberg 228
Elis 226, 335
Emert 470
Enrajt 45
Epikur 11
Epinus 16, 17

Epštajn 197, 202, 203, 234, 413,
 414, 418, 419, 420, 438, 508,
 514, 521
Erenfest 468
Erenhaft 135, 147, 148, 149, 151,
 152, 153, 154, 155, 156, 157,
 158, 159, 160, 161, 163
Erikson 38

F

Falu 416
Faradi 15, 18, 19, 21, 25, 30,
 55, 144, 218, 228, 233
Fauler 130, 355, 359, 460
Fermi 186, 238, 390, 470
Filip 312, 314, 365
Flaneri 399, 400
Flečer Harvi 118, 137, 139, 140,
 141, 142, 149, 153, 156
Flige 375, 376
Forbuš 552

Fordni-Setl 443
Foro 447
Frank 38, 117, 118, 124, 227,
 234
Franki 401
Franklin Bendžamin 15, 16, 17,
 18, 26
Fridrih 243, 244
Friš 389
Fut 227

G

Gajger 144, 145, 146, 161, 177,
 178, 319, 320, 321, 332, 351,
 478, 553, 576
Galileji 385
Gaučer 227
Gerlah 125, 270
Gibson 88
Gilkrajst 88

Giš 412
Gokel 278, 279
Goldsmi 398, 402, 403
Goldhaber 364, 365, 372, 373
Grej 317, 330, 331, 332, 365
Grindli 88
Gudsmi 267
Gui 133

H

Hajgens 215
Hajtler 445, 446, 447, 450, 454,
 455, 456, 458, 464, 484, 485,
 487, 488, 489, 492, 497

Hajzenberg 243, 247, 268, 274,
 470, 485
Han 375, 376, 389
Hankok 426, 427, 428

Hanston 199, 252
 Hapfild 317, 504
 Harington 88
 Harkins Vilson 378, 381, 384,
 509
 Harper 326
 Helmholtz 24, 25
 Hemsalk 135, 147
 Henderson 327

I

Išida Jošio 161

J

Janossy 508, 514

Jože 125
 Jukava 463, 464, 468, 470, 480

K

Kambel 29
 Kameron 278, 281, 283, 285, 289,
 330, 382, 407, 447, 506, 510,
 522
 Kaningem 85, 148, 151
 Kapler 143
 Karbonel 133
 Kario 234
 Karlson 488, 497, 505
 Karmikael 484, 498
 Kasen 336
 Keli 125
 Kelog 336
 Kelvin 25, 380
 Kepner Stifenson 443
 Kerkpatrik 236, 237
 Kerst 474, 485
 Kikuhi 245
 Kinsi 355, 356, 361, 362, 363
 Kiri 276, 312, 314, 325, 326, 327,
 332, 337, 343, 344, 345, 351,
 401
 Kirhner 340
 Klajn 233, 234, 365, 368, 369,
 382, 383

Here Hajnrith 20, 227
 Hes 278, 279, 284, 421, 443, 470
 Hevesi 208
 Hip 70, 161
 Hjus 225
 Hog 88
 Hund 269
 Huston 268

Klajn-Nišina 445

Klark 226

Klausius 12

Klej 411, 414, 417, 425, 426,
 431, 438

Kniping 243, 244

Kokroft 194, 337, 338, 342, 355,
 358

Kolbert 552

Kolherster 278, 279, 281, 282,
 283, 413, 414, 443

Kompton 225, 234, 235, 236, 237,
 239, 242, 260, 317, 330, 345,
 368, 407, 417, 418, 419, 421,
 431, 438, 470, 523

Konstantinovski 151

Korf 428, 438

Korlin 284, 421

Košel 213

Koster 206, 208

Kozins 443

Kramer 204

Krane 326, 327, 333, 337, 351,
 352, 361, 409, 446, 468

Krejn 194, 332, 333, 338, 342,
 350, 351, 355, 358, 359, 360,
 361, 362, 364, 365, 367, 369,
 460
 Kristi 474, 555
 Kruks 25, 41

Kuk 277
 Kulon 33, 176
 Kurc 278, 279
 Kusaka 474, 655
 Kvinke 50

L

Ladenburg 90, 91, 225
 Lajbnic 468
 Laken 88
 Lamb 557
 Lanžven 36, 124, 135, 556, 565
 Lap 474, 555
 Laplas 44
 Laue 178
 Lavoazije 44
 Lorens 327, 337
 Leb 37, 38
 Lemetr 420, 421, 434, 435, 436,
 439, 500, 517, 519, 523, 524,
 535, 539, 542, 551
 Lenard 217, 230
 Lerlije 469
 Leukip 8

Levis 337
 Li Džon I. 161
 Liman 190, 191, 195, 197, 260
 Lindholm 284, 407
 Lis 173
 Livingston 327, 337, 342, 476
 Lodž Oliver 20, 45
 Lorenc 22, 194, 327, 337, 342,
 571
 Loritsen 194, 241, 326, 327, 331,
 332, 333, 336, 337, 338, 342,
 350, 351, 352, 355, 358, 359,
 360, 361, 362, 364, 365, 366,
 367, 369, 372, 445, 446, 460,
 487
 Lukrecije 8, 11

M

Majer 33, 125
 Majtner 312, 314, 317, 365, 389
 Maklenen 227, 277
 Makmilan 369
 Makoj Herbert 400
 Maksvel Klark 12, 19, 21, 22,
 25, 74, 77, 138, 224, 238
 Marsden 177, 178, 576
 Matauh 375, 376
 Maulton 380
 Mejn—Smit 271
 Mencil 512
 Mendeljejev 189

Miliken 118, 131, 149, 156, 167,
 198, 199, 203, 228, 241, 260,
 263, 278, 279, 281, 283, 285,
 286, 289, 290, 306, 318, 339,
 365, 376, 383, 407, 408, 409,
 410, 418, 422, 425, 442, 445,
 447, 450, 462, 506, 510, 515,
 521, 522, 523, 524, 538, 544,
 548, 552, 581
 Mihelson 111
 Moler 227
 Mozli 178, 183, 188, 189, 190,
 191, 200, 521
 Mur 400

N

- Nedermajer* 300, 314, 316, 318, 326, 358, 366, 368, 369, 447, 459, 460, 461, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 473, 476, 478, 479, 480, 481, 483, 484, 555, 556
Nernst 29
Neher 283, 286, 308, 408, 415, 416, 417, 418, 421, 422, 425, 428, 431, 438, 442, 443, 445,
- 450, 470, 473, 484, 496, 497, 504, 511, 519, 521, 522, 523, 524, 538, 539, 544, 548, 549, 552
Nihols 228
Nikolson 551
Nišina 365, 368, 369, 382, 383, 468
Nobel 394
Nordlund 143, 163

Nj

Njutn 196, 215, 247, 251, 331, 372, 385, 408, 557

O

- Ojler* 470, 485
Okialini 311, 312, 314, 315, 316, 320, 366, 368
Oliřant 355, 356, 361, 362, 363, 364
Openhajmer 241, 242, 243, 316, 317, 318, 331, 337, 367, 368,
- 369, 383, 445, 446, 450, 454, 457, 460, 467, 480, 487, 488, 497, 505
Ostvald 14, 143
Otiř 278, 281
Ože 459, 470, 553, 554

P

- Pařen* 191, 195, 253
Pauli 268, 270, 271, 273, 527
Pegram 390
Peren 29, 135, 136, 151, 154
Pikar 283, 443
Pikering 318, 504, 511, 519, 523, 538, 541, 549, 552
Pirson 125
Piskup 468
- Pitagora* 9
Plank 108, 197, 198, 218, 219, 222, 224, 232, 246, 384, 385
Platon 13
Pleset 316, 367, 445
Pol 151, 225
Polard 375
Prout 192, 334
Přibram 142, 151

R

- Raderford* 29, 36, 48, 144, 145, 146, 161, 176, 177, 178, 194, 231, 276, 277, 283, 303, 334, 335, 355, 356, 361, 362, 363
Ramzi 96
- Rap* 88
Rasel 268, 271, 287, 379
Regener 144, 145, 146, 161, 283, 290, 365, 383, 406
Rejli 123

- Rendgen* 276, 384
Ric 195
Richardson 29, 225, 277
Ridberg 195
Ringuet 468, 469
Roberts 480, 481
Roland 167

- Ros* 236
Rose 89
Roskland 233, 234
Rosu 437, 438, 447, 448, 470
Razeti 351, 390
Rurig 468
Rusel 271

S

- Saderland* 82
Sadler 184
Sajn 554
Sal 124
Saunders 271
Saviar 260
Seliger 279
Sili 336
Simer 16
Skobelcin 307
Smolukovski 135, 140
Sodi 276
Soltan 337, 342, 351

- Spenser* 96
Spoer 396
Stefan—Bolcman 108
Stever 470
Stirns 407
Stivens 468
Stoks 50, 52, 59, 63, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 105, 107, 112, 115, 142, 554
Stoner 271
Stoni Džonston 23, 27, 28, 33
Strit 468
Svedberg 137

Š

- Šajdel* 121
Šmajzer 474
Šmid 156
Šredinger 241, 243
Štajnke 284, 424, 460

- Štermar* 413
Štern Oto 242
Štrasman 389
Šuster Artur 41
Švajdler 278, 279

T

- Takenš* 468
Tales 7, 11, 191
Tarant 317, 330, 331, 332, 365
Tauscnd 36, 37, 38, 39, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 67, 116, 117, 118, 124, 563, 564
Tear 228
Terna 305
Turner 418, 431

- Tibo* 366
Tiř 424
Tindal 13
Tirion 133
Tomlinson 88
Tomson 17, 29, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 42, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 67, 131, 132, 168, 216, 217, 218, 228, 231, 232, 242, 243, 299
Tuve 337

U

Ulenbek 267

V

Vajz 512, 513
 Vajs 139, 142, 151
 Vajšedel 485
 Valarta 420, 421, 434, 435, 436,
 500, 517, 519, 523, 524, 535,
 539, 542, 551
 Valin 38
 Van de Aker 226
 Van de Graj 337
 Varburg 33
 Varti 25
 Vatson 226
 Veber 22, 23
 Vebster 226
 Veli 37
 Vestfal 38, 117, 118, 124
 Vestgren 143, 163
 Veston 108

Vigand 279
 Viler 390
 Viliams 305, 459, 468, 471, 480,
 481
 Vilson Č. T. R. 47, 49, 50, 124,
 127, 128, 129, 173, 174, 185, 250
 Vilson H. A. 50, 51, 52, 53,
 54, 59, 67, 147, 148
 Vilson J. G. 468
 Vin 42, 108
 Viol 400
 Virsma 431
 Volan 554
 Volta 283
 Volton 194, 337, 338, 340, 342,
 355, 358
 Vud 227

Z

Zelenji 36
 Zeman 42, 270
 Zigban 183, 188

Zomerfeld 201, 202, 204, 225,
 250, 252, 253, 254, 256, 257,
 259, 266, 267, 272, 273

Ž

Žolio 312, 314, 325, 326, 327,
 331, 332, 337, 343, 344, 345,
 351, 366, 390

INDEKS PREDMETA

A

Arouhed-jezero, 282, 289
 Atom, 11; Borov atom, 194; sa-
 stojci, 40, 170; kod helijuma,
 129; vodonika, 28, 29, 41, 205;
 neprodorni deo, 177; rastresita
 struktura, 128, 129; zvezdani
 sistem u malom, 129; više-
 struko naelekstrisan, 131; jez-
 gro, 176; veličine, 166; u me-
 duzvezdanom prostoru, 612;
 ogoličeni, 259; struktura, 165,
 gl. IX; kao sistem, 167
 Atom-jonska teorija, 38
 Atomi, broj elektrona, 177
 Avogadrova konstanta, 31, 684;
 pravilo, 166
 Azimutni kvantni broj, 251
 Azotove „anihilacione“ trake,
 621, 623 i d.
 Atomska bomba, kontrola, 898
 i d.
 Atomska energija, oslobađanje,
 gl. XVI, 375
 Atomske brojevi elemenata, 681
 Atomske sinteze, 378 i d.
 Atomske teorije: elektriciteta,
 18, 24 i d., 63, 148, 149; ma-
 terije 11, 12, 13, 14, 18, 73,
 143; i teorija napona, 20

Ajnštajn—Borova jednačina, 227
 Ajnštajnova jednačina Brauno-
 vog kretanja, 134 id., 136,
 141, 143; fotoefekta, 218, 219,
 222, 225, 226, 229, 245; istorija
 224 id., gl. XV, XVI, XIX,
 XX
 Ajnštajnova kvantna teorija zra-
 čenja, 218, 234
 Akapulko-merenja, 628
 Akcelerator iz Dženeral-Elek-
 trika, 574
 Alfa-delici: naelektrisanje (elek-
 trični tovar), 145 id., 163,
 skretanje, 177; prodiranje,
 171, 176; domet, 171
 Alkalni metali, spektri, 254
 Amperova molekulska struja, 22
 „Anihilacija“ materije, gl. XVI,
 XX
 „Anihilacione“ trake ugljenika,
 634
 Apsorpcija parova, 369 id.
 Apsorpciona ivica, 188
 Apsorpcione frekvencije X-zra-
 kova, 184, 188
 Apsorpcioni spektri, 188
 Arikvipa-merenja, 416
 Aristotelovska filozofija, 13

Atomske masene jedinice, 347,
348, gl. IX

Atomski sistem, 176

B

Balboa-merenja, 410
Balmerova formula, 195, 677
Balmerova serija, 198, 200 i d.;
— konstanta 198, 678
Balmer—Rícova jednačina, 195,
198
Bangalor-merenja, 617 i d.
Bečka akademija, 139, 158
Bel-laboratorije, 242
Belgiski Kongo, 402
Berilijumski zraci, 355
Betatron, 574
Bizmark-merenja, 598, 608, 615
i d., 635 i d.
Bolcmanova konstanta, 685
Bolivija, 410, 606
Borov atom 194, 196 i d., elek-
tronske putanje kod vodonika,
199; kvantni princip, 201; teo-
rija, 195, 209, 210, 213

Č

Čerčil, Manitoba-merenja, 412

D

Demokritova načela, 13
Deuteroni, 352 i d.
Difrakcione slike, 243, 244, 245
Difuzioni koeficijenti jonova, 659
Diskontinualnost kod zračenja,
224, 232

DŽ

Džem-jezero (Kalif.), 547

Atomska težina, 178, 189, 192,
193

Borovo izvođenje Ridbergove
konstante, 677; periodična ta-
blica, 210

Bor—Zomerfeldov model vodo-
nikovog atoma, 203

Braunova kretanja, 14, 121, 133,
135 i d., 141, 143, 151, 154,
156, 158, 247; određivanje
naelektrisanja e, 167; Ajnštaj-
nova jednačina 138; 143, 159,
163, 246; eksperimenti sa va-
zduhom oslobođenim prašine;
150; kolebanja, 155; u gaso-
vima, 133, 136, 137; u tečno-
stima, 143, 163, 665

Brzina: kretanja molekula, 12,
emisije elektrona, pod dej-
stvom monohromatične svet-
losti, 225

Brzina padanja kapljice, 82, 94

E

e: konstantna vrednost, 154, 160;
bitni elementi pri merenju,
115; tačno određivanje, 85, 97,
98, 106 i d.; konačna vrednost
27, 112; osnovna fizička i he-
miska konstanta, 108; metod
H. A. Wilsona, 51; metoda za
dobivanje, 144, 146, 147, i d.;
rad Dž. Dž. Tomsona, 48, 50;
Taunzendov rad, 44 i d.; pro-
mena, 154, 155, 156

Elektricitet: apsolutna jedinica,
30, 32; atomska teorija, 11,
14, 23, 63; prvi pogledi, 11
i d.; Franklinova teorija, 17,
22, 26; razvitak teorija, 14 i d.;
jon, 30; i svetlost, 230; i ma-
terija, 168, 169; dokaz atomske
prirode, 66, 121; struktura, 8,
9; teorija dvaju fluida, 16, 18
Elektroliza, 29, 30, 41

Elektromagnetna teorija mase,
22, 167, 169; neslaganje, 197
Elektron, 9, 27, 74, 241; osnova
svih statičkih naelektrisanja,
69; najstarije vrednosti, 29--62;
energija, 220, 229; masa, 29;
poreklo reči, 27; blizanački
par, 316, 359; jednakost po-
zitivnog i negativnog, 78, 79,
164, 193; poluprečnik, 167 i d.,
170; brzina, 175; teorija, 15,
22, 25; vrednost 108 i d.

Elektroni: emisija, 217, 218; broj
u atomu 177; broj slobodnih
pozitivnih u jezgri, 193, 673,
676

Elektronska energija, 225
Elektronske putanje (orbite) ato-
ma, 204, 205 i d.

Elementarni procesi, 246

Elementi, 681; sa velikom obil-
nošću nalaženja, 398 i d.; sa
atomskim brojevima, atom-
skim težinama i hemiskim
mestima, 681; retki, 399

$\frac{e}{m}$: Buhererova vrednost, 199;
in
za katodne zrake, 41; za ne-
gativne i pozitivne jone, 42;
vrednost pri elektrolizi, 29, 32;
vrednost u evakuisanim ce-
vima, 42

Eliptične orbite, 202, 256

Emisiona energija elektrona, 217,
229 i d.; eksplozivni, 232; iz
svetlosti, 229

Energija: vezivanja, 350 i d.;
iz uglja, 396; spektara kosmič-
kih zrakova, gl. XIV, XVIII,
XIX, XX; spektara gama-
zrakova, 367; ukupna u ko-
smičkim zracima, 283; iz ura-
nijuma, 396, 397

Energija sa sunca, iz uglja, iz
uranijskog, 396

Energije oslobođene pri građenju
atoma, 286; pri anihilaciji
atoma, 287

Epštajnova teorija orbita, 202,
203

Etar, 19, 27; teorija, 214, 216

F

Faradijeva konstanta, 111
Faradijeve linije sile, 218
Faradijevi zakoni, 18, 21, 23, 27

Faradi—Maksvelova teorija, 20
Formula za kontonovsko pome-
ranje talasne dužine, 679

Fotoelektrični efekat, 217, 224, 226, 233
 Fotoni, 240
 Fotoni uspornog zračenja, 319, 320
 Fotonski mlazevi, 319 i d.
 Fizičke konstante tablica, 684

G

Gajger—Milerovi brojači, 312, 320, 322, 342, 351
 Gama zraci, 214, 231; pri transmucionim procesima, 350
 Gram-molekul, zapremina kod gasova, 32, 33

H

h, vrednost, 108, 197, 198, 232, 225, 241

I

Indija, merenja kosm. zrakova, 616
 Istočno-zapadni efekat, 536 i d.

J

Joachimstalski rudnici, 399
 Jon, 30, 31; koeficijent difuzije, 36; gasni i elektrolitički, 34; izdvajanje, 64; pokretljivost (mobilitet) 35, 36 i d., 38, 242; pozitivan i negativan, 39, 47; jednovalentan pri elektrolizi, 35, 39

Jonizacija: α -zracima, 128 i d., 132; β -zracima, 127, 132; etarskim talasima, 124, 132; gasna i elektrolitička, 39; mehanizam gasne, 116; opiti sa uljanom kapi, 118, 130; X-zracima i radiumskim zracima, 117, 123
 Jonsko naelektrisanje (električni tovar), 31, 39, 44, 45, 159; elementarno, 73; kretanje, 245

K

Kapljica: gustina, 106; zakon kretanja kapljice, 115; krupna, 83; brzina, 82; merenje težine, 95

„Karnedži“, 412, 414
 Karnedži društvo, 414
 Karnotit, 400
 Kaskadni pljuskovi, 321

Fisija, gl. XVI
 Fordni—Setlov let, 543
 Frakcije sklapanja, gl. XVI
 Franklinova teorija, 22
 Frekvencije apsorpcije X-zrakova, 284

Katodni zraci, 25 i d.; naelektrisanje, 76; odnos e/m, 41; frekvencije X-spektara, 178 i d.
 Kavendiš laboratorija, 34, 36, 43, 47, 51
 Kepner—Stifensov let, 543
 Kinetička energija: atoma, 176, 252; svetlosti, 219; translacije molekula, 241
 Kinetička teorija, 12, 33, 47, 143; gasova, 133, 247
 Kiseonikove anihilacione trake, 622 i d.
 Klajn—Nišimina formula, 368, 382, 545
 Konstanta Plankova, 232
 Kontonov efekat, 234, 235 i d., 236, 237, sl. 36
 Kormorant-jezero, 416, 421
 Korpuskularna teorija, 214
 Kosmički zraci: ispitivanja avionom, 414; heterogena (tra-

kasta) struktura, 289, gl. XX; veliki jonizacioni udari, 655; otkriće XIII; istočno-zapadni efekat, 536 i d.; energija, gl. XIV, XX; osetljivi prema polju, 572; Hipoteze o poreklu, gl. XX; širinski efekat, 542; longitudinalni efekat, 424; ispitivanja na malim visinama, gl. XVII, priroda, gl. XVI; mesto otkuda potiču, 289, gl. XX; platoi energije, 621, 600; primarni zraci, gl. XVIII, XIX; energetički stupanj, 420; pljuskovi, 318 i d.; spektralna raspodela, 290
 Kulon, 30, 31
 Kvantiranje, u prostoru, 270
 Kvantitativna merenja u gasovima, 135
 Kvantna teorija zračenja, 385; Ajnštajnova, 218 i d.

L

L-dublet, 253
 Lančana nuklearna reakcija, gl. XVI
 Lenardova teorija obarača, 230

Lima, Peru, 416
 Litijumov spektar, 255
 Loritsenova cev za milion volta, 338

M

Madras, 599 i d., 603, 618 i d.
 Madura (Indija), 617
 Magnetni kvantni broj, 270
 Maksvel—Bolcmanov zakon, 77
 Maksvelov zakon raspodele, 138 i d.; teorija, 25
 Marčfild-merenja, 415, 423
 Masa: naelektrisanja na sferi poluprečnika a, 669; naelektrisanja e, 669; električna teorija, 167, 169; vodonikovog atoma, 685; promena sa brzinom, 170

Maunt Vitnej, 281
 Međusobna prodiranja orbita, 257
 Meksiko, merenja kosmičkog zračenja, gl. XX
 Merenja e, tačna, 55, 61
 Metoda kapljice u ravnoteži, 54 i d., 63
 Mezotron, gl. XVIII, jonizacioni udari, 574; masa, 579
 Mjuir-jezero, 281, 289
 Molekul: prečnik, 199; gasa, 241; kinetička energija termičkog kretanja, 76, 77, 176

Molekulski efikasni presek, 672
 Molendo-merjenja, 409, 417, 528,
 531, 622 i d.
 „Monteri“, 531

Naelektrisanje (električni tovar):
 alfa-delića, 144 i d.; promena
 na kapljici, 74, 124, 228; kon-
 stantno molekulska, 21; ele-
 mentarno jonsko, 23, 30, 32,
 40, 46; slobodno pozitivno, na
 atomima, 178; frikcione (usled
 trenja), 65, 69, 71; višestruko,
 131; pozitivno i negativno, 16,
 28; odnos prema masi, 41; je-
 dnostruko, 123; vrednost broj-
 na, 55
 Negativni protoni, 654

Otpor protiv kretanja nezavisno
 od naelektrisanja, 82
 Omaha-kriva, 640

Pajks Pik, 581, 582
 Panama, 416, 528
 Plankova konstanta h , 108, 197,
 198, 222, 224, 241
 Plutonijum: bomba, 391; eleme-
 nat, 392 i d.
 Pojntingov vektor, 245
 Pokretljivosti jonova, 659
 Polarna kapa, 413, 419, 422, 535,
 539
 Pozitivna i negativna naelektri-
 sanja, 15, 16
 Peltieovo dejstvo, 22
 Perenova vrednost za N , 154
 Peru, 416 i d.

Morlijevo otkriće, 178, 190; atom-
 ske težine, 189; frekvencije
 X-zrakova, 183, 226
 Morlijev zakon, 186 i d., netač-
 nost, 200; u optici, 262

N

Ne, neslaganja, 152 i d.; u ga-
 sovima, 34, 116, 151 i d.; vred-
 nost u gasovima, 35; vrednost
 za negativne i pozitivne jo-
 nove, 117
 Neherov elektroskop, 415, 425,
 527
 Nepravilni dubletni zakon, 258
 Neutron, 192, gl. XV
 Nobelova nagrada, 567
 Normanbridž laboratorija, 9, 414,
 571, 619
 Nuklearna energija, gl. XVI

O

Otkriće neutrona, 342
 Otpor atmosfere prema elektro-
 nima, 6 milijarde volta, 421

P

Pešavar (Indija), 617, 628 i d.
 Potencijalska prepreka (barijera),
 242, 337
 Pozitroni, gl. XIV; poreklom od
 γ -zrakova, 312
 $p_1 p_2$ — putanje, 259
 Pravila kvantiranja, 250, 251
 Preobratljivost mase u energiju,
 315 i d.
 Princip (načelo) neodređenosti,
 Hajzenbergov, 274
 Princip o održanju naelektri-
 sanja, 374

Prodorne osobine kosmičkih zra-
 kova, 648; u vezi sa horizon-
 talnom komponentom zemlji-
 nog magnetnog polja, 649 i d.

Radijalni kvantni broj, 251
 Radijum: provodljivost vazduha,
 34; kao jonizacioni agens, 51,
 54, 75; mehanizam jonizacije,
 116; struktura atoma, 209
 Rajerson laboratorija, 9, 88, 89,
 157, 160, 219
 Regularni dubletni zakon, 257

Saskatun, 599, 601, 615, 638
 Silicijumove anihilacione trake,
 622 i d.
 Singapur, 531
 Smitov izveštaj, 403
 Specijalna relativnost, 252
 Spektroskopska pravila, 269
 Spektroskopija, nova, 268
 Spintariskop, 386
 Spoukein; 421
 Srednja slobodna putanja: gasnog
 molekula, 12, 166, 671; nega-
 tivnog elektrona, 175
 Statističko ponašanje, 246

Širina ulaska anihilacionih zra-
 kova, 643, 647
 Širinski efekat u kosmičkim zra-
 cima, 542

Tablica atomskih težina, 681
 Talasna dužina, elektronskih ta-
 lasa, 241
 Talasna teorija, 215, 216

Elektroni

Protoni, 192, 299, 348 i d.; ne-
 gativni, 592 i d.
 Provođenje elektriciteta u gaso-
 vima; priroda, 33

R

Relativistička fina struktura, 250
 Relativistička formula, Zomer-
 feldova, 254
 Rešetka: molekulska, 178; kri-
 stala, 242; konstanta, 241
 Ridbergova konstanta, 195, 677;
 Borovo izvođenje, 677
 Rotacioni elektron, 249

S

Stefan-Bolcmanova konstanta σ
 108
 Stoksov zakon, 46, 47, 50, 52,
 59, 94, 151; korektura, 92 i d.;
 94, 105, 147; nevaženje, 85 i d.;
 87, 92, 148; granice važenja,
 89 i d.
 Stratosferski letovi, 542 i d.
 Struje polja, 241
 Struktura atoma, gl. IX
 „Stvaranje“ materije, 316 i d.
 Subelektron 146 i d., 151, 158,
 163
 Svetlosni kvanti, 224, 234

Š

Širinski efekti na velikim visi-
 nama, 542
 Štarkov efekat, 203

T

Teorija grozdastih jonova, 37
 Teorija o linijama u etru 20 i d.;
 zamerke, 227
 Tomson—Ajnštajnova hipoteza
 232

polonijum, kvant delovanja. Pošto u to doba nije bio zauzet sopstvenim istraživanjima, Miliken je mogao intenzivnije i potpunije da oseti i oceni veliki značaj ovih novih otkrića. Ulaženje u novootvorene oblasti istraživanja bilo mu je olakšano i time što je, radeći (zajedno sa S. R. Manom) na prevodu poznate Drudove *Optike*, mogao da oseti sveži dah tih najnovijih fizičkih shvatanja, kojima je bilo protkano izlaganje ovoga, za ono vreme, veoma moderno napisanog dela. Te činjenice mogu, možda, da objasne zašto se čitav docniji rad Milikenov razvijao samostalno, a naročito bez vidnog uticaja onda veoma čuvenog A. A. Majkelsona, u čijoj je neposrednoj blizini Miliken duže vremena radio. Činjenica je da su Majkelsonovi radovi predstavljali veoma značajne ali završne stranice klasične fizike, dok su Milikenovi radovi zasecali u sasvim nove i najnovije oblasti.

Za vreme od punih pet decenija svog rada na Kaliforniskom univerzitetu, i (od 1921) uglavnom u Norman Bridž laboratoriji, Miliken je dao niz veoma značajnih radova, po kojima je postao svetski poznat. Od tih radova treba naročito istaći: (1) *Određivanje elementarnog naelektrisanja elektrona* (od 1907), koje će zauvek ostati klasično pod već odomaćenim nazivom Milikenova metoda uljane kapljice za određivanje e ; (2) *Istraživanje o fotoelektričnom efektu i određivanje Planckove konstante h* (1907—1912); (3) *Ispitivanja krajnjeg ultraljubičastog spektra* — sve do 136 \AA »Milikenova oblast« u vezi sa teoriskim tumačenjem spektara; i najzad, (4) *Rad na istraživanju kosmičkog zračenja*.

U svom delu »Elektroni«, čije se prvo izdanje javilo još 1912 g., i koje je prevedeno na sve znatnije jezike, Miliken je, raspravljajući o problemima atomistike i o prirodi elementarnih deliča materije, na sažet način prikazao bezmalo i sav svoj naučno-istraživački rad, rasvetljavajući, kroz svoje stanovište, na neposredan, živ, i skoro prislan način, najznačajnije istoriske etape u razvoju velike fizičke nauke.

Stil i jezik Milikenov u ovoj knjizi prilično su teški, ali teški u onom dobrom smislu u smislu punoće i sadržajnosti misli i izraza. Kao takvi, oni nisu bez svojih specijalnih lepota, koje će pažljivi čitalac lako osetiti. Pokatkad, i možda ne odveć retko, čitalac će osetiti kao da je negde daleko, zajedno sa Milikenom, možda u nekom kutku Norman Bridž laboratorije ili u Indiji ili možda i u gudurama Peruanskih Anda, i da tamo prisustvuje neumornoj i čudesnoj hajci ljudskoga duha za nepresušnim problemima velike Prirode. Pravi ljubitelji naučno-popularne literature višeg ranga naći će, dakle, u ovoj knjizi mnogo dobrog, a stručni poznavaoći — kojima su namenjeni specijalni Dodaci iza teksta — imaće mnogo koristi kad u ovakvom širokom i sintetičkom obuhvatu osete svu širinu već raskrčenih naučnih prostranstava, sav silni zamah modernog naučnog istraživanja, naročito u oblasti fizike, i, najzad, svekoliki značaj nezadrživog hoda nauke u savremenom životu.

S. R.

SADRŽAJ

Glava XIV	Str.
Neposredno merenje energije kosmičkih zrakova i otkriće slobodnog pozitivnog elektrona	299
I. Neposredno merenje energija koje kosmički zraci sadrže	300
II. Otkriće slobodnog pozitivnog elektrona	307
III. Pozitroni koji nastaju usled gama zrakova	312
IV. Pljusкови kosmičkih zrakova	318
V. Pozitroni iz veštačkih aktivnih supstancā	325
VI. Krajnja sudbina pozitivnog elektrona	329
Glava XV	
Neutroni i transmutacija elemenata	334
I. Raniji dokazi za transmutaciju	324
II. Otkriće neutrona	342
III. Priroda neutrona	348
IV. Rad Loritsena i Krejna na gama zracima emitovanim u procesu veštačke transmutacije	350
V. Zakoni apsorpcije fotona velike energije	365
Glava XVI	
Oslobađanje i iskorišćavanje nuklearne energije	375
I. Frakcije sklapanja	375
II. Radioaktivnost i cepanje atomskog jezgra	384
III. Kontrola atomske bombe	393
Glava XVII	
Geomagnetska ispitivanja kosmičkih zrakova na malim visinama, 1920—36	406
I. Prvi dokazi o osobinama kosmičkih zrakova	406
II. Prvi eksperimenti o efektu geografske širine	408

	Str.
III. Rezultati ispitivanja efekta geografske širine na kosmičke zrake uz pomoć aviona	418
IV. Otkriće uticaja geografske dužine na kosmičke zrake	424
V. Istočno-zapadni efekat	536
Glava XVIII	
Mezotron	542
I. Merenja izvršena na geografskim širinama praktično do vrha atmosfere	542
II. Otkriće mezotrona	560
III. Davanje imena mezotronu	569
IV. Postanak i kraj mezotrona	571
Glava XIX	
Priroda i broj upadnih primarnih zrakova	587
I. Raspoznavanje primarnih i sekundarnih efekata	587
II. Raspoznavanje efekata upadnih slobodnih elektrona i upadnih protona	589
III. Raspoznavanje upadnih elektrona i upadnih fotona	593
IV. Opšti zaključci u pogledu raspodele energije između upadnih kosmičkih zrakova	604
Glava XX	
Hipoteza atomske anihilacije s obzirom na poreklo kosmičkih zrakova	606
I. Mesto porekla kosmičkih zrakova	606
II. Istorija hipoteze o atomskoj anihilaciji	608
III. Obilnost nalaženja običnih atoma u međuzvezdanom prostoru i energije koje se od njih mogu dobiti	612
IV. Eksperimentalno proveravanje ovih predviđanja izvršeno u Indiji	616
V. Predviđanja i prvi dokaz o vrlo dugačkom platu energije vertikalno upadnih kosmičkih zrakova konstantnog intenziteta od južnog Perua do centralnog Meksika	621
VI. Dokaz pomoću vertikalno poređanih dvostrukih brojača u Meksiku u decembru 1941, o postojanju 1) dugačkog plata energije između 0° i 33° geomagnetske širine, 2) o ulasku traka kiseonikove i azotove anihilacije	625
VII. Prvi pokušaj da se u Sjedinjenim Državama provere predviđanja hipoteze da postoje zraci ugljenikove i helijumove anihilacije	634

	Str.
VIII. Upoređivanje vertikalno upadnih energija kosmičkih zrakova osetljivih prema magnetnom polju, koje donose na zemlju zraci silicijumove, kiseonikove, azotove, i ugljenikove anihilacije	644
IX. Promenljivost u intenzitetima upadnih kosmičkih zrakova	648
X. Komponenta kosmičkih zrakova koja je osetljiva prema magnetnom polju	652
Dodatak A	
Izračunavanje vrednosti ne iz mobiliteta i koeficijenta difuzije	659
Dodatak B	
Tausendov prvi pokušaj određivanja vrednosti za e	662
Dodatak C	
Jednačina Braunovog kretanja	665
Dodatak D	
Inercija ili masa električnog tovara na lopti poluprečnika a	669
Dodatak E	
Molekularni poprečni presek i srednja slobodna putanja	672
Dodatak F	
Broj slobodnih pozitivnih elektrona u jezgri atoma po Raderfordovoj metodi	673
Dodatak G	
Borovo teorisko izvođenje vrednosti Ridbergove konstante	677
Dodatak H	
Komptonovo teorisko izvođenje promene u talasnoj dužini etarskih talasa zbog rasipanja koje se vrši na slobodnim elektronima	679
Dodatak I	
Elementi, njihovi atomski brojevi, atomske težine i hemiska mesta	681
Dodatak J	
Indeks imena	687
Indeks predmeta	695
Beleška o piscu	703