

Sažetak

Teorijsko predviđanje Stjepana Mohorovičića o postojanju vezanog stanja elektrona i pozitrona bio je šok u svjetskoj znanstvenoj zajednici toga vremena – ništa manji od Diracova teorijskog predviđanja postojanja antičestica. Međutim, Mohorovičićeva opravdana kritika Michelson-Morlijeva eksperimenta iz 1881., u kasnijim je godinama krivo protumačena kao njegovo suprotstavljanje Einsteinovoj teoriji relativnosti. Pokazuje se, da u slučaju kada se izvor svjetlosti pomiče s aparatom, svjetlost koja u bilo kojem trenutku upada na ploču ne dolazi iz položaja koji je zauzimao izvor u tom trenutku, već iz točke koju je zauzimao u nekom intervalu prije; a to je i ranije bio jedan od ključnih prigovora H. A. Lorentza.

Uvod

Kad se neki znanstveni rad i pedesetak godina nakon nastanka učestalo citira, onda se nedvojbeno radi o važnom doprinosu znanosti. Još veću pozornost izaziva činjenica da je autor tog rada bio srednjoškolski profesor, a ne profesionalni znanstvenik. Važno otkriće bio je *pozitronij*, a čovjek koji ga je predvidio proveo je najveći dio života u Zagrebu. Profesor Stjepan Mohorovičić, 'otac' pozitronija, potpuno je nepoznat našoj javnosti, [1].

Potkraj dvadesetih godina ovog stoljeća nova grana znanosti, relativistička kvantna fizika, nezadrživo je mijenjala sliku mikrosvijeta, pomagavši da opet budemo korak bliže razumijevanju prirode i njezinih zakonitosti, novim načinom mišljenja, novim metodama koje su još početkom stoljeća zacrtali Max Planck i Albert Einstein; u samo nekoliko godina, od 1925. do 1930., uspjelo je novu teoriju zaokružiti i objasniti sve do tada nerazumljive pojave u fizici najsitnijih djelića materije. Najznačajniji predstavnici te generacije, Bohr, de Broglie, Dirac, Heisenberg, Pauli, Schrödinger, već se odavno spominju i u školskim udžbenicima, [1].

Vrhunac plodnoga razdoblja Stjepana Mohorovičića obilježava rad o "elektrumu" (pozitroniju) iz godine 1934., [2], koji nadvisuje sve ostalo što su teorijski fizičari u Jugoslaviji načinili između dva svjetska rata, [1].

Elektrum, vezano stanje čestice i antičestice, pronosit će Mohorovičićevo ime do naših dana. Prvi val priznanja dolazi nakon otkrića njegova elektruma, odnosno pozitronija, godine 1951. Teorijski fizičari tada su već znali preciznije izračunati svojstva pozitronija. Otkriveno je također da su elektron i antielektron u pozitroniju vrlo brzi, što je suprotno Mohorovičićevoj pretpostavci. Ipak, njegov proračun, točan u nerelativističkoj aproksimaciji, a posebice smjela ideja koja je za cijelo desetljeće preduhitрила slične pokušaje ostalih fizičara, bili su odlučujući faktori pri donošenju ocjene da je upravo prof. Stjepan Mohorovičić "otac pozitronija".

Istraživanja vezana uz pozitronij zanimala su relativno mali krug fizičara, pa je S. Mohorovičić bio poznat samo uskoj grupi specijalista. Ali novo iznenađenje događa se 1974., potkraj listopada otkrivena je "psi" čestica. Njena su svojstva izazvala pravu zabunu među fizičarima elementarnih čestica. Dok se u pravilu teške čestice brzo raspadaju, teški "psi"

¹ Autor je teorijski fizičar u mirovini; e-pošta: miroslavdorešic@gmail.com

mezon je bio vrlo stabilan. Teorijski fizičari ubrzo shvaćaju da je neobična čestica “brat elektruma”. Umjesto elektrona i pozitrona, teški kvark i antikvark grade psi-mezon. To otkriće ne samo da je pružalo izvrsnu podršku kvarkovskoj teoriji materije, već je dalo novi podstrek cijeloj visokoenergetskoj fizici. Eksperimentatori otkrivajući psi-čestice za svoj rad ubrzo dobivaju, uz ostala priznanja, i Nobelovu nagradu.

Ono što nas može posebno zanimati jest da se u psi-mezonu, i ostalim kasnije otkrivenim sličnim česticama, kvarkovi doista gibaju – nerelativistički. Zato se račun S. Mohorovičića, uz samo neznatnu izmjenu u potencijalu i zamjenom mase elektrona s masom kvarka, može redak po redak prepisati pri istraživanju čestica iz psi-obitelji. Ponovno se tako ime zagrebačkog nastavnika našlo na stranicama vodećih svjetskih fizikalnih časopisa, ali ovaj put u području koje zanima mnogo veći broj fizičara nego što je bilo u slučaju pozitronija. Za najnoviji obrat prof. Mohorovičić, nažalost, nije više saznao. U dubokoj starosti od 90 godina, zaboravljen i ne doživjevši ikakvih priznanja u vlastitom narodu, umro je u Zagrebu 13. veljače 1980.

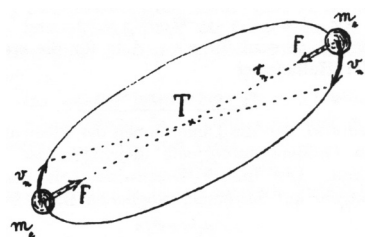
Danas nam se ideja Mohorovičićeva elektruma čini jednostavnom. Međutim, tek 1945., jedanaest godina poslije Mohorovičića, američki fizičar E. A. Ruark obnavlja tu ideju vezanog stanja pozitrona i elektrona [3], pa elektron dobiva novo ime *pozitronij*. A tek će godine 1951. pokus Martina Deutscha dokazati postojanje pozitronija u laboratorijskim uvjetima, [4].

Godine 1973. u časopisu *Galaksija* objavljen je zanimljiv intervju Nikole Ružinskoga sa Stjepanom Mohorovičićem [5]. Na konstataciju da su njegova otkrića “relativno novijeg datuma”, a da je “istraživanja na području teorijske fizike počeo davno ranije”, što je dovelo do “otkrića superlakih elemenata”, Mohorovičić odgovara da je to bilo 1937. godine i da je u to vrijeme otkriven pozitivni slobodni elektron-pozitron. Zanimalo ga je što će se dogoditi kad se takav pozitivni elektron sastane s negativnim elektronom, te da je njegov zaključak bio da će početi rotirati oko zajedničkog težišta i tako formirati superlaki element, oko 900 puta lakši od vodika. Pritom je napomenuo da je pozvao astronome da provjere da li se te linije nalaze u spektrima zvijezda. Izrazio je žaljenje što je njegov rad objavljen u “*Astronomische Nachrichten*” [2] ostao prilično nepoznat, ali da su Amerikanci pronašli da trajanje života prvog od tih superlakih elemenata (njegov ‘*electrum*’) iznosi oko jedne desetmilijuntinke sekunde, te da je kasnije egzistenciju tog superlakog elementa eksperimentalno dokazao profesor Martin Deutsch [4] s Univerziteta u Cambridgeu (Massachusetts, SAD). Naveo je također da je i iznio rezultate njegovog rada na području superlakih elemenata, te su oni dospjeli u čuveni Glestonov udžbenik o atomskoj energiji (S. Glasstone: *Atomic Energy* – drugi dio), koji je preveden i na naš jezik, [6].

Pozitronij

U spomenutom članku u časopisu *Astronomische Nachrichten*, iz 1935., [2], pod naslovom “Mogućnost novih elemenata i njihovo značenje za astrofiziku”, Stjepan Mohorovičić piše: Eksperimentalna fizika nedavno je napravila veliki napredak otkrivši električne atome s pozitivnim nabojem. Ove nove elementarne čestice u literaturi su dobile naziv “pozitron”. Nije nezanimljivo spomenuti da je nedavno preminuli američki fizičar i filozof Arvid Reuterdahl već u svojoj atomskoj teoriji pretpostavio slobodne električne atome s pozitivnim nabojem, uveo ih u svoje proračune i nazvao ih “positon”. Eksperimentalna istraživanja briljantno su dokazala njegove proročanske pretpostavke, pogotovo jer je Reuterdahl pretpostavio da je proton zapravo kompozitna struktura, naime “radion + positon”. Radion bi bio nositelj teške mase, a “positon” kruži u neposrednoj blizini. Ali u njegovoj teoriji bilo je neshvatljivo zašto elektron ne može kružiti oko radiona, tj. zašto negativni protoni nisu mogući. Vrlo je čudno da je takvu mogućnost nedavno priznao i P.

A. M. Dirac, i zaključio svoje Nobelovo predavanje riječima: “Potpuno je moguće onda da na nekim zvijezdama prevladava suprotno stanje, odnosno da su ove zvijezde u biti sastavljene od pozitrona i negativnih protona. Zapravo, samo polovica svih zvijezda može biti jedne vrste, a polovica druge. Obje vrste zvijezda pokazivale bi potpuno iste spektre i ne bi bilo načina da ih se razlikuje pomoću trenutnih astronomskih tehnika. Ali sada se postavlja pitanje što će se dogoditi ako se pozitron i elektron sretnu u neposrednoj blizini. Jasno je da će se – zbog električnog privlačenja – dvije elementarne čestice kretati oko zajedničkog težišta i tako formirati sustav koji bi izvana djelovao kao neutralan sustav. Takav sustav nije ništa drugo nego atom koji bi imao sve sličnosti s atomom vodika, samo bi bio 920.5 puta lakši i takav “abarski” element nazvat ćemo elektrum i bio bi sastavljen samo od dvije polarne elementarne električne čestice. Budući da elektron i pozitron imaju istu masu m_e , oni će se gibati istom putanjom i istom silom se privlačiti:



Slika 1. Gibanje elektrona i pozitrona oko zajedničkog centra mase

$$F = -\frac{e^2}{4r_n^2}. \quad (1)$$

Nasuprot tome, centripetalna sila je

$$F' = -\frac{m_e v^2}{r_n}, \quad (2)$$

a zbog jednakosti dviju sila ($F = F'$) bit će (slika 1)

$$v^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{e}{r_n} \cdot \frac{e}{m_e}. \quad (3)$$

Budući da je uvijek kvantne teorije

$$2\pi \cdot p = n \cdot h \quad (4)$$

usporedbom (3) konačno dobivamo:

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e e^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

$$E_{pot} = -\frac{e^2}{2r_n} = -\frac{2\pi^2 m_e e^4}{n^2 h^2}, \quad (6)$$

a s druge strane, njihove kinetičke energije su

$$E_{kin} = 2 \cdot \frac{m_e v^2}{2} = \frac{\pi^2 m_e e^4}{n^2 h^2}. \quad (7)$$

Ukupna energija cijelog sustava postaje

$$W_n = E_{kin} + E_{pot} = -\frac{\pi^2 m_e e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (8)$$

Ako elektron i pozitron skoče s udaljene staze u bližu orbitu, tada cijeli sustav zrači sljedeću energiju

$$h\nu = W_k - W_n = \frac{\pi^2 m_e e^4}{h^2} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (9)$$

odnosno

$$\nu = M_\infty \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (10)$$

gdje je nova konstanta

$$M_\infty = \frac{\pi^2 m_e e^4}{h^3 c} = \frac{1}{2} R_\infty = 54\,868.56 \pm 0.06 \quad (11)$$

dvostruko manja od dobro poznate Rydbergove spektralne konstante. Dakle, vidimo da će spektar ovog abaričnog elementa Electruma biti vrlo sličan spektru vodika, samo će valna duljina svake od njegovih linija biti dvostruko veća od valne duljine odgovarajuće vodikove linije. Ako su valne duljine izražene u jedinicama angstrema, sljedeća tablica proizlazi iz (10) i (11):

Tablica izračunate valne duljine spektralnih linija pozitronija

<i>n</i> = 1:				
<i>k</i> = 1	2	3	4	5
$\lambda = -$	2430.55	2050.36	1944.04	1898.48
<i>k</i> =	6		∞	
$\lambda =$	1874.61		1822.54	
<i>n</i> = 2:				
<i>k</i> = 2	3	4	5	6
$\lambda = -$	13122.30	9720.22	8678.76	8201.44
<i>k</i> =	7		∞	
$\lambda =$	7938.17		7290.15	
<i>n</i> = 3:				
<i>k</i> = 3	4	5	6	7
$\lambda = -$	37492.26	25629.47	21870.45	20093.51
<i>k</i> =	8		∞	
$\lambda =$	19086.92		16402.87	

Zaključak

Uvođenje ideje pozitronija i račun njegovih spektralnih linija (eksperimentalno potvrđeno 1949.); predviđanje da su spektralne linije pozitronija prisutne u spektrima zvijezda (eksperimentalno potvrđeno 1985.), moglo je slobodno biti nagrađeno Nobelovom nagradom.

No, Stjepan Mohorovičić je htio pokazati da u slučaju ako se primijeni *Fresnelova* teorija za objašnjenje negativnog rezultata Michelson-Morleyevog eksperimenta, nije nužno odustati od pretpostavke o postojanju etera. Iako je takvo stajalište kritizirano kao negacija Einsteinove teorije relativnosti, to ipak nije slučaj. Nadalje, ne možemo se oteti dojmu da je sedamdesetih godina prošlog stoljeća bio i više nego dovoljan jedan jedini prijedlog (pozitronij) Nobelovom komitetu za dodjelu nagrade Stjepanu Mohorovičiću, jer su tada postale bjelodane sve eksperimentalne potvrde Mohorovičićevih predikcija glede postojanja pozitronija.

Literatura

[1] HRVOJE GALIĆ, časopis *Oko*, 1982.

[2] STJEPAN MOHOROVIČIĆ, *Möglichkeit neuer Elemente und ihre Bedeutung für die Astrophysik*, *Astronomische Nachrichten* 1935., br. 254.

[3] E. A. RUARK, *Atoms, Molecules and Quanta: An introduction to Modern Atomic and Molecular Theory*, 1930.

[4] MARTIN DEUTSCH, *Evidence for the Formation of Positronium in Gases*, 1951.

[5] NIKOLA RUŽINSKI, časopis *Galaksija*, prosinac 1973.

[6] SAMUEL GLASSTONE, *Atomska energija*, Naučna knjiga, Beograd 1964., str. 88.

[7] STJEPAN MOHOROVIČIĆ, *Optik bewegter Körper*, časopis *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 1922., br. 221.

[8] MIROSLAV DOREŠIĆ, *Pozitronij rođen u Zagrebu*, *Vijenac*, br. 739, 30. lipnja 2022.