

Zaboravljeni otac pozitronija

Lozar, Julijana; Klabučar, Dubravko

Source / Izvornik: **Priroda, 2007, 97, 48 - 53**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:995743>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Zaboravljeni otac POZITRONIJA

Koliko cijenimo postignuća naših znanstvenika? – pitaju se autori ovog članka, nedavno promovirana profesorica fizike Julijana Lozar i njezin mentor Dubravko Klabučar s Fizičkog odsjeka zagrebačkog Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Riječ je o Stjepanu Mohorovičiću, sinu mnogo poznatijeg Andrije, kojem dugujemo teorijsko predviđanje pozitronija, »atoma« sastavljenog od čestice i antičestice.

Julijana LOZAR, prof. i
prof. dr. sc. Dubravko KLABUČAR, Zagreb

Stjepan Mohorovičić (sl. 1.) je u vlastitoj domovini, kako za života tako i danas, bio i ostao nedovoljno priznat i cijenjen fizičar, bez zasluženog mjesta među velikanima hrvatske znanosti. No u svjetskim znanstvenim krugovima njegovo djelo nije prošlo nezapaženo. U svom najvažnijem znanstvenom radu, kojim se vinuo u sam vrh svjetske znanosti, prvi je predvidio postojanje pozitronija – stoga ga s pravom možemo zvati ocem te složene čestice. Kako je za života, i dugi niz godina nakon smrti, Mohorovičić bio nepravedno zanemaren i slabo priznat u hrvatskoj znanosti, možda je sada pravi trenutak da ovome velikom hrvatskom znanstveniku pridamo važnost i slavu koju zaslužuje. Nadamo se da će ovaj članak barem malo tome pridonijeti.

Tko je bio Stjepan Mohorovičić?

Stjepan Mohorovičić je rođen 20. kolovoza 1890. godine u Bakru. Otac mu nije bio nepoznat. Riječ je o slavnom geofizičaru Andriji Mohorovičiću (1857.–1936.), otkrivaču diskontinuiteta u Zemljinoj unutrašnjosti. Tada je bio



Slika 1. Spomenik Andriji Mohorovičiću u rodnom Voloskom: za otkrivača uzročnika vulkana i potresa (Mohorovičićeva diskontinuiteta) svi su čuli, no za njegova sina Stjepana – oca pozitronija – ne zna gotovo nitko.

profesor Nautičke škole u Bakru, da bi 1892. postao upraviteljem tadašnjeg Meteorološkog opservatorija u Zagrebu (kasnije Zemaljskog zavoda za meteorologiju i geodinamiku), privatni docent (1897.) te naslovni profesor (1909.) Sveučilišta u Zagrebu. Stariji je Mohorovičić kao znanstvenik bio upravo briljantan, a nakon 1910. i svjetski poznat zbog otkrića diskontinuiteta u Zemljinoj unutrašnjosti, moho-sloja. Očito je da je stari Mohorovičić presudno utjecao na sina da se posveti znanosti.

Stjepan Mohorovičić se gotovo u cijelosti školovao u Zagrebu. Od 1908. do 1912. je studirao matematiku i fiziku, od toga prvih sedam semestara na zagrebačkom Mu-droslovnom fakultetu, a posljednji semestar u Göttingenu, u Njemačkoj. Boravak u Göttingenu, koji je tada bio jedno od vodećih svjetskih središta istraživanja u fizici, bitno je utjecao na njegov znanstveni rad. Po uzoru na svoje profesore A. Sommerfelda, W. Voigta, D. Hilberta i druge, mlađi je Mohorovičić razvio veoma širok krug

znanstvenih zanimanja – u matematici, geofizici, teoriji fizici i astronomiji.

Međutim, za boravka u Göttingenu mladi se Mohorovičić povezuje i sa skupinom uglednih znanstvenika, predvođenih Wiechertom, koji su se oštro protivili Einsteinovoj teoriji relativnosti ističući kako nije dovoljno eksperimentalno potvrđena. Godine 1913. Mohorovičić je iz Zagreba poslao svoj prvi znanstveni rad u ugledni znanstveni časopis *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, u kojem je taj rad ubrzo objavljen. Iste se godine, položivši 1912. profesorski ispit, zaposlio u realnoj gimnaziji u Bjelovaru. Izbijanje Prvoga svjetskog rata i odlazak na bojišnicu spriječilo ga je da preuzme asistentsko mjesto kod profesora Majcena na zagrebačkom Sveučilištu. Stjepan Mohorovičić je stoga najveći dio svoga radnog vijeka proveo kao srednjoškolski profesor u Bjelovaru, Koprivnici, Osijeku i konačno u Zagrebu. Na svu sreću nije omirisao baruta jer je čitav rat, od 1914. do 1918. godine, bio upraviteljem meteoroloških postaja austrougarske vojske. Odmah po završetku rata proglašen je doktorom filozofije na zagrebačkom Sveučilištu.

Najplodniji hrvatski fizičar – a nepoznat

Od 1914. do 1962. godine Stjepan Mohorovičić je objavio 41 znanstvenu publikaciju u uglednim inozemnim (pretežno njemačkim) znanstvenim časopisima. To je impresivan znanstveni opus, po kojem je sve do sredine šezdesetih godina po broju znanstvenih članaka u međunarodnim časopisima upravo on bio najplodniji hrvatski fizičar.¹ Unatoč svom pozamašnom znanstvenom opusu, nikada nije dobio položaj sveučilišnog profesora premda je to pokušavao na sveučilištima u Zagrebu, Ljubljani i Beogradu.

Njegov najvažniji znanstveni rad, u kojem iznosi hipotezu o pozitroniju, objavljen je 1934. u berlinskom časopisu *Astronomische Nachrichten*.² Njome je zaslužio trajno mjesto među svjetskim znanstvenicima. No Mohorovičić je i prije postigao važne znanstvene rezultate, prvenstveno iz geofizike. Tako je 1913. godine uveo novu metodu za analizu potresa i njome dao prvu neovisnu potvrdu teorije diskontinuiteta koju je 1910. postavio njegov otac Andrija. Mlađi Mohorovičić je objavio (1927.) i teoriju o postanku Mjeseca. U njoj je prvi postavio hipotezu da Mjesec ima koru i Mohorovičićev diskontinuitet. To je zaista i dokazano 1969. godine kad su prvi ljudi stupili na Mjesec (*Apollo 11*) i tamo postavili seizmograf.

Unatoč važnim znanstvenim radovima, zbog svoje teške naravi, netaktičnosti te osobnih i političkih nepromišljenosti, a vjerojatno i zbog veza s njemačkim fizičarima prije i tijekom Drugoga svjetskog rata, Stjepan Mohorovičić nije u domovini stekao zaslužena priznanja za svoj znanstveni rad. Naškodilo mu je također uporno i strastveno osporavanje teorije relativnosti, iako su njegovi argumenti protiv Einsteinove teorije isprva bili strogo znanstvene naravi.^{1,3} Njegovoj izolaciji od znanstvene matice pridonijelo je i to što nije slijedio razvoj moderne kvantne fizike. Konačno, umro je 13. veljače 1980. godine u Zagrebu, u devedesetoj godini, usamljen i zanemaren od hrvatskih kolega. Njegova je ostavština nakon smrti ignorantski zagubljena: svi su tragovi njegova znanstvenog života nestali bez traga. Je li do toga možda došlo zato što je njegov privatni arhiv sadržavao i kolekcijama dragocjene primjerke, kao što su pisma iz njegove korespondencije s Einsteinom – to sada možemo samo nagađati. Na sreću, trag Stjepana Mohorovičića u svjetskoj znanstvenoj literaturi ne može se izgubiti.

Iz njegove bogate znanstvene biografije osvrnimo se posebno na postuliranje pozitronija, po čemu je Stjepan Mohorovičić daleko najpoznatiji svjetskoj znanosti.

Relativistička kvantna fizika: čestice i antičestice

U okviru relativističke kvantne fizike, koja je krajem dvadesetih godina 20. stoljeća bila nova grana fizike, Paul Dirac je 1928. godine teorijski predvidio postojanje pozitrona (e^+), tj. antičestice elektrona (e^-). Prve eksperimentalne dokaze o postojanju te do tada nepoznate čestice objavio je 1932. godine Carl D. Anderson. Ta je čestica kasnije identificirana kao pozitron i prva je otkrivena antičestica. Anihilacija (poništanje) pozitrona s elektronom prvi put je proučavana 1940. godine.

Vežano stanje pozitrona i elektrona, kao najlakšeg poznatog formiranog atoma, analogno je atomu vodika, pri čemu je proton zamijenjen pozitronom. To vežano stanje elektrona e^- s nabojem $-e$ i pozitrona e^+ s nabojem $+e$, zove se pozitronij i označava Ps .

Radeći kao gimnazijski profesor u Zagrebu, Stjepan Mohorovičić je 1934. godine u uglednom njemačkom časopisu *Astronomische Nachrichten* publicirao znanstveni rad *Möglichkeit neuer Elemente und ihre Bedeutung für die Astrophysik* u kojem je iznio hipotezu o postojanju pozitronija te predvidio njegovo postojanje na zvijezdama.² Eksperimentalno je pozitronij otkrio Josh Deutsch

1951. godine, a dokaze s pomoću svemirskog teleskopa o postojanju pozitronija na zvijezdama iznosi McClintock 1984. godine. Prvi eksperimenti s pozitronima bili su posvećeni proučavanju strukture elektrona. Različite eksperimentalne tehnike kojima su proučavane anihilacije pozitrona u okviru nuklearne spektroskopije doživjele su poseban razvoj u dva desetljeća nakon 1945. godine. U tom vremenskom razdoblju broj znanstvenih publikacija o pozitroniju naglo raste. Danas u svijetu imamo objavljene stotine znanstvenih publikacija o pozitroniju.⁴⁻⁶

Otkriće pozitrona – »pozitivnog elektrona«

Prije negoli se detaljnije posvetimo Mohorovičićevu postuliranju pozitronija, zadržimo se na samim temeljnim činjenicama o pozitronu.

Pozitron je, kao što je već rečeno, antičestica elektrona, odnosno pozitroni su u antimateriji ono što su elektroni u materiji. Pozitron ima pozitivan električni naboj (za razliku od elektrona, čiji je naboj negativan), spin $\frac{1}{2}$ (poput elektrona) i masu identičnu masi elektrona, pa se u njihovom vezanom stanju zapravo pozitron giba oko elektrona isto kao i elektron oko pozitrona.

Pozitron nastaje u različitim nuklearnim procesima, npr. u beta-radioaktivnom raspadu nekih radioizotopa (sl. 2.) te tvorbom para elektron-pozitron iz gama-zrake, tj. iz fotona dovoljno visoke energije.

»Mohorovičićeva čestica«, pozitronij, slična je pak vodikovu atomu (sl. 3.) utoliko što je i vodikov atom vezano stanje jednog negativnog naboja (elektronskog) i njemu suprotnog pozitivnog naboja (protonskog). Naravno, bitna je razlika u tome što je kod pozitronija nositelj pozitivnog naboja pozitron, a ne proton. Energija svakog stanja pozitronija upola je manja od energije odgovarajućeg stanja u vodikovom atomu jer reducirana masa u po-

zitrioniju iznosi polovicu mase elektrona. Energija n -tog vezanog stanja vodikova atoma je

$$E_n = -\alpha^2 mc^2 \frac{1}{2n^2} = -\frac{13,6eV}{n^2} \quad (1)$$

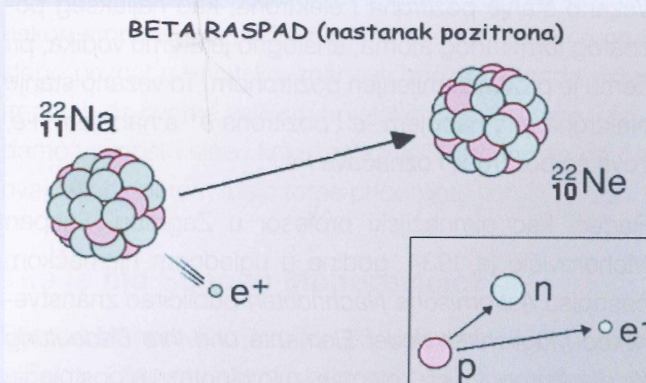
dok je energija odgovarajućeg vezanog stanja pozitronija

$$E_n^{poz} = \frac{1}{2} E_n = -\alpha^2 mc^2 \frac{1}{4n^2} = -\frac{6,8eV}{n^2} \quad (2)$$

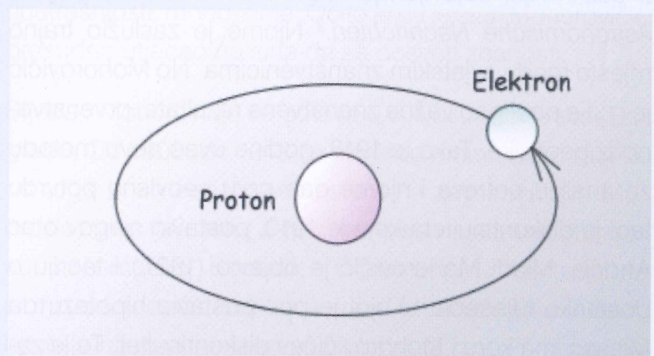
gdje je α tzv. konstanta fine strukture i iznosi 137^{-1} , a n je glavni kvantni broj.

Razlika između tih dviju čestica je i u trajanju života. Dok je vodik potpuno stabilan, pozitronij živi manje od jedne milijuntine sekunde ($\tau=1,37 \cdot 10^{-7}$ s), kad se raspada u tri fotona, ili čak manje od milijardnine sekunde ($\tau=1,25 \cdot 10^{-10}$ s) kad se raspada u dva fotona. Razlog tomu je što se pozitronij sastoji od jedne čestice i jedne antičestice, koje se međusobno anihiliraju. To je jedan od najdojmljivijih primjera pretvorbe mase u energiju.

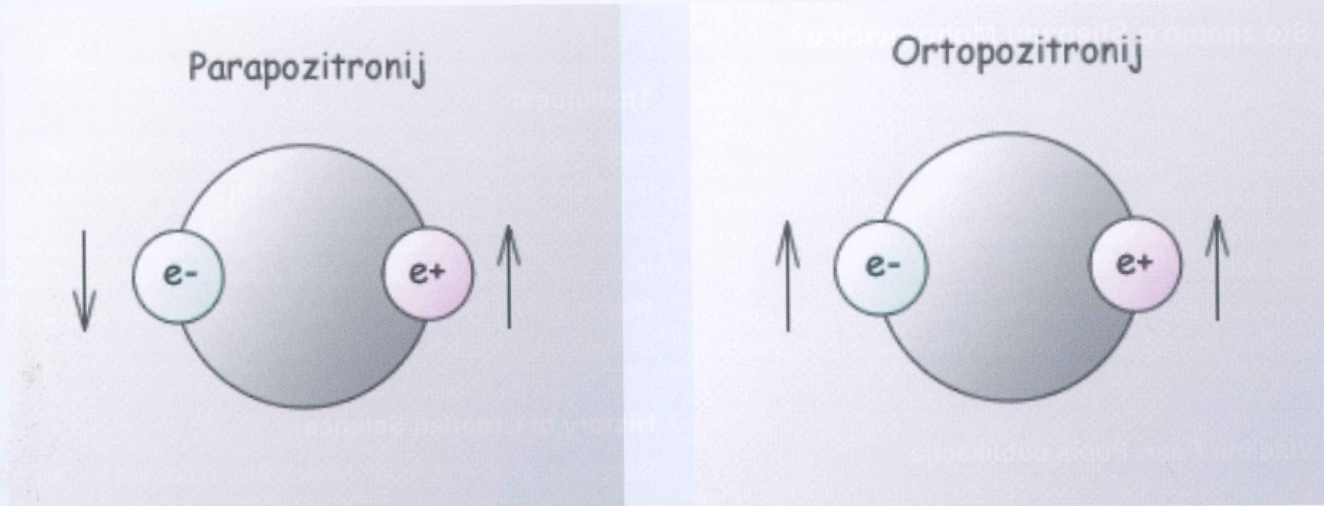
Kod pozitronija, kao i kod drugih kvantnih sustava, ključnu ulogu igra spin njegovih sastavnih dijelova. Spin je posebni oblik impulsa vrtnje kvantne čestice koji ne potječe od njenog gibanja kroz prostor, već je njeno unutrašnje svojstvo, pa ga često – naivno – predočavamo kao njenu (kvantiziranu) vrtnju oko vlastite osi. Analogno vodikovu atomu, pozitronij se može nalaziti u jednom od dvaju mogućih spinskih stanja (sl. 4.). U »singletnom« stanju, kad su spinovi elektrona i pozitrona postavljeni u suprotnim smjerovima i kad je ukupni spin sustava jednak nuli, pozitronij je tzv. parapozitronij. U »tripletnom« stanju, kada su spinovi postavljeni u istom smjeru i kada je ukupni spin jednak jedinici, pozitronij je tzv. ortopozitronij. Ta dva tipa pozitronija se razlikuju po produktu anihilacije. Naime, da bi mogao biti očuvan ukupni impuls vrtnje, anihilacijom parapozitronija nastaju dva fotonska kvanta, dok kod ortopozitronija nastaje jedan foton više.



Slika 2. »Pozitivni elektron«, pozitron (e^+), nastaje raspadom natrija-22 na neon-22.



Slika 3. Shema vodikova atoma: oko pozitivno nabijenog protona (p) kruži negativno nabijeni elektron (e).



Slika 4. Zbog toga što i elektron i pozitron imaju spin, moguće je pretpostaviti postojanje dviju vrsta pozitronija.

Electrum, alias pozitronij: »atom« sastavljen od pozitrona i elektrona

Pitanje koje je navelo Stjepana Mohorovičića da predvidi postojanje pozitronija bilo je: »Što bi se dogodilo kad bi se na bliskoj udaljenosti susreli jedan elektron i jedan pozitron, ali ne toliko blizu da odmah dođe do anihilacije?« Zaključio je da će se zbog električnog privlačenja te elementarne čestice tada povezati i gibati oko zajedničkog težišta (sl. 5.) te na taj način tvoriti sustav koji prema van djeluje kao električki neutralan. Taj je sustav vezano stanje slično atomu vodika, no 920,5 puta lakše. Mohorovičić je takav superlaki atom nazvao *elektrum*, a danas je poznat kao pozitronij.

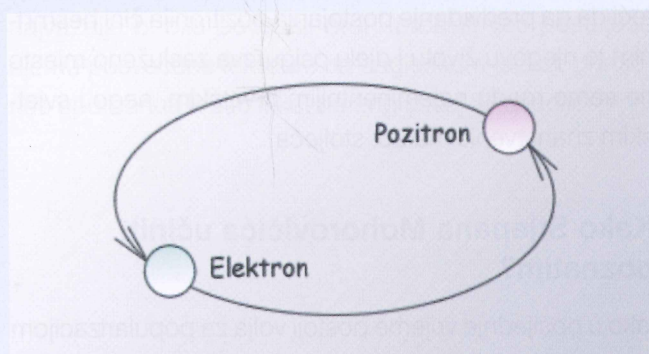
U svom daljnjem znanstvenom radu Mohorovičić je pristupio pozitroniju u okviru stare kvantne fizike koristeći analogiju s Bohrovim modelom vodikova atoma. Na taj je način došao do zaključka da će elektromagnetski spektar *elektruma* biti sličan spektru vodikova atoma, s tim da će valne duljine njegovih spektralnih linija biti dva

puta veće od valnih duljina vodikova spektra [vidi prethodne izraze (1) i (2)]. Naravno, slično kao i u slučaju primjerice atoma vodika, teorijski proračuni u okviru relativističke kvantne fizike i kvantne elektrodinamike predviđaju sićušne korekcije na taj spektar pozitronija. Budući da se u modernim eksperimentima na pozitroniju opažaju, precizno mjere i verificiraju čak i najmanje od tih korekcija, proučavanje pozitronija dodatno potvrđuje valjanost teorije relativnosti i njene primjene u kvantnoj mehanici.

Pozitronij se stvara i proučava uglavnom u laboratorijima stvorenim ljudskom rukom. Mohorovičić je, međutim, pretpostavio da bi se pozitronij mogao nalaziti u koroni zvijezda. Stoga je predložio istraživanje mogućih spektralnih linija pozitronija u spektrima zvijezda. Ta je njegova teorijska pretpostavka doživjela eksperimentalnu potvrdu tek pola stoljeća kasnije. Naime, 1985. otkrivene su spektralne linije pozitronija u spektrima zvijezda, s valnim duljinama kakve je pretkazao Mohorovičić.

Pozitronij i suvremena fizika

Očito je da je Mohorovičić predviđanjem postojanja pozitronija pridonio tome da se dođe do vrlo uvjerljivih dokaza valjanosti relativističke kvantne mehanike. Međutim, njegov prinos razvoju fizike nastavljen je i u fizici elementarnih čestica kada je 1974. otkrivena psi-čestica. Na iznenađenje fizičara, teška psi-čestica je vrlo stabilna, za razliku od ostalih teških čestica koje se u pravilu vrlo brzo raspadaju. Tu psi-česticu možemo zvati »težim bratom pozitronija«.



Slika 5. Elektron i pozitron se u pozitroniju gibaju oko zajedničkoga težišta – tako se dobiva neutralan električki sustav, sličan atomu vodika – no 950,5 puta manje mase od njega.

Što znamo o Stjepanu Mohorovičiću?

Postavimo li pitanje što je do danas učinjeno na upoznavanju šire javnosti sa životom i djelom Stjepana Mohorovičića, rezultati nas mogu samo razočarati, uzimajući u obzir važnost njegova znanstvenog rada. Kao primjer razmotrimo najvažnije od onoga što je još nedavno otkrivala pretraga na internetu.

Upisivanje imena *Stjepan Mohorovičić* u internetski pretraživač *Google*, sredinom listopada 2006. davalo je ove značajne stranice:

Vladimir Paar: Popis publikacija

Vladimir Paar: *Stjepan Mohorovičić – otac pozitronija*, »Hrvatski znanstveni zbornik«, 2 (1993) 51.–106. 478.

(Komentar: dakle, u ovom pregledu bibliografije nalazimo Ref. [1] iz ovog članka.)

Famous Croatian

... Andrija Mohorovičić – geophysicist; Stjepan Mohorovičić – physicist; Vinko Nice – mathematician...

(Komentar: dakle, Stjepan Mohorovičić je uvršten na englesku verziju liste slavni Hrvata, ali članak o njemu za sada tu ne postoji.)

Croatian Science Portal – The Great Men of Croatian Science:

... An extreme example of the latter is case of Stjepan Mohorovičić whom many now consider the most significant Croatian physicist in the twentieth century...

(Komentar: ovaj pregled velikana hrvatske znanosti upućuje na članak Nenada Trinajstića o Stjepanu Mohorovičiću.)

Thinkquest

Stjepan Mohorovičić profesor fizike na Sveučilištu u Zagrebu, napravio je još 1936. važno teoretsko otkriće pozitroniuma (rotacioni par elektrona i...)

(Komentar: ovdje se mogu zamjeriti izvjesne netočnosti jer S. Mohorovičić nikada nije bio sveučilišni profesor, dok je godina teorijskog otkrića pozitronija 1934.)

History of Croatian Science

Still earlier, in 1927, Stjepan Mohorovicic predicted the existence of the MOHO-layer on the Moon, analogous to that of the Earth, discovered by his father...

(Komentar: ova stranica ne spominje Mohorovičićev najznačajniji znanstveni doprinos – predviđanje pozitronija.)

Albert Einstein: The Incurable Plagiarist

Similar comments are found in the writings of Stjepan Mohorovicic, who pointed out that Einstein repeated (without an attribution) Poincare's method of...

(Komentar: ovaj primjer ilustrira jedan još uvijek ponešto kontroverzni aspekt Stjepana Mohorovičića: zbog svog protivljenja Einsteinovoj teoriji relativnosti on je poznat u krugovima koji iz raznih razloga kritiziraju Einsteina – bilo da se još uvijek protive teoriji relativnosti, bilo da samo nastoje pronaći ili istaknuti neke negativne ili bar kontroverzne činjenice u vezi s A. Einsteinom.)

Zašto »težim bratom«? Zato što je pozitronij građen od elektrona i pozitrona, a psi-mezon je građen od teškog kvarka i antikvarka, i to (u žargonu fizičara »okusa«) čarobne ili šarmantne vrste. Takav kvark je oko tri tisuće puta teži od elektrona, a, naravno, jednako tako i odgovarajući antikvark. U psi-čestici se kvark i antikvark gibaju malim brzinama – dakle nerelativistički, što je Mohorovičić pretpostavio za gibanje elektrona i pozitrona u pozitroniju. Mohorovičićev se račun može primijeniti i na istraživanja spektara čestica iz psi-obitelji, naravno uz izmjene u masi i potencijalu. Kasnije su otkriveni još teži kvarkovi i antikvarkovi, točnije njihova vezana stanja, koja su još teža od psi-čestice. Sva takva stanja nazivamo kvarkonijima, po analogiji s pozitronijem.

Nažalost, Mohorovičićev život je završio prije negoli je mogao saznati za to najnovije otkriće. Ovaj strastveni i

samozatajni istraživač nije niti sam bio svjestan važnosti i dalekosežnosti svojeg postuliranja *elektruma*, čime je otvorio vrata novim otkrićima i razvoju fizike, naročito relativističke kvantne fizike i fizike čestica. Stoga možemo reći da ga predviđanje postojanja pozitronija čini besmrtnim te njegovu životu i djelu osigurava zasluženo mjesto ne samo među naj eminentnijim hrvatskim, nego i svjetskim znanstvenicima 20. stoljeća.

Kako Stjepana Mohorovičića učiniti poznatim?

Iako u posljednje vrijeme postoji volja za popularizacijom života i djela Stjepana Mohorovičića, ona još uvijek nije dovoljno snažna i konstruktivna da bi u potpunosti urodila rezultatima kakve ovaj hrvatski znanstvenik zavrjeđuje. Ilustracija toga je i stanje na *Wikipediji*, najpoznatijoj i vje-

rojatno najčešće korištenoj internetskoj enciklopediji. Ta je baza podataka potpuno otvorenog tipa pa nije bilo nikakve prepreke da se u nju unese i članak o Stjepanu Mohorovičiću. O njegovom mnogo slavnijem ocu Andriji već nekoliko godina postoje članci i na hrvatskoj i na engleskoj *Wikipediji*, kao i o njegovom najpoznatijem otkriću – Mohorovičićevom diskontinuitetu. Ali o Stjepanu, ocu pozitronija, donedavno nije bilo ničega, ne samo na engleskoj, nego ni na hrvatskoj verziji *Wikipedije*. Za usporedbu, slovenski autori wikipedijskih (slovenskih i engleskih) članaka posvećuju puno veću pozornost svojim znanstvenicima i to ne samo najvećima. Još je zanimljivije da se na stranicama slovenske *Wikipedije* u kategoriji *seznam hrvaški fizikov* (tj. popis hrvatskih fizičara)⁷ nalazi ime Stjepana Mohorovičića. Dakle, donedavno se samo slovenskoj verziji moglo zahvaliti da ipak postoji jedan dio *Wikipedije* koji barem spominje toga velikog hrvatskog znanstvenika.

Potaknuta takvim stanjem stvari, suautorica ovog članka je u sklopu izrade diplomskog rada⁸ krajem 2006. godine objavila članak o Stjepanu Mohorovičiću na stranicama hrvatske *Wikipedije* i postavila osnovne podatke o njemu na stranicama *Wikipedije* na engleskom jeziku. Na stranicama hrvatske *Wikipedije* uočili smo još jednu nelogičnost. Premda je hrvatska *Wikipedija*, u kategoriji *prirodne znanosti* i podkategoriji *fizika*, pretrpana člancima o najrazličitijim temama, na njoj nije postojao članak ni o pozitronu ni o pozitroniju iako je upravo hrvatski znanstvenik prvi teorijski predvidio postojanje te čestice. Iz toga razloga, a u sklopu izrade diplomskog rada, suautorica je napisala i objavila članke o pozitronu i pozitroniju (v. dodatke u Ref. 8) navodeći poveznice sa Stjepanom Mohorovičićem.

Za daljnju popularizaciju Mohorovičića, uz ispravak spomenutih propusta i netočnosti u literaturi o njemu, najvažnije bi bilo povećati broj i proširiti već postojeće njemu posvećene tekstove na engleskom jeziku, primjerice spomenuti kratki tekst na engleskoj *Wikipediji*.

Na kraju primijetimo da Stjepan Mohorovičić zacijelo nije jedini naš znanstvenik ili umjetnik koji nije dovoljno poznat i priznat pa se do podataka o njemu vrlo teško dolazi. Ovdje je prirodno prisjetiti se npr. V. Varičaka, jednog od istaknutih zagrebačkih oponenta Mohorovičiću u diskusijama oko teorije relativnosti. Smatramo da popularizaciji naših znanstvenika i umjetnika može mnogo pridonijeti ovdje predloženi i na Stjepanu Mohorovičiću isprobani model.

Literatura i bilješke

1. V. Paar, *Stjepan Mohorovičić – otac pozitronija*, »Hrvatski znanstveni zbornik«, **2** (1993) str. 51. – 106.
2. S. Mohorovičić, *Möglichkeit neuer Elemente und ihre Bedeutung für die Astrophysik*, »Astronomische Nachrichten«, **253** (1934) str. 94.–108.
3. H. Galić, *Pozitronij je rođen u Zagrebu*, »Priroda«, **71** (1982) br. 1, str. 30.–31.
4. Istraživanje moderne literature o pozitroniju može se početi od referencija 5. i 6., radova citiranih u njima te radova koji citiraju njih.
5. G. Karshenboim, *Simple Atoms, Quantum Electrodynamics and Fundamental Constants*, u *In Precision Physics of Simple Atomic Systems*, str. 141. – 162., S. G. Karshenboim i V. B. Smirnov (ur.), Springer, Berlin, 2003. [e-Print Archive: hep-ph/0305205].
6. G. Karshenboim, *Precision study of positronium and precision tests of the bound state QED*, »Applied Surface Science« **194** (2002) 307. – 311.
7. http://sl.wikipedia.org/wiki/Seznam_hrvaški_fizikov
8. Julijana Lozar, *Pozitronij i Stjepan Mohorovičić*, diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2007., voditelj D. Klabučar