

Frank Close
Zašto je uopće nešto?

Prijevod: Lovre Čulina

Zašto je uopće nešto?¹

Frank Close

Prijevod: Lovre Čulina

Zagonetka odsutne antimaterije

Prijevodi

Antimaterija se nalazi u središtu jedne od najvećih zagonetaka: zašto je u svemiru nema više? Općeprihvaćena mudrost glasi kako je prije četrnaest milijarda godina silina otpuštene energije Velikog praska raspršila materiju i antimateriju u savršenoj ravnoteži. Ova transsubstancijacija energije u čestice i antičestice nije jednosmjerna; ako ove suprotnosti naknadno dođu u doticaj one se međusobno poništavaju, pri tome se energija, prethodno sadržana u njima, oslobađa u obliku gama zraka. U kotlu vrlo ranog svemira ovakvi sudari bili bi sasvim uobičajeni, a novorođeni materijal ne bi potrajao dugo. Ako su u prvom trenutku materija i antimaterija potekle zajedno, istovremeno iz Velikog praska, već su se u isti mah trebale međusobno poništiti.

Ovo postavlja pitanje u nešto drugačiju perspektivu. Zagonetka nije toliko u tome zašto je antimaterija nestala koliko u tome zašto je materija preživjela? Možda odgovor glasi kako postoji neka razlika među njima te da one nisu savršene zrcalne slike jedna druge.

Znamo da u tajanstvenom svijetu neobičnih i suštinskih okusa postoje suptilne razlike, ali čini se da su osnovni elektroni, protoni i neutroni precizno upareni s njihovim antičestičnim suprotnostima. Ako i postoji ikakva razlika, ona je izvan naše mogućnosti mjerenja. Sva njihova svojstva čine se onakvima kakvima ih je predvidio Dirac: čestice normalne materije i njihove antičestice u savršenoj su protuteži.

Iako su atomi antivodika do sada najdetaljnije opažane skupine “anti”-materije, teorija i iskustvo ukazuju na to da svi atomski elementi mogu pos-

¹ **Izvornik:** Close, Frank (2009) *Antimatter*. New York-Oxford: Oxford University Press, poglavlje 8: “Why is There Anything at All?”, str. 113-127.

tojati u “anti” formi. Upravo kao što periodna tablica elemenata prikazuje atomske elemente koji su sačinjeni od elektrona koji okružuju jezgru koja sadrži protone i neutrone, tako će i anti-periodna tablica anti-elemenata proizići iz rojeva pozitrona koji okružuju antijezgru koja sadrži antiprotone i antineutrone. Pravila kvantne mehanike koja objašnjavaju stabilnost atoma materije impliciraju jednaku stabilnost atoma antimaterije. Pri tome bi se predznaci električnih naboja obrnuli, ali zakoni međusobnog privlačenja suprotnosti i međusobnog odbijanja jednakih naboja ostaju jednaki.

Složeni međuodnosi koji čine aminokiseline, DNK i život, isto će tako dopustiti anti-elementima da čine anti-DNK pa čak i anti-život. Kemija antimaterije jednaka je onoj materije: antiplaneti i antimaterija u svim su svojim formama ostvarljivi upravo kao i poznata materija koja prevladava u poznatom svemiru. Jesu li antigalaksije antizvijezda okružene antiplanetima antimaterije koji u dalekim prostranstvima svemira čekaju na astronaute koji ništa ne slute? Koliko smo sigurni da tamo negdje vani nema antimaterije u velikim količinama?

Zemlja nije slična svemiru u cjelini.² Mi smo netipični po pitanju prisutnosti pojedinih elemenata, a isto bi moglo biti slučaj i s antimaterijom. Stoga jedno je priznati da nema antimaterije negdje u našoj neposrednoj blizini, a drugo pretpostaviti da je ovo istina posvuda i da je cjelokupni materijalni svemir sačinjen od materije do stupnja isključenja antimaterije. Kako možemo znati sastav daleke zvijezde koju vidimo tek kao slabašno svjetlo u beskraju svemira? Sve što vidimo sa Zemlje jest svjetlost zvijezda, a kako nemamo razloga pretpostaviti da su spektri antielemenata imalo različiti od onih elemenata, ne možemo razlikovati zvijezde od antizvijezda jednostavno gledajući u noćno nebo.

Astronauti su sletjeli na Mjesec, kao što su i robotske sonde na Mars, a da nisu bili uništeni stoga znamo da tu nema antimaterije. Cijeli Sunčev sustav kupa se u solarnom vjetru, struji subatomskih čestica koje emitira Sunce. Kada bi Sunce bilo antizvijezda, a solarni se vjetar sastojao od antičestica, zabilježili bismo gama zrake nastale u trenutku poništenja antičestica s materijom planeta. Međutim ne vidimo takve gama zrake.

² Naprimjer, vodik je rijedak na Zemlji, ali u svemiru je najčešći (najzastupljeniji) element. Zvijezde poput našeg Sunca uglavnom su vodik, te polako kuhaju sjeme težih elemenata, ali ako bismo nasumično

odabrali dio svemira promjera milijun svjetlosnih godina, atomski elementi poput ugljika, dušika, kisika, željeza, srebra i zlata bili bi gotovo potpuno odsutni.

Ovo također pokazuje besmislenost kultova koji vjeruju da su kometi sačinjeni od antimaterije (1). Pri prolasku antikometa kroz solarne vjeter količine gama zračenja bile bi goleme, svaki poništen gram oslobodio bi dvostruko veću energiju od one oslobođene atomskom bombom bačenom na Hirošimu (2). Sonda Giotto uspješno je odaslala fotografije iz unutrašnjosti kometa Halley. Ako antikometi i antimeteoriti i postoje, oni sačinjavaju manje od milijarditog dijela ukupne materije u Sunčevom sustavu (3).

Kada zvijezde eksplodiraju, njihovi ostaci rasprše se po svemiru, a ukoliko ih zahvate magnetske silnice našeg planeta razbiju se u gornjem dijelu atmosfere kao kozmičke zrake. Kako su pozitroni otkriveni u kozmičkim zrakama, a antiprotoni su također zabilježeni u istima, može biti primamljivo misliti da su navedene antičestice ostaci antizvijezda što su eksplodirale negdje daleko. Međutim upravo je suprotno; ovi pozitroni i antiprotoni ostaci su nastali iz energije oslobođene u trenutku kada kozmička zraka visoke energije, sačinjena od materije, udari plin u gornjem dijelu atmosfere. Da je antizvijezda eksplodirala i raspršila anti-elemente po svemiru tada bi i oni bili prisutni, ali do sada nije zabilježena prisutnost anti-elemenata ili antijezgara u kozmičkim zrakama u Zemljinj atmosferi. Potraga za antimaterijom u zrakama iznad granice atmosfere vrši se putem AMS satelita te pomoću balona koji lebdi do granice atmosfere sa svemirom iznad Južnog pola (4). Međutim antimateriji nema traga, čak ni nečemu tako jednostavnom kao što je antihelij, što stoji u suprotnosti prema prisutnom mnoštvu pojedinačnih pozitrona i antiprotona.

Možda su ovi anti-elementi uništeni negdje na svome putu. Iako je navedeno moguće, ne postoje dokazi koji bi to i potvrdili. Bila bi zabilježena prisutnost značajnih izboja gama zraka kao posljedica poništenja pozitrona od strane elektrona u međuzvjezdanim medijima isto tako poništenje antiprotona također bi bilo zabilježeno. Kao što je poznato, međuzvjezdani prostor gotovo je vakuum što ne znači da je potpuno prazan stoga ako bi antimaterija putovala nekoliko svjetlosnih godina, prije ili poslije naišla bi na nešto te bi bila otkrivena. Također znamo da je u našem svemiru prisutno mnoštvo galaksija, a među nekima od njih postoje bliski susreti te imaju prošireno djelovanje kao gravitacijsko privlačenje na svoje individualne zvijezde. U slučaju da je ijedna od ovih međusobno sudarajućih galaksija sačinjena od antizvi-

Prijevodi

jezda, na granicama bi se javili značajni izboji gama zraka, no još jednom, ništa od navedenog nije zabilježeno.

Čini se da se svi znakovi antimaterije javljaju uslijed njenog prolaznog i prijelaznog nastajanja iz sudara koji uključuju običnu materiju, kao iz sudara između kozmičkih zraka i atmosfere. Posljednjih trideset godina gama zrake koje dolaze iz središta naše Mliječne staze signaliziraju kako tamo postoje oblaci pozitrona. 2008. godine teleskop za gama zrake na satelitu, imena "Integral," otkrio je kako se ovi pozitroni nalaze u susjedstvu binarnih zvijezda x-zraka. Ovo su obične zvijezde koje neutronske zvijezde ili crne rupe proždiru žive. Plinoviti materijal umiruće zvijezde formira spiralu krećući se prema kanibalu te postaje neizmjerljivo vruć, pri čemu se formiraju parovi elektrona i pozitrona (5). Nešto bliže domu, velika solarna baklja 2002. godine proizvela je energetski visoko nabijene čestice koje su se sudarile sa sporijim česticama u solarnoj atmosferi pri čemu su nastali pozitroni. Procijenjeno je kako je pritom nastalo i do pola kilograma pozitrona; kada bi se ta energija mogla povratiti njihovim naknadnim poništenjem, bila bi dovoljna da napaja Ujedinjeno Kraljevstvo na dva dana (6).

Svi dokazi upućuju na zaključak kako je sve u krugu od nekoliko stotina milijuna svjetlosnih godina od nas sačinjeno od materije, pri čemu su prethodno navedene prolazne antičestice, nastale u gore spomenutim procesima, iznimka. Ovdje je zasigurno riječ o golemim veličinama no one su samo djelić vidljivog svemira. Postoji još mnogo neistraženog svemira u kojem bi antimaterija mogla dominirati. Postoji li mogućnost da su materija i antimaterija postale razdvojene, svaka unutar svoje velike nezavisne domene?

Svemir kakvog vidimo danas samo je hladni ostatak svog izvornog nastanka u vrućem Velikom prasku, a kada se stvari hlade njihova priroda može se promijeniti: voda se smrzava u snježne pahulje, metal postaje magnetiziran. Analogno tome odvojene regije materije i antimaterije mogle su se formirati pri hlađenju svemira. Odmah nakon Velikog praska mladi svemir bio bi kao pjena svijetle energije, pri čemu bi materija i antimaterija neprestano bile stvarane i uništavane. Svemir je stario i hladio se do granice kada više nije bio dovoljno vruć da zamijeni poništenu materiju i antimateriju s novom. Prirodnim pravilima vjerojatnosti javile bi se neke regije u kojima bi postojalo lagano preobilje materije te neke u kojima bi postojalo lagano preobilje antimaterije.

Kako bi se svemir hladio i dalje, pojavili bi se zvijezde i elementi s obzirom na to da bi se osnovne čestice međusobno spajale u regijama gdje dominira materija, a u domenama antimaterije pojavile bi se antizvijezde.

Iako navedeno ostaje kao mogućnost, većina modela svemira nije sklona ovakvom scenariju. Općeprihvaćen stav kaže kako je čitavi vidljivi svemir sačinjen od materije do stupnja isključenja antimaterije. U prosjeku, svakih pet kubičnih metara vanjskog svemira sadržava jedan proton, nijedan antiproton te deset milijarda kvanta radijacije. Sve što znamo o ranom svemiru, iz teorije, promatranja te rezultata eksperimenata na LEP-u, predlaže kako su u vrućem stanju odmah nakon Velikog praska ovi brojevi bili sljedeći: deset milijarda kvanta radijacije, deset milijarda antiprotona te deset milijarda i jedan proton. Zaključak glasi kako je jedan od prvih nastupa nakon stvaranja bio onaj velikog poništenja koji se odvio na način da je današnji svemir kojim dominira materija sačinjen od preživljavanja jednog protona od njih deset milijarda. Sve što danas postoji ostatak je još veličanstvenije kreacije.

Ako je tome tako, tada se nešto moralo dogoditi čak ranije nego prethodno navedeno kako bi prevagnulo u korist protona nad antiprotonima na razini jednog dijela naprema milijardu. Nešto mora činiti razliku između materije i antimaterije. Kako bismo otkrili što bi to moglo biti, važno je prvo razumjeti kako je materija kakvu znamo danas nastala iz Velikog praska.

Prijevodi

Ponavljanje Velikog praska

Ne samo da je materija na Zemlji u velikoj mjeri netipična za svemir, već je materija u svemiru i evoluirala kroz vrijeme. Na Zemlji materiju sačinjavaju atomi: elektroni zatočeni u hladnoći električnom silom atomske jezgre. Kako temperatura raste, atomi se sudaraju sve jače i njihovi elektroni postaju nestabilni. Iznad otprilike deset tisuća stupnjeva atomi ne mogu više ostati cjeloviti. Njihovi elektroni postaju oslobođeni i slobodno se gibaju u plinu električno nabijenih čestica poznatim kao "plazma." Slično stanje nalazimo u unutrašnjosti Sunca gdje temperatura prelazi milijun stupnjeva, a vodik je potpuno razbijen na neovisne plinove elektrona i protona. Danas imamo mogućnosti eksperimentiranja sa zrakama elektrona i protona pri čemu možemo promatrati na koji se način ponašaju

pri međusobnim sudarima pri energijama tipičnima za takve temperature. Ovakvi eksperimenti potvrđuju kako je Sunce zaista golemi stroj za nuklearnu fuziju prolazeći kroz svoj prvi stadij kemijskog kuhanja.

Eksperimenti pokazuju da pri još višim temperaturama materija preuzima više novih formi. Koliko za sada možemo reći, elektroni ostaju jednaki pri svim temperaturama, ali protoni i neutroni ne ostaju. U hladnim uvjetima na Zemlji i čak u vrućem središtu Sunca, protoni i neutroni nakupine su kvarkova, koje zajedno drže gluoni. Pri mnogo višim temperaturama, na granicama mogućnosti proučavanja pri najmoćnijim akceleratorima trenutno dostupnima, nuklearna tvar se, izgleda, topi: kao što atomi prelaze u električnu plazmu pri temperaturama višim od deset tisuća stupnjeva, tako protoni i neutroni prelaze u "kvark-gluon plazmu" pri temperaturama iznad otprilike milijun milijarda stupnjeva.

Nigdje u svemiru nije tako vruće u sadašnjem trenutku osim kratkotrajno pri sudarima čestica u akceleratorima visokih energija. Prije čak pedeset godina BeVatron je bio u mogućnosti proizvesti uvjete mnogo viših temperatura od onih na Suncu; danas smo u mogućnosti vršiti simulacije uvjeta koji su prevladali netom poslije Velikog praska. Upravo ovdje antimaterija se pokazala kao savršeno oruđe i to u obliku antiprotona i pozitrona. Kada se protoni sudare s metama od materije, kao što su npr. drugi protoni, većina njihove energije potraži se na raspršenje materijala, a samo je frakcija dostupna za proizvodnju novih čestica. Međutim ubrzavajući antičestice do brzine bliske brzini svjetlosti, a zatim ih sudarajući s njihovim suparničkim česticama slične brzine, dolazi do potpunog poništenja: sva energija prethodno zatočena unutar njihovih individualnih $E = mc^2$ biva oslobođena.

Eksperimenti pri LEP-u, s kojima smo se susreli u šestom poglavlju, potvrdili su da je Veliki prasak raspršio elektrone i pozitrone, kvarkove i antikvarkove te mnogo fotona i gluona. Tako je bilo u davnom svitanju kada je temperatura bila milijarde stupnjeva viša od one na Suncu danas. Kako je svemir rastao i hladio se, ovi su se osnovni djelići zbili zajedno gradeći sve kompleksnije strukture. Trio kvarkova postao je zalijepljen tvoreći tako trajne strukture koje zovemo protoni i neutroni, a kugle plazme koje su potonji formirali, zvijezde, započele su s kuhanjem klica elemenata. Kako je temperatura padala dalje, do one vrijednosti koju danas nazivamo sobna temperatura, ove su nuklearne klice bile u mogućnosti uhvatiti se za prolazeći elektron i formirati atome, kemiju, biologiju i život.

Dobro razumijemo kako se materija kakvu znamo formirala i evoluirala tijekom četrnaest milijarda godina od Velikog praska. Ironično je da smo veći dio ovoga naučili koristeći se antiprotonima i pozitronima kao oruđem pomoću kojega smo se vratili u vrijeme i vidjeli kako je materija nastala. Da je u svemiru bilo antiprotona i pozitrona u obilju oni bi isto tako vrlo lako mogli gravitirati u antizvijezde čije bi kozmičke kuhinje skuhalale ove sastojke tako da formiraju anti-elemente. Poruka je ta da su se materija i antimaterija formirale u odgovarajućim parovima; ipak, samo je materija uspjela preživjeti. Negdje u prvim trenucima svemira, ranije od milijarditog dijela sekunde koji je proučavan od strane eksperimenata pri LEP-u, vjerojatno se pojavila neravnoteža između materije i antimaterije.

Prijevodi

Neutrini

U sedmom poglavlju naučili smo kako je asimetrija između materije i antimaterije prirodna u svemiru s tri generacije. Kada je ovo promatrano za čudne, a zatim za osnovne čestice, bilo je senzacionalno, međutim što je više podataka bivalo prikupljeno postalo je jasno da ovi fenomeni koji uključuju kvarkove i antikvarkove ne mogu objasniti potpunu kvantitativnu dominaciju materije u današnjem svemiru. Nedavno su pažnju privukli leptoni: čestice slične elektronima i njihovoj neutralnoj braći, neutrinima. Što je dobro za tri generacije kvarkova također je dobro i za tri generacije leptona, ovdje također može doći do asimetrije između materije i antimaterije, barem u teoriji. Trenutno je potraga za uzrokom odsutne antimaterije usmjerena upravo u tom pravcu: pri tome su neutrini glavni osumnjičeni.

Neutrini su jedne od najraširenijih čestica u svemiru, a istovremeno su i jedne od najneuhvatljivijih. Najbliže su ničemu od svega što znamo. Nemaju električnog naboja, imaju vrlo malu masu, a u mogućnosti su prolaziti kroz Zemlju kao metak kroz oblak magle, poput duhova su jer pola stoljeća nakon njihova otkrića još uvijek znamo manje o njima nego o drugim česticama. Međutim posljednjih godina počela je rasti sumnja u to da bi neutrini mogli držati ključ tajne odsutne antimaterije u svemiru.

Jesu li neutrini materija ili antimaterija? Oni nemaju električnog naboja kao i fotoni ili Z^0 , ali za razliku od ovih bozona koji nisu ni materija ni antimaterija, neutrino je fermion što znači da poštuje Diracovu

jednadžbu i pridaje važnost materiji ili antimateriji. Što stoga razlikuje neutralni neutrino od neutralnog antineutrina?

Za razliku od neutrona i antineutrona čiji unutarnji sastav kvarkova ili antikvarkova čini razliku među njima neutrino nema unutarnju strukturu: on je neuhvatljivi dio vrtećeg ništavila koje leprša svemirom gotovo brzinom svjetlosti. Vrtinja je gotovo sve što čini, ali to je dovoljno za odluku o enigmi materije ili antimaterije.³ Posljednjih pedeset godina činilo se kako upravo ovo razlikuje neutrine, materiju, od njihovih suprotnosti, antineutrina. Međutim u posljednjih nekoliko godina razvila se bolna ideja koja kaže: dok fotoni (i drugi bozoni) nisu ni materija ni antimaterija, mogle bi postojati teške verzije neutrina koji su oboje! Ako su takvi bizarni entiteti bili formirani u kotlu Velikog praska, njihovo potomstvo bilo bi nejednako podijeljeno među onim što danas nazivamo materijom i antimaterijom.

Koja je stoga priča neutrina?

Proizvode ih neki oblici radioaktivnosti. Kada proton u jezgri prijeđe u neutron, promjena u energiji materijalizira se kao pozitron i neutrino. Električni naboj i mrežni broj fermiona (pri tome "mrežni" znači broj materije minus fermioni antimaterije) sačuvani su u procesu. Pozitron vodi računa o električnom naboju – počevši s jednim pozitivnim, nošenim od strane protona, i jednim na kraju; mrežni broj fermiona sačuvan je dok pozitron antimaterije biva balansirani s neutrinom materije u ovom računu. Obrnuto, kada neutron propada ostavljajući proton, pojavljuju se elektron i antineutrino.

Ako naknadno neutrino ili antineutrino naiđu na materiju, oni se odaju izazivajući reverzni proces. Neutrino mijenja neutron u proton kojeg prati elektron; antineutrino mijenja proton u neutron praćen pozitronom.

Neutrini mogu imati spin kao elektroni. Kao što smo vidjeli rano u našoj priči, elektroni posjeduju električni naboj, a njihov spin čini ih poput malih magneta; kako se kreću mogu imati bilo koju od dviju orijentacija, sjeverni ili južni pol koji pokazuje naprijed u smjeru kretanja.

³ Kvantna teorija implicira da se neutrini mogu momentalno transformirati u elektron i W^+ te da antineutrini mogu učiniti slično, dakle transformirati se u pozitron i W^- . Ovo

bi moglo pružiti suptilan način za njihovo međusobno razlikovanje, ali to je izvan naše mogućnosti promatranja u praksi.

Ovo možemo zamisliti kao spiralni vadičep koji se može uvijati na jednu ili na drugu stranu: desno ili lijevo. Žargon fizike odnosi se prema spinu baš na taj način: tako kažemo da se elektron vrti lijevo ili desno; u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto od nje. Neutrini nemaju električni naboj stoga nemaju magnetizam, ali mogućnost lijevog ili desnog spina i dalje je primjenjiva.

Prema najboljim eksperimentima u posljednjih pedeset godina, neutrino pokazuje spin samo u lijevom smjeru dok antineutrino, upravo suprotno, pokazuje desnu orijentaciju. Može li ogledanje neutrina u zrcalu promijeniti neutrino u antineutrino? Prvi korak pri rješavanju ove zagonetke započinje pitanjem sljedećeg: kako bismo mogli znati je li riječ o neutrinu ili antineutrinu osim po smjeru njihovog spina? Osim ako ne postoji neki drugi indikator za identifikaciju neutrina kao "čestice" i antineutrina kao "antičestice," kao što je promatranje procesa koji ih je stvorio u asocijaciji s elektronom ili pozitronom, bilo bi nemoguće reći.

Sada vrijedi posvetiti trenutak kontemplaciji toga što mislimo pod pojmom "antičestice". Imamo predodžbu normalne materije koja sadrži negativno nabijene elektrone i pozitivne protone. Pozitivna inačica elektrona naziva se pozitronom, a negativna verzija protona naziva se negacijom, one se pokazuju kao tek dvije nove čestice; tek u trenutku kada ih nazovemo "anti-elektronom" i "antiprotonom" i usredotočimo se na njihovu sposobnost poništenja svojih opozicija, "antimaterija" počinje pobuđivati maštu. Kada su u pitanju neutrini susrećemo se s česticama koje nisu poznate u našem materijalnom svijetu. Prolaze kao utvare rijetko se otkrivajući i zasigurno ne ostaju zarobljene unutar materije. Umjesto da gledamo na neutrine i antineutrine kao na djeliće materije i antimaterije te ih definiramo na temelju njihovog afiniteta prema elektronu ili pozitronu kao što je povijesno gledano uobičajeno, možemo jednostavno reći da postoji samo neutrino: njegov lijevo orijentirani spin preferira elektrone dok njegov desno orijentirani spin preferira pozitrone.

Polu stoljeća smatralo se kako neutrini nemaju masu te se kreću svemirom brzinom svjetlosti. Međutim u posljednjih nekoliko godina otkrili smo kako ovo nije istina. Neutrini emitirani pri normalnoj radioaktivnosti ili pri fuzijskim procesima u srcu Sunca, imaju malenu masu. Ona je toliko mala da nitko još nije izmjerio kolika je ona točno, ali ako bismo to htjeli prikazati na nekoj subatomske ljestvici, trebalo bi bar em 10 000 neutrina za ravnotežu sa samo jednim elektronom.

Prijevodi

Ova bezvrijedna količina nečega ima ogromne implikacije. Einstei-
nova teorija gravitacije implicira da fermion koji putuje brzinom svjet-
losti ostaje ili lijevo ili desno orijentiran; ne može se prebaciti iz jedne
orijentacije u drugu. Čestice koje imaju masu, za koje danas znamo
da uključuju neutrino, mogu imati spin lijeve ili desne orijentacije,
a moguće je promijeniti orijentaciju spina kroz interakciju s drugim
česticama. Prema tome moguće je da neutrine imaju spin lijeve ili desne
orijentacije. Isto vrijedi i za antineutrine.

Slijede li ovi sablasni entiteti “pravilo lijeve ruke, pravilo desne ruke”
i je li neutrino materija i antimaterija, u smislu da neutrino i njegova
antičestica nisu zapravo različiti objekti, i dalje su otvorena pitanja.
Ova mogućnost istaknuta je od strane talijanskog teoretičara Ettorea
Majorane, i to nedugo nakon prve pojave Diracove jednadžbe koja je
invocirala materiju i antimateriju. Mogućnost da priroda koristi “Ma-
jorana neutrina” jedna je od najuzbudljivijih tema u čestičnoj fizici da-
nas. Jedan od razloga sadržan je u tome što bi ovo moglo igrati ključnu
ulogu u objašnjenju podrijetla našeg svemira kojim dominira materija.

Kada neutrine ne bi imali masu i dalje bi bili zagonetni no uklapali bi se
u opći opis čestica i sila koji nazivamo standardnim modelom. U tijeku su
brojni pokušaji razumijevanja zašto neutrine imaju tako neznatnu masu,
približnu nuli u usporedbi s elektronima i pozitronima, a i dalje ne sasvim
ništavnu, koji su urodili nekim radikalnim idejama. Jedna obećavajuća
struja teorije kaže kako uz poznate neutrine iznimno male mase postoje
i vrlo masivni Majorana neutrine koji čekaju na otkriće. Ove su hipotetske
zvijeri postale poznate pod imenom “majoroni.”

Ako je ovo istina, tada su majoroni, iako su izvan našeg dosega danas,
bili stvoreni u vrućini Velikog praska uz sve ostalo. Ovo bi moglo imati
zapanjujuće implikacije na prirodu sadašnjeg svemira.

Ako su majoroni izumrli onda moderni svemir još uvijek sadrži nji-
hove potomke. Prema teoriji, majoroni, koji su zapravo masivni neutral-
ni fermioni, mogli bi zračiti energiju u obliku “Higgsovog bozona” te se
pretvoriti u neutrino ili antineutrino. Ovo bi mogli učiniti za bilo koji
od tri okusa neutrina, ili njihovog odgovarajućeg antineutrina, i nema
razloga zašto bi se raspadali na neutrina i antineutrina ravnomjerno.
Ovo predlaže način na koji su majoroni pobijedili apokalipsu velikog
poništenja, ostavljajući nas s nečim, a ne ničim. Pogledajmo kako.

Apokalipsa – ne baš

Odmah nakon Velikog praska kada je svemir bio iznimno vruć, majoroni su bili u termalnoj ravnoteži – formirali su se u kotlu i propadali konstantno. Međutim svemir se vrlo brzo hladio, a kako je temperatura padala došlo je do trenutka u kojem nije bilo dostatne energije za proizvodnju novih majorona, dok oni koji su izumrli ne bi više bili zamijenjeni. Majoroni su nestali i više se nikada nisu pojavili, samo je njihovo potomstvo preživjelo. Upravo bi se u ovom trenutku pojavila neravnotežna populacija neutrina i antineutrina kao fosilni ostatak mrtvih majorona.

Prijevodi

Ovo je kritičan prvi korak koji je dostatan za nastanak neutrina, ali kako ovo hrani materiju u velikim dimenzijama? Odgovor se javlja nešto kasnije u svemiru koji se hladio kada su kvarkovi i antikvarkovi te elektroni i pozitroni, bili formirani iz energije. Dodatni kvarkovi i antikvarkovi nastaju u ranije objašnjenim procesima gdje se neutriini ili antineutriini sudaraju s elektronima i pozitronima. Vrlo će brzo postati previše hladno za daljnji nastanak i sve će biti spremno za Veliko poništenje. Zastanimo na trenutak i pogledajmo čemu su majoroni pridonijeli. Njihova smrt za posljedicu je imala rođenje neravnoteže između neutrina i antineutrina; bilo je to u metežu koji je uslijedio kada se mnoštvo čestica i antičestica sudaralo s asimetričnom mješavinom neutrina i antineutrina, pojavio se višak kvarkova u odnosu na antikvarkove.

Veliko poništenje sada uništava svu antimateriju u bljesku, zajedno s njom pripadajućim djelićima materije. Potomstvo majorona načinilo je razgranati svemir u kojem je samo šačica suvišnih kvarkova ostala za svakih deset milijarda kvarkova i antikvarkova koji su nestali. Preživjeli su se hladili kako bi naposljetku tvorili svemir kojim dominira materija u kojem su protoni stabilni (barem na vremenskoj ljestvici od četrnaest milijarda godina) te materija za kakvu znamo da postoji.

Ovo je trenutačno najbolja teorija koja pruža objašnjenje o tome kako je došlo do asimetrije između materije i antimaterije. Istraživači će tražiti dokaze za postojanje majorona putem novih eksperimenata u CERN-ovom velikom hadronskom sudaraču, a u tijeku su i potrage u kozmičkim zrakama. Međutim dok oni uspješno ne potvrde teoriju, ovo će ostati vrlo uzbudljiva ali nedokazana teorija. Ono što je jasno jest da je asimetrija između materije i antimaterije nastala kada je

svemir bio mlađi i temperature mnogo više čemu eksperimenti nemaju pristup. To znači da neće biti moguće konvertirati materiju u antimateriju u laboratoriju ponavljajući te uvjete. Cilj korištenja antimaterije kao izvora energije zahtijeva prema tome neko drugo rješenje.⁴

Fizika i filozofija

⁴ **Frank Close** (rođen 1945.), renomirani je fizičar i profesor na Sveučilištu u Oxfordu. Specijalizirao se u fizici čestica, a osim što je ugledni znanstvenik, poznat je i kao popularizator znanosti i znanstveni publicist. Najpoznatije knjige su mu (izbor) *The Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe* ("Svemirska lukovica: Kvarkovi i priroda svemira") iz 1983., *Lucifer's Legacy: The Meaning of Asymmetry* ("Luciferova ostavština: Značenje asimetrije") iz 2000.,

Particle Physics: A Very Short Introduction ("Fizika čestica: Vrlo kratak uvod") iz 2004., *Antimatter* ("Antimaterija") iz 2009. i *The Infinity Puzzle: Quantum Field Theory and the Hunt for an Orderly Universe* ("Zagonetka beskonačnosti: Kvantna teorija polja i potraga za uređenim svemirom") iz 2011. Za sada je samo prva od navedenih knjiga prevedena i izdana na hrvatskom jeziku i to 1997. godine u izdanju "Školske knjige" u Zagrebu.

Bilješke:

1. Za primjer pogledaj: <http://www.matter-antimatter.com>.
2. Pogledaj dodatak 1: "Cijena anti-materije."
3. FARGIANA, D., KHLOPER M. (2003) *Astroparticle Physics* vol. 19, str. 441.
4. AMS (Anti Matter Spectrometer). Pogledaj također 'The Hunt for Antihelium', *Britannica* online, *Science News*, 21. svibnja 2007.
5. WEIDENSPANTER, G. et al. (2008) *Nature*, vol. 451, str. 159.
6. Pogledaj poglavlje 9 i *Energy Consumption in the UK*, op. cit.