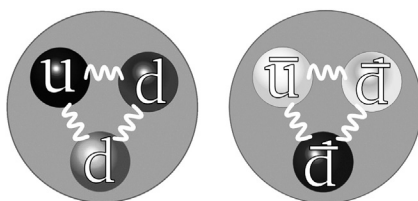




Antimaterija – otkriće dosad najteže antimaterijske jezgre (${}^4_2\text{He}$) na STAR detektoru

Nikola Poljak¹

Priču o otkriću dosad najteže antimaterijske jezgre bilo bi dobro započeti samim pojmom antimaterije. Zna se kako je u prirodi, na najmanjim skalama, sve vrlo simetrično i u prostoru i u vremenu. Čak i na većim skalama, npr. u mehanici, mogu se uočiti takve simetrije, posljedica kojih su, npr., treći Newtonov zakon i reverzibilnost smjera vremena u jednadžbama gibanja. Na mikroskali se možemo npr. prisjetiti simetričnosti među nabojima, jer znamo da postoje negativni i pozitivni elementarni naboji. Ideju o nekakvoj simetriji uz koju se veže i sama tvar uveo je engleski fizičar A. Schuster već 1898. godine, uvodeći pojam antimaterije. On je predvidio antiatome, pa čak i cijele zvijezde od antimaterije od kojih bi nastala energija kad bi se susrele s materijskim zvijezdama, [1].



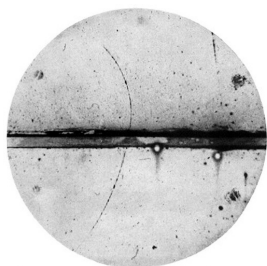
Slika 1. Neutron i antineutron. Na slici u predstavlja u kvark, naboja $+2/3$, dok d predstavlja d kvark, naboja $-1/3$. Crtice nad česticama predstavljaju antimaterijske partnere. Lako se vidi da su naboji neutrona i antineutrona ukupno nula.

Schusterova hipoteza stajala je bez potvrde 30 godina, kad je 1928. P. Dirac unutar razvoja kvantne fizike postavio matematičku jednadžbu koja je dotad najbolje opisivala gibanje čestica s polovičnim spinom (tzv. fermiona). No ta je jednadžba dodatno predviđala postojanje i svojstva antimaterije. Pa tako, svaka elementarna čestica ima svog antimaterijskog partnera, koji ima istu masu (i isto svojstvo spina, koji se može zamisliti kao vrtnja čestice oko svoje osi), no ima suprotan naboj od svog materijskog partnera. Tako, npr., elektron ima antimaterijskog partnera zvanog antielektron, za kojeg se ustalilo ime pozitron, a proton ima partnera zvanog antiproton. Mogli bi se pitati postoji li i antineutron, obzirom da je neutron naboja nula? Danas znamo da neutron nije elementarna čestica, već se sastoji od kvarkova i gluona, za koje postoje antimaterijski partneri, pa njihovim sastavljanjem možemo dobiti i antineutron. Osim toga, ispada da antimaterija nema materiji suprotan samo naboj, već i neka druga svojstva, koja danas kolektivno zovemo kvantni brojevi (a uključuju, npr. leptonski i barionski broj). Ipak, postoje i čestice čiji je antimaterijski partner njima potpuno identičan. Jedna od takvih

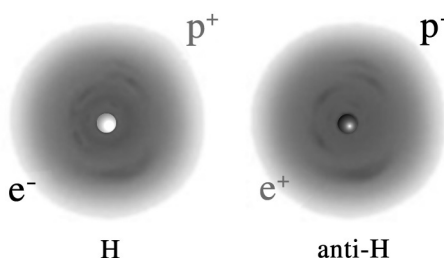
¹ Autor je vanjski suradnik na Fizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu, e-pošta: npoljak@phy.hr

čestica je i foton, čestica svjetlosti, čijim uvođenjem je nastala kvantna fizika. No, nas trenutno zanimaju samo čestice čiji antimaterijski partner nije njima identičan.

Iako je prva takva čestica načelno otkrivena već 1929., otkriće pozitrona pripisuje se C. Andersonu (1932), koji je za to dobio Nobelovu nagradu [2]. On je u svom detektoru, maglenoj komori, uočio česticu koja je imala isti omjer naboja i mase kao i elektron, ali je nosila pozitivan naboj. U moderno doba se pozitroni vrlo lako proizvode i možemo ih vidjeti stotine milijardi proizvedenih unutar vrlo kratkog vremena. Nakon otkrića pozitrona slijedio je zastoj od 30 godina, do trenutka kad su se počeli graditi prvi veliki akceleratori. Kad je u pogon pušten LBNL akcelerator u SAD-u, ubrzo su uočeni prvi antiprotoni (1955.) i antineutroni (1956.). Proizvodnja težih antimaterijskih čestica nakon toga teče polako. Do današnjeg doba treba izdvojiti dva rezultata – sintezu prvog antiatoma (tj. vezanog sustava antijezgre i pozitrona) i otkriće dosad najteže otkrivene antijezgre.



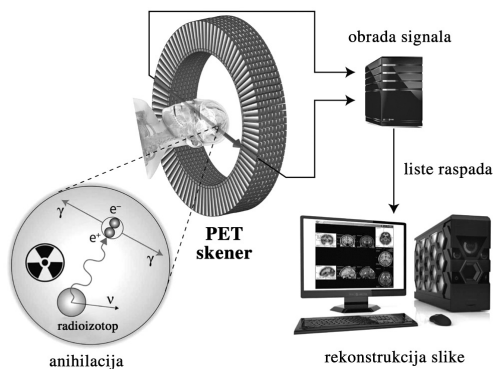
Slika 2. Andersonovo otkriće pozitrona. Trag s lijeve strane potječe od pozitivne čestice prema gore, što se vidi iz jače zakrivljenosti gore, nakon gubitka energije prolazom kroz ploču. Omjer mase i naboja identičan je elektronu.



Slika 3. Vodik i antivodik. Antivodik se sintetizira tako da se u blizinu polako dovedu antiproton i pozitron. Sinteza antivodika prvi je put uspjela na CERN-u 1995.

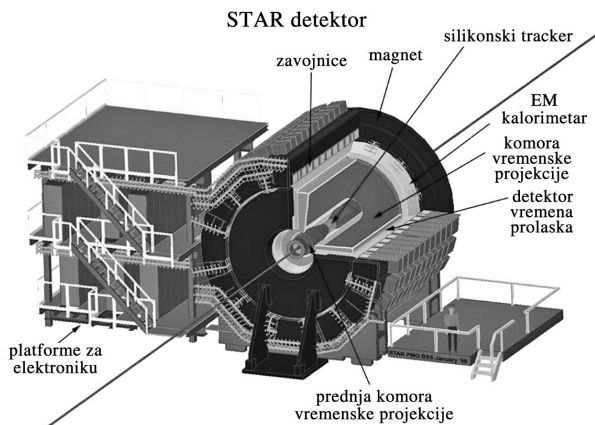
Zanimljivo je primijetiti kako se teorijski predviđa da antiatomi imaju ista svojstva kao i sami atomi, obzirom da čestice u antiatomima imaju iste mase i iste iznose naboja. Sintezom atoma antivodika, koja je uspješno izvedena na CERN-u 1995., [3], ta predviđanja su se potvrdila. Godine 2011. se antivodik uspio zadržati u posebnim zamkama 16 min i 40 sekundi, što je dovoljno dugo da mu se detaljno prouče svojstva. Jedno od njih, koje je trenutno u centru pažnje, jest utjecaj gravitacijskog polja na antiatome. Iako se zna da imaju istu masu kao i atomi, nikad dosad nije eksperimentalno provjereno padaju li antiatomi u gravitacijskom polju prema dolje!

Očito, na način kojim se sintetizira antivodik, možda se u budućnosti mogu sintetizirati i teži antielementi. Nije nezamislivo da se napravi, npr. anticigla, pa se od tavih izgradi i kuća. Moguće je da u Svemiru već i postoje cijele galaksije napravljene od antimaterije. Problem našeg neznanja leži u tome što nam antimaterijska galaksija i materijska galaksija teleskopima izgledaju iste! No, i tu postoji konac nade za kojeg se možemo uhvatiti – ako bi se takva galaksija srela s normalnom galaksijom, došlo bi do procesa koji nazivamo anihilacija. To je proces u kojem se antimaterija i materija u susretu potpuno pretvore u energiju prema poznatoj Einstenovoj jednačini $E = mc^2$, pri čemu je m ukupna masa materije i antimaterije u procesu. Lako se vidi da se na ovaj način oslobodi puno energije (iz jednog grama antimaterije dobije se energija ekvivalentna trima eksplozijama atomske bombe nad Hiroshimom).



Slika 4. Primjena antimaterije u medicini. U PET skeneru se u tkivo šalju pozitroni iz prirodnih izvora koji se zatim anihiliraju u tkivu pacijenta. Anihilacijom nastaju fotoni koji se detektiraju u skeneru.

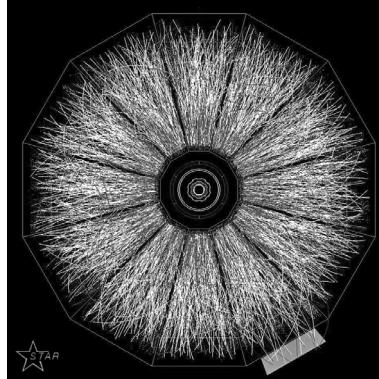
Uočavajući koliko energije nastaje dodiranjem antimaterije i materije, možemo se pitati je li uopće sigurno proizvesti antimateriju u laboratorijima. No, ispadalo je da je antimaterija toliko skupa za proizvesti (cijena jednog grama jednaka je otprilike ukupnoj svoti novca na svijetu), da je, u količinama u kojim ju proizvodimo, vrlo sigurna. Kad bi skupili svu antimateriju koju smo proizveli i iskoristili je u anihilaciji za energiju, mogli bismo zagrijati taman dovoljno vode za jednu šalicu kave. Ipak, antimateriju danas koristimo iz prirodnih izvora. Neke radioaktivne stijene prolaze kroz beta pozitivni raspad i proizvode pozitroni. Slični umjetni izvori se koriste u medicini u stroju zvanom PET skener. Pozitroni se puštaju u tkivo pacijenta, gdje se susreću s elektronima te anihiliraju. Anihilacijom nastaje energija u obliku fotona, čijom se detekcijom utvrdi mjesto nastanka pozitrona. Ovisnost koncentracije radioizotopa o položaju u tijelu tada stvara 3D sliku tkiva.



Slika 5. STAR detektor u SAD-u, kojim je otkrivena najteža dosad antičestica, anti- ${}^4_2\text{He}$.

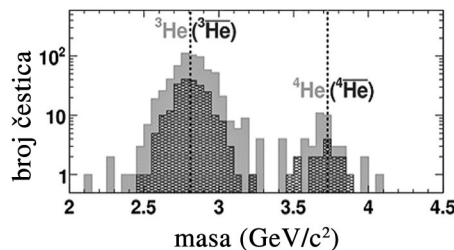
Ako se proces anihilacije događa u Svemiru, mogao bi se uočiti sa Zemlje, i postoje indicije da ima nešto antimaterije, npr., u središtu naše galaksije. Kako su elementarni procesi u prirodi simetrični, tako postoji i proces obrnut od anihilacije u kojem iz fotona nastaje materijska čestica i njen antimaterijski partner. Iz te simetrije naivno je

očekivati da se Svemir sastoji od jednakog broja čestica i antičestica. Vezano uz to postoje dva problema: u Svemiru ne uočavamo puno antimaterije, i osim toga, uočavamo puno fotona u odnosu na ostale čestice. To daje naslutiti kako je u ranom Svemiru nastalo malo više materije nego antimaterije. Kroz vrijeme, jednake količine materije i antimaterije su se anihilirale, pa zato danas vidimo toliko fotona, a ono malo materije viška, što je preostalo, jest masa u Svemiru koju danas vidimo. Ipak, pitanje je li Svemir uglavnom sastavljen od materije ili ne još nije eksperimentalno potvrđeno i još je uvijek otvoreno.



Slika 6. Tipičan izgled jednog sudara iona zlata u STAR detektoru. Svaka crta predstavlja jednu detektiranu česticu.

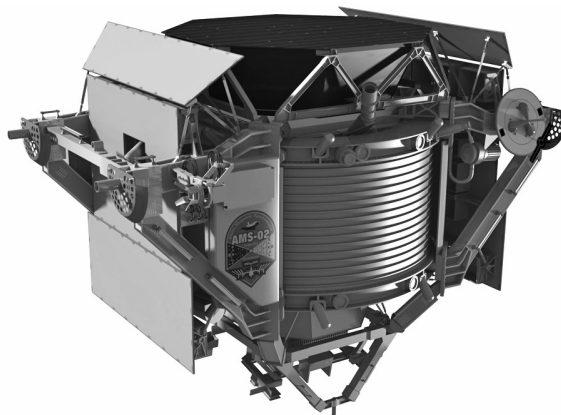
Jedan indikator za postojanje antizvijezda bila bi detekcija teške antimaterijske jezgre u svemirskom prostoru. Ispada da ukoliko se tako detektira antihelij-4 jezgra, možemo biti gotovo sigurni da negdje postoji antizvijezda s koje je ta jezgra do nas stigla. Stoga se na Zemlji isto tako pokušavaju otkriti teške antijezgre (s 3 ili više protona i neutrona) kako bi proučili njihova svojstva. Najteža dosad otkrivena antijezgra jest (${}^4_2\text{He}$), otkrivena na STAR detektoru u sudarima iona zlata [4].



Slika 7. Na STAR detektoru otkriveno je 18 jezgri anti- $({}^4_2\text{He})$. Istodobno se identificirao i veći broj jezgara anti- $({}^3_2\text{He})$. Dodatkom svake nove čestice u antijezgru, postaje 1000 puta teže proizvesti i otkriti ju.

STAR detektor opremljen je nizom poddetektora koji imaju mogućnost određivanja mase, naboja i količine gibanja čestica proizvedenih u sudarima. Analizom podataka koji uključuju više od pola bilijarde ($5 \cdot 10^{11}$) čestica otkriveno je ukupno 18 takvih antijezgara. Otkriće je kandidat za Guinnessovu knjigu rekorda, a zasigurno će tamo jako dugo stajati. Naime, ispada da je dodatkom svake iduće antičestice u jezgru 1000

puta teže proizvesti i detektirati takvu jezgru. Inače, upravo na STARu je otkrivena i prva lakša antijezgra (${}^3_2\text{He}$), no izgleda da prvu stabilnu jezgru težu od helija, (${}^6_3\text{Li}$), nećemo dugo vidjeti, jer ju je milijun puta teže proizvesti! Letjelica koja pokušava otkriti anti- $({}^4_2\text{He})$ van atmosfere već je u radu, a njezini se prvi rezultati željno iščekuju!



Slika 8. AMS detektor odaslan u Svemir u nadi da se i tamo otkrije jezgra anti- $({}^4_2\text{He})$, što bi dokazalo postojanje antizvijezda.

Literatura

- [1] A. SCHUSTER, *Potential Matter – A Holiday Dream*, Nature 58 (1503): 367–360, 1898.
- [2] CARL D. ANDERSON, *The Positive Electron*, Physical Review 43 (6): 491–494, 1933.
- [3] DAVID H. FREEDMAN, *Antiatoms: Here Today*, Discover Magazine.
- [4] The STAR collaboration, *Observation of the antimatter helium-4 nucleus*, Nature 2011 doi:10.1038/nature10079, 2011.