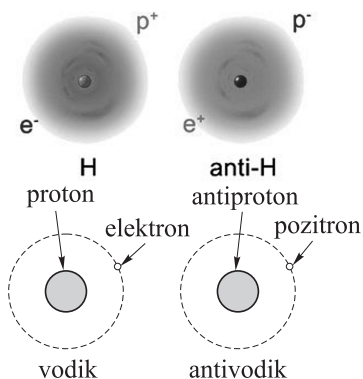




Što drži antijezgre na okupu? Istraživanje sila između dva antiprotona na STAR detektoru

Nikola Poljak¹



Slika 1. Vodik i antivodik. Spektroskopija antivodika pokazuje identičan spektar svjetlosti kao i spektroskopija vodika.

Tako se pretpostavlja da je električna interakcija između nabijenih antičestica ista kao i ona između čestica. Ako čestice i antičestice imaju istu masu, a suprotan naboj, nema razloga zašto bi međudjelovanje među antičesticama bilo ikako drugačije od međudjelovanja među česticama. Ova je hipoteza doživjela i eksperimentalnu potvrdu čim smo bili u stanju sintetizirati atom antivodika [2] i proučavati njegova svojstva. Kako je električna sila zaslužna za vezanje jezgre i elektrona (ili antijezgre i pozitrona), svojstva atoma koja ovise o energijama vezanih stanja atoma daju nam direktan uvid u svojstva sile koja ih veže. Tipičan način za proučavanje energetskih stanja nekog plina jest analiza zračenja svjetlosti zagrijanog plina. Takva svjetlost sastoji se od spektralnih linija samo određenih valnih duljina, što je posljedica postojanja vezanih stanja elektrona u atomima. Mjerenje spektralnih linija plina vodika i plina antivodika ukazuje na to da su oni potpuno identični unutar mogućnosti eksperimentalnih mjerenja! Drugim riječima, to je indirektna potvrda da su svojstva elektromagnetske sile ista za čestice i antičestice.

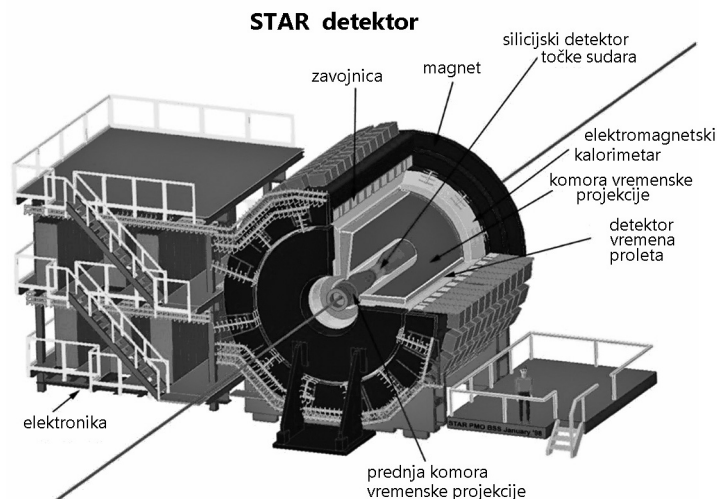


Slika 2. Spektar vodika (apsorpcijski i emisijski). Zagrijavanjem antivodika dobija se identičan spektar, što ukazuje na ista svojstva električne sile u vodiku i antivodiku. Ove linije vidljivog dijela spektra pripadaju Balmerovom nizu i bile su teorijski izazov u ranim danima kvantne fizike.

¹ Autor je docent na Fizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu; e-pošta: npoljak@phy.hr

Zanimljivo je upitati se razlikuju li druge temeljne sile čestice od antičestica? Uz električnu silu, trebalo bi provjeriti svojstva tri preostale temeljne sile. Kako se vjeruje da antičestice imaju istu masu kao i čestice, gravitacijska sila trebala bi djelovati jednako na oba tipa materije. Zakretanje čestica i antičestica istog naboja u magnetskom polju ukazuje na to da i jedne i druge imaju istu tromu masu. No, direktan utjecaj gravitacijskog polja na antičestice još nije eksperimentalno potvrđen, uglavnom zbog kompleksnosti eksperimenta koji bi to mogao mjeriti. Dakle, iako se zna da imaju istu masu kao i čestice, dosad nije eksperimentalno utvrđeno padaju li antiatomi u gravitacijskom polju prema dolje ili ne!

No, sila čija svojstva nas najviše zanimaju je tzv. jaka sila koja je, između ostalog, zaslužna za držanje protona i neutrona na okupu (svaki od njih samostalno, kao i zajedno u jezgrama). Jaka sila, kao što joj ime i govori, za sastavnice jezgre puno je jača od ostalih sila, ali ima kratak doseg. Ako zamislimo dva protona, oba pozitivnog naboja, znamo da će se odbijati električnom silom. Treba uložiti rad kako bi protone priveli bliže jedan drugome. No, ako ih uspijemo dovoljno približiti, počinje djelovati jaka sila i privlačiti ih jedan k drugom. Kad se postigne ravnoteža jake i električne sile, dobit ćemo stabilnu (ili skoro stabilnu) jezgru atoma nekog kemijskog elementa.

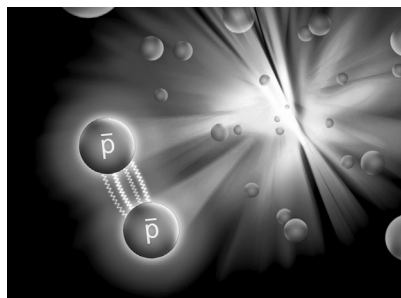


Slika 3. STAR detektor u SAD-u gdje je proveden eksperiment.

Kao što se vidi, za jaku silu treba istražiti dva svojstva – udaljenost na kojoj počinje djelovati i njenu jakost. Mjerenja jake sile u materijskim jezgrama provode se već dugo, no nisu direktna, već se svojstva sile određuju iz raznih nuklearnih procesa. Mjerenja svojstava jake sile među antičesticama još su zahtjevnija jer proizvodimo vrlo malo antimaterijskih jezgara, a i kad ih proizvedemo, imaju toliko energije da ih je nemoguće zadržati na mjestu i proučavati im svojstva. No, svojstva jake sile među antičesticama ipak su određena na STAR detektoru u sudarima iona zlata [3].

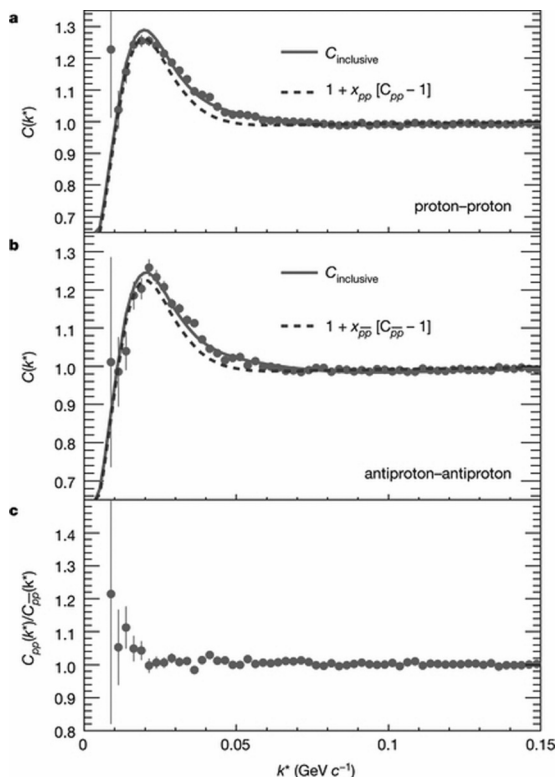
U STAR detektoru moguće je za svaku proizvedenu česticu i antičesticu u sudarima jezgara zlata odrediti masu, naboj i količinu gibanja. Poznato nam je da se u svakom sudaru proizvede relativno velik broj antiprotona pa oni čine idealan uzorak za mjerenje svojstava jake sile. U analizi se ne proučavaju svojstva svakog pojedinog antiprotona, već se uzimaju parovi antiprotona iz nekog sudara i gleda se kako oni međudjeluju. Stručnim rječnikom, proučavaju se korelacije (anti)čestica u pojedinim sudarima.

Radi ilustracije, zamislimo dva antiprotona koji nastaju u nekom sudaru. Oni mogu imati proizvoljan smjer i iznos količine gibanja. Ako su vrlo daleko jedan od drugog, međudjelovanje među njima bit će zanemarivo. Ako su, pak, u sudaru proizvedeni tako da izlete van bliže jedan drugome, međudjelovat će električnom, ali ne i jakom silom. Postoje i slučajevi kad dva antiprotona izlete iz sudara toliko blizu jedan drugome da međudjeluju i jakom silom. Stoga se u svrhu mjerenja definira veličina koja se naziva korelacijska funkcija, i iz koje se mogu izračunati parametri jake sile, a ovisi o relativnoj količini gibanja dva antiprotona. Iz podataka pri maloj relativnoj količini gibanja mogu se očitati svojstva jake sile.



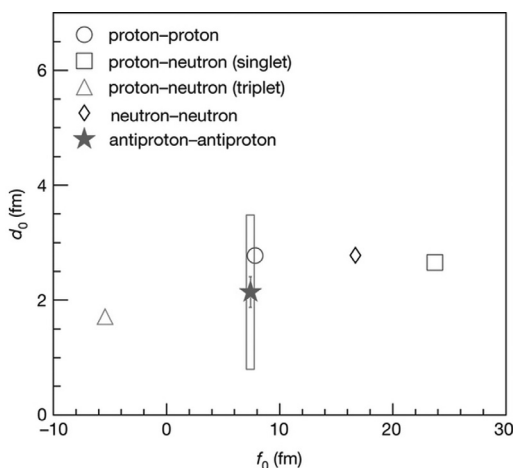
Slika 4. Umjetnički prikaz sudara u STAR detektoru i mjerenja korelacije između dva antiprotona, koja ovisi direktno o svojstvima jake sile.

U svrhu usporedbe, ista se analiza provodi s dva protona, jer u konačnici želimo usporediti silu među protonima sa silom među antiprotonima.



Slika 5. Dobivene korelacijske funkcije između (a) dva protona, (b) dva antiprotona i (c) njihov omjer. Čim je omjer bliži jedan, to su svojstva jake sile za čestice i antičestice sličnija. Na y-osi nalazi se vrijednost korelacijske funkcije, a na x-osi relativna količina gibanja čestica. Vidi se da je unutar eksperimentalne greške omjer dviju sila uvijek jednak 1.

Rezultati mjerenja pokazuju da su korelacijske funkcije za dva protona i dva antiprotona identične unutar eksperimentalnih grešaka. Račun svojstava jake sile među antiprotonima daje parametre sile (jakost i doseg) koji se poklapaju s parametrima jake sile među protonima. U konačnici, time se dokazuje da jaka sila ne razlikuje čestice i antičestice! Iako se ovo čini kao relativno jednostavan rezultat, nije bio dosad eksperimentalno potvrđen, a nosi sa sobom dalekosežne posljedice. Zamislimo, npr., da negdje u Svemiru postoji antizvijezda (ili antigalaksija). Kako možemo biti sigurni da će procesi koji se odvijaju u antizvijezdi biti identični onima koji se odvijaju u zvijezdi od normalne materije? Jedini utjecaj na procese imaju sile među česticama, a sad smo pokazali da su one jednake za čestice i antičestice. Kad ne bi bilo tako, lako je moguće da bi antimaterijski dio Svemira, ukoliko uopće postoji, imao ponešto drugačiji sastav od materijskog.



Slika 6. Izmjereni parametri jake sile. Zvezdicom su označena mjerenja STAR detektorom između dva antiprotona, a ostale točke su mjerenja za materijske čestice. Za očekivati je da će interakcija dva antiprotona biti ista kao i interakcija dva protona. Na x i y -osima nalaze se parametri vezani direktno uz svojstva sile.

Literatura

- [1] The STAR collaboration, *Observation of the antimatter helium-4 nucleus*, Nature 473, 353–356, 2011.
- [2] DAVID H. FREEDMAN,
<http://discovermagazine.com/1997/jan/antiatomsheretod1029>,
Antiatoms: Here Today..., Discover Magazine.
- [3] The STAR collaboration, *Measurement of interaction between antiprotons*, Nature 527, 345–348, 2015.