

Biblioteka
INCUS

TIM *press*

Biblioteka

INCUS

Ivo van Vulpen

Melodija prirode

Potruga za Higgsovim bozonom i velike zagonetke svijeta minijaturnog

Naslov izvornika

DE MELODIE VAN DE NATUUR

De zoektocht naar de bouwstenen van het heelal

© 2018 Ivo van Vulpen

All rights reserved

© za hrvatsko izdanje:

TIM press, Zagreb

Tel.: 01 611 97 13; Faks: 01 611 97 14;

E-mail: tim.press@tim-press.hr

www.tim-press.hr

Sva prava pridržana

ISBN 978-953-8075-83-4

IVO VAN VULPEN

Melodija prirode

Potruga za Higgsovim bozonom i
velike zagonetke svijeta minijaturnog

S nizozemskoga prevela
Snježana Cimić

Zagreb, 2020.

Nederlands
letterenfonds
dutch foundation
for literature

Zahvaljujemo *Dutch Foundation for Literature*
na potpori objavljivanju ove knjige.

SADRŽAJ

Uvod	7
1. Pravila igre	13
2. Atomska revolucija	37
3. Čestice standardnog modela	71
4. Sile u standardnom modelu	109
5. Otkriće Higgsova bozona	133
6. <i>Terra incognita</i> : put u nepoznato	163
Zahvale	193
Kazalo imena	195

UVOD

„Svemir nije samorazumljiv. Jednako kao što ga ima, moglo ga je i ne biti.“ Ova čudna i zbunjujuća izjava čini se idealnim polazištem za duboko filozofsko promišljanje ili sjajnom uvodnom rečenicom za raspravu na nekoj koktel-zabavi. No te je riječi u svom govoru izrekao fizičar Paul de Jong, nastojeći obuhvatiti konačno pitanje: zašto uopće *nešto* postoji? To jednostavno pitanje sadržava čudesnu dubinu, no samim pitanjem *zašto* nećemo daleko dospjeti. S obzirom na činjenicu da svemir već postoji, možda je bolje zauzeti nešto pragmatičniji stav i usmjeriti se na ono *nešto* te pokušati istražiti *kako* stvari funkcioniraju u tom našem čudnom svemiru.

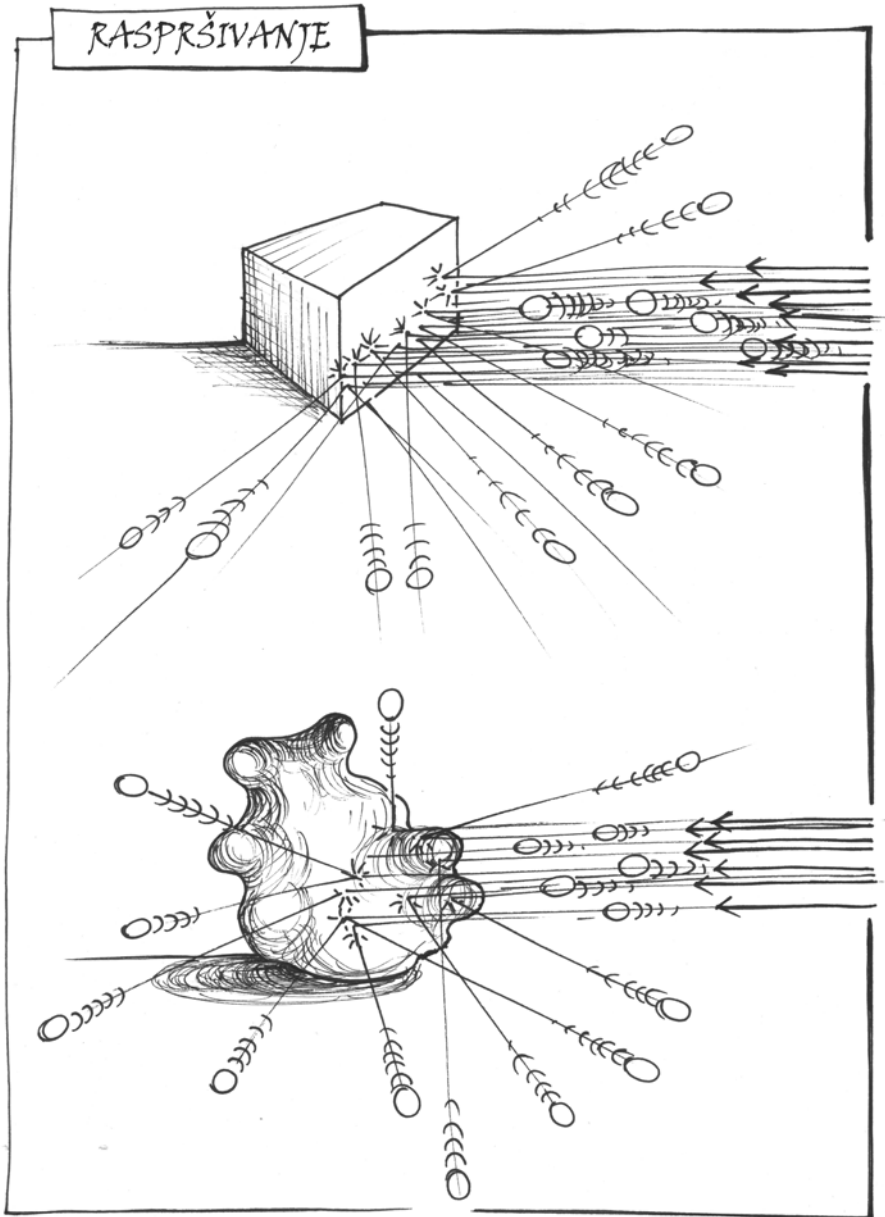
Naravno da bez problema možete bezbrižno doživjeti i stotu, nikada se ne pitajući kako nastaje struja, zašto je voda prozirna a kamen nije, otkuda Suncu energija i kako je uopće moguće da postoji svemir. Tek kad jednom, često slučajno, postavite prvo takvo pitanje, primijetit ćete koliko malo znate o stvarima koje su se prvotno činile tako logičnima i trivijalnim. Odgovore na većinu tih pitanja saznat ćete klikom miša na mrežne stranice poput Wikipedije, ali postoje i mnoga pitanja na koja i dalje nemamo odgovor. Priroda naime ne odaje lako svoje najdublje tajne i čitavi naraštaji znanstvenika trebaju naporno raditi kako bi te tajne otkrili. Pozornim proučavanjem i utvrđivanjem fenomena koje zapažamo oko sebe nastojimo prepoznati obrasce i tako korak po korak prodrijeti do zakonâ prirode na kojima počivaju.

Kako sve funkcionira? I zašto? Kako bismo proširili granice znanja, moramo ući u područje u kojemu nitko prije nije bio. Ljude neodoljivo privlači ideja pomicanja granica znanja na bilo kojem području. Sportski rekordi jednostavno traže da ih se sruši, a prirodni ekstremi da ih se osvoji, i svi znamo imena odvažnih ljudi koji su u tome uspjeli. Jim Hines bio je prvi atletičar koji je 100 metara pretrčao za manje od 10

Ono što nam treba jest dobra ideja ili potpuno nov pristup. Tako funkcionira fundamentalna znanost: zanimljivo, bez obzira na ozbiljnost problema, naposljetku se pronađe rješenje za nadilaženje prepreka i proširivanje horizonata. I u ovom je slučaju tako. No morali smo otići puno dalje od konvencionalnih metoda.

Osim gledanja, postoje i drugi načini kako doznati oblik nekog predmeta. Zatvorimo li oči, i dalje možemo lako osjetiti razliku između noža i vilice. Znanstvenici su razvili sličnu metodu za „ispipavanje“ predmeta, pri čemu ne rabimo svoje ruke, nego kuglice koje ispaljujemo na predmet kako bismo potom promatrali kako se odbijaju od njega. To odbijanje, ili *raspršivanje*, govori nam nešto o obliku predmeta.

Predočimo si kako to funkcionira: zamislite da je na podu dnevne sobe predmet, na udaljenosti od metra, obavijen neprozirnom zavjesom zbog koje ga se ne može izravno vidjeti. Cilj je istražiti što se nalazi iza zavjese, pri čemu je jedini dostupan alat vreća sa stotinjak malih pikula. Jedino što možemo činiti jest bombardirati taj predmet pikulama, ispaljujući ih po podu na predmet. One će se otkotrljati ispod zavjese, odbiti od predmeta i ponovno se pojaviti s druge strane zavjese. Promatrajući kako se pikule odbijaju i ispucavajući ih različitom brzinom, možemo steći predodžbu o obliku predmeta. Ako iza zavjese nema ničega ili samo nekoliko mrvica kruha, onda će se pikule ponovno pojaviti s druge strane zavjese kao da se ništa nije dogodilo. No stoji li ondje drvena ploča pod kutom od 45 stupnjeva, pikule će skrenuti lijevo ili desno. Sve su to jednostavni primjeri. No zadatak postaje složeniji želimo li saznati je li iza zavjese tanka drvena pregrada ili debela željezna ploča. A zamislite samo da ispucavanjem pikula moramo otkriti skriva li se iza zavjese plišani Mickey Mouse ili Paško Patak. To je već izazov, štoviše veoma težak, no ne i nemogući! Kako bismo to saznali trebamo: a) pikule, b) pojam o tome zašto se pikule različito odbijaju od Paška i Mickeya i c) način praćenja kutova pod kojima se pikule odbijaju. U znanosti se upravo taj način promatranja malih predmeta rabi već veoma dugo, pri čemu je zadatak ubrzivača čestica da stvara pikule i ispaljuje ih na predmete. Ovdje koristim riječ „pikule“, no radi se zapravo o sitnim česticama.



je element s 80 protona u jezgri atoma živa. Zlato se pretvorilo u živu! U nekim je slučajevima nastali atom i sam opet nestabilan te se radioaktivni raspad nastavlja, sve dok na koncu ne preostane stabilni atom.

Tijekom godina, znanstvenici su utvrdili sve izotope svih elemenata proučavajući koje su jezgre stabilne, a koje ne, te koliko brzo u prosjeku dolazi do raspada (takozvano vrijeme poluraspada). Vrsta zračenja ovisi o vrsti raspadanja.

Tablica 2. Tri vrste zračenja

α -zračenje	emisija jezgre helija	nije štetno
β -zračenje (elektroni)	neutron postaje proton	malo štetno
γ -zračenje (fotoni)	preuređenje nukleona	jako štetno

Uz ove tri vrste zračenja, ovisno o tipu tranzicije, nestabilni atomi imaju i vrlo širok spektar vremena raspadanja. Tako se neobičan atom zlata iz našeg primjera raspada u prosjeku nakon dvije sekunde, ali se jezgra uranija raspada (lomeći se gotovo napola) tek nakon nekoliko stotina milijuna godina. Komadić uranija će i nakon milijardu godina još biti visokoradioaktivan. Upravo ga to čini tako opasnom vrstom radioaktivnog otpada.

I prije nego što smo sve to saznali, radioaktivno zračenje bilo je poznat fenomen. Uzmite za primjer radij, element prisutan u boji koja svijetli u mraku i koja se rabila u izradi satova, ili pak zračenje koje je otkrivalo unutrašnjost ruke (rendgenske zrake, vrsta fotona). No nakon atomske revolucije konačno je postalo jasno *što* je točno izvor tog zračenja i kako ga možemo upotrijebiti da naučimo više o samim jezgrama. Iako je radioaktivno zračenje na lošem glasu, rabi se i u bolnicama – ne samo u terapiji zračenja tumorskih stanica, već i u dijagnosticanju začepljenih krvnih žila. U krvotok se unosi mala količina radioaktivne tvari, koja se potom proširi cijelim tijelom. Mjerenjem zračenja koje se oslobađa u krvi i potom izlazi iz tijela, možemo dobiti detaljnu sliku

krvožilnog sustava. Vjerojatno ste već vidjeli takve snimke. Kako bi liječnik inače znao postoji li začepljenje i gdje se nalazi? Unatoč zlom glasu, radioaktivnost se pokazala korisnom u bolnicama. Baš kao i fizičari.

Mjera u kojoj se neutroni i protoni međusobno privlače u atomskoj jezgri, takozvana energija vezivanja, ovisi o kombinaciji protona i neutrona. To je postalo jasno čim su znanstvenici uspjeli sudariti atomske jezgre. Pokazalo se da nuklearna energija vezivanja ima ključno svojstvo koje omogućava spajanje i cijepanje čak i stabilnih jezgri atoma. Štoviše, pri tim se procesima oslobađa energija. Prije nego što promotrimo posljedice tog otkrića, razmotrimo analogiju koja u svakodnevnom životu povezuje fuziju i fisiju.

Brojni su primjeri koji zorno pokazuju da je za tvrtke koje ubrzano rastu u određenom trenutku učinkovitija podjela u manje jedinice. Prednosti nedijeljenja više ne nadilaze prednosti fleksibilnosti i energije ostvarive kroz manje jedinice. Troškovi i pravne teškoće vezani uz reorganizaciju tvrtke izuzetno se brzo nadoknade. Na drugoj strani spektra vrijede druga pravila. Naime, dok vrlo velike tvrtke profitiraju od dijeljenja, za manje je pametnije upravo obratno, dakle udruživanje. Isprva postoje veliki troškovi kako bi se to udruživanje provelo, no investicija rezultira novom energijom i većom dobiti.

Zanimljivo, za atomske jezgre vrijede ista pravila. Poremetimo li ravnotežu velikih atomskih jezgri, primjerice ispaljivanjem dodatnog neutrona na njih, ponekad će se podijeliti na manje dijelove (dva nova elementa). Novi raspored, kojim su čestice u jezgri razmještene u dva dijela, energetski je učinkovitiji nego da su svi nukleoni ostali u jednoj atomskoj jezgri. Posljedica preraspodjele čestica jezgre jest ta da su zasebni dijelovi zajedno lakši od izvorne jezgre koja se raspala. Zvuči čudno, no to je istina: dio mase nestao je. U nuklearnim se elektranama iskorištava ta činjenica kako bismo cijepanjem jezgri uranija dobili energiju.

Jezgre laganih atoma funkcioniraju upravo suprotno. Njihovim spajanjem i formiranjem teže jezgre oslobađa se energija. Učinkovitija raspodjela nukleona omogućuje da masa nove jezgre bude manja nego zbroj dviju zasebnih jezgri. Opet čudno, no istinito. Zahvaljujući tome konačno razumijemo kako izgara Sunce: fuzijom malih jezgri vodika u

U CERN-u uvijek žurimo sa sastanka na sastanak, no to je razdoblje bilo potpuno kaotično. Unutar organizacije već smo dugo znali da postoji višak u podacima, ali su rezultati svih kalibracija i provjera stizali polako od svih skupina pa ih je trebalo povezati kako bismo dobili onaj jedan presudni broj, dokazujući time da su šiljci u obama kanalima nepodudarni s teorijom da Higgsov bozon ne postoji. Jedan od programera koji je omogućio da se svi ti podaci obuhvate modelom kako bismo ih, uz stotine provjera mogli svesti na onu jednu brojku, stupanj nepodudarnosti, bio je Wouter Verkerke, moj kolega iz ureda u Nikhefu. Još mi nije jasno kako bismo uspjeli tom brzinom kombinirati sve one podatke da nije bilo njegovih računalnih programa. Podudarnost s hipotezom da Higgsov bozon ne postoji morala je biti dovoljno mala – tek smo tada mogli tvrditi da smo otkrili Higgsov bozon. Koja bi u tom slučaju bila njegova masa te je li raspodjela pružala konzistentnu sliku? Izluđivalo nas je što se činilo da rezultati velikih eksperimenata u CERN-u uvijek odmah dopijevaju u javnost, no konačne su brojke u ovome slučaju začudo uspjele ostati tajnima.

Iako je to teško za povjerovati, konačna brojka bila je poznata tek nekoliko dana prije izlaganja. Višak koji smo uočili bio je prevelik da bismo ga smatrali slučajnom fluktuacijom, a i sve ostalo bilo je očekivano. Očito smo stvorili tešku česticu sa svojstvima koja su odgovarala onima čestice koju je Peter Higgs predvidio 1964. godine. Poslije smo doznali da su naši suparnici u eksperimentu CMS na istome mjestu također uočili višak. Čestica je, ako je doista bila riječ o Higgsovu bozonu, imala masu od 125 GeV (čime je bila nešto više od sto trideset puta teža od protona) i doista se raspala na dva fotona i četiri miona.

Fizičari su vrlo oprezni kada iznose zaključke mjerenja, stoga ih na izlaganjima, a poslije i u publikacijama, ovako opisuju: „U potrazi za Higgsovim bozonom vidimo višak sukladan s predviđanjem kakvo očekujemo ukoliko Higgsov bozon postoji, no postoji još veoma mala vjerojatnost da je riječ o slučajnoj fluktuaciji uzrokovanoj drugim procesima u standardnom modelu.“ Naposljetku je potreban odlučujući potez autoriteta koji pretvara „možda“ u „da“ ili „ne“. U našem je slučaju to bio Rolf Heuer, tadašnji direktor CERN-a, koji je nakon izlaganja Fabiole Gianotti, voditeljice eksperimenta ATLAS (i sadašnje direktorice CERN-a), rekao: „Dame i gospodo, mislim da smo uspjeli.“ U dvorani

su u tom trenutku bili i Francois Englert i Peter Higgs, koji su osmislili mehanizam i samu česticu. Na izlaganje su bili pozvani „jer bi moglo biti predstavljeno nešto zanimljivo“. To je bilo točno, a Peter Higgs pokazao je koliko je dirnut kada je u intervjuu rekao da je to otkriće nevjerovatno i kako je iznenađen što ga je doživio.

Dvije velike suradničke zajednice znanstvenika iz cijeloga svijeta otkrićem toga posljednjeg djelića slagalice okončale su više od pedeset godina potrage. Fantastično! Bio je to trenutak euforije, ali i svršetak zajedničkog sna o pronalasku te čestice usred načina na koji poimamo masu. Prekrasno je bilo biti dijelom toga povijesnog otkrića. Kao što smo i pretpostavljali, prazan prostor nije doista prazan, nego je ispunjen Higgsovim poljem koje česticama daje masu. Ne samo prijenosnicima sile koji prenose slabu silu (čiji je utjecaj stoga ograničen na vrlo male udaljenosti) nego i građevnim blokovima materije. Masa je svojstvo čestica zahvaljujući kojemu se one gomilaju i tako oblikuju strukture u svemiru, kao što su galaksije, Sunce i Zemlja. Sada razumijemo uzrok tih pojava. Ovu novu stvarnost neki su ljudi usporedili s „ribom koja je otkrila da živi u vodi“.

Nova stvarnost

Poput mnogih mojih kolega, i ja sam se 5. srpnja probudio ushićen, no ubrzo se javio onaj dobro poznat i uznemirujuć osjećaj, toliko svojstven fizičarima. Otkrili smo novu česticu, no ima li ona točno ona svojstva koja je predvidio Peter Higgs? Ili postoji složeniji mehanizam kojim priroda česticama dodjeljuje masu, kao što naslućuju toliki teorijski fizičari? Nakon što smo dobili najveću nagradu koja postoji u fizici, doima se jako čudnim i dalje razmišljati o problemima. Treba imati na umu da je nakon tako dugotrajne opsjednutosti potragom za Higgsovim bozonom dugačak popis neodgovorenih pitanja uključivao i mnoga na koja postojanje Higgsova bozona nije moglo dati odgovor.

U sljedećem ćemo poglavlju sagledati nekoliko tih neodgovorenih pitanja. Ostat ćemo usredotočeni na fenomen mase, no ima još toliko

GRAVITONI

Ako je teorija o dodatnim prostornim dimenzijama doista točna i ako gravitacija doista postane jednako jaka kao i ostale tri sile na veoma malim udaljenostima, onda bismo morali moći zamijetiti kvantnomehaničke učinke gravitacije i, točnije, prijenosnike gravitacijske sile. Uspijemo li u CERN-u skupiti dovoljno energije u sudaru protona, onda bismo, koristeći istu metodu kojom dobivamo fotone, W -čestice i Z -čestice, morali moći proizvesti graviton. Ta bi čestica potom mogla pobjeći u dodatnu prostornu dimenziju i time bi iznenada nestala energija. Isto tako se može iznenada opet pojaviti – baš kao što se mravu čini da je čaša nestala kad je podignemo sa stola i da se ponovno pojavila kad je spustimo. Energija, za koju se čini da je naprosto nestala.

MINI CRNE RUPE

Mogućnost stvaranja mini crnih rupa jedna je od najčudnijih posljedica teorije o dodatnim dimenzijama, u kojoj gravitacija može postati nevjerojatno snažna na kratkim udaljenostima. Gravitacija može sadržavati neobične fenomene zahvaljujući svojstvu koji ostale sile nemaju. Baš poput elektromagnetske sile, gravitacija postaje jača kako se čestice međusobno približavaju. No onda se dogodi nešto neobično. Na određenoj udaljenosti, Schwarzschildovu radijusu (neka vrsta točke bez povratka), gravitacija postaje tako jaka da stvara crnu rupu: objekt kojemu čak ni svjetlo više ne može umaknuti.

Ovo zvuči opasno, jer sve crne rupe iz knjiga ili serija o svemiru veoma su teški objekti koji usisavaju sve oko sebe, poput kozmičkih usisivača. Ako je ova teorija točna, znači li to da bismo u CERN-u u sudarima čestica mogli ići preko te vrijednosti i stvoriti mini crne rupe? „Bolje spriječiti nego liječiti: nemojte ni pokušavati“, pomislili biste. I ta je briga opravdana: naposljetku, ne bi li crna rupa progutala i Zemlju? CERN je vrlo ozbiljno shvatio tu zabrinutost i detaljno proučio sva moguća katastrofična predviđanja u vezi s Velikim hadronskim sudaračem.

To je istraživanje pokazalo da ne postoji nikakva opasnost. Iako se u LHC-u protoni sudaraju na najvišoj energiji koju je čovjek ikada