

HIGGS

Jim Baggott a studiat chimia la Manchester, iar în 1978 și-a obținut la Universitatea Oxford titlul de doctor în chimie fizică. Activitatea sa de cercetător s-a împletit cu cea de autor al unor cărți cu subiecte la granița dintre știință, filozofie și istoria științei, între care *The Quantum Story*, *Farewell to Reality*, *The First War of Physics*, *The Meaning of Quantum Theory*.

JIM BAGGOTT

HIGGS

INVENTAREA ȘI DESCOPERIREA
„PARTICULEI LUI DUMNEZEU“

Cuvânt înainte de
STEVEN WEINBERG

Traducere din engleză și postfață de
IRINEL CAPRINI

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Angela Rotaru
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Ioana Vilcu
DTP: Florina Vasiliu, Dan Dulgheru

Tipărit la Monitorul Oficial R.A.

Jim Baggott

Higgs. The Invention and Discovery of the 'God Particle'

Copyright © Jim Baggott 2012

Higgs. The Invention and Discovery of the 'God Particle', First Edition was originally published in English in 2012. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

© HUMANITAS, 2015, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Baggott, Jim

Higgs: inventarea și descoperirea „Particulei lui Dumnezeu“ / Jim Bagott;

trad. și postf.: Irinel Caprini; cuvânt înainte: Steven Weinberg. –

București: Humanitas, 2015

ISBN 978-973-50-4925-6

I. Caprini, Irinel (trad.) (postfață)

II. Weinberg, Steven (cuvânt înainte)

821.111-32=135.1

53(410.5) Higgs, P.(0:82-32)

929 Higgs, P.

EDITURA HUMANITAS

Piața Presei Libere 1, 013701 București, România

tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51

www.humanitas.ro

Comenzi online: www.libhumanitas.ro

Comenzi prin e-mail: vanzari@libhumanitas.ro

Comenzi telefonice: 0372 743 382; 0723 684 194

Prefață

Știrea că ceva foarte asemănător cu bosonul Higgs a fost descoperit la CERN, la Geneva, pe 4 iulie 2012 s-a răspândit instantaneu în jurul lumii ca un virus electronic foarte contagios. Descoperirea a ținut prima pagină a ziarelor, a fost difuzată în multe buletine de știri și a atins audiențe-record. Semnale compatibile cu o particulă care fusese prima dată presupusă sau „inventată“ în 1964 fuseseră în sfârșit găsite, după 48 de ani, cu prețul a multe miliarde de dolari.

Dar de ce atâta zgomot pe tema asta? Ce este bosonul Higgs și de ce contează el atât de mult? Dacă această nouă particulă este cu adevărat particula Higgs, ce ne spune ea despre lumea materială și despre evoluția universului timpuriu? A meritat într-adevăr descoperirea ei tot acest efort?

Răspunsurile la aceste întrebări se pot găsi în istoria așa-numitului „Model Standard“ al fizicii particulelor. După cum îi arată numele, acesta e cadrul pe care fizicienii îl folosesc pentru a interpreta constituenții elementari ai materiei și forțele care leagă materia sau fac ca ea să se dezintegreze. Este un ansamblu de teorii concepute în mai multe decenii de efort susținut, care reprezintă cele mai reușite încercări ale fizicienilor de a interpreta lumea din jurul nostru.

Modelul Standard nu este încă o „teorie universală“, a tot ce există. El nu include forța gravitației. În ultimii ani ați citit, poate, despre noi teorii exotice ale fizicii, care încearcă să

unească forțele fundamentale, inclusiv gravitația. Sunt teorii precum supersimetria sau supercorzile. În ciuda eforturilor a sute de teoreticieni angajați în aceste proiecte, asemenea teorii rămân speculative și nu sunt aproape deloc susținute de dovezi experimentale. Deocamdată, cu toate neajunsurile care au fost recunoscute încă de la crearea sa în anii '70, Modelul Standard rămâne locul principal de desfășurare a acțiunii reale.

Bosonul Higgs este important în Modelul Standard deoarece implică existența unui câmp Higgs, un câmp de energie altminteri invizibil, care umple întregul univers. Fără câmpul Higgs, particulele elementare din care suntem alcătuiți, voi, eu și tot universul vizibil, nu ar avea masă. Fără câmpul Higgs, masa nu ar putea fi constituită și nimic n-ar putea să *existe*.

Se pare că datorăm foarte mult existenței acestui câmp. Iată unul dintre motivele pentru care bosonul Higgs, particula câmpului Higgs, a fost prezentat în presă drept *particula lui Dumnezeu*. Acest nume e considerat total inacceptabil de oamenii de știință din domeniu, fiindcă exagerează importanța acestei particule și atrage atenția asupra relației nu întotdeauna simple dintre fizică și teologie. Este însă o denumire foarte îndrăgită de ziariști și de autorii de știință popularizată.

Multe dintre consecințele prezise ale câmpului Higgs au fost confirmate de experimentele din acceleratoarele de particule de la începutul anilor '80. Dar a deduce indirect existența câmpului nu e același lucru cu a detecta particula sa de câmp care îl dezvăluie. De aceea e extrem de reconfortant să știm că acest câmp este foarte probabil aici, și acolo, și pretutindeni. Posibilitatea ca bosonul Higgs să nu fie descoperit exista efectiv, iar implicațiile pentru Modelul Standard puteau fi catastrofale.

Am început să scriu această carte în iunie 2010, cu doi ani înainte ca descoperirea să fie făcută. Tocmai terminasem manuscrisul altei cărți, intitulată *Povestea cuantică. O istorie în 40 de episoade*, care, așa cum arată titlul, e o istorie a fizicii cuantice de la 1900 până în prezent. Acea carte prezenta elaborarea

Modelului Standard și inventarea câmpului și a particulei Higgs. Cu câteva luni mai devreme, acceleratorul LHC de la CERN atinsese energia-record de șapte mii de miliarde de electronvolți în ciocnirile proton-proton, și mă așteptam ca o descoperire să fie posibilă în următorii câțiva ani. Din fericire, am avut dreptate.

Povestea cuantică a fost publicată în februarie 2011. Cartea de față se bazează, în parte, pe ea.

Adresez mulțumirile mele Lathei Menon și conducerii editurii Oxford University Press, care au acceptat să riște publicând o carte despre o particulă ce nu fusese încă descoperită. Am urmărit evenimentele de la CERN prin canalele oficiale, dar sunt recunoscător și câtorva bloggeri din fizica energiilor înalte, între care Philip Gibbs, Tommaso Dorigo, Peter Woit, Adam Falkowski, Matt Strassler și Jon Butterworth. Le mulțumesc lui Jon Butterworth, Sophie Tesauri, James Gillies, Laurette Ponce și Lyndon Evans pentru că au găsit timp să discute cu mine și să-mi împărtășească entuziasmul lor tot mai mare. Doresc să-mi exprim recunoștința față de profesorii David Miller și Peter Woit, care au citit și au comentat manuscrisul în faza preliminară, și față de profesorul Steven Weinberg, care, de asemenea, a citit manuscrisul și a avut amabilitatea să contribuie cu o perspectivă personală printr-un cuvânt înainte. Vă asigur că eroile care au mai rămas mi se datorează în întregime mie.

Jim Baggott
Reading, 6 iulie 2014

Cuvânt înainte

Multe descoperiri științifice importante au fost urmate de cărți de popularizare care explicau aceste descoperiri marelui public. Dar acesta e primul caz din câte cunosc în care o carte a fost scrisă în cea mai mare parte în *așteptarea* unei descoperiri. Pregătirea acestei cărți pentru publicare, imediat după anunțul din iulie 2012 privind descoperirea la CERN (confirmată oarecum de Fermilab) a unei noi particule care pare a fi particula Higgs, demonstrează energia și curajul remarcabil ale lui Jim Baggott și ale editurii Oxford University Press.

Publicarea promptă a acestei cărți demonstrează și interesul mare al publicului pentru această descoperire. De aceea este poate util ca în acest cuvânt înainte să adaug câteva observații proprii despre ceea ce tocmai s-a realizat. Se spune adesea că miza în căutarea particulei Higgs este originea masei. Este adevărat, dar această explicație necesită câteva precizări.

Prin 1980 aveam o teorie cuprinzătoare acceptabilă a tuturor particulelor elementare observate și a forțelor (altele decât gravitația) care se exercită între ele. Unul dintre elementele esențiale ale acestei teorii este o simetrie, un fel de relație de rudenie, între două dintre aceste forțe, forța electromagnetică și forța nucleară slabă. Electromagnetismul este răspunzător pentru lumină; forța nucleară slabă permite particulelor din interiorul nucleului atomic să-și schimbe identitatea în procesele de dezintegrare radioactivă. Această simetrie unește cele

două forțe într-o singură structură „electroslabă“. Proprietățile generale ale teoriei electroslabă au fost foarte bine testate; nu valabilitatea lor era miza recentelor experimente de la CERN și Fermilab, și ea nu ar fi fost pusă serios la îndoială nici dacă particula Higgs n-ar fi fost descoperită.

Dar una dintre consecințele simetriei electroslabă este că, dacă nu se adaugă nimic teoriei, toate particulele elementare, inclusiv electronii și cuarcii, ar avea masă nulă, ceea ce desigur nu e adevărat. Așadar, ceva trebuie să fie adăugat în teoria electroslabă, un nou tip de materie sau de câmp, care nu a fost observat până acum în natură sau în laborator. Căutarea particulei Higgs a fost căutarea răspunsului la întrebarea: ce este această nouă materie de care avem nevoie?

Căutarea acestei noi materii n-a însemnat doar efectuarea unor experimente la marile acceleratoare, așteptând să se vadă ce apare. Simetria electroslabă, o proprietate exactă a ecuațiilor fundamentale ale fizicii particulelor elementare, trebuie să fie într-un fel ruptă*; ea nu trebuie să se aplice direct particulelor și forțelor pe care le observăm în realitate. Se știa încă de la cercetările lui Yoichiro Nambu și Jeffrey Goldstone din 1960–1961 că ruperea simetriei de acest tip este posibilă în diverse teorii, dar se părea că aceasta ar atrage după sine în mod obligatoriu noi particule fără masă, care se știa că nu existau.

Au apărut apoi cercetările efectuate independent de Robert Brout și Francois Englert, de Peter Higgs, de Gerald Guralnik, Carl Hagen și Tom Kibble, toate din 1964, care au arătat că în anumite clase de teorii aceste particule Nambu–Goldstone fără masă pot să dispară, ele având doar rolul de a da masă particulelor care intermediază forțele.** Exact acest lucru se întâmplă

* Termenul *symmetry breaking* (ruperea simetriei) are sensul de încălcare a unei legi de simetrie, după cum e explicat în capitolul 1 al cărții de față. (*N. t.*)

** Pentru concizie, am să numesc aceste lucrări „articolele din 1964“. (*Nota lui Steven Weinberg.*)

în teoria forțelor slabă și electromagnetică propusă în 1967–1968 de Abdus Salam și de mine. Dar mai rămânea fără răspuns o întrebare: ce tip nou de materie sau de câmp rupe în realitate simetria electroslabă?

Existau două posibilități. O posibilitate era ca niște câmpuri până atunci neobservate să umple spațiul vid, și, exact la fel cum câmpul magnetic al Pământului distinge nordul de alte direcții, aceste noi câmpuri să facă distincția între forțele slabe și cele electromagnetice, conferind masă particulelor care transmit forța slabă și celorlalte particule, dar lăsând fotonii (care transmit forța electromagnetică) fără masă. Aceste câmpuri sunt numite „scalare“, ceea ce înseamnă că, spre deosebire de câmpurile magnetice, ele nu disting direcțiile din spațiul obișnuit. Câmpuri scalare de acest tip general au fost introduse în exemplele ilustrative de rupere a simetriei considerate de Goldstone, iar mai târziu în articolele din 1964.

Când Salam și cu mine am folosit acest gen de rupere a simetriei în construirea teoriei „electroslabă“ moderne a forțelor slabă și electromagnetică, am presupus că ruperea simetriei se datorează unor câmpuri de acest tip scalar care umplu tot spațiul. (O simetrie de acest fel fusese deja presupusă de Sheldon Glashow și de Salam împreună cu John Ward, dar nu ca o proprietate exactă a ecuațiilor teoriei, astfel că acești teoreticieni nu au fost conduși spre introducerea câmpurilor scalare.)

Una dintre consecințele teoriilor în care simetriile sunt rupte de niște câmpuri scalare, între care modelele considerate de Goldstone și în articolele din 1964, precum și teoria electroslabă propusă de Salam și de mine, este că, deși unele dintre aceste câmpuri servesc doar pentru a da masă particulelor care transmit forța, alte câmpuri scalare se pot manifesta în natură ca niște particule fizice noi, care ar putea fi create și observate în acceleratoarele cu țintă fixă sau în cele în care fasciculele de particule accelerate se ciocnesc frontal. Salam și cu mine am găsit că trebuie să introducem patru câmpuri scalare în teoria noastră

electroslabă. Trei dintre aceste câmpuri scalare erau folosite pentru a da masă particulelor W^+ , W^- și Z^0 – „fotonii grei“ –, care în teoria noastră transmit forța slabă (aceste particule au fost descoperite la CERN în 1983–1984 și s-a găsit că au masele prezise de teoria electroslabă). Dar un câmp scalar rămânea în plus, manifestându-se ca o particulă fizică, un pachet de energie și impuls al acestui câmp. Aceasta este „particula Higgs“ pe care fizicienii o caută de aproape treizeci de ani.

Dar mai exista și a doua posibilitate: să nu existe nici un câmp scalar nou care să umple spațiul și nici o particulă Higgs. Simetria electroslabă putea fi în schimb ruptă de niște forțe puternice, cunoscute sub numele de „forțe tehnicolor“, care acționează asupra unor particule prea grele pentru a fi observate deocamdată. Ceva asemănător se întâmplă în supraconductibilitate. Acest tip de teorie a particulelor elementare a fost propus la sfârșitul anilor '70 independent de Leonard Susskind și de mine, și ar conduce la o mulțime de noi particule, legate între ele prin forțe tehnicolor. Aceasta era deci alternativa cu care ne confruntăm: câmpuri scalare sau forțe tehnicolor?

Descoperirea noii particule constituie un vot foarte puternic în favoarea ruperii simetriei electroslabe prin câmpuri scalare, și nu prin forțe tehnicolor. De aceea este descoperirea atât de importantă.

Dar mai rămân încă multe de făcut pentru a stabili cu precizie dacă am găsit într-adevăr particula căutată. Teoria electroslabă din 1967–1968 prezice toate proprietățile particulei Higgs, cu excepția masei. Cu masa cunoscută acum experimental, putem calcula probabilitățile tuturor modurilor în care se pot dezintegra particulele Higgs și putem vedea dacă predicțiile sunt confirmate de experimente ulterioare. Aceasta va dura un timp.

Descoperirea unei noi particule care pare a fi particula Higgs le pune și teoreticienilor în față o sarcină dificilă, aceea de a-i înțelege masa. Particula Higgs este singura particulă elementară a cărei masă nu apare din ruperea simetriei electroslabe. Din punctul de vedere al principiilor fundamentale ale teoriei

electroslabe, masa particulei Higgs ar putea avea orice valoare. De aceea nici Salam și nici eu nu am putut s-o prezicem.

De fapt, există un aspect neclar legat de masa particulei Higgs pe care o observăm acum, aspect cunoscut în genere drept „problema ierarhiei“. Deoarece masa particulei Higgs este cea care fixează scala maselor tuturor celorlalte particule elementare cunoscute, am putea presupune că ea trebuie să fie similară cu o altă masă care joacă un rol fundamental în fizică, așa-numita masă Planck, care este unitatea de masă fundamentală în teoria gravitației (ea reprezintă masa unor particule ipotetice a căror atracție gravitațională ar fi la fel de intensă ca forța electrică dintre doi electroni separați prin aceeași distanță). Dar masa Planck este mai mare de circa o sută de mii de bilioane de ori decât masa Higgs. Astfel că, deși particula Higgs e atât de grea încât a fost necesar un accelerator de particule gigantic pentru a o crea, trebuie totuși să ne întrebăm de ce este masa ei atât de mică.

*

Jim Baggott mi-a propus să adaug câteva remarci personale privind evoluția ideilor în acest domeniu. Voi menționa doar două remarci.

După cum arată Baggott în capitolul 4, Philip Anderson afirmase mai demult, înainte de 1964, că particulele fără masă Nambu–Goldstone nu sunt o consecință necesară a ruperii simetriei. Atunci, de ce eu și ceilalți teoreticieni n-am fost convinși de argumentul lui Anderson? Desigur că asta nu reflecta nicidecum părerea că Anderson nu trebuia luat în serios. Dintre toți teoreticienii care se ocupau de fizica stării condensate, nici unul n-a înțeles mai limpede decât Anderson importanța principiilor de simetrie care s-au dovedit indispensabile în fizica particulelor.

Cred că argumentul lui Anderson a fost în general desconsiderat deoarece se baza pe analogii cu fenomene ca supraconductibilitatea, care sunt nerelativiste (adică, sunt fenomene ce au

loc în domenii în care teoria relativității restrânse a lui Einstein poate fi ignorată fără nici un risc). Dar inevitabilitatea particulelor fără masă Nambu–Goldstone fusese dovedită, aparent riguros, de Goldstone, Salam și de mine, într-o demonstrație din 1962 care se baza pe valabilitatea manifestă a teoriei relativității. Teoreticienii particulelor erau dispuși să creadă că Anderson avea dreptate în cadrul nerelativist al supraconductivității, dar nu și în teoria particulelor elementare, care include în mod necesar relativitatea. Articolele din 1964 au arătat clar că demonstrația dată de Goldstone, de Salam și de mine nu se aplica teoriilor cuantice cu particule care transmit forțe, deoarece, deși fenomenele fizice din aceste teorii satisfac principiul relativității, formularea matematică a acestor teorii în contextul mecanicii cuantice nu satisface acest principiu.

O problemă legată de relativitate a fost și motivul pentru care nu am reușit după 1967, în ciuda unor eforturi îndârjite, să demonstrez ceea ce Salam și cu mine presupusesem, și anume faptul că infiniții fără sens care apăreau în teoria electroslabă pot fi eliminați, așa cum se arătase deja doar în teoria electromagnetismului că pot fi eliminați infiniți similari care apar acolo. Relativitatea fusese esențială în demonstrarea compensării infiniților în electromagnetism. Demonstrația dispariției infiniților, dată de Gerard 't Hooft în 1971 și prezentată de Baggott în capitolul 5, folosea tehnici pe care 't Hooft le elaborase împreună cu Martinus Veltman, în care principiile mecanicii cuantice erau extinse pentru a permite formularea teoriei într-un mod compatibil cu relativitatea.

A doua remarcă: Baggott sugerează în capitolul 4 că nu am inclus cuarcii în articolul meu din 1967 care a propus teoria electroslabă deoarece eram preocupat de faptul că teoria ar putea prezice unele procese implicând așa-numitele particule „stranii“ care nu fuseseră observate în realitate. Aș vrea ca motivul meu să fi fost atât de precis. De fapt, nu am inclus cuarcii în teorie pur și simplu pentru că în 1967 nu credeam în cuarci.

CUPRINS

<i>Prefață</i>	5
<i>Cuvânt înainte de Steven Weinberg</i>	9
Prolog: Formă și substanță	17
<i>Din ce e alcătuită lumea?</i>	

PARTEA I: INVENTAREA

1 Poezia ideilor logice	33
<i>În care matematiciana germană Emmy Noether descoperă legătura dintre legile de conservare și simetriile profunde ale naturii</i>	
2 Asta nu-i o scuză!	49
<i>În care Chen Ning Yang și Robert Mills încearcă să elaboreze o teorie cuantică de câmp pentru forțele nucleare tari și îl necăjesc pe Wolfgang Pauli</i>	
3 Oamenii se dovedesc obtuzi în această privință	62
<i>În care Murray Gell-Mann descoperă straniețata și „Calea cu opt brațe“, Sheldon Glashow aplică teoria de câmp Yang–Mills în cazul forței nucleare slabe, iar oamenii se dovedesc obtuzi în această privință</i>	
4 Idei corecte aplicate într-o problemă greșită	78
<i>În care Murray Gell-Mann și George Zweig inventează cuarcii, iar Steven Weinberg și Abdus Salam folosesc mecanismul Higgs pentru a da (în sfârșit!) masă particulelor W și Z</i>	

- 5 Pot face asta! 98
În care Gerard 't Hooft demonstrează că teoriile de câmp Yang–Mills pot fi renormate, iar Murray Gell-Mann și Harald Fritsch elaborează o teorie a forțelor tari bazată pe culoarea cuarcilor

PARTEA A II-A: DESCOPERIREA

- 6 Curenți neutri alternativi 115
În care se arată că protonii și neutronii au o structură internă, iar curenții neutri ai forței nucleare slabe prezisi teoretic sunt găsiți, apoi pierduți, și apoi găsiți din nou
- 7 Trebuie să fie particulele W 131
În care este formulată cromodinamica cuantică, este descoperit cuarcul charm, iar particulele W și Z sunt găsite exact acolo unde se prezisese că trebuie să fie
- 8 Pasează în profunzime 148
În care Ronald Reagan își folosește autoritatea pentru a susține construirea unui Super-Accelerator Supraconductor, dar șase ani mai târziu, când proiectul este anulat de congres, din el nu mai rămâne decât o gaură în Texas
- 9 Un moment fantastic 161
În care bosonul Higgs este explicat astfel încât să poată fi înțeles și de un politician britanic, semne vagi privind Higgs-ul sunt găsite la CERN, iar Marele Accelerator de Hadroni (LHC) este pornit, dar apoi explodează
- 10 Întrebarea lui Shakespeare 181
În care LHC-ul funcționează mai bine decât se așteptau toți (cu excepția lui Lyn Evans), datele colectate într-un an sunt prelucrate în câteva luni, iar bosonul Higgs își face apariția din locurile unde se ascundea
- Epilog: Construcția masei 207*
Din ce e alcătuită lumea?
- Postfață 209*

<i>Postfață la ediția în limba română</i>	211
<i>Note</i>	213
<i>Glosar</i>	221
<i>Bibliografie</i>	243