

MASA

Jim Baggott (n. 1957) 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*, *Origins: The Scientific Story of Creation* (tradusă în română la Editura Humanitas sub titlul *Origini: Povestea științifică a creației*), *Higgs: The Invention and Discovery of the God Particle* (tradusă în română la Editura Humanitas sub titlul *Higgs: Inventarea și descoperirea „particulei lui Dumnezeu“*). Publică în mod regulat în revistele *New Scientist* și *Nature*.

JIM BAGGOTT

MASA

**ÎNCERCAREA
DE A ÎNȚELEGE MATERIA,
DE LA ATOMII GRECILOR
LA CÂMPURILE CUANTICE**

Traducere din engleză
de Vlad Zografi

 **HUMANITAS**
BUCUREȘTI

Coperta: Ioana Nedelcu
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Alina Dincă
DTP: Iuliana Constantinescu, Dan Dulgheru

Tipărit la Paper Print – Brăila

Jim Baggott

Mass: The Quest to Understand Matter from Greek Atoms to Quantum Fields

Copyright © Jim Baggott 2017

The moral rights of the author have been asserted.

All rights reserved

Mass: The Quest to Understand Matter from Greek Atoms to Quantum Fields

was originally published in English in 2017. This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Humanitas Publishing House is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon.

© HUMANITAS, 2021, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Baggott, Jim

Masa: încercarea de a înțelege materia, de la atomii grecilor la câmpurile cuantice / Jim Baggott; trad. din engleză de Vlad Zografi. – București: Humanitas, 2021

Conține bibliografie

ISBN 978-973-50-6756-4

I. Zografi, Vlad (trad.)

53

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: 0723 684 194

Pentru Mike
Probabil că e vina ta...

Cuprins

<i>Prefață</i>	9
Partea I: ATOM ȘI VID	15
1 Citadela tăcută	17
2 Lucrurile în sine	30
3 O imprimare a forței	44
4 Chimiștii sceptici	57
Partea a II-a: MASĂ ȘI ENERGIE	71
5 O concluzie foarte interesantă	73
6 Incomensurabil	91
7 Textura	104
8 În miezul întunericului	120
Partea a III-a: UNDĂ ȘI PARTICULĂ	135
9 Un gest disperat	137
10 Ecuația undei	151
11 Singurul mister	168
12 Masa goală și îmbrăcată	183
Partea a IV-a: CÂMP ȘI FORȚĂ	199
13 Simetriile naturii	201
14 Particula blestemată	215

15	Modelul standard.....	229
16	Masă fără masă	247
	Epilog	261
	<i>Note</i>	269
	<i>Glosar</i>	297
	<i>Bibliografie selectivă</i>	323

Prefață

Dintotdeauna visul filozofilor a fost ca întreaga materie să fie alcătuită dintr-un singur tip fundamental de particulă ... — Paul Dirac¹

Pare atât de simplu.

Stai așezat aici, citind cartea asta. Poate că e un exemplar cartonat, unul broșat sau o ediție electronică pe tabletă sau e-reader. Nu contează. Indiferent ce ții în mâini, putem fi siguri că e alcătuit dintr-un tip oarecare de *material*: hârtie, carton, plastic, conținând eventual minuscule componente electronice din metal sau plăci cu circuite imprimate. Indiferent ce e, o numim *materie* sau *substanță materială*. Are o proprietate caracteristică numită *consistență*. Are *masă*.

Dar, de fapt, ce *este* materia? Învățăm la școală la orele de științe că materia nu e continuă, ci discretă.* După cum au intuit unii filozofi greci din Antichitate cu aproape două mii cinci sute de ani în urmă, materia e formata din „bucăți“. Căutând pe internet, aflăm că hârtia se fabrică prin presarea laolaltă a fibrelor umede de pastă vegetală. Pasta vegetală are o structură internă alcătuită din molecule (cum e celuloza), iar moleculele, la rândul lor, sunt alcătuite din atomi (carbon, oxigen, hidrogen). Aflăm apoi că atomii constau în principal

* În matematică și fizică, *discret* înseamnă „discontinuu“. Aici are sensul de „granular“. (N. t.)

în spațiu gol, cu un mic nucleu central format din protoni și neutroni, în jurul căruia orbitează electroni.

Ai aflat pesemne și că protonii și neutronii nu sunt ultimul cuvânt în această privință. Particulele despre care se crede că sunt cărămizile ultime ale materiei, sau (mai curând) a căror structură internă e în prezent pur și simplu necunoscută, sunt numite de oamenii de știință „elementare“. Conform acestei definiții, protonii și neutronii nu sunt particule elementare, ci sunt alcătuiți din diferite tipuri de cuarci, menținuți laolaltă de gluoni.

Lucrurile sunt deci ceva mai complicate decât puteam bănui. Dar tot ce vedem de fapt aici sunt generații succesive de descoperiri științifice decojind straturile substanței materiale. Hârtie, carton, plastic; molecule; atomi; protoni și neutroni; cuarci și electroni. Pe măsură ce coborâm prin fiecare strat de materie, găsim constituenți tot mai mici – ceea ce, evident, nu-i surprinzător. Dar la fel de evident e și faptul că nu putem face asta la nesfârșit. După cum filozofii din Grecia antică au intuit odinioară, ne închipuim că ar trebui să dăm în cele din urmă de un soi de substanță fundamentală ultimă, indivizibilă, cărămizile din care e alcătuit totul în univers. Și n-ai nevoie de o imaginație prea îndrăzneată ca să presupui că, indiferent ce ar fi, nu poate exista decât *un singur* tip fundamental de material. Sau, cel puțin, un singur tip fundamental de material ar părea mai simplu. Restul – sarcină electrică, ceva numit sarcină de culoare, aromă, spin și multe altele – ar fi atunci doar un „veșmânt“.

În 1930, fizicianul englez Paul Dirac a numit această idee „visul filozofilor“. Erau vremuri mai simple. Neutronul nu fusese încă descoperit (a fost descoperit de James Chadwick în 1932), iar fizicienii credeau că întreaga materie e compusă din doar două tipuri de particule elementare – protonii de sarcină electrică pozitivă și electronii de sarcină electrică negativă. Dirac a crezut pentru o vreme că găsise un mod de a împăca

aceste idei, iar citatul pus la începutul prefeței continuă astfel: „Avem totuși motive să credem că electronul și protonul nu sunt cu adevărat independenți, ci sunt doar două manifestări ale unui singur tip de particulă elementară.“

Dar, vai, Dirac se înșela. În ecuațiile matematice ale noii sale teorii cuantice a electronului nu dăduse peste o relație fundamentală între proton și electron. El dedusese existența unui cu totul alt tip de materie, numit acum antimaterie. Entitatea încărcată pozitiv pe care teoria sa o prezisese nu era protonul, ci antielectronul (pozitronul), descoperit câțiva ani mai târziu în razele cosmice.

După 1930 lucrurile au mers din rău în mai rău. Visul a devenit un fel de coșmar. În loc de două particule elementare care puteau fi cumva înrudite, fizicienii se confruntau cu o veritabilă „faună“ de particule, multe cu proprietăți aparent absurde. Știința modernă ne-a subminat pur și simplu *toate* ideile preconceptuate despre universul fizic, și în special despre natura substanței materiale.

Am descoperit că fundamentele universului nostru nu sunt atât de solide sau sigure și demne de încredere pe cât ne închipuiserăm odinioară, ci sunt alcătuite din stranii fantome de tip cuantic. Iar la un moment dat din această fascinantă aventură a descoperirii am pierdut controlul asupra noțiunii confortabile și familiare de masă, acel omniprezent m care apare în toate ecuațiile fizicii, chimiei și biologiei.

Pentru atomiștii din Grecia antică, atomul trebuia să posedă *greutate*. Pentru Isaac Newton, masa era pur și simplu *quantitas materiae*, cantitatea de materie pe care o conține un obiect. La prima vedere, nu existau motive de a pune în discuție aceste concluzii perfect logice. Masa e, fără îndoială, o proprietate comună, deloc misterioasă. Când stăm dimineața pe cântarul din baie, ridicăm greutatea în sala de gimnastică sau ne împiedicăm de un obiect, aducem un respectuos omagiu noțiunii newtoniene clasice de masă.

Dar când un singur electron trece ca o fantomă deopotrivă prin două găuri sau fante apropiate, pentru a fi înregistrat ca un singur punct de un detector aflat la distanță, ce se întâmplă între timp cu masa acestei particule elementare presupusă a fi „indivizibilă”? Cea mai celebră ecuație a lui Einstein, $E = mc^2$, ne este bine cunoscută, dar ce înseamnă de fapt că masa și energia sunt echivalente și interșanjabile?

Așa-numitul „model standard” din fizica particulelor este cea mai bună descriere teoretică a particulelor elementare și a forțelor din câte au fost vreodată concepute. În acest model, particulele sunt înlocuite de câmpuri cuantice. Dar cum poate avea masă un *câmp* cuantic care e distribuit în spațiu și timp, și de fapt ce *este* un câmp cuantic? Ce înseamnă cu adevărat să spui că particulele elementare își dobândesc masa prin interacțiuni cu recent descoperitul câmp Higgs? Dacă însumăm masele celor trei cuarci despre care se crede că formează un proton, obținem abia un procent din masa protonului. Unde este așadar restul?

Iar apoi modelul standard al cosmologiei big bang inflaționare ne spune că această substanță care ne obsedează – așa-numita materie „barionică” formată din protoni și neutroni – reprezintă mai puțin de cinci procente din masa-energie totală a universului. Aproximativ 26 la sută este materie întunecată, o formă necunoscută de materie, omniprezentă, dar complet invizibilă, responsabilă de modelarea structurii la scară mare a galaxiilor și roiurilor de galaxii vizibile, precum și a golurilor dintre ele. Restul (69 la sută) se crede că este energie întunecată, energia spațiului „gol”, responsabilă de accelerarea expansiunii spațiului-timp.

Cum s-a întâmplat asta? Cum au devenit atât de complicate și greu de înțeles răspunsurile la întrebările noastre simple? În cartea de față voi încerca să explic cum am ajuns aici, confruntându-ne cu o foarte diferită înțelegere a naturii materiei, a

originii masei și a implicațiilor acesteia asupra felului în care înțelegem lumea materială.

Un avertisment. Autorii de lucrări având pretenția că prezintă interpretări accesibile publicului larg ale concluziilor științei moderne evită de regulă dificila sarcină de a intra în complicații matematice. Iată un faimos citat din cartea lui Stephen Hawking *Scurtă istorie a timpului*: „Cineva mi-a spus că fiecare ecuație pe care o introduc în carte va înjumătăți vânzările.”² În precedentele mele cărți am urmat această regulă, limitându-mă la un foarte mic număr de ecuații bine-cunoscute (vezi $E = mc^2$ de mai sus).

Limbajul matematic s-a dovedit însă a fi extrem de puternic în descrierea legilor naturii și a proprietăților materiei. E important să recunoaștem că cel mai adesea teoreticienii vor urmări un raționament matematic pentru a vedea unde îi conduce, fără să-și facă mari griji în privința felului în care termenii din ecuațiile lor și concluziile ce rezultă trebuie să capete apoi o interpretare fizică.

La începuturile mecanicii cuantice, de pildă, teoreticianul austriac Erwin Schrödinger deplângea pierderea generală a ceea ce el numea *Anschaulichkeit* – capacitatea de a vizualiza sau de a percepe –, pe măsură ce matematica devenea tot mai densă și mai abstractă. Susținuți de experiment sau de observație, teoreticienii pot demonstra că o anumită ecuație matematică reprezintă un aspect al realității noastre fizice. Dar nu avem certitudinea că-i vom putea interpreta conceptele într-un mod care să ajute înțelegerea.

Am ales așadar în această carte să dezvălui ceva mai mult din matematică decât de obicei, pur și simplu pentru ca cititorii interesați să-și facă o idee despre aceste concepte, despre felul în care le folosesc fizicienii și despre eforturile pe care le depun uneori pentru a le înțelege. Procedând astfel, voi rămâne doar la suprafața lucrurilor, cu speranța de a vă oferi un

răgaz suficient pentru a medita fără să fiți prea distrași de amănunte.¹ Dacă nu puteți întotdeauna urmări raționamentul ori înțelege semnificația fizică a cutărui sau cutărui simbol, nu vă judecați cu asprime. Se prea poate ca nimeni să nu le înțeleagă cu adevărat.¹

Îmi face o deosebită plăcere să-i mulțumesc lui Carlo Rovelli pentru comentariile lui utile și încurajatoare asupra ciornei manuscrisului. Niciodată nu m-am așteptat cu adevărat ca familia sau prietenii să-mi citească textele, deși mă bucur mereu când se întâmplă asta (mai ales dacă îmi spun apoi cuvinte frumoase despre ele). Evident, îi sunt îndatorat mamei pentru o mulțime de lucruri, dar cu acest prilej îi sunt în mod deosebit recunoscător fiindcă s-a angajat să citească fiecare cuvânt și mi-a oferit sugestii utile pentru ca aceste cuvinte să devină mai simple și mai accesibile. Mama nu are o formație științifică (la 74 de ani a obținut o diplomă în istorie la Universitatea din Warwick, Anglia), dar curiozitatea și entuziasmul ei pentru cunoașterea lumii sunt nelimitate. Sper ca mama să poată urmări ce-am scris...

Trebuie să-mi exprim de asemenea gratitudinea față de Latha Menon, editorul meu de la Oxford University Press, și Jenny Nugee, care m-a ajutat să-mi transform divagațiile într-o carte care sper să fie coerentă, indiferent de materia din care e alcătuită.

Jim Baggott
Octombrie 2016

¹ De fapt, mi-am impus eu însumi următoarele constrângeri. În textul principal, nici o ecuație cu mai mult de două sau trei variabile, plus o constantă ($E = mc^2$ are două variabile, E și m , și o constantă fizică, c). În notele de la sfârșitul cărții, pentru cei interesați să caute mai în profunzime, există ceva mai multe detalii matematice. (*N. a*)

Partea I

ATOM ȘI VID

În care noțiunea de atom e introdusă de filozofii Greciei antice și evoluează de la bucăți de materie indivizibile și indestructibile la atomii elementelor chimice așa cum îi cunoaștem azi.

1

Citadela tăcută

Nu aşadar ale soarelui raze – săgețile zilei
Pot risipi-ntunecimea și groaza din mintea omului,
Ci trebuință-i aici de-a naturii privire și studiu.

—Lucrețiu¹

Vă propun să începem de la o origine clară și simplă, pentru a vedea cum combinația dintre observație, experiment și raționament logic conduce către miezul misterului materiei. Vom porni deci de la acel gen de lucruri pe care le putem deduce doar observând lumea din jur și reflectând asupra naturii ei, fără a ne bucura de accesul la un laborator de fizică impecabil echipat sau la un accelerator de particule la energii înalte.

Mi-am dat seama aşadar că se cuvine să începem cu filozofii Greciei antice. O spun nu pentru că aş crede că ei ne pot îmbogăți cunoașterea la care am ajuns azi – se înțelege de la sine că filozofii greci din Antichitate nu beneficiau de o educație științifică modernă. Tot ce puteau face era să aplice puțină logică și imaginație la lucrurile pe care le percepeau doar prin simțurile lor, iar acesta cred că e un excelent punct de pornire.

Multe dintre ideile noastre preconceptuate despre natura materiei își au rădăcinile în lumea fizică imaginată de grecii antici, mai ales de cei care se numeau *atomisti*. Aceștia au fost Leucip din Milet (sau Abdera, sau Elea, potrivit diferitelor surse), despre care se crede că a trăit la mijlocul secolului V î.Cr., discipolul său Democrit din Abdera (născut pe la 460 î.Cr.) și continuatorul lor Epicur din Samos (născut pe la 341 î.Cr.),

care a revigorat și adaptat această primă versiune a teoriei atomice, încorporând-o într-un sistem filozofic. Cunoștințele noastre despre afirmațiile acestor filozofi sau despre felul în care își structurau raționamentele sunt mai degrabă vagi. Epicur susține că Leucip s-ar putea ca nici măcar să nu fi existat, iar meritul pentru crearea teoriei atomice i-ar reveni în întregime lui Democrit. Doar vreo trei sute de fragmente din scrierile atribuite lui Democrit au supraviețuit. Pare mult, dar e foarte puțin dacă ținem cont de lista lucrărilor sale dată de biograful din secolul III d.Cr. Diogenes Laertios în *Viețile și doctrinele filozofilor*.

După Diogenes, Democrit a scris pe larg despre fizică, cosmologie și matematică, despre etică și muzică. Preocuparea sa pentru condiția umană, și mai cu seamă pentru sentimentul de fericire sau voieșie, a făcut să fie numit „filozoful care râde“. Mult din ceea ce știm despre opera lui Democrit provine pe căi indirecte, din comentariile filozofilor ulteriori, dintre care unii (cum ar fi Aristotel, născut în 384 î.Cr.) au fost *critici* înverșunați, dar plini de respect, ai teoriei atomiste.

Scrierile lui Epicur au avut o soartă ceva mai bună. El a alcătuit câteva rezumate ale operelor lui (numite epitome), între care unul despre teoria lui fizică, scris pentru discipolul său Herodot, care pare să fie citat în întregime de Diogenes. Filozofia epicuriană a fost sursa de inspirație pentru poemul filozofului și poetului roman Titus Lucretius Caro *De rerum natura* (*Poemul naturii*, tradus și ca *Despre natura lucrurilor* sau *Despre natura universului*), publicat pe la anul 55 î.Cr., care pare să fie o adaptare relativ fidelă a operei de căpătâi a lui Epicur, conținând 37 de cărți, *Despre natură*.¹

¹ În pasajul care deschide Cartea a II-a din *Poemul naturii*, Lucretiu compară bucuria reflecției filozofice cu „viața în locuri senine / Sus în-nălțime-ntărite de cei înțelepți prin știință“, privind în jos către zbuciumul omenirii. Bănuiesc că e prima descriere a unui „turn de fildeș“. (N. a.) [În

Am putea afla mai multe despre genul de atomism al lui Epicur din propriile sale scrieri. O frumoasă vilă din orașul roman Herculaneum, despre care se crede că a aparținut socrului lui Julius Cesar, situată la jumătatea drumului spre Vezuviu, a fost îngropată în cenușă și moloz de erupția din anul 79 d.Cr. Săpăturile din secolul XVIII au scos la iveală o bibliotecă bogată, conținând peste 1 800 de papirusuri („papirusurile de la Herculaneum“)², despre care se crede că a fost biblioteca personală a filozofului Philodemos din Gadara, născut pe la 110 î.Cr. Philodemos a studiat la școala epicuriană din Atena, iar multe papirusuri conțin părți esențiale din *Despre natură*, deși acestea sunt grav deteriorate și rămân multe lacune.

Am vorbit destul despre istorie, să examinăm acum raționamentele. Pentru a fi dreți cu acești gânditori antici, să încercăm să uităm pentru moment ce știm despre lumea noastră modernă. Ne vom cufunda într-un fotoliu, dedându-ne cugețării filozofice, și nu vrem să fim distrași de detaliile existenței noastre moderne. Să ne închipuim că hoinărim desculți de-a lungul unei plaje pe malul Mării Egee în secolul V î.Cr., în Tracia de Vest, în Grecia, la vreo zece kilometri spre nord de vărsarea râului Nestos. E o zi frumoasă. Soarele strălucește și adie o briză domoală dinspre mare. În vreme ce hoinărim, ne preocupă o singură întrebare. Cum e alcătuită lumea?

Înainte de a ne pune cu adevărat întrebarea, trebuie stabilite câteva reguli de bază. Odată ce trăim în Grecia secolului V î.Cr., viețile noastre și multe ritualuri de zi cu zi sunt călăuzite de nevoia de a ne venera zeii. Să cădem de acord că, indiferent ce credințe și prejudecăți personale am avea, la întrebarea noastră filozofică vom căuta un răspuns care în ultimă instanță nu face

traducerea engleză din Lucrețiu, citată aici de Baggott, apare „quiet citadel“, care dă și titlul capitolului de față în ediția engleză a cărții. Pentru expresivitate, am ales drept titlu al capitolului varianta engleză, abătându-ne de la varianta tradusă în română. (N. t.)