

CUPRINS

Cuvânt înainte	7
Introducere: Ce este înțelegerea unei teorii fizice?	15

PARTEA ÎNTÂI

1. Considerații preliminare cu privire la înțelegerea fizicii cuantelor	39
2. A existat Școala de la Copenhaga? Contestarea și temeiurile ei	57
3. Prima replică. Oportunitatea regândirii reprezentărilor consacrate asupra cerințelor descrierii științifice a naturii	78
4. A doua replică. Inadecvarea și caracterul indispensabil al conceptelor clasice	100
5. A treia replică. Cum stau lucrurile dacă acceptăm o interpretare radicală a poziției lui Bohr?	127
6. Ce fel de filozofie este filozofia Școlii de la Copenhaga?	144

PARTEA A DOUA

Preambul	177
1. Personalitatea lui Bohr	187
2. Cum a ajuns Bohr la ideea complementarității?	211
3. Cum a evoluat gândirea lui Bohr în înțelegerea fizicii cuantelor?	229

4. Personalitatea lui Heisenberg	247
5. Elaborarea mecanicii cuantice și confruntarea cu Schrödinger	277
6. Dialogul cu Bohr și geneza interpretării de la Copenhaga a mecanicii cuantice	298
7. Filozofii sunt invitați la discuție	323
8. Locul conceptului <i>teorie închisă</i> în înțelegerea fizicii cuantelor	343
9. Filozofia cuantelor în scrierile târzii ale lui Heisenberg	365
Încheiere	385

Cuvânt înainte

Presupun că cititorilor le va atrage atenția titlul acestei cărți. Pare potrivit, prin urmare, să ofer, de la început, unele explicații.

Până în zilele noastre, multe minți cultivate asociază cu expresia *filozofie* reflecții și idei, mai mult sau mai puțin sistematice, despre o ordine adâncă a existenței, despre natura lumii, a ființei umane și a societății omenești. Încrederea în capacitatea filozofiei de a aduce o contribuție proprie la înaintarea cunoașterii a scăzut însă mult de-a lungul timpului. Astăzi este larg acceptată delimitarea preocupărilor filozofice de cele ale cercetării științifice prin sublinierea distincției dintre activități orientate în primul rând spre clarificarea conceptelor și cele ce urmăresc extinderea și aprofundarea cunoașterii. Îndeosebi în ultima sută de ani, cercetători ale căror contribuții la cunoașterea naturii au fost esențiale au formulat și o mare varietate de reflecții asupra semnificației unor descoperiri capitale din știința exactă a naturii. Printre acestea, un loc important îl ocupă cele asupra semnificației noii fizici a cuantelor. Acestor cercetători le era clar că astfel de reflecții sunt gânduri filozofice, și nu contribuții științifice propriu-zise. Țin ele însă de ceea ce numim, în mod curent, *filozofia științei*?

Răspunsul ar putea fi unul afirmativ dacă am ține seama doar de faptul că atât unii mari cercetători, cât și filozofii care se interesează de știința naturii au urmărit și urmăresc să contribuie la înțelegerea semnificației unor descoperiri științifice majore. Pe de altă parte, se poate constata că străduințele lor

sunt conduse de obiective diferite. Este ceea ce îmi propun să evidențiez în cartea de față. Nu sunt totuși de prisos câteva precizări preliminare în această privință.

Ca domeniu relativ mai recent al preocupărilor filozofice, filozofia științei a urmărit și urmărește să aducă clarificări privitoare la natura, structura și evoluția istorică a cunoașterii științifice. Filozoful științei studiază, de regulă, anumite episoade din istoria unor domenii ale cercetării științifice, urmărind formularea unor considerații cu caracter mai general. Influența acestora asupra orientării gândirii științifice nu este de multe ori semnificativă. La limită, ea ar putea fi comparată cu cea pe care o exercită scrierile teoreticienilor artei asupra evoluției creației artistice. Mult înainte de apariția unor preocupări sistematice de filozofia științei, unii dintre cei mai de seamă cercetători ai naturii au reflectat asupra a ceea ce au putut învăța din proprie experiență, ca și din cea a altor cercetători, cu privire la obiectivele activității lor și la căile cele mai potrivite pentru a le atinge. Ce anume deosebește reflecțiile lor asupra implicațiilor și consecințelor unor descoperiri științifice majore de cele ale filozofilor științei? Ei doreau, între altele, să înțeleagă cât mai bine factorii care favorizează sau, dimpotrivă, zădărnicesc atingerea obiectivelor cercetării naturii. Și, de asemenea, să înțeleagă cum modifică descoperirile științifice imaginea curentă a oamenilor despre lumea în care trăiesc. Și, nu în ultimul rând, să desprindă anumite concluzii privitoare la cerințe ale descrierii și explicației fenomenelor naturii. Reflecțiile de acest gen erau destinate, în primul rând, celor activi în cercetare. S-a presupus adesea că ceea ce oferă ele ar fi mai mult intuiții, care ar urma să fie apoi elaborate și sistematizate de filozofii științei. În contrast cu acest mod de a vedea lucrurile, care rareori este exprimat în mod explicit, îmi propun să pun în evidență existența unei filozofii a cercetătorului conduse de interese și obiective esențial diferite de cele care sunt urmărite, de regulă, de filozofii științei.

Două precizări preliminare pot fi făcute cu privire la ceea ce distinge acele reflecții pe care le desemnez prin expresia *filozofia cercetătorului*. Prima este aceea că finalitatea unor asemenea reflecții o constituie înțelegerea unor rezultate fundamentale ale cercetării, precum și identificarea indicațiilor ce rezultă dintr-o asemenea înțelegere pentru orientarea ei viitoare. A doua observație este că asemenea reflecții nu stau sub controlul faptelor, așa cum stau ipotezele și teoriile științifice propriu-zise. Ele nu pot fi confirmate sau infirmate în mod concludent, adică nu se impun tuturilor celor în cunoștință de cauză. Așa cum se va vedea, cu privire la asemenea gânduri pot persista dezacorduri greu de depășit între cercetători de cel mai înalt rang. Acelor oameni de știință care le formulează sau, dimpotrivă, le critică și le resping nu li se poate imputa nici incompetența profesională, nici reaua-credință. În funcție de formația intelectuală, de înclinații ale gândirii și de experiențe profesionale, cercetătorii le vor putea socoti convingătoare, plauzibile sau inacceptabile. Cei mai reflexivi sau cei mai pragmatici dintre cercetători vor fi tentați să se confrunte cu ele sau, dimpotrivă, să le trateze cu indiferență. Se mai poate face observația că îndreptățirea unor asemenea reflecții va putea fi apreciată mai bine din perspectiva rezultatelor cercetării de-a lungul unei perioade mai îndelungate de timp.

Cu referire la o configurație pe care o socotesc exemplară pentru ceea ce numesc *filozofia cercetătorului*, și anume interpretarea fizicii cuantelor elaborată cu precădere de Niels Bohr și Werner Heisenberg, numită și interpretarea de la Copenhaga, voi urmări câteva obiective strâns legate între ele. Unul dintre ele este de a arăta că ceea ce distinge fizica cuantelor ca atare de înțelegerea fizicii cuantelor este ceea ce desparte o realizare majoră a cercetării de reflecții asupra semnificației acesteia. Distincția este aceea dintre o contribuție științifică și una de natură filozofică. Un alt obiectiv pe care l-am urmărit este de a arăta că filozofia cercetătorului și filozofia convențională a

științei reprezintă două niveluri distincte ale discuției filozofice. Între filozofia generală a științei și interpretarea de la Copenhaga a fizicii cuantelor au existat, desigur, anumite interferențe. Fizicienii teoreticieni care au fost activi în elaborarea și apărarea acestei interpretări au avut anumite lecături filozofice și, desigur, contacte cu filozofi ai științei. Voi susține însă că influența orientărilor din filozofia generală a științei asupra interpretării de la Copenhaga a fost mult mai slabă decât au presupus mulți autori care au discutat această temă. În general, unii dintre acei oameni de știință ale căror reflecții sunt în cel mai înalt grad semnificative pentru filozofia cercetătorului, bunăoară Henri Poincaré, Albert Einstein, Niels Bohr sau Werner Heisenberg, au semnalat, nu o dată, deosebiriile dintre acele preocupări și interese care se exprimă în reflecțiile lor și considerațiile filozofilor științei, precum și dificultățile de comunicare ce decurg de aici. Cine citește ampla literatură consacrată filozofiei cuantelor, inclusiv pe cea recentă, va putea constata însă că acestor avertismente nu li s-a acordat și nu li se acordă destulă atenție.

Doresc de asemenea să precizez că obiectul lucrării de față nu este înțelegerea mecanicii cuantice în genere. Nu vor fi prezentate și discutate contribuții interpretative mai recente, de pildă cele care sunt legate de noțiuni precum corelația cuantică (*entanglement*) și decoerența, legate mai strâns de date experimentale. Nici expunerea și discutarea interpretării de la Copenhaga nu va reprezenta un scop în sine. Ea va fi prezentată și examinată ca o configurație exemplară pentru acel gen de considerații pe care le desemnează expresia *filozofia cercetătorului*. Miza nu este atât susținerea interpretării de la Copenhaga, apărarea ei în fața criticilor la care a fost supusă timp de aproape un secol, cât evidențierea și analiza tipului aparte de contribuție filozofică pe care o ilustrează. Ceea ce am urmărit, înainte de toate, a fost să schițez profilul a ceea ce numesc „filozofia cercetătorului“, prin raportare la acea înțelegere a fizicii cuantelor care a fost expusă, în primul

rând, în texte scrise de Bohr și Heisenberg. Am insistat, ce-i drept, asupra prezentării tuturor acelor texte ale lui Bohr și Heisenberg pe care le-am socotit semnificative din această perspectivă. Mulți dintre cei care se interesează astăzi de înțelegerea fizicii cuantelor le cunosc mai mult din surse secundare.

Mi-e greu să apreciez dacă toate aceste intenții au fost urmărite într-un mod consecvent în textul cărții. Mi se pare însă important ca cititorul să nu le piardă din vedere.

După părăsirea scenei de către principalii protagoniști ai controversei privitoare la înțelegerea fizicii cuantelor – Albert Einstein, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg –, orientarea discuției asupra acestei teme a cunoscut anumite schimbări. Dând curs îndeosebi unor sugestii ale lui Einstein și sub influența poziției adoptate de influentul fizician irlandez John Stewart Bell, în ultimele decenii s-a afirmat tot mai puternic tendința de a privi și valoriza teoriile fizice fundamentale drept descrieri ale lumii. Acei cercetători care promovează un astfel de mod de a gândi se declară, cum era de așteptat, nesatisfăcuți de interpretarea de la Copenhaga a fizicii cuantelor. Ei își doresc o reformulare a teoriei cuantelor care să vină în întâmpinarea acestei cerințe. S-ar putea spune așadar că ei sunt nemulțumiți de teoria cuantelor ca teorie fizică, nu de o anumită interpretare a ei. Ei înclină să-și prezinte nemulțumirea drept una de natură profesională. Consecința este că o înțelegere a mecanicii cuantice cum este cea propusă de Școala de la Copenhaga va fi, în mare măsură, trecută cu vederea. Observația mea este că punctul de plecare și de sprijin al acestei poziții este înțelegerea teoriilor fizice fundamentale drept descrieri ale naturii. Toți cercetătorii vor fi de acord că o teorie fizică trebuie să dea socoteală de datele experimentale, să facă predicții reușite, să aibă aplicații. Nu același lucru se poate spune însă cu privire la afirmația că o teorie fizică este o descriere mai mult sau mai puțin adecvată a realității. Aceasta este o susținere de natură filozofică, ea

ține de „filozofia cercetătorului“. Iar dacă așa stau lucrurile, atunci afirmația că înțelegerea fizicii cuantelor a fost și este orientată de anumite opțiuni de natură filozofică, care îi pot despărți pe unii dintre cei mai respectați cercetători, rămâne în picioare.

Interesele și preocupările mele care au legături cu tema pe care o discut în această carte sunt vechi. Încă într-un studiu¹ publicat la începutul anilor '80, discutând tema relației dintre teorii ale fizicii clasice și fizica cuantelor, atrăgeam atenția asupra unor deosebiri dintre abordările fizicienilor teoreticieni și cele ale filozofilor științei. Contururi clare a căpătat tema într-o carte² în care am urmărit să evidențiez și să discut ceea ce am numit „presupoziții filozofice“ în știința exactă a naturii. Multe considerații pe care le prezint acum cititorului reiau și duc mai departe subiecte pe care le-am abordat în acea carte. Este ceea ce pot spune și despre studiile de caz din ultima parte a unei alte cărți³ pe teme de filozofie a științei. În scrieri relativ mai recente am revenit de multe ori asupra semnificației dezacordurilor și controverselor dintre cercetători eminenți ai naturii cu privire la interpretarea fizicii cuantelor, cu deosebire la cele care l-au opus pe Einstein lui Bohr și Heisenberg. Am subliniat și relația dintre aceste dezacorduri și înțelegerile diferite ale raportului dintre teorii fizice fundamentale ce marchează evoluția reprezentărilor noastre asupra naturii.⁴ Și în unele lucrări pe care le-am publicat în

1. „Limbajul naturalistului» și «limbajul filozofului»“, în Alexandru Valentin, Stelian Popescu (coord.), *Ideea de dialectică în știința și filozofia contemporană*, Editura Politică, București, 1982, pp. 43–74.

2. *Perspectivă filozofică și rațiune științifică: Presupoziții filozofice în știința exactă*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1985.

3. *Imagini ale științei*, Editura Academiei Române, București, 1994.

4. „Emergența principiului corespondenței și problematica relației dintre teorii fizice fundamentale“, în Iancu Lucica, Constantin Grecu (coord.), *Logică și ontologie*, Trei, București, 1998, pp. 273–307; „Succesiune de teorii închise sau așezare mai profundă a fundamentelor? Două

ultimii zece ani discut subiecte care au o relație semnificativă cu cele tratate în cartea de față. Ele conțin pasaje care reprezintă versiuni preliminare sau chiar elaborări parțiale ale unora dintre capitolele ei.¹

Impulsul inițial și punctul de plecare al acestei cărți, la care am lucrat, cu lungi perioade de întrerupere, mai mult de zece ani, l-a constituit proiectul unei prezentări a interpretării de la Copenhaga a mecanicii cuantice în relația ei cu interpretări rivale. A fost un proiect care s-a conturat în discuții cu doamna Maria Țițeica. Chiar dacă a fost abandonat, el a reprezentat acel prim impuls în lipsa căruia nu aș fi scris probabil cartea. Iată de ce mulțumirile mele se adresează, în primul rând, doamnei Țițeica. Mi-e greu să apreciez cât de îndatorat sunt în conturarea și formularea afirmațiilor pe care le prezint aici discuțiilor pe care le-am purtat de-a lungul anilor cu colegi și alte persoane interesate de filozofia științei, îndeosebi cu ocazia unor expuneri publice. Cred că numeroasele convorbiri și confruntări cu vechiul meu coleg și prieten profesorul Ilie Pârvu, care susține vederi, în multe privințe, diferite de ale mele, m-au ajutat să îmi clarific gândurile și să le exprim mai limpede. Un seminar pe care l-am condus acum

perspective asupra evoluției teoriilor în fizica modernă“, *Analele Universității București. Seria Filozofie*, vol. XLIX (2000), pp. 91–116; „Research Orientation and Metatheoretical Reflection“, *Proceedings of the Romanian Academy. Series A*, vol. 1, nr. 2–3 (2002), pp. 223–226.

1. „Ce fel de filozofie este filozofia Școlii de la Copenhaga?“, *Revista de filozofie analitică*, vol. 5, nr. 1 (2011), pp. 5–23; „Eigentlich eine Überraschung? Einsteins Misstrauen gegenüber der Quantenmechanik“, în Ilie Pârvu (ed.), *Bucharest School in Analytic Philosophy: An Anthology*, Editura Universității din București, București, 2014, pp. 161–175; „What Ought to Be Done and What Is Forbidden: Rules of Scientific Research as Categorical or Hypothetical Imperatives“, în Ilie Pârvu, Gabriel Sandu, Iulian D. Toader (eds.), *Romanian Studies in Philosophy of Science* (Boston Studies in the Philosophy and History of Science, vol. 313), Springer, Dordrecht, 2015, pp. 25–42.

câțiva ani cu colegii Gheorghe Ștefanov și Iulian Toader, precum și expuneri recente pe teme de filozofia științei au fost tot atâtea prilejuri de a urmări teme ale acestei cărți.

Doresc să exprim mulțumiri prietenilor și colegilor care mi-au semnalat sau mi-au oferit posibilitatea să consult o parte din cuprinzătoarea literatură privitoare la subiectele pe care le discut; cu deosebire lui Radu Bogdan, Hans-Klaus Keul, Mihai Hodoroșea, Ilie Pârvu, Cristi Stoica, Maria Țițeica și Cătălin Vasilescu. Pentru asistență la scrierea textului le rămân recunoscător lui Constantin C. Brîncuș, Emilian Mihailov și Cosmin Văduva.

Dl Vlad Zografi a citit manuscrisul cu ochiul fizicianului avizat. Îi mulțumesc pentru nu puține observații și sugestii ce privesc exprimarea și terminologia științifică. În sfârșit, dar nu în ultimul rând, îi rămân foarte îndatorat colegului și prietenului meu Grigore Vida. A investit în îmbunătățirea acurateței, clarității și calității stilistice a textului o atenție și o concentrare ce stau la nivelul acelor pe care le acordă propriilor sale scrieri.

AUTORUL

INTRODUCERE

Ce este înțelegerea unei teorii fizice?

Teoriile fundamentale ale fizicii aduc o contribuție esențială la acea cunoaștere a naturii pe care o oferă știința modernă. Există un acord cuprinzător între cercetători privitor la ceea ce se așteaptă să ofere teoriile care vor fi apreciate drept satisfăcătoare din punct de vedere științific. Se așteaptă ca ele să permită derivarea faptelor experimentale cunoscute și să conducă la descoperirea unor fapte noi. Într-o exprimare mai precisă, pe baza consecințelor deduse din corelații formulate de teorie și a informațiilor despre caracteristicile de stare ale sistemelor fizice urmează să fie formulate predicții, care pot fi confruntate cu datele măsurărilor pe care le fac experimenterii. Experiența va pronunța în acest fel un verdict asupra pretențiilor de cunoaștere ale unei construcții teoretice, verdict care va fi acceptat de toți cei competenți și de bună-credință. Există însă și fizicieni care cred că aceasta este o condiție necesară, dar nu suficientă pentru a fi pe deplin satisfăcuți. Ei susțin că este firesc să aspirăm la ceea ce fizicianul german Werner Heisenberg a numit *înțelegere*. Ce anume se are în vedere prin această expresie? În ce constă *înțelegerea*? Heisenberg este unul dintre cei care au propus un răspuns. El a introdus acest concept pornind de la câteva exemple.

Una dintre tradițiile științifice ale Antichității a fost cea numită „astronomia epiciclorilor“. Ea și-a găsit încoronarea în opera lui Claudius Ptolemeu din Alexandria. Ciclurile și

epiciclurile introduse de Ptolemeu ofereau o descriere matematică a mișcării planetelor sistemului solar cunoscute pe atunci, descriere care era în acord cu datele observației. Pe baza acestei descrieri au putut fi formulate predicții reușite ale eclipselor Soarelui și Lunii. Astronomia epiciclurilor s-a dovedit utilă și pentru alte scopuri practice, însă sistemul lui Ptolemeu nu oferea o înțelegere a mișcării planetelor sistemului solar. Nu răspundea bunăoară la întrebarea de ce se mișcă ele pe acele traiectoriile care le erau prescrise în sistem și confirmate de datele observației. Abia aplicarea conceptelor și legilor teoriei newtoniene a mișcării a oferit răspunsul. Mecanica lui Newton a făcut posibilă nu doar explicarea, pentru prima dată, a mișcărilor planetelor sistemului solar, în particular a legilor formulate de către Kepler, ci și a unei mari varietăți de fenomene fizice. Pe baza legilor formulate de Newton au putut fi înțelese multe caracteristici ale mișcării corpurilor solide, ale lichidelor și ale gazelor, care fuseseră stabilite în mod experimental, ca și anumite caracteristici și regularități ale fenomenelor luminoase. Iar odată cu dezvoltarea teoriei cinetice a căldurii s-a putut proba că fenomenele calorice nu sunt manifestări ale unei substanțe speciale, ci consecințe ale mișcării mecanice a particulelor. În acel cadru teoretic, a cărui elaborare a fost inițiată de Newton, *înțelegerea* a fost oferită pe baza unor concepte ca spațiu, timp, particulă materială, forță, viteză și impuls. Fenomene și regularități, cunoscute deja prin observații și experimente, au fost explicate drept rezultat al mișcării particulelor care se atrag și se resping.

Asemenea succese i-au făcut pe unii cercetători să creadă că toate fenomenele lumii fizice vor putea fi *înțelese* pe baza conceptelor și legilor mecanicii clasice newtoniene. Într-o cuvântare programatică din anul 1869, *Despre țelul și progresele științei naturii*, Hermann von Helmholtz, una dintre autoritățile fizicii timpului, spunea: „Dacă mișcarea este schimbarea originară, care stă la baza tuturor schimbărilor din lume, atunci toate forțele elementare sunt forțe motrice, iar

scopul final al științelor naturii este să găsească mișcările și forțele motrice care stau la baza tuturor schimbărilor, adică să se dizolve în mecanică¹. Iată o formulare care exprima în mod clar ceea ce autorul și cei care îi împărtășeau opiniile aveau în vedere când vorbeau despre *înțelegerea* progreselor înfăptuite în cunoașterii naturii. Cuvintele lui Helmholtz pot fi socotite drept formularea clasică a programului mecanicist al înțelegerii naturii.

Înfăptuirea acestui program s-a lovit însă de obstacole care s-au dovedit, în cele din urmă, de netrecut. Cercetări experimentale întreprinse încă din secolul al XVIII-lea au permis să se calculeze forțele care acționează între corpuri încărcate electric, să se descopere corelații legice pe baza cărora au fost elaborate predicții încununat de succes. Drumul de la elaborarea unor modele matematice ale unui domeniu de fenomene, care fac posibile predicții reușite, până la înțelegerea semnificației fizice a acestor modele s-a dovedit a fi, în cazul de față, lung și dificil. Numeroase încercări de a deriva legi ale fenomenelor electrice și magnetice stabilite experimental pe baza unor modele mecanice au eșuat. Danezul Hans Christian Ørsted arătase, încă în 1820, că în interacțiunea dintre fenomenele electrice și magnetice forțele acționează numai în cazul mișcării sarcinii electrice. Aceste forțe sunt dependente de viteza sarcinii și ele nu se exercită pe dreapta care unește magnetul cu sarcina electrică în mișcare. Fapte experimentale importante din acest domeniu nu au putut fi, așadar, înțelese satisfăcător utilizând conceptele și legile mecanicii. Cercetătorul englez Michael Faraday a încercat să facă față acestei situații prin introducerea unor concepte noi. El a propus conceptul de câmp electromagnetic, în care forțele se propagă din aproape în aproape, și a explicat constatările lui Ørsted pe baza ipotezei că un câmp magnetic variabil este însoțit de

1. Hermann von Helmholtz, *Philosophische Vorträge und Aufsätze*, Akademie Verlag, Berlin, 1971, p. 164.