https://doi.org/10.59295/ierm2025.23 CZU 165.82:530.145

MISTERUL CUANTIC: REALITATE, CUNOAȘTERE ȘI LIMITELE ȘTIINȚEI[1]

THE QUANTUM MYSTERY: REALITY, KNOWLEDGE, AND THE LIMITS OF SCIENCE

Ecaterina LOZOVANU, ***doctor în filosofie, conferențiar universitar, Departamentul Științe socio-umane Universitatea Tehnică a Moldovei***
E-mail: ecaterina.lozovanu@ssu.utm.md
ORCID: 0000-0002-5722-1600

Rezumat. *De peste nouă decenii, mecanica cuantică modelează profund înțelegerea noastră despre natură, oferind explicații pentru stabilitatea atomilor, formarea moleculelor, proprietățile materialelor și fenomene precum lumina sau radioactivitatea. Este esențială în tehnologiile moderne, de la cipuri la lasere, și stă la baza fizicii particulelor elementare. Totuși, cu toate succesele sale, rămâne o teorie profund misterioasă, confruntându-se cu o enigmă centrală: de ce lumea cuantică se comportă atât de diferit față de realitatea cotidiană?*

Elemente precum superpoziția și corelația cuantică, care permit particulelor să existe simultan în mai multe stări sau să rămână interconectate indiferent de distanță, contrazic intuițiile lumii clasice. Acest decalaj între comportamentul microscopic și cel macroscopic a generat ceea ce se numește „problema măsurătorii", ridicând întrebări fundamentale despre natura realității.

Divergențele de interpretare au condus la două mari curente: antirealismul, promovat de Niels Bohr, care susține că realitatea depinde de observator și de interacțiunea cu instrumentele de măsură, și realismul, susținut de Albert Einstein, care consideră că mecanica cuantică este incompletă și că realitatea există independent de observație. Filosofia complementară a lui Bohr și principiul incertitudinii al lui Heisenberg au fost centrale în formularea „interpretării de la Copenhaga", devenită dominantă în secolul XX.

Totuși, opoziția constantă a unor savanți precum Einstein și Schrodinger a inspirat generații de fizicieni să caute o unificare între mecanica cuantică și relativitate, culminând cu noi teorii precum gravitația cu bucle sau teoria corzilor. Astfel, dezbaterea dintre realism și antirealism rămâne vie, iar filosofia continuă să joace un rol crucial în explorarea noilor fundamente ale fizicii.

Cuvinte cheie: *mecanica cuantică, principiul incertitudinii, realism, antirealism, superpoziție, corelație cuantică, problema măsurătorii.*

Summary. *For over nine decades, quantum mechanics has profoundly shaped our understanding of nature, offering explanations for the stability of atoms, the formation of mole-*

[1] Articolul este elaborat în cadrul subprogramului 01.05.01 Securitatea națională a Republicii Moldova în contextul aderării la Uniunea Europeană: abordări juridice, politologice și sociologice, realizat de Institutul de Cercetări Juridice, Politice și Sociologice al Universității de Stat din Moldova.

cules, the properties of materials, and phenomena such as light or radioactivity. It is essential to modern technologies—from microchips to lasers—and underpins the physics of elementary particles. Yet, despite its successes, it remains a deeply mysterious theory, confronting a central enigma: why does the quantum world behave so differently from everyday reality?

Elements such as superposition and quantum entanglement—which allow particles to exist simultaneously in multiple states or remain interconnected regardless of distance—contradict classical world intuitions. This gap between microscopic and macroscopic behavior has given rise to what is known as the "measurement problem," raising fundamental questions about the nature of reality.

Diverging interpretations have led to two major schools of thought: anti-realism, promoted by Niels Bohr, which holds that reality depends on the observer and their interaction with measurement instruments; and realism, supported by Albert Einstein, which argues that quantum mechanics is incomplete and that reality exists independently of observation. Bohr's complementary philosophy and Heisenberg's uncertainty principle were central to the formulation of the "Copenhagen interpretation," which became dominant in the 20th century.

However, the persistent opposition of scientists like Einstein and Schrödinger inspired generations of physicists to seek a unification between quantum mechanics and relativity, culminating in new theories such as loop quantum gravity and string theory. Thus, the debate between realism and anti-realism remains alive, and philosophy continues to play a crucial role in exploring the new foundations of physics.

Keywords: *quantum mechanics, uncertainty principle, realism, anti-realism, superposition, quantum correlation, measurement problem.*

Introducere. Mecanica cuantică influențează de câteva decenii modul în care înțelegem natura. Chiar, dacă e omniprezentă, rămâne a fi profund misterioasă. Prin aceasta se explică faptul, că experţilor, până în zilele noastre, le este greu să cadă de acord în privința afirmațiilor sale despre natură.

Mecanica cuantică explică cauza stabilității atomilor și felul cum se combină formând moleculele. Explică proprietățile materialelor, fenomenul luminii și radioactivitatea. Fără mecanica cuantică nu am înțelege cum luminează stelele, nici nu am fi putut inventa cipurile sau laserele pe care se bazează o mare parte a tenologiilor noastre. Ea este limbajul pentru fizica particulelor, care conține tot ce știm despre particulele elementare și forțele fundamentale prin care ele interacționează.

Necătând la succesele sale, în miezul mecanicii cuantice persistă o enigmă, deoarece lumea cuantică se comportă în moduri ce sfidează intuiția noastră. În fizica cuantică se susține că un atom poate fi simultan în două locuri, iar aceasta ne vorbește despre stări în care el este aici și acolo. Această stare se numește *superpoziție*. Superpoziția particulei „de a fi aici și acolo" este legată de natura ondulatorie a materiei, deoarece o undă este o perturbație răspândită în spațiu.

O altă trăsătură specifică lumii cuantice este legată de *corelația cuantică*. Acest fapt presupune, că atunci când două particule interacționează, iar apoi se îndepărtează una de alta, ele rămân corelate în sensul că par să aibă în comun prprietăți ce nu pot fi separate în proprietăți individuale ale fiecăruia.

Aceste caracteristici prezintă „stranietăți" din perspectiva lumii familiare, de zi cu zi, cu care suntem obișnuiți. Un lucru de care suntem cu certitudine siguri este că obiec-

tele macroscopice nu manifestă nici unul dintre comportamentele bizare ale mecanicii clasice. Spre exemplu, un scaun este aici, sau acolo, niciodată într-o combinație a celor două stări. Când ne trezim la miezul nopții, putem să nu fim siguri unde este scaunul, dar putem fi siguri că este undeva. După ce ne ciocnim de el prin întuneric, viitorul nostru nu devine corelat cu viitorul scaunului.

În lumea pe care o percepem, obiectele obișnuite nu par să împărtășească nimic din stranietatea cuantică a particulelor elementare. Pare un lucru evident, dar nu lipsit de mister. Mecanica cuantică constituie teoria centrală care explică natura, deci ea trebuie să fie universală. Dacă aceasta se aplică unui atom, atunci trebuie să se aplice unui ansamblu de atomi, moleculelor și obiectelor mari alcătuite din acestea. Se pare că nu e cazul, deoarece mecanica cuantică nu pare să se aplice nici vreunui obiect obișnuit și chiar nici instrumentelor, și aparatelor pe care le utilizăm pentru a dezvălui atomii și stranietatea cuantică a acestora.

Faptul că, mecanica cuantică nu se aplică obiectelor din lumea pe care o percepem, indică prezența unei probleme ce a fost pusă în discuție și a rămas nerezolvată încă din anii 20 ai secolului trecut. Aceasta a fost numită *problema măsurătorii,* iar nerezolvarea ei sugerează că există un aspect fundamental al naturii care încă nu este înțeles. Așa dar, există undeva o linie de demarcare între lumea cuantică, în care un atom poate fi în mai multe locuri concomitent, și lumea obișnuită, în care orice lucru e întotdeauna într-un anumit loc. Dacă o moleculă formată din zeci, sute de atomi poate fi descrisă de mecanica cuantică, dar o pisică, un scaun nu poate, atunci există undeva un hotar între cele două lumi, care nu poate fi depășit.

Savanții care urmăresc să abordeze problema măsurătorii, implicit misterele mecanicii cuantice, susține Lee Smolin „se împart în două categorii" [6]. Prima categorie include abordarea antirealistă, adică cei ce susțin că teoria cuantică în esență este corectă, iar problema este legată de modul de interpretare a acesteia. A doua categorie este legată de abordarea realistă, reprezentată de cei care au conchis că teoria este incompletă, iar strategia dată a fost inaugurată de Albert Einstein.

Este cunoscut faptul, că Einstein a inițiat mecanica cuantică, susținând natura duală a luminii ca particulă și undă. Anume pentru articolele despre teoria cuantică i-a fost dedicat Premiul Nobel. Totuși, ulterior n-a devenit unul dintre liderii acestei teorii, deoarece abordarea realistă nu-i permitea acceptarea acesteia în forma elaborată a anilor 20, ai secolului trecut. Cea mai mare carență a teoriei cuantice era legată de imposibilitatea de a face predicții sigure. În loc să afirme ce se va întâmpla, ea oferă probalități pentru ce s-ar putea întâmpla. În una din scrosorile către Max Born, Einstein scria: „Teoria spune foarte mult, dar nu ne aduce mai aproape de secretul „bătrânului". Eu, sunt convins că El nu dă cu zarul" [3].

În mare parte, susținerea mecanicii cuantice ca teorie incompletă de către A. Einstein, era determinată de aspirațiile excesive în privința științei. El era dominat de speranța de a depăși opinia subiectivă și a descoperi un taablou autentic al naturii care să prezinte esența realității reflectată în câteva legi matematice atemporale. Pentru marele fizician, scopul științei era să surprindă esența lumii, care este independentă de noi și nu are nimic de-a face cu credințele sau cu ceea ce știm despre lume.

La rândul său, abordarea antirealistă inițiată de N. Bohr, recunoaște necesitatea unei revizuiri radicale a ideii de știință, precum și a concepției despre relația dintre realitate și cunoașterea. Aceasta datorită faptului că suntem parte a lumii, și interacționăm cu atomii pe care căutăm să-i desriem. Asimilarea acestei idei, va conduce la comprehensiunea mecanicii cuantice ca teorie completă, fiindcă e inclusă în noi ca participanți în lumea pe care dorim s-o cunoaștem. Din perspectiva lui Bohr, teoria cuantică e incompletă în sensul că nu este posibil de a avea o descriere mai completă a lumii.

Abordarea antirealistă leagă misterele lumii cuantice de unele subtilități ce sunt cauzate de modul de căpătare a cunoștințelor despre natură. Asemenea abordări impun schimbări radicale referitoare la domeniul *epistemologiei* – ramură a filosofiei care se ocupă de cunoașterea științifică a lumii. Așadar, concepția antirealistă susține că nu poate fi cunoscută realitatea însăși, dincolo de reprezentarea oferită de cunoașterea noastră asupra lumii, care este dobândită numai interacționând cu ea.

Afirmația că realitatea depinde de cunoașterea noastră susținută de interpretarea antirealistă se datorează împrejurărilor ce au dominat în deceniul 2 ai secolului XX. Anume, Paul Forman a fost cel care a pus în legătură dominația filosofiei antirealiste cu fizica lui Bohr și Heisenberg susținute de haosul și iraționalismul lui Spengler după Primul Război Mondial. Opoziția realistă inaugurată de Einstein care până la sfârșitul vieții a reflectat asupra principalelor sarcini, rămase nerealizate, din mecanica cuantică legate de unificarea noului mod de înțelegerea a cuantelor cu gravitația prin care el înțelegea teoria sa a relativității generale. Această interpretare realistă susținută de de Broglie și de Schrodinger nu a reușit să devină punctul dominant de interpretare, dar care nu le-a diminuat cu nimic triumful ce a orientat tinerii cercetători spre elaborarea de noi teorii radical contrare interpretării de la Copenhaga.

Niciodată nu a existat o interpretare unitară de la Copenhaga. Versiunile lui Bohr, Heisenberg și Fon Neumann sunt diferite, dar cu toții erau convinși că o versiune realistă a fizicii era imposibilă. Acești savanți au înaintat diverse argumente, concluzionând că fizica cuantică este incompatibilă cu realismul. Nu putea exista o fizică a atomilor care să includă electroni cu poziții și traiectorii bine definite. Dualismul undă-particulă a provocat o dificultate profundă în rândul savanților, iar calea de depășire a fost intuită de Bohr care a anunțat nu doar nașterea unei noi fizici, ci și a unei noi filosofii. Aceasta a constituit momentul radical al antirealismului reflectat în filosofia *complementarității* propusă de N. Bohr „Nici particulele, nici undele nu sunt atribute ale naturii. Ele sunt doar idei în mintea noastră, pe care le impunem lumii naturale. Ele sunt utile ca imagini intuitive pe care le construim observând obiecte macrocospice precum bile și unde pe apă... Ceea ce observăm nu e niciodată electronul însuși, e doar răspunsul dispozitivelor noastre experimentale mari la electronii minusculi invizibili" [6, p. 110].

Poziția lui Bohr este un antirealism extrem, prin care este negată până și posibilitatea de a descrie un electron așa cum el este în sine, în afara contextului unui experiment. Potrivit acestei viziuni, știința nu se ocupă de electroni ci de modul cum interpretăm interacțiunea instrumentelor de măsurare cu ei. Pentru Bohr, obiectul științei nu este natura. Aceasta nu ne oferă o imagine obiectivă asupra naturii deoarece cunoștințele despre lume sunt obținute prin intermediul dispozitivelor experimentale inventate și construite

de noi. Însuși Bohr a recunoscut că filosofia complementarității are o aplicabilitate largă și a fost inspirată din Kabbala – scrieri mistice evreiești care susțin complementarietatea dintre iubirea lui Dumnezeu și dreptatea Lui. Bohr a conceput complementaritatea dintre viață și fizică, dintre energie și cauzalitate, chiar și dintre cunoaștere și înțelepciune. Pentru el mecanica cuantică este o imagine care s-a extins dincolo de viață, dincolo de știință.

Așa dar, interpretarea de la Copenhaga care împărtășea o perspectivă antirealistă căuta o metodă de a descrie într-un mod consistent despre proprietăți care nu pot coexista simultan, ca de pildă undă-particulă, poziție-impuls. Soluția lui Bohr pentru aparentele paradoxuri a fost principiul complementarității, iar a lui Heisenberg a fost *principiul incertitudinii.* Principiul lui Heinsenberg este foarte general, deoarece afirmă că nu putem cunoaște cu precizie unde este o particulă și cu ce impuls se mișcă. Acest principiu are consecință uimitoare: determinismul fizicii newtoniene nu poate supraviețui în lumea cuantică, deoarece, pentru a prezice mișcarea viitoare a unei particule, trebuie să cunoaștem atât poziția, cât și viteza, direcția în care se mișcă. Dacă nu le cunoaștem exact pe ambele, nu putem prezice unde se va afla particula la momentele ulterioare. În consecință, teoria cuantică nu poate înainta predicții exacte, ci doar predicții probabilistice asupra viitorului.

Totuși, cei care au rămas reticienți și au păstrat poziția realistă, chiar dacă existau mistere în cadrul mecanicii cuantice, susțineau că electronul este real și există atât ca undă, cât și ca particulă. Atunci când Schrodinger a demonstrat că mecanica ondulatorie este echivalentă cu mecanica matricială și că cele două formulări ale mecanicii cuantice sunt ca două limbi care exprimă unul și același lucru. „Poți vorbi în termeni de undă sau poți folosi limbajul matricilor, dar problemele matematice pe care le ai de rezolvat s-au dovedit a fi doar expresii diferite ale aceleiași logici” [2, p. 115].

Necătând la aceasta, poziția lui Einstein și Schrodinger din generația mai vârstnică, a lui de Broglie din generația mai tânără, a rămas în umbră, iar triumful care a ridicat la nivel de ortodoxie filosofia antirealistă a constituit singura versiune a teoriei cuantice care se preda în deceniul 3 al secolului trecut. Într-o gamă largă de domenii, de la arhitectura calculatoarelor la matematica mecanicii cuantice au fost instituite și predate variante ale filosofiei antirealiste. Concepțiile acestora se deosebeau în privința accentului, dar toate scrierile lor au fost parte a „interpretării de la Copenhaga” a mecanicii cuantice. Denumirea aceasta recunoștea supremația filosofiei complementare a lui Bohr care a creat un nou mod de a vorbi despre știință, iar institutul lui Bohr a fost ridicat la rang de „nod central” al rețelei fizicienilor cuantici, în cadrul căruia erau pregătiți tinerii cercetători – viitorii profesori din centrele universitare europene și americane.

Din perspectiva contemporană, în care prosperă mai multe concepții concurente despre interpretarea mecanicii cuantice, e greu să judecăm starea de spirit a primelor generații de fizicieni cuantici. Chiar, dacă, filosofia antirealistă inițiată de Bohr a dominat discuțiile despre teoria cuantică, opoziția persistentă și puternică a lui Einstein, Schrodinger și de Broglie a inspirat generația tinerilor cercetători din a doua jumătate a secolului XX în căutarea și elaborarea noilor teorii fundamentate de filosofia realistă. Fizicieni ca Lee Smolin și Carlo Rovelli au considerat că sunt în drept și chiar oportun să continuie revoluția inițiată de Einstein și să rezolve problemele rămase nesoluționate

ale mecanicii cuantice. Scopul acestora este de a realiza dezideratul lui Einstein pentru elaborarea unei teorii care ar unifica fizica cuantică, gravitația cu spațiul-timp.

La etapa actuală au fost inventate teorii, ca: gravitația cu bucle, teoria corzilor, teoria undei pilot, dar acestea nu explorează adâncul realității. Teoriile de felul acesta sunt modele, care întruchipează ideile fizice despre natură, dar ele nu sunt expresiile cele mai profunde sau cele mai pure ale acestor idei. Modelele deseori, într-o formă sau alta, simplifică ideile și pun în evidență trăsăturile esențiale ale acestora. Ele sunt utile în procesul cercetării, dar sunt incomplete și omit unele lucruri, de aceea ideile despre natură sunt exprimate ca ipoteze sau principii. Ipoteza este o afirmație simplă despre natură, care poate fi adevărată sau falsă, iar principiul este o condiție generală care impune restricții formei pe care o poate lua o lege a naturii.

Lee Smolin susține că obiectivul de elaborare a unei noi teorii fundamentale implică patru etape „mai întâi, principiile; în al doilea rând, ipotezele (care trebuie să satisfacă principiile); în al treilea rând, modelele (care ilustrează implicații parțiale ale principiilor și ipotezelor); iar în final, teoriile complete" [4, p. 250]. Din perspectivă epistemologică problema este legată de limbajul în care exprimăm principiile și în care le justificăm sau le criticăm. Nu este posibil de a utiliza limbajul teoriilor deja existente, este imperativ necesar să le depășim. Prin urmare, Einstein nu ar fi elaborat relativitatea generală dacă s-ar fi limitat să raționeze în limbajul fizicii newtoniene. Cei preocupați de filosofia științelor naturii, deseori, consideră că matematica este cea care oferă idei și structuri prin care pot fi exprimate noile teorii. Istoria științelor naturii ne arată, că, de regulă o nouă matematică nu e suficientă pentru a inventa o nouă fizică, altminteri B. Riemann ar fi inventat realativitatea generală. În astfel de situații, se impune stringent drept element esențial, cunoașterea filosofiei. Un savant cu pregătire filosofică, de obicei, are în trusa cu instrumente o mulțime de idei și metode spicuite din întreaga istorie a încercărilor umane de a reflecta asupra fundamentelor naturii. Atunci când este vorba de probleme fundamentale precum gravitația, natura timpului și spațiului, istoria cercetărilor umane e bogată în argumente și strategii experimentale. Prin urmare, Einstein nu a fost singur când s-a confruntat cu nevoia unor noi noțiuni de timp și spațiu, ci a fost ghidat de Galilei, Newton, Leibniz, Kant și Mach.

Secolul XX relevă o înflorire a filosofiei în fizică care a îmbogățit volumul de idei și argumente utile. Filosofia cu adevărat reprezintă o tradiție vie, de aceea pentru a găsi și dezvolta un nou limbaj e nevoie să apelăm atât la filosofii din trecut, cât și la cei contemporani în textele cărora dezvăluim noi idei și principii ale fizicii. A porni de la principii, în procesul cercetării, reprezintă un imperativ necesar care permite înțelegrea faptului că gravitația cuantică și fundamentele cuantice sunt laturi diferite ale uneia și aceleiași probleme. Atunci când se încearcă a fi rezolvată gravitația cuantică fără a ține cont de problemele fundamentelor cuantice, și viceversa, se adoptă o abordare greșită. Deoarece, acestea reprezintă două probleme care se află într-o legătură profundă. Din aceste considerente L. Smolin susține că noua teorie trebuie să implice principii ce combină fenomenele cuantice cu spațiul-timp.

Scopul noii teorii este de a combina fizica cuantică și spațiul-timp la nivelul principiilor fundamentale, iar acestea sunt „principiul independenței de fundal; principiul

că spațiul și timpul sunt relaționale; principiul completitudinii cauzale; principiul reciprocității; principiul identității indiscernabilelor" [6, p. 256]. Un concept – cheie al noii teorii fizice se referă la faptul, că aceasta nu trebuie să depindă de structuri care sunt fixate și nu evoluează dinamic în interacțiune cu alte mărimi. Toate teoriile fizice anterioare depindeau de structuri fixe în timp. Un exemplu e geometria spațiului în fizica newtoniană, care considera că spațiul este reeprezentat de geometria euclidiană tridimensională. Aceasta nu se modifică în timp, nu poate fi influențată de nimic, prin urmare, nu e supusă unei legi dinamice.

Este cunoscut faptul pe vremea lui Newton singura geometrie cunoscută era cea euclidiană. Dar, la mijlocul secolului XIX, F. Gauss, N. Lobacevski și B. Riemann au descoperit geometrii alternative. Orice teorie fundamentală ulterioară trebuie să implice argumentarea alegerii geometriei spațiului. Drept rezultat orice teorie poate fi ameliorată în cazul când elementele externe sunt deblocate și dinamizate. Această a fost strategia care la condus pe Einstein la relativitatea generală. În fizica newtoniană, precum și în relativitatea restrânsă, geometria spațiului și a timpului este imuabilă. În aceste teorii, spațiul – timpul oferă un fundal fixat în raport cu care pot fi definite măsurătorile. Relativitatea generală deblochează geometria făcând-o dinamică. Totuși, prin deblocarea în relativitatea generală a unor aspecte ale geometriei unele elemente legate de structurile mai profunde ale realității, rămân fixate. Prin urmare, relativitatea generală, oricât de frumoasă ar fi nu poate reprezenta limitele cercetătorilor și va necesita o completare în viitor.

Din acestea, rezultă că teoria completă a fizicii trebuie să fie o teorie cosmologică, deoarece universul e singurul sistem care nu are nimic în exteriorul său. Așadar, o teorie a întregului univers trebuie să fie diferită de teoriile care se referă asupra unor părți ale universului. Aceasta nu trebuie să conțină elemente atemporale fixate, imuabile, deoarece ele se referă la lucruri aflate în afara sistemului descris de teorie. Ea trebuie să fie complet independentă de fundal. Rezultă că mecanica cuantică nu poate fi o teorie a întregului univers, dat fiind că are elemente fixate ce includ observabilele sistemului și diversele relații dintre ele, precum și structurile care dau natere probabilităților.

Prin urmare, nu există o funcție de undă a universului, fiind că nu există nici un observator în afara universului care s-o poată măsura. Starea cuantică – mecanica cuantică trebuie să rămână, o descriere a unei părți a universului. Așa dar, teoria cuantică trebuie completată eleminând structurile de fundal. În acest scop, în loc să cuantificăm gravitația, tebuie să „gravitizăm" teoria cuantică. Din această perspectivă există speranța de a releva trăsăturile dificile ale fizicii cuantice ca consecințe ale separării universului în două părți: sistemul pe care-l observăm și restul ce include observatorul și instrumentele lui de măsură.

O altă idee – cheie strâns legată de principiul idependenței de fundal este ca observabilele din teoriile fizice trebuie să descrie relații. Leibniz, Mach și Einstein au impus distingerea noțiunilor absolute de timp și spațiu de noțiunile relaționale. Atât spațiul cât și timpul absolut au semnificație fără nici o referire la altceva, pe când timpul și spațiul relațional e întotdeauna definit prin relația cu alt eveniment sau set de evenimente. În așa fel, cel de-al doilea principiu al noii teorii este că spațiul și timpul sunt relaționale.

O observabilă s-au proprietate relațională descrie o relație între două entități. În cadrul unei teorii fără structuri de fundal, toate proprietățile care se referă la localizarea în spațiu sau timp trebuie să fie relaționale. Așa dar, teoriile independente de fundal ne vorbesc despre natură prin intermediul observabilelor relaționale.

Un alt principiu care impune restricții formei noii teorii este principiul completitudinii cauzale. Acesta susține că o teorie este completă atunci când cauza se află în interiorul ființabililor. Ființabila – universul are o cauză care constă în unul sau mai multe evenimente anterioare, dar lanțul cauzelor nici o dată nu conduce la ceva ce s-ar afla în afara universului.

În lucrările despre relativitatea generală Einstein introduce un principiu de bază al teoriei – principiul reciprocității. Acesta susține că, dacă un obiect A acționează asupra altui obiect B, atunci B trebuie să acționeze la rândul său asupra lui A. Din perspectiva logicii un principiu ce se impune imperativ este principiul identității indiscernabilelor. Acest principiu susține că două obiecte care posedă aceleași proprietăți sunt de fapt același obiect.

Analiza tuturor principiilor ce ghidează și impun rigorii epistemice noii teorii relevă faptul că acestea reprezintă aspecte ale unui singur principiu numit principiul rațiunii suficiente. Acest principiu afirmă că identificarea oricărui aspect al universului ce pare diferit, o analiză mai atentă, dezvăluie că există un motiv rațional pentru care un lucru sau aspect e așa și nu altfel. Principiul rațiunii suficiente introdus de Leibniz susține că lucrurile sunt în mod inevitabil așa, deoarece teoriile actuale sunt incomplete. Leibniz credea că putem descoperi o explicație rațională pentru orice alegere pe care Dumnezeu s-ar părea că a făcut-o în crearea universului. Despre o astfel de cunoaștere, el scria că „are rațiune suficientă" [5, p. 256].

Așa dar, principiul rațiunii suficiente al lui Leibniz susține că universul poate fi înțeles pe deplin. Această idee este exprimată în toate principiile analizate anterior. Teoriile existente exprimă faptul că cunoștințele noastre sunt incomplete, dar a existat dintotdeauna o tendință clară către teorii care explică mai mult. De fiecare dată când se clarifică o trăsătură a lumii într-un mod care limitează opțiunile posibile ale unui creator, se elimineză un aspect ce se referă la arbitrariul în proiectul lumii. Cu cât înțelegem lumea mai bine, cu atât ea ne apare mai rațional. Un exemplu în această direcție este descoperirea realizată de Maxwell prin care se afirmă că lumina, electricitatea și magnetismul nu sunt fenomene separate, ci aspecte diferite ale unei singure forțe. Această descoperire ne arată că în lumea în care există magnetism trebuie să fie prezentă electricitatea și lumina.

Scopul suprem al cercetărilor constă în dobândirea unei înțelegeri mai complete a naturii, aceasta presupune că în teoriile elaborate trebuie să persiste mai puține elemente arbitrare și mai multă raționalitate. De aceea, este esențial ca noua teorie să satisfacă principiul rațiunii suficiente, iar progresul științei e necesar să fie estimat prin sporuri în înțelegerea naturii. Relativitatea restrânsă reprezintă un progres în raport cu fizica newtoniană, iar relativitatea generală, prin implicarea geometriei riemanniene a spațiului – timp, le depășește pe ambele. Totodată, mecanica cuantică satisface principiul reciprocității mai bine decât mecanica lui Newton, dar că teoria unei pilot a lui

de Brogle prin explicarea lucrurilor pe care mecanica cuantică le lasă neexplicate, se apropie și mai mult de principiul rațiunii suficiente. Drept urmare, principiul rațiunii suficiente susține că putem dobândi cunoștințe mai ample și mai profunde.

Concluzie. Mecanica cuantică a revoluționat fizica și a schimbat radical modul în care înțelegem natura. Cu toate acestea, rămâne profund enigmatică, mai ales prin modul în care pune sub semnul întrebării conceptele fundamentale de realitate, cauzalitate și obiectivitate. Dilema dintre comportamentul cuantic al particulelor și comportamentul clasic al obiectelor macroscopice reflectă o problemă nerezolvată, cunoscută sub numele de „problema măsurătorii". Acest decalaj sugerează existența unei limite obscure între lumea microscopică și cea pe care o percepem zilnic, o limită pe care mecanica cuantică încă nu reușește să o explice satisfăcător.

În fața acestei situații, comunitatea științifică s-a împărțit în două mari direcții. Antirealiștii, în frunte cu Bohr, au susținut că teoria cuantică este completă, dar că presupune o reinterpretare a noțiunii de realitate — nu observăm natura însăși, ci interacțiunea noastră cu ea. Pe de altă parte, realiștii, precum Einstein, au refuzat să accepte limitele impuse de probabilitate și lipsa determinismului, căutând o teorie mai profundă și mai completă, capabilă să redea o realitate obiectivă și independentă de observator.

Această divergență filozofică nu a fost doar o dispută teoretică, ci a avut consecințe concrete asupra direcției de cercetare în fizică. Interpretarea de la Copenhaga a devenit dominantă în mediul academic, dar nu a reușit să înăbușe curentele alternative. De-a lungul secolului XX și în prezent, eforturile de a unifica mecanica cuantică cu gravitația — prin teorii precum gravitația cu bucle, unda pilot sau teoria corzilor — demonstrează că întrebările fundamentale sunt departe de a fi epuizate.

Prin urmare, dezbaterea dintre realism și antirealism nu este doar una filozofică, ci o luptă continuă pentru a descoperi structura profundă a realității. În acest sens, filozofia nu este un adaos facultativ la fizică, ci un ghid indispensabil în explorarea necunoscutului.

BIBLIOGRAFIE

1. Brody, T. Fizică și filosofie. București: Tehnica, 1996, -392 p. ISBN 973-31-0751-4
2. Crease, R.P., Goloh A.S. Momentul cuantic. București: Litera, 2017, -280 p. ISBN 978-606-33-1491-9
3. Einstein către Max Born, 4 decembrie 1926, în *The Born-Einstein Letters: The Correspondence Between Albert Einstein and Max and Hedwig Born, 1916-1955, with Commentaries by Max Born,* trad. Irene Born, New York: Walker and Co., 1971, -240 p. ISBN-10: 0333112679
4. Hawking, S.W. Scurtă istorie a timpului. București: Humanitas, 2024, -212 p. ISBN 978-973-50-8366-3
5. Leibniz, G.W. Primae veritates și scrieri de logică și metafizică. București: Paideia, 2021, -250 p. ISBN 978-606-748-488-5
6. Smolin, L. Revoluția neterminată a lui Einstein. Căutarea a ceea ce se află dincolo de cuante. București: Humanitas, 2019, -331 p. ISBN 978-973-50-8063-1