

100 de ani de Mecanică Cuantică – 2025 anul internațional al Științelor și tehnologiilor cuantice (IYQ)

Coriolan Viorel TIUSAN^{1,2}

¹*Departamentul de Fizica Stării Condensate și a Tehnologiilor Avansate, Facultatea de Fizică, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca*

²*Centrul Național al Cercetării Științifice, Franța*

În iunie 2024, Adunarea Generală a Națiunilor Unite declară 2025 Anul Internațional al Științei și Tehnologiei Cuantice (IYQ) pentru a marca 100 de ani după ce Heisenberg, Born și Jordan au dezvoltat mecanica matricială și Schrödinger a formulat mecanica ondulatorie.



În urmă cu 100 de ani, *Werner Heisenberg* (premiu Nobel 1932) în sejurul său pe insula Helgoland, printr-o viziune de geniu, propune un model teoretic matricial absolut original pentru explicarea observațiilor lui *Niels Bohr* (premiul Nobel 1922) cu privire la spectrele discrete de emisie și absorbție ale atomilor, observații imposibil de explicat prin conceptele fizicii clasice existente la momentul respectiv. În publicația din 1925 „*Despre mecanica cuantică*” a lui M. Born și P. Jordan, și continuarea „*Despre mecanica cuantică II*” semnată de către M. Born, W. Heisenberg și P. Jordan, apare astfel o primă formulare completă a mecanicii cuantice. În paralel, *Erwin Schrödinger* (premiu Nobel 1933) propune o formulare diferită, ondulatorie, a realității cuantice printr-o ecuație a undelor de probabilitate. *Max Born* (premiu Nobel 1954) introduce natura probabilistă a mecanicii cuantice. *Paul Dirac* (premiu Nobel 1933 împreună cu E. Schrödinger) unifică descrierea corpuscular-ondulatorie a luminii și dezvoltă mecanica cuantică relativistă. Conceptele aduse de această primă revoluție cuantică au permis toată dezvoltarea tehnologică pe care o cunoaștem astăzi, de la inventarea în 1956 a

tranzistorului, la micro și nano-tehnologiile care par acum a fi integrate ireversibil cotidianului. Prima revoluție cuantică a contribuit însă și la dezvoltarea teoriei atomice care, într-un context politic favorizat de cel de-al doilea conflict mondial, a culminat cu dezvoltarea primei bombe atomice și ulterior a bombei cu hidrogen [1].

După aproape un secol, revoluția cuantică încă continuă. Prin interpretarea de la Copenhaga, *Bohr*, *Heisenberg* și *Born* prezintă realitatea cuantică într-un mod probabilistic, absolut contra-intuitiv viziunii clasice deterministe cu care eram obișnuiți. Un obiect cuantic există simultan în toate stările sale posibile și doar observația îl poate proiecta într-una dintre ele. Realitatea este determinată de măsurătoare, idee pe care însuși Einstein nu a reușit să o accepte până la sfârșitul existenței sale. El a avut o serie de „dispute” ideologice cu Bohr pe această temă, a propus existența unor „variabile ascunse” pe care mecanica cuantică, în opinia sa o teorie incompletă, nu le deține și care ar putea readuce realitatea fenomenelor cuantice în sfera determinismului [2]. În 1964, pe baza experimentului mental propus în 1935 de către *Einstein*, *Podolski* și *Rosen* pentru demonstrarea existenței variabilelor ascunse (paradoxul EPR), *John Steward Bell* formulează o inegalitate matematică pe care ar trebui să o satisfacă orice teorie a cărei ingrediente de bază sunt realitatea și localitatea [3]. Această inegalitate implica mărimi fizice măsurabile experimental și oferea posibilitatea testării experimentale a naturii locale-deterministe sau non-locale-probabilistice a realității cuantice. În 2022, premiul Nobel pentru fizică este decernat unui grup de trei cercetători: *Alain Aspect*, *John F. Clauser* și *Anton Zeilinger* pentru experimente efectuate care demonstrează violarea inegalităților lui Bell și demonstrează natura non-locală a realității dominate de fascinantul univers al fenomenelor de intercorelație cuantică (Eng. „*entanglement*”) [4].

Astăzi, o nouă direcție științifică prinde contur din ce în ce mai clar sub forma celei de a doua revoluții cuantice [5] care are la bază manipularea informației cuantice. Noi domenii de cercetare emergente se dezvoltă astăzi într-o efervescență oarecum similară cu cea care a condus la realizarea primei bombe atomice prin proiectul Manhattan. Criptografia și comunicațiile cuantice [6] sunt menite să securizeze schimbul de informație de orice tip la scară planetară atât în domeniul civil cât și militar. Conceptele privind teleportarea cuantică [7] avansează de asemenea. Metrologia cuantică [8] permite realizarea unor senzori ultra-sensibili cu aplicații în detectarea unor câmpuri de intensitate extrem de mică, imagistică, radare, etc. Și nu în ultimul rând, manipularea informației cuantice conduce la o nouă paradigmă computațională ce converge înspre o provocare majoră privind realizarea calculatorului cuantic care ar exploata direct fenomenele cuantice în algoritmi pentru efectuarea calculelor și ar folosi proprietățile cuantice ale materiei, cum ar fi superpoziția cuantică a stărilor și inseparabilitatea lor, pentru a efectua operațiuni de date [9]. Prin conceptul de calculator cuantic modular, domeniul comunicațiilor cuantice și cel al calculului cuantic încep să se întrepătrundă.

Referințe bibliografice

- [1] Martin J. Sherwin, *American Prometheus*, ISBN 183895970X, **Atlantic Books** (2023); Robert Jungk, *Brighter than a thousand suns: a personal history of the atomic scientists*, ISBN 978-0-15-614150-5, **Houghton Mifflin Harcourt** (1958).
- [2] Einstein, A; B Podolsky; N Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?*, **Physical Review** 47 (10): 777–780 (1935). <https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.777>.
- [3] Bell, J. S. , *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, **Physics** 1 (3): 195–200 (1964), <https://doi.org/10.1103/PhysicsPhysiqueFizika.1.195>; Bell, John S. (1987), *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, ISBN 9780521368698, **Cambridge University Press** (1987).
- [4] Anton Zeilinger, *Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation*, **Penguin Books Ltd**, ISBN: 9781802063684 (2023).
- [5] Dowling J. P. and Milburn G. J., *Quantum technology: the second quantum revolution*, **Phil. Trans. R. Soc. A** 3611655–1674 (2003), <http://doi.org/10.1098/rsta.2003.1227>.
- [6] Thomas Jennewein, Christoph Simon, Gregor Weihs, Harald Weinfurter, and Anton Zeilinger, *Quantum Cryptography with Entangled Photons*, **Phys. Rev. Lett.** 84, 4729 (2000) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.4729>.
- [7] Giovannetti, V., Lloyd, S. & Maccone, L. *Advances in quantum metrology*, **Nature Photon** 5, 222–229 (2011). <https://doi.org/10.1038/nphoton.2011.35>.
- [8] Bouwmeester, D., Pan, JW., Mattle, K. et al. *Experimental quantum teleportation*, **Nature** 390, 575–579 (1997). <https://doi.org/10.1038/37539>; Thomas Herbst, Thomas Scheidl, Matthias Fink and Anton Zeilinger, *Teleportation of entanglement over 143 km*, <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1517007112>
- [9] Shor, P. *Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer*. **SIAM J. Comput.** 26, 1484–1509 (1997).

Linkuri (IYQ)

- <https://quantum2025.org>
- <https://www.aps.org/about/quantum-2025>