

Teorie e Informazioni Quantistiche - Teorie Quantistiche

Corso di Laurea Triennale in Matematica - A.A. 2025/26

(3° anno, 2° semestre, 3 CFU)

Docente: Maurizio Serva

"Nissuna umana investigazione si può dimandare vera scienza s'essa non passa per le matematiche dimostrazioni, e se tu dirai che le scienze, che principiano e finiscono nella mente, abbiano verità, questo non si concede, ma si nega, per molte ragioni, e prima, che in tali discorsi mentali non accade esperienza, senza la quale nulla dà di sé certezza". - Leonardo da Vinci (1452-1519)

Programma

- Parte I - Il momento angolare e lo spin.

Definizione e proprietà dell'operatore momento angolare. Regole di commutazione tra componenti del momento angolare e tra queste e l'operatore che rappresenta il quadrato del momento angolare. Base comune tra il quadrato del momento angolare e una sua proiezione lungo un qualsiasi asse. Autovalori e autostati compatibili con le regole di commutazione. Autovalori e autostati effettivi: le armoniche sferiche. Un ulteriore grado di libertà quantico: lo spin. Lo spin delle particelle elementari. Lo spin di un elettrone: autostati e autovalori. Hamiltoniana in presenza di forze centrali: ruolo del momento angolare. L'oscillatore armonico (cenni). L'atomo di idrogeno (cenni).

- Parte II - Effetto tunnel, entanglement e collasso.

Potenziali singolari (funzioni delta): buca di potenziale e doppia buca di potenziale. Potenziale barriera (singola funzione delta) ed effetto tunnel: coefficienti di trasmissione e di riflessione. Sistema composto da due o più sottosistemi: stati separabili e stati entangled. Misure quantistiche e riduzione del pacchetto d'onda. Il punto di vista di Bohr: l'evoluzione di Schrödinger e il collasso come principi distinti. Paradosso: vita e morte del gatto di Schrödinger. L'esperimento della doppia fenditura rivisitato: scomparsa delle righe di interferenza in presenza di un osservatore. Problemi di interpretazione nel limite classico.

- Parte III - Dal paradosso EPR al teletrasporto quantistico.

Il dibattito Bohr-Einstein. Il punto di vista di Einstein sulla incompletezza della meccanica quantistica e il paradosso EPR. Lo spin di una coppia di elettroni: autostati e autovalori. Lo stato di singoletto. La formulazione di Bohm del paradosso EPR tramite stati entangled di una coppia di elettroni. Il teorema di Bell e la disuguaglianza CHSH: incompatibilità tra meccanica quantistica e teorie locali e realiste. Descrizione schematica di un tipico test di Bell. I primi test e l'esperimento di Aspect. Test di Bell più recenti. Il teletrasporto dalla finzione alla realtà (quantistica). Il quadro teorico del teletrasporto e i relativi esperimenti.

-
- [1] M.Serva, *Briciole di Meccanica Quantistica*. <http://people.disim.univaq.it/~serva/teaching/bricioleMQ.pdf>
 - [2] P. A. M. Dirac, *I principi della Meccanica Quantistica*, Bollati Boringhieri, 1990.
 - [3] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics, Volume III: Quantum Mechanics*. Basic Books, 2010.
 - [4] L. D. Landau e E. M. Lifšits, *Fisica Teorica 3 - Meccanica quantistica. Teoria non relativistica*, Editori Riuniti, University Press, 2010.
 - [5] T. Norsen, *Foundations of Quantum Mechanics - An Exploration of the Physical Meaning of Quantum Theory*. Springer, 2017.
 - [6] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, *Can quantum mechanical description of reality be considered complete?* Physical Review **47**, 777-780, 1935.
 - [7] J. S. Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*. Physics Vol. 1, No. 3, pp. 195-290, 1964.
 - [8] J. F. Clauser, M. A. Horne. A. Shimony and R. A. Holt, *Proposed experiment to test local hidden-variable theories*. Phys. Rev. Lett. **23**, 880-884, 1969.
 - [9] S. J. Freedman and F. Clauser, *Experimental test of local hidden-variable theories*. Phys. Rev. Lett. **28**, 938-941, 1972.
 - [10] A. Aspect, *Proposed experiment to test the nonseparability of quantum mechanics*. Phys. Rev. D. **14**(8), 1944-1951, 1976.

- [11] A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, *Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers*. Phys. Rev. Lett., **49**(25), 1804-1807, 1982.
- [12] C. H. Bennet, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. K. Wootters, *Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels*. Phys. Rev. Lett. **70**, 1895, 1993.
- [13] D. Bouwmeester, J.-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter, and A. Zeilinger. *Experimental quantum teleportation*. Nature. **390**, 575-579, 1997.
- [14] A. Zeilinger, *Dance of the Photons: Einstein, Entanglement and Quantum Teleportation* Penguin, 2023.