

2025: Anno internazionale della scienza e della tecnologia quantistica

di **ANTONELLA ALFANO, VINCENZO BOCCARDI, ERNESTA DE MASI, GIULIA FORNI**

Il 7 giugno 2024 l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha proclamato il 2025 "**Anno internazionale della scienza e della tecnologia quantistica**", riconoscendo la grandissima rilevanza dei risultati di questa scienza che ha cambiato il modo di vedere il mondo ed ha permesso notevoli progressi in campo tecnologico.

Fabio Beltram, fisico italiano, coordinatore nazionale del National Quantum Science and Technology Institute (**Nqsti**), in occasione del congresso **Nqsti** tenutosi a Roma a febbraio, ha detto:

“Le tecnologie quantistiche saranno il vero salto tecnologico di questo secolo. I computer quantistici sono solo una parte di questa rivoluzione paragonabile al salto dal vapore all'elettricità. Dalle comunicazioni ai nuovi materiali, le tecnologie quantistiche sono destinate a rivoluzionare molti settori, ad esempio la medicina, con diagnosi di tumori che potranno essere fatte già quando il tumore è di appena due cellule e non come oggi, quando di fatto si manifesta”.

Queste teorie affascinanti sono però sconosciute al grande pubblico che stima difficile comprenderne il significato.

Questo Anno internazionale, che celebra il centesimo anniversario dei primi sviluppi della moderna meccanica quantistica, di certo fornirà una preziosa opportunità per sensibilizzare soprattutto i giovani sul ruolo della scienza e della tecnologia quantistica nelle nostre vite ispirandoli a diventare la prossima generazione di pionieri quantistici.

Sebbene la teoria quantistica possa sembrare all'avanguardia, le sue radici risalgono alla fine del XIX e all'inizio del XX secolo, quando gli scienziati iniziarono a rendersi conto che la fisica classica, insieme delle teorie fisiche sviluppate fino a circa l'inizio del XX secolo, non poteva spiegare certi fenomeni osservati a livello atomico e subatomico. Così brillanti e visionari ricercatori, molti dei quali provenienti dai paesi dell'Europa centrale, elaborarono le basi della teoria quantistica, una teoria che ha condotto a un profondo cambiamento della comprensione dell'universo fisico.

La meccanica quantistica spiega le proprietà delle molecole, degli atomi e dei loro costituenti ancora più piccoli, come elettroni, protoni, neutroni e quark, e descrive come queste particelle interagiscono tra loro e con la luce, i raggi X, i raggi gamma e altre forme di radiazione elettromagnetica. Consente inoltre di capire la natura dei legami chimici, le proprietà dei solidi cristallini, l'energia nucleare e le forze che stabilizzano le stelle collassate.

La meccanica quantistica ha rivelato che alla scala atomica il comportamento di materia e radiazione è molto diverso da quello che è osservabile alla scala macroscopica, quella cioè che osserviamo tutti i giorni. I concetti della meccanica quantistica, infatti, sono spesso in conflitto con le nostre idee di buon senso, idee che sono state sviluppate attraverso osservazioni del mondo a scale più grandi.

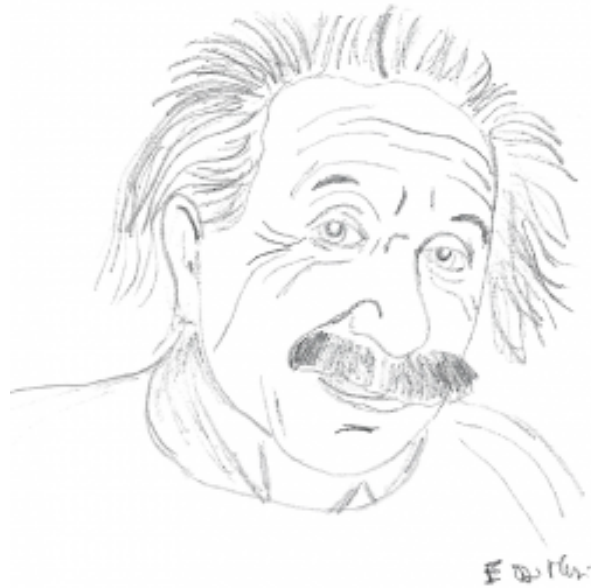
Mentre le leggi della fisica classica consentono di determinare esattamente come si comporteranno la materia e la radiazione, alla base della meccanica quantistica vi sono l'indeterminatezza e la casualità o l'incertezza, ma ciò non vuol dire che le previsioni sulle proprietà dei sistemi atomici e subatomici che essa consente di effettuare siano indeterminate: esse hanno evidenti conferme sperimentali.



Max Planck

Il termine “**quanto**” fu usato per la prima volta da **Max Planck** nel 1900. Il fisico tedesco stava studiando la relazione tra il colore della radiazione emessa da un corpo riscaldato e la sua temperatura e si rese conto che le previsioni teoriche fornite dalla fisica classica erano incompatibili con i dati sperimentali raccolti. Le teorie classiche prevedevano che lo scambio di energia tra corpo riscaldato e radiazioni emesse avvenisse in modo continuo e Planck per spiegare i risultati sperimentali ipotizzò che l'energia fosse quantizzata, il che significa che poteva essere emessa o assorbita solo in unità discrete chiamate appunto “**quanti**”. Questa idea rivoluzionaria gettò le basi per lo sviluppo della teoria quantistica.

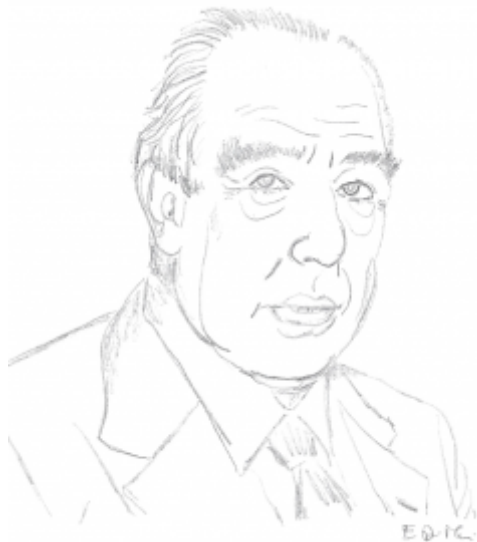
Nel 1905, **Albert Einstein** utilizzò l'ipotesi quantistica per spiegare l'**effetto fotoelettrico**, un fenomeno che avviene quando la luce colpisce un materiale metallico e questo rilascia elettroni. La teoria ondulatoria della luce non riusciva a spiegare perché la luce al di sotto di una certa frequenza, indipendentemente dalla sua intensità, non riuscisse a espellere elettroni. Einstein propose che la luce stessa fosse composta da quanti, in seguito chiamati **fotoni**, e che l'energia di questi fotoni fosse proporzionale alla frequenza della radiazione. Questa spiegazione ipotizzava la natura particellare della luce e valse a Einstein il premio Nobel per la fisica nel 1921. Quindi la luce aveva sia una natura ondulatoria che particellare: da qui l'espressione **dualismo onda-particella**.



Albert Einstein

Nel 1924 il fisico francese Louis Victor de Broglie intuì che questo aspetto dualistico era la manifestazione di un principio naturale più generale: così come la radiazione luminosa presenta una natura palesemente ondulatoria, ma può comportarsi come un insieme di corpuscoli, così le particelle, come ad esempio l'elettrone e il protone, che sono dei corpuscoli, possono comportarsi in determinate circostanze come delle onde. Diversi esperimenti confermarono l'intuizione di De Broglie: particelle come elettroni e protoni potevano dar luogo a fenomeni tipici delle onde.

Contemporaneamente progrediva la conoscenza della struttura dell'atomo. Nel 1911 Ernest Rutherford, fisico neozelandese naturalizzato britannico, scoprì che la maggior parte della massa dell'atomo è nel nucleo.



Niels Bohr

Nel 1913 **Niels Bohr**, un fisico danese, perfezionò il modello di Rutherford, proponendo il suo modello atomico in cui gli elettroni occupano orbite fisse attorno al nucleo e saltano tra queste orbite assorbendo o emettendo quanti di energia. La teoria elaborata da Bohr, che metteva insieme l'ipotesi quantistica della radiazione e la teoria del moto della meccanica classica, riusciva però a spiegare solo il comportamento dell'atomo di idrogeno.

Nel 1925, il fisico tedesco **Werner Heisenberg** elaborò la così detta **meccanica delle matrici**, una delle prime formulazioni complete della meccanica quantistica. È di Heisenberg l'enunciato del **principio di indeterminazione**, ovvero l'impossibilità di conoscere esattamente nello stesso istante il valore della posizione e della velocità di una particella. Il principio di indeterminazione è la prima importante differenza tra la meccanica classica e quella quantistica.



Werner Heisenberg



Erwin Schrödinger

Nel 1926 **Erwin Schrödinger**, un fisico austriaco, elaborò la così detta **meccanica ondulatoria**, che descrive come lo stato quantistico di un sistema fisico cambia nel tempo. L'equazione d'onda di Schrödinger divenne un'equazione centrale nella meccanica quantistica, collegando le proprietà ondulatorie delle particelle al loro comportamento fisico.

Le soluzioni dell'equazione di Schrödinger superano i limiti dell'ipotesi di Bohr sulla struttura dell'atomo: al concetto di traiettoria degli elettroni si sostituisce quello di **orbitale** che è legato alla probabilità di trovare l'elettrone in una determinata posizione nella zona di spazio attorno al nucleo dell'atomo. Le soluzioni dell'equazione di Schrödinger spiegano il comportamento degli elettroni nell'atomo.



News

La nascita formale della meccanica quantistica è legata dunque ai contributi di Heisenberg e Schrödinger: la meccanica delle matrici e la meccanica ondulatoria, le prime due formulazioni della meccanica quantistica, pur differenti, portano infatti agli stessi risultati.

La storia dell'elaborazione delle idee della meccanica quantistica è molto interessante. I fisici che hanno elaborato questa teoria hanno avuto intuizioni da visionari e costantemente hanno messo alla prova le idee innovative e controintuitive che andavano via via emergendo dalle loro ricerche. La collaborazione tra questi scienziati è stata rilevante e, nonostante a volte si siano anche scontrati per le loro diverse posizioni, costituisce un esempio esemplare di costante ed efficace confronto di idee.