

METAFORE SULLA FISICA QUANTISTICA

Tratto da

Fabrizio F., *Le metafore nell'insegnamento/apprendimento della fisica quantistica: una sperimentazione con docenti di liceo*. Tesi di Laurea Magistrale in Fisica, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna (Relatrici: O. Levrini, L. Branchetti)

I brani riportati di seguito sono stati scelti da diversi libri divulgativi di autori noti (prevalentemente scienziati americani) i quali si propongono, con esempi pittoreschi e avvincenti, di spiegare ad un vasto pubblico concetti di base della meccanica quantistica come indeterminazione o quantizzazione dell'energia. Un ultimo esempio è stato preso invece da un libro di testo universitario di introduzione alla Meccanica Quantistica.

La scelta di ricercare i brani accessibili ad un vasto pubblico con un diverso tipo di conoscenza nella materia specifica, e non in riviste specializzate o testi universitari, è giustificata dal fatto che l'attività è pensata anche per essere realizzata in classi quinte di Liceo.

Le metafore riguardano:

1. la discretizzazione dell'energia
 - Brian Greene (1999), *L'universo elegante*, Einaudi, p. 44. *Effetto fotoelettrico*
 - Brian Greene (1999), *L'universo elegante*, Einaudi, p. 41. *Quantizzazione dell'energia e corpo nero*
2. il dualismo onda-corpuscolo:
 - Lévy-Leblond (2003), *On the nature of quanta*. *Science & Education. L'ornitorinco*
3. la funzione d'onda:
 - Jim al-Khalili (2014), *La fisica dei perplessi*, Nuovi saggi bollati Boringhieri. *Il ladro*
4. concetti di base di fisica quantistica
 - Brian Greene (2004), *La trama del cosmo*, Einaudi p. 95. *Il menù cinese*
 - David H. McIntyre 2012, *Quantum mechanics – A paradigms approach*, p. XXI. *I calzini di Erwin*.

Brian Greene (1999), *L'universo elegante*, Einaudi, p. 44. *Effetto fotoelettrico*

Per capire come Einstein sia riuscito a spiegare il fenomeno dell'effetto fotoelettrico, torniamo al nostro stanzone, dove ora fa un bel calduccio. L'orrido proprietario detesta i bambini e costringe tutti i minori di quindici anni a vivere in un seminterrato, che gli adulti possono vedere affacciandosi a una balconata. Come crudeltà aggiuntiva, ha stabilito che un bambino può lasciare quel postaccio solo se paga a una guardia una tassa di 950 lire. I bimbi non possiedono denaro, e così gli adulti cercano di salvarli gettando loro monete e banconote dalla balconata.

Ricordiamo che i soldi sono stati ridistribuiti in modo che ogni adulto possieda solo banconote e monete di un unico tipo. Il portatore delle cinquanta lire inizia a gettare qualche moneta, ma la somma è troppo scarsa per soddisfare la marea «infinita» di bambini che lottano selvaggiamente per accaparrarsi il denaro. Anche se la quantità di monete da 50 lire gettate è enorme, praticamente nessuno riuscirà in questo modo a raccogliere la cifra sufficiente per andarsene. Lo stesso accade quando iniziano i lanci di monete da 100, 200 e 500 lire. Ma quando il possessore delle 1.000 lire inizia a gettare banconote, succede un fatto nuovo: i fortunati bambini che riescono ad afferrare anche un solo biglietto possono andarsene immediatamente. Al crescere della quantità di banconote gettate cresce anche il numero dei fuggiaschi, ognuno dei quali si ritrova esattamente con 50 lire di resto.

Brian Greene (1999), *L'universo elegante*, Einaudi, p. 41. *Quantizzazione dell'energia e corpo nero*

Vi trovate insieme con un enorme numero di individui -diciamo un numero «infinito» - inscatolati in uno stanzone gelido, il cui proprietario è un profittatore. Un termostato ultimo modello fa mostra di sé alla parete; ma vi accorgete presto che le tariffe imposte dal proprietario per il riscaldamento sono altissime. Se il termostato viene messo sui 10° C, ognuno deve pagare 100.000 lire al giorno; se si alza a 15° C, la cifra sale a 150.000 e così via. Visto che i vostri compagni di sventura sono infiniti, vi rendete conto che il malvagio proprietario guadagnerà una quantità infinita di denaro non appena il riscaldamento verrà acceso.

Ma leggendo meglio il contratto di affitto, vi accorgete di una possibile scappatoia. Il proprietario è un uomo molto occupato e non intende dare resto, soprattutto a un numero infinito di inquilini. Esiste dunque un sistema basato sulla fiducia: solo chi può pagare la cifra esatta paga interamente, gli altri danno quello che hanno. Vi viene allora in mente di raccogliere tutti i soldi dei vostri compagni e di organizzare il pagamento in questa maniera: un individuo prende tutte le monete da 50 lire, un altro tutte quelle da 100, e così via; in questo strano mondo, però, esistono strane banconote, e dopo quelle da 500 000 lire ve ne sono altre di valore ancora superiore, senza un limite massimo. Spavaldamente, posizionate il termometro a 25°C. Subito il proprietario si presenta a riscuotere il dovuto (250.000 lire a testa). Ecco cosa succede: chi ha le monete da 50 lire gliene dà 5000, chi ha quelle da 100 lire gliene dà 2500 e così via, fino ad arrivare a chi ha le banconote da 50 000, che ne paga 5, e a chi ha quelle da 100.000, che ne dà solo 2 (perché con 3 il proprietario dovrebbe dare resto). Tutti gli altri, però, hanno solo banconote da 500 000 in su, e quindi non possono pagare, perché ci sarebbe comunque un resto. Il proprietario, che si aspettava una quantità infinita di denaro, si ritrova invece con la misera somma di 2.450 000 lire (ci sono 9 tipi di monete e banconote dalle 50 alle 50.000 lire, e quindi 9 persone che possono pagare 1e 250.000; aggiungendo 1e 200.000 pagate da chi ha le banconote da 100.000 il conto torna).

Planck si comportò in modo molto simile nei confronti delle pretese dell'energia infinita. Arditamente, avanzò l'ipotesi che l'energia trasportata da un'onda elettromagnetica potesse presentarsi - come il denaro contante - solo in pacchetti ben precisi. Introdotta una «Moneta energetica», i valori possibili sono solo multipli interi di questa unità: uno, due, tre eccetera, e nient'altro, proprio come non esiste un quarto di cento lire o mezza banconota da mille. Come gli inquilini che non possono pagare il proprietario perché hanno banconote troppo grandi, se un'onda ha un'energia minima intrinseca più grande del valore che dovrebbe teoricamente fornire all'energia totale, non «paga» e rimane inerte.

Lévy-Leblond (2003), On the nature of quanta. *Science & Education, Metafora dell'ornitorinco*

Che la vera natura degli oggetti quantistici sia ancora oggetto di confusione è nota dalle ancora troppo comuni descrizioni in termini di un presunto “dualismo onda-particella”. Bisogna sottolineare subito che questa formulazione è ambigua. Secondo questa l’oggetto quantistico è una volta onda e particella, o a volte onda e a volte particella. Nessuna di queste interpretazioni però ha senso. “Onda” e “particella” non sono oggetti ma concetti, addirittura incompatibili; di conseguenza, non possono descrivere la stessa entità. Mentre è vero che gli oggetti quantistici possano in alcuni casi sembrare come onde, e in altri casi come particelle, ed è più che vero che in molte occasioni, in particolare quelle esplorate dai moderni esperimenti, non somigliano né a una né all’altra.

La situazione qui è simile a quella incontrata dai primi esploratori dell’Australia, dove scoprirono strani animali che abitavano nei ruscelli. Osservati da davanti, avevano un becco da papera e i piedi palmati, mentre, osservati da dietro, mostravano un corpo peloso e una coda. Vennero così soprannominati “talpanatre”. Si scoprì più tardi che questo “dualismo talpa-anatra” aveva una validità limitata e che le caratteristiche zoologiche di questi animali meritavano un nome proprio, e fu scelto “ornitorinco”. La proposta di Bunge di chiamare quanti, costruita su una terminologia comune (elettroni, fotoni, nucleoni, etc..) ed estesa ad una comune categorizzazione, arriva dritto al punto, e si spera che questa terminologia gradualmente acquisti vigore.

Jim al-Khalili (2014), La fisica dei perplessi, Nuovi saggi bollati Boringhieri. *Metafora del ladro*

Un ladro è appena uscito di prigione e la polizia non è per nulla convinta che abbia cambiato vita, per cui, studiando una cartina della città, cerca di seguire i suoi movimenti dopo il rilascio. I poliziotti non riescono a determinare esattamente dove si trovi il ladro in ogni istante, ma possono cercare di indovinare la probabilità che avvengano furti negli appartamenti dei vari quartieri. Per cominciare, le case vicino alla prigione saranno più a rischio, ma l’aera interessata si allarga con il tempo; si può anche dire con relativa certezza che le zone più ricche saranno più a rischio di quelle povere. Questa ondata di crimini dovuti a un solo uomo si estende in tutta la città, e si può considerare come un’onda di probabilità: non è una cosa tangibile, o reale, è solo un insieme di numeri astrattamente assegnati a ogni luogo in città. In modo simile, la funzione d’onda si estende dal punto in cui l’elettrone è stato visto l’ultima volta e ci permette di calcolare quanto è probabile che ora si trovi in un punto o in un altro.

Gli investigatori si accorgono che la loro intuizione era corretta quando avviene un furto in un certo appartamento. Questo cambia la distribuzione di probabilità, perché ora si sa che il ladro sarà nei paraggi della scena del crimine. Allo stesso modo, se l’elettrone viene rilevato in un certo punto, allora la sua funzione d’onda cambia immediatamente. Nel momento della rilevazione ci sarà probabilità zero di trovarlo in qualunque altro posto, e poi la funzione d’onda evolve nel tempo e si estende di nuovo.

Brian Greene (2004), La trama del cosmo, Einaudi p. 95. *Il menù cinese*

Per capire di che cosa si tratta [il principio di indeterminazione], pensiamo al menù a prezzo fisso di alcuni ristoranti cinesi: le pietanze sono elencate in due colonne, A e B. Se ordiniamo il primo piatto della colonna A, non possiamo ordinare il primo piatto della colonna B; se ordiniamo il secondo piatto della colonna A, non possiamo ordinare il secondo della colonna B, e così di seguito. In questo modo il ristorante istituisce una sorta di dualismo alimentare, una complementarità culinaria (che impedisce, in particolare, al cliente di scegliere tutti i piatti più cari). Nei menù cinesi a prezzo fisso possiamo avere l’anatra alla pechinese o l’aragosta alla cantonese, ma non entrambe.

Il principio di indeterminazione di Heisenberg fa una cosa molto simile: a grandi linee, inserisce le caratteristiche fisiche del mondo microscopico in due elenchi distinti A e B. La conoscenza della prima caratteristica dell’elenco A compromette sostanzialmente la capacità di conoscere la prima della lista B; la conoscenza della seconda caratteristica dell’elenco A compromette la capacità di conoscere la seconda dell’elenco B, e così via. Inoltre, proprio come se ci fosse concesso di assaporare

un piatto contenente un po’ di anatra alla pechinese e di aragosta alla cantonese, ma solo in proporzioni tali da corrispondere allo stesso prezzo totale, quanto più precisa è la nostra conoscenza di un aspetto della lista A, tanto meno precisa sarà quella dell’aspetto corrispondente della lista B. L’incapacità fondamentale di determinare simultaneamente tutte le caratteristiche dei due elenchi, ossia di stabilire con certezza tutte le proprietà del mondo microscopico, è l’indeterminazione illustrata dal principio di Heisenberg.

David H. McIntyre 2012, Quantum mechanics – A paradigms approach, p. XXI. *I calzini di Erwin*

Erwin aveva una collezione di calzini molto semplice – rossi o blu, per andare all’università o per giocare a pallone, corti o lunghi a seconda che li portasse con pantaloni o pantaloncini.

Erwin teneva i calzini in due cassette: in una teneva i calzini rossi e nell’altra quelli blu, ritenendo di poter capire se erano lunghi o corti semplicemente toccandoli.

Ma non era proprio così: infatti ogni volta che dal cassetto dei calzini rossi, estraeva due calze lunghe o due corte, c’era una probabilità del 50% che ognuno dei due fosse rosso o blu; stesso risultato per il cassetto blu. I calzini sembravano aver *dimenticato* la proprietà che Erwin aveva determinato precedentemente, ovvero il loro colore!

Erwin decise così di organizzare i calzini secondo la loro lunghezza: fece un cassetto con i calzini lunghi ed uno per i calzini corti. Quando però andava a prendere da uno dei due cassette due calze rosse o blu, c’era una probabilità del 50% che ognuno dei due fosse lungo o corto...avevano *dimenticato* la proprietà di essere lunghi o corti.