

Seminario 1: La Scoperta della Conservazione dell'Energia

La conservazione dell'energia è stata trattata come un caso di scoperta simultanea in un famoso articolo del famoso Thomas Kuhn¹. Nell'ultimo mezzo secolo, molti storici e studiosi di questo periodo della storia della scienza non sono stati d'accordo con questa interpretazione. Indagare, infatti, l'affermazione di un principio di conservazione che si è affermato come uno dei pilastri dell'intero edificio scientifico è un compito molto delicato. Molte persone competenti e ben preparate vi dedicarono notevoli sforzi, il più delle volte senza il successo immaginato all'inizio dell'impresa.

Comunque, in questi seminari (tutorial) dedicati ad alcune prospettive sulla storia della fisica, con uno scopo molto più modesto e limitato, ci concentreremo su alcuni contributi più o meno consensuali alla comprensione di questo importante principio. Tratteremo un po' più in dettaglio il lavoro di alcuni ricercatori che si sono occupati del problema, nel periodo storico compreso tra gli anni 1840 e 1860. L'obiettivo è più quello di promuovere un breve bilancio delle principali idee coinvolte nel processo che non l'attuale guardare, con un più preciso interesse storico, a precedenti e priorità.

Il periodo prescelto sembra godere di un consenso attorno al seguente fatto: nel 1840 non era noto il principio di conservazione dell'energia nella sua accezione più ampia; nel 1860 fu una conquista vittoriosa della nuova scienza, una conquista che ebbe un notevole effetto sulla scienza pura, sulla filosofia, sulla letteratura e sulla vita della società in generale².

È un periodo storico che vedrà un'impresa ammirevole, frutto del lavoro collettivo di molte generazioni di pensatori, scienziati e persone di cultura in genere. A tal punto questo è diventato vero che si è tentati di sostenere l'affermazione di un famoso storico della scienza sulla scoperta³:

A causa del suo valore pratico e dell'interesse intrinseco, il principio di conservazione dell'energia può essere considerato una delle più grandi conquiste della mente umana.

¹ T. Kuhn, *Energy conservation as an example of simultaneous discovery*, in M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science* (University of Wisconsin Press, Madison, 1959).

² Y. Elkana, *The Discovery of the Conservation of Energy* (Hutchinson Educational, London, 1974). Traduzione italiana di Libero Sosio: *La scoperta della conservazione dell'energia* (Feltrinelli, Milano, 1977), p. 223.}

³ W. Dampier, *A History of Science and its Relation with Philosophy and Religion*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1949), p. 228.

Seminario 2: La Macchina del Mondo – Dal Meccanicismo alla Seconda Legge della Termodinamica

Partendo da un'analisi della corrispondenza Leibniz-Clarke e da alcuni risultati ottenuti da Laplace sulla stabilità del Sistema Solare, si enfatizza il consolidamento di un'immagine deterministica del mondo e anche delle linee maestre della filosofia meccanicista.

In seguito, con un breve studio del raffreddamento della Terra, si scopre che la teoria dell'evoluzione, il raffreddamento della Terra stesso e la radioattività coinvolgono dei fenomeni che stanno fuori del marchio della fisica classica di Galileo e Newton.

Così, entra in scena la seconda legge della termodinamica, facendo riferimento qui alle opere di Carnot e Clausius.

Si dimostra allora che l'Universo di Clausius – quello in cui interviene il concetto di entropia – contrasta con il sistema di mondo di Laplace, nel quale la conservazione e la reversibilità camminano insieme.

Il quadro complessivo si completa quando, nel 1878, Boltzmann definisce l'entropia come dipendente dalle probabilità delle distribuzioni molecolari, cosicché essa può cambiare anche se non esiste un flusso di calore; ad esempio, quando il sistema diventa più aleatorio o più disordinato.

In questo scenario emergono importanti problemi legati alla ricorrenza e alla reversibilità.

Il seminario sarà dedicato ad un'analisi storica abbreviata di questo percorso.

Seminario 3: **MASSA-ENERGIA – Einstein, la relatività e l'energia racchiusa nella materia.**

In questo seminario (tutorial) i lavori dell'anno mirabile di Einstein vengono discussi con un certo dettaglio tecnico, ma in maniera sintetica, e tenendo sempre presente un pubblico più generale, di formazione non scientifica; ne segue una breve incursione storica nelle leggi di conservazione della massa e dell'energia, trattata nel primo seminario, che prepara il terreno per la presentazione dell'equazione che stabilisce l'equivalenza massa-energia. Nella parte finale, un richiamo del concetto classico di massa inerziale e qualche idea sulla natura della luce e le misure della sua velocità precedono una discussione più dettagliata dedicata al "contenuto energetico dell'Universo", svelato dalla formula di Einstein, $E = m c^2$.

L'equazione di Einstein permette di calcolare l'energia che può essere rilasciata nei processi chimici e nucleari, come la fissione e la fusione, e così anche l'energia rilasciata da una bomba – come testimoniato dalla catastrofe nucleare di Hiroshima e Nagasaki nell'agosto del 1945, che brucia ancora nella coscienza del mondo. Per questo si è soliti pensare tale equazione come "l'equazione che ha cambiato il mondo".

Ma questa equazione ha cambiato anche il nostro modo di capire il significato più profondo delle parole energia e massa. L'equivalenza massa-energia da essa esplicitata ci permette di, o meglio ancora, ci autorizza ad affrontare i due principi – quello della conservazione della massa e quello della conservazione dell'energia – come un singolo principio di conservazione, quello della massa-energia, poiché queste due quantità sono ormai convertibili l'una nell'altra, e il fattore di conversione è il quadrato della velocità della luce nel vuoto.

Seminario 4: Riflessioni sulla realtà quantistica: L'entanglement

La fisica classica è quella che impariamo alla scuola, e che tratta dalle leggi che si applicano agli oggetti che riusciamo a vedere, e nei quali possiamo toccare, come le macchine e i palloni, ma anche come gli aerei supersonici e i razzi. La fisica moderna, invece, ha a che fare con gli oggetti inaccessibili ai nostri sensi, come le particelle elementari, gli atomi, le molecole, i buchi neri, ecc.⁴

Il secolo XX può essere considerato come il "secolo della fisica moderna", poiché è segnalato da due grandi rotture con la fisica classica: la teoria della relatività e la meccanica quantistica.

In questo seminario, considereremo, in maniera molto riassuntiva, alcuni dei problemi dei fondamenti della fisica quantistica. Nel farlo, ci limiteremo a presentare, senza ulteriori approfondimenti, alcuni degli elementi centrali della teoria quantistica, che ci permettono un approccio ai fenomeni che sono cruciali per il dibattito sulle interpretazioni del formalismo. Sin dalla sua formulazione, il notevole successo delle sue spiegazioni dei fenomeni che accadono nell'universo in scala microscopica viene accompagnato da calorosi dibattiti sull'interpretazione dei suoi fondamenti. Secondo il fisico-matematico di Oxford, Roger Penrose⁵, ci sono alcuni "misteri" legati alla realtà quantistica. In realtà, si troverebbero due tipi o classi di misteri o di enigmi.

La prima classe sarebbe formata dai misteri di tipo **X** (dalla parola inglese *paradoxes*). Sono problemi di interpretazione e applicazione della teoria che si presentano, appunto, come paradossali; questi forse richiedono un cambiamento nella teoria! Come esempio, abbiamo il famoso problema del gatto di Schrödinger.

L'altra classe di misteri sarebbe quella costituita dai tipi **Z** (dalla parola inglese *puzzles*). Questi misteri fanno parte della natura delle cose; sono strani, ma reali e possono essere spiegati nel contesto della teoria. L'esempio più famoso e importante è il problema della non-località, per il quale, sostanzialmente, il Premio Nobel di Fisica del 2022 è stato segnato.

Queste riflessioni sono dedicate a una poco pretenziosa discussione di questo secondo tipo di "mistero", quello che è centrato nei fenomeni che hanno a che fare con l'*entanglement* (intreccio, aggrovigliamento). La parola fu introdotta da Erwin Schrödinger, in una lettera che scrisse ad Einstein. Egli ha usato il termine tedesco *Verschränkung* e l'ha tradotto all'inglese come *entanglement* – per riferirsi alle correlazioni quantistiche tra due particelle che interagiscono e dopo si allontanano – che è una proprietà caratteristica della natura quantistica di un sistema fisico a più componenti⁶.

⁴ J. Gribbin, *La nuova fisica* (Editoriale Scienza, Trieste, 2001).

⁵ R. Penrose, *Il grande, il piccolo e la mente umana* (Raffaello Cortina Editore, Milano, 2000).

⁶ M. Rasetti, *Il calcolo quantistico: una sfida per la matematica del 2000* (La Matematica nella Società e nella Cultura, *Bollettino della Unione Matematica Italiana* **8**, 3A, 201-222 (2000)).

Seminario 5: Fisica e Poesia: Rappresentazioni del Reale?

L'attività dello scienziato nel descrivere la realtà fisica concreta – in particolare l'attività del fisico – e l'attività dell'artista (per noi il poeta), attorno alla sua intuizione creativa, trovano la loro comune radice nell'atto di espressione della volontà, di spontaneità.

Un individuo dotato di volontà libera e spontanea è capace di esprimersi autenticamente sul mondo e sulle cose che lo circondano o, se vogliamo, sull'ordine (disordine) che si trova nel mondo, sull'esistenza o meno di un significato.

Nel breve dialogo qui delineato tra questi due universi – che utilizzano linguaggi molto diversi, adeguati all'ambito della conoscenza e al valore di ciò che si desidera –, ma che si nutrono della stessa ricerca immaginativa, fisica e poesia sono considerate due attività umane imprescindibili: espressioni autentiche di un modo di stare al mondo, trovato da persone creative e sensibili – che, in misura maggiore o minore, possono ben rappresentare un ideale di conoscenza per tutta l'umanità.