

Avvertenza

Questa dispensa costituisce la nuova esposizione del § 2518 del secondo capitolo che sarà contenuta nella seconda edizione in preparazione della *Introduzione alla filosofia della scienza. Un approccio storico ai concetti fondamentali* (1a ed. Bonanno, Catania 2004) che viene messo on line ad esclusivo uso didattico per gli studenti che seguono il corso facente uso della prima edizione, in modo che essi possano fruire delle migliorie in esso contenuto. In carattere blu sono indicate le novità rispetto alla prima edizione. Per ogni ulteriore suggerimento o eventuali correzioni scrivere a f.coniglione@unict.it.

© Francesco Coniglione

2518. Heisenberg e il principio di indeterminazione – Consapevole dell'oscurità del significato intuitivo proprio della teoria dei quanti, Heisenberg imboccò la strada dell'abbandono dei vecchi concetti cinematici giungendo nel 1927 alla formulazione del suo famoso *principio di indeterminazione*. Questo stabilisce in generale l'impossibilità di «**indicare simultaneamente, con un grado qualunque di esattezza, la posizione e la velocità di una particella elementare**». Più esattamente, quanto più si aumenta la precisione con cui si conosce la quantità di moto di una data particella, tanto meno si conosce la probabilità della posizione da essa occupata; sicché una determinazione assolutamente precisa della quantità di moto dell'elettrone implica l'assoluta ignoranza riguardo alla sua posizione, e viceversa. **Ciò viene espresso dalle relazioni di indeterminazione di Heisenberg, le quali ci dicono che «si può misurare con grande esattezza la posizione, ma allora, per l'intervento dello strumento di misurazione, diletua, fino a un certo grado, la conoscenza della velocità; oppure, inversamente, diletua la conoscenza della posizione, attraverso una esatta misurazione della velocità, di modo che, con la costante di Planck, vien dato un limite inferiore al prodotto delle due inesattezze».**¹

Da un punto di vista fisico **tale effetto si può spiegare osservando che per misurare un oggetto dobbiamo in qualche modo interagire con esso. Anche la semplice osservazione per mezzo della vista presuppone che sull'oggetto sia diretto un raggio di luce che lo colpisce e in misura impercettibile lo modifica. Tale effetto non è osservabile nel caso del mondo macroscopico che ci circonda e nella nostra vita quotidiana, ma diventa apprezzabile quando si ha a che fare con la realtà della microfisica; in questo caso la pur piccola energia utilizzata, ad esempio per osservare un elettrone, finisce per avere un effetto che altera il processo che si vuole misurare.** Sicché il risultato dell'osservazione non sarà mai il fenomeno oggettivo,

¹ W. Heisenberg, *Natura e fisica moderna*, Garzanti, Milano 1960, p. 33. Le relazioni di indeterminazione di Heisenberg sanciscono l'impossibilità di valutare in modo rigoroso e senza alcun limite quelle grandezze la cui determinazione simultanea consente la descrizione meccanica di un dato sistema fisico. Esse sono due e si riferiscono, la prima alla incertezza della posizione (indicata con Δx) e della quantità di moto (indicata con Δp), la seconda all'incertezza sul tempo (indicata con Δt) e sulla misura dell'energia (indicata con ΔE) di una particella. Esse si scrivono in simboli nel modo seguente:

$$\begin{aligned}\Delta x \Delta p &\geq \hbar \\ \Delta t \Delta E &\geq \hbar\end{aligned}$$

dove il simbolo \geq significa "maggiore o eguale" e la acca tagliata è la costante di Planck h divisa per 2π (che è eguale a 10^{-34} Joule al secondo). In tali formule il prodotto tra l'indeterminazione sulla posizione e l'incertezza sulla quantità di moto (prima formula, ma il discorso è analogo anche per la seconda) è sempre maggiore ad una certa quantità (indicata dalla acca tagliata), per cui quando si voglia rendere piccolo uno dei due fattori, finisce per aumentare l'indeterminatezza dell'altro, in modo che il prodotto delle due indeterminazioni non può mai essere minore della costante di Planck divisa per 2π .

Ciò è facilmente osservabile anche mediante una semplice moltiplicazione. Se poniamo, ad es., $xp > c$, con $c=10$, avremo con $x=3$ e $p=4$ un prodotto $xp=12$, sicché la disuguaglianza è rispettata. Ma se poniamo $x=2$, per rispettare la disuguaglianza deve essere p eguale almeno a 6. Per cui, se x indica una misura di imprecisione circa la posizione di una particella, allorché noi la diminuiamo, affinché la relazione risulti rispettata deve aumentare l'imprecisione di p , relativa alla quantità di moto, in modo che il loro prodotto risulti maggiore o eguale alla quantità indicata dall'acca tagliata.

così come si svolge indipendentemente dall'osservatore, ma il fenomeno **che risulta dal processo di misura e per effetto di esso**. Non abbiamo una descrizione della realtà oggettiva, ma di una realtà composta di soggetto ed oggetto, di fenomeno osservato e processo di osservazione.

Fu immediatamente evidente ai fisici contemporanei l'importanza di tale principio, al punto da far scrivere a Planck già nel 1929 che «questa relazione di indeterminazione di Heisenberg costituiva per la meccanica classica qualcosa di assolutamente inaudito».² Ed in effetti essa costituiva l'elemento di maggior distacco tra la concezione della meccanica quantistica che si stava affermando (poi sintetizzata nella cosiddetta impostazione della scuola di Copenaghen: v. § 2521) e la visione della fisica che avrebbero condiviso molti altri fisici, tra i quali Einstein, che con la visione del mondo newtoniana non volevano del tutto tagliare i ponti.

² M. Planck, *La conoscenza del mondo fisico*, Boringhieri, Torino, 1964, p. 222 [Controllare]