LA NASCITA DELLA MECCANICA QUANTISTICA

I LIMITI DELLA FISICA CLASSICA

La meccanica quantistica nasce alla fine del 1800 - inizio del 1900, per spiegare alcuni fenomeni che non si riuscivano a comprendere con le leggi della meccanica classica.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

LA RADIAZIONE DI CORPO NERO

Un oggetto caldo emette radiazioni. A Temperature alte, una buona parte della radiazione cade nel visibile, come ci testimoniato dall'incandescenza ad esempio di metalli riscaldati. Sperimentalmente, si trova che il massimo di emissione si sposta a λ minori all'aumentare della Temperatura. Per studiare questo fenomeno, si ricorre al modello del CORPO NERO, ovvero si considera un materiale ideale, in grado di assorbire TUTTE le radiazioni (e quindi anche di emetterle). Il primo modello per spiegare la cosiddetta "radiazione di corpo nero", che faceva utilizzo della fisica classica, fu studiato da Rayleigh e Jeans, che arrivarono alla formula

$$u = 8\pi K_B T \frac{\nu^2}{c^3}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

dove u è la distribuzione di energia della radiazione emessa, e K_B è la costante di Boltzmann. Questa formula presentava un grande fallimento, poiché per $\lambda \to 0$, $u \to \infty$, indipendentemente dalla Temperatura. Secondo la legge così scritta, dunque, ogni corpo dovrebbe emettere a elevatissime intensità le radiazioni a lunghezza d'onda minore, tra cui ad esempio quella dell'ultravioletto, anche a Temperature molto basse; per questo, il fallimento è spesso denotato come CATASTROFE ULTRAVIOLETTA. Il problema rimaneva senza soluzione.

Fu il fisico Max Planck a proporre una soluzione. Egli ipotizzò che la radiazione emessa fosse dovuta a oscillazioni elettroniche negli atomi (allo stesso modo degli elettroni nelle antenne, che

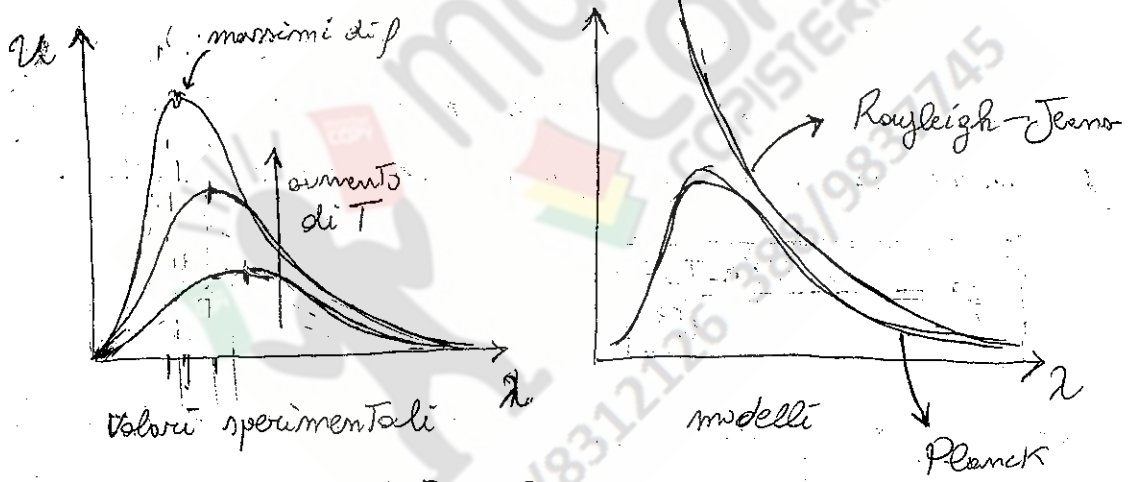
emettono onde radio); con un lampo di genio, però, Planck ipotizzò che a questi oscillatori non fossero consentiti TUTTI i valori di energia (contrariamente all'ipotesi classica), ma che essi avessero energie date da multipli interi di $h\nu$, dove ν è la frequenza di oscillazione ed h una costante

$$E = nh\nu \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

Con questa assunzione, Planck derivò una nuova formula di u:

$$u = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}\left[e^{h\nu/k_B T} - 1\right]^{-1}$$

Questa formula risultava rappresentare perfettamente l'andamento di u a una certa T in funzione di λ



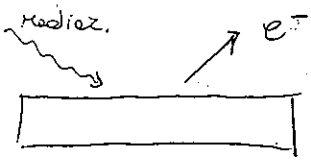
IL DUALISMO ONDA - PARTICELLA

La scoperta di Planck era impressionante, ma non si riusciva a capire perché l'energia potesse assumere solamente valori discreti. La risposta, e la dimostrazione della veridicità delle ipotesi di Planck, provennero dalla scoperta dell'effetto fotoelettrico da parte di Einstein

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

L'EFFETTO FOTOELETTRICO

Nel 1905, Einstein descrisse l'effetto fotoelettrico. Si tratta dell'emissione di elettroni da un materiale, qualora questo sia colpito da una radiazione.



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

L'effetto fotoelettrico presenta alcune caratteristiche fondamentali:

1) Nessun elettrone viene rilasciato se la radiazione che si usa ha una frequenza $\nu < \nu^*$, dove ν^* è detta FREQUENZA DI SOGLIA ed è caratteristica del materiale

2) Se $\nu > \nu^*$, gli elettroni vengono emessi con una energia cinetica E_C che si trova data da

$$E_C = h(\nu - \nu^*) = h\nu - \Phi$$

dove $h\nu^* = \Phi$ è detta FUNZIONE LAVORO ed indica l'energia di dissociazione dell'elettrone dal materiale

3) Se si diminuisce o si aumenta l'intensità della radiazione, ma si mantiene costante la frequenza, gli elettroni emessi NON cambiano la loro energia cinetica, ma vengono emessi in minore o in maggior numero.

Il terzo punto fu determinante per la comprensione del fenomeno. Facendo appello all'ipotesi di Planck che aveva risolto il problema della radiazione di corpo nero, Einstein ipotizzò che l'energia della radiazione si trasferisse agli elettroni sottoforma di "pacchetti" discreti, di energia proporzionale alla frequenza. L'aumento o la diminuzione di intensità della radiazione non era quindi una variazione dell'energia trasferita da un pacchetto, ma la variazione del NUMERO di pacchetti forniti.

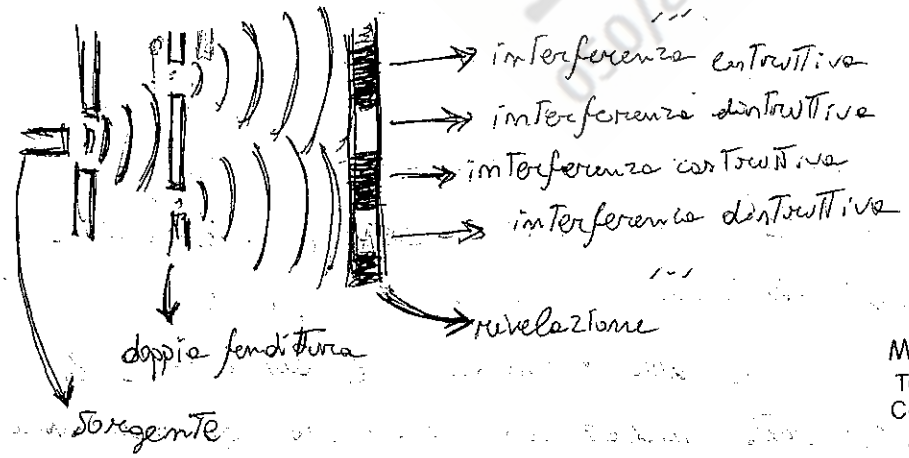
A tale "pacchetto" Einstein diede il nome di FOTONE.
L'energia di un fotone a frequenza ν risulta dunque data da

$$E = h\nu$$

dove $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s prese il nome di COSTANTE DI PLANCK. In questo modo, si era ipotizzato che la luce si comportasse non solo come un'ONDA, con proprietà di propagazione ed interferenza, ma anche come una PARTICELLA, essendo costituita da fotoni, che sono unità discrete. Questo fu il primo passo verso la formulazione della meccanica quantistica

L'ESPERIMENTO DI YOUNG E IL POSTULATO DI DE BROGLIE

Per completare il quadro di introduzione alla meccanica quantistica, è necessario, oltre a mostrare la natura particellare della luce, mostrare anche la natura ondulatoria delle particelle.
A tale scopo, riveste un ruolo fondamentale l'esperimento di Young o della DOPPIA FENDITURA. Se si pone davanti ad una sorgente di elettroni una fenditura, e dopo di essa una parete con una fenditura doppia, si nota che la rivelazione presenta come di interferenza, come se si fosse usata una sorgente di fotoni



Il risultato è lo stesso usando una sorgente di e⁻ o di fotoni

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Dunque, nonostante l'elettrone sia una particella, genera interferenze e si propaga come un'onda (riuscendo addirittura a passare da due fenditure!).

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Era dunque chiaro che particelle e onde avessero carattere doppio, ma come correlare la natura particellare con quella ondulatoria? Nel 1924, Louis De Broglie affermò che qualsiasi particella in moto con una quantità di moto p ha il carattere di un'ONDA di lunghezza λ, e le due quantità sono legate da

$$\boxed{p\lambda = h}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Questa formula, oltre alla sua notevole importanza nello sviluppo della meccanica quantistica, spiega perché il problema del DUALISMO ONDA-PARTICELLA non si presenta a livello macroscopico; infatti, per masse grandi rispetto a quelle degli atomi, le dimensioni di h sono tali che la λ risulta tanto piccola da non essere osservabile.
L'importanza del dualismo diviene apprezzabile quando le masse dei corpi sono molto piccole, e quindi p è molto piccola. Per i corpi molto piccoli, dunque, è necessario rimodellare la fisica, ed abbandonare le leggi classiche per fare ricorso alla meccanica quantistica.

I POSTULATI DELLA MECCANICA QUANTISTICA

La meccanica quantistica si basa su un certo numero di postulati, ovvero di leggi fondamentali che si assumono vere dalle evidenze sperimentali, ma non sono dimostrate (sono alla stregua dei Tre principi della dinamica). Osserviamo quali sono tali postulati:

(1) Un sistema quantistico è noto se è nota la sua FUNZIONE D'ONDA; ovvero, dalla funzione d'onda è possibile ricavare ogni informazione sul sistema
La funzione d'onda è una funzione delle particolari caratteristiche che permette, una volta nota, di conoscere TUTTO sul sistema