

ALESSIA GINELLI E MARIANNA D'ARMINIO

Data e luogo: LABORATORIO DI FISICA – LICEO SCIENTIFICO

04.03.2022

Scopo dell'esperienza: **RICREAZIONE DELL'ESPERIMENTO DI DAVISSON E GERMER – CONFERMA SPERIMENTALE DELL'IPOTESI DI DE BROGLIE: LA DOPPIA NATURA DELLE PARTICELLE**

Materiale utilizzato: spillo, spruzzatore di vernice, vernice, elettroscopio, oggetti solidi, fascio di elettroni, pannello fluorescente, fonti luminose, filtri per la luce, biglie, pannello di plastica, aste di plastica, complesso dell'esperienza di Davisson-Germer.

<https://www.youtube.com/watch?v=szGJnpNowqw&t=1522s>

Le immagini riportate nella relazione sono degli estratti dal video che abbiamo analizzato per scrivere la relazione.

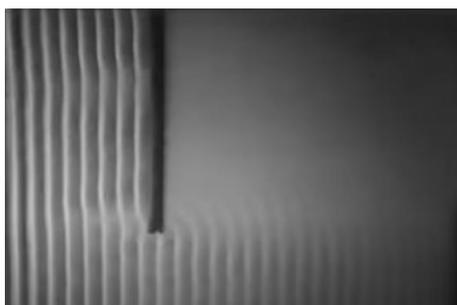
Premessa teorica:

Negli anni Venti del Novecento fu istituito uno schema interpretativo comune per atomi e particelle subatomiche. Partendo dal presupposto che la luce e le radiazioni elettromagnetiche presentano una doppia natura onda-particella in base alle condizioni sperimentali in cui si trovano, sono stati condotti degli studi per capire quale di queste due nature fosse quella predominante.

Nel 1923 Louis de Broglie ha portato come tesi di laurea l'ipotesi secondo cui anche la materia presenta la stessa dualità che caratterizzava la luce e le radiazioni elettromagnetiche.

Per spiegare l'ipotesi di de Broglie è necessario ricordare alcuni concetti legati alle onde e alla loro propagazione.

Innanzitutto, la diffrazione è il fenomeno che si verifica quando un'onda, incontrando un ostacolo o uno schermo con una fenditura, incurva i suoi fronti d'onda, così da aggirare l'ostacolo ed espandersi.



Nell'esempio riportato nel video, spruzzando gocce di pittura su quello che sembra essere uno spillo conficcato nel tavolo, si può osservare l'ombra che le gocce lasciano sul tavolo dell'esperimento nello spazio in cui non intercettano lo spillo. Su questo principio si basa il funzionamento dell'elettroscopio.

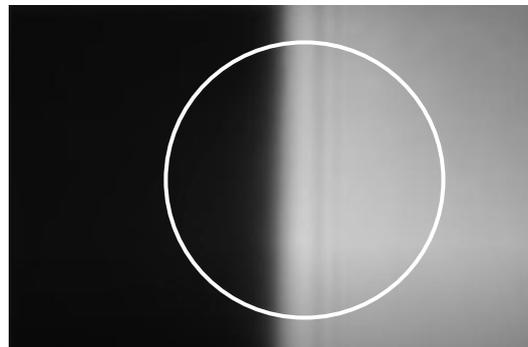


L'elettroscopio funziona in base al seguente procedimento: inviando un fascio di elettroni contro un oggetto, alcuni raggi entrano a contatto con l'oggetto stesso e non procedono più, al contrario dei restanti raggi, che invece si scontrano con una lente, rifrangendosi e contribuendo a creare su un pannello fluorescente l'ombra dell'oggetto.

L'immagine ottenuta dall'elettroscopio non è sempre nitida, ma presenta delle sezioni più chiare di altre. Di conseguenza, gli elettroni che dovrebbero riprodurre l'immagine nitida dell'oggetto in realtà non svolgono questa funzione perfettamente, al contrario di quanto succede per esempio con il precedente caso della pittura. Da qui ne segue l'associazione delle particelle ad un comportamento ondulatorio.



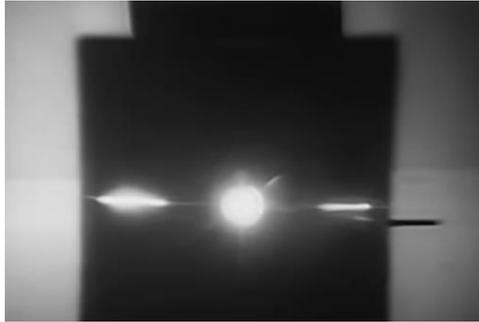
Un'altra prova di questa caratteristica è stata realizzata in una stanza buia puntando il fascio di luce verso un oggetto: anche in questo caso si può notare il fenomeno di diffrazione e lo stesso problema riguardo la nitidezza dell'ombra dell'oggetto.



La domanda, quindi, è: quale comportamento assume una particella? Corpuscolare o ondulatorio? Si ipotizza che la diffrazione che si viene a formare negli esempi sopracitati è data dall'interferenza delle onde di luce tra loro: bisogna però dimostrarlo.

A questo punto del video il fisico ha ricreato l'effetto di scattering, che sarebbe poi servito per spiegare l'ipotesi di de Broglie. Utilizzando una superficie di plastica con fessure molto sottili (la distanza è circa 20 volte inferiore alla lunghezza d'onda della luce) posta davanti ad una sorgente di luce, si può osservare che la linea che viene proiettata non è perfetta ma "scattered" (dispersa).

In alcune zone la luce si rifrange con lo stesso angolo di incidenza; quindi, torna indietro seguendo la stessa traiettoria. La direzione dei raggi rifratti dipende dalla lunghezza d'onda della luce in quel punto, infatti, ci sono punti più luminosi e altri meno. Nei punti più interni della proiezione di luce ottenuta sul pannello lo spettro è blu, quindi ha una lunghezza d'onda minore; al contrario nella parte più esterna la luce ha una lunghezza d'onda maggiore, ed è rossa. Ciò si può osservare anche utilizzando un filtro per la luce.



Osservando tutto ciò, il fisico evidenzia due opzioni possibili: una in cui il raggio di particelle venga rifratto in tutte diverse direzioni (comportamento corpuscolare), l'altra invece in cui torna indietro come raggio (comportamento ondulatorio).

L'obiettivo ora è creare una griglia che abbia le linee di spazio comparabili con la lunghezza d'onda cercata, ed è qui che entra in gioco l'ipotesi di de Broglie.

Entrando in contatto con un altro corpo, il fotone viene caratterizzato da una momento angolare.

Di conseguenza:

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

dove h è la costante di Planck ($6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$), p è la quantità di moto ($p = mv$) in $\text{kg} \cdot \text{m/s}$, e λ è la lunghezza d'onda in metri.

Quindi:

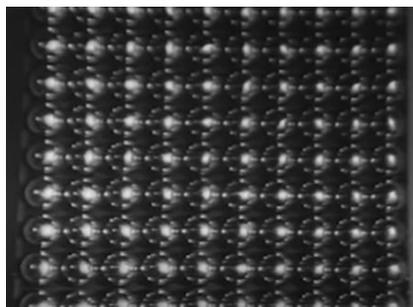
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Approssimando le misure con i calcoli effettuati nel video si ottiene che la lunghezza d'onda ha un ordine di grandezza di 10^{-10} , che sarebbe pari a quella dell'atomo.

Le ipotesi di de Broglie erano speculazioni puramente teoriche, all'inizio non supportate da nessuna prova sperimentale.

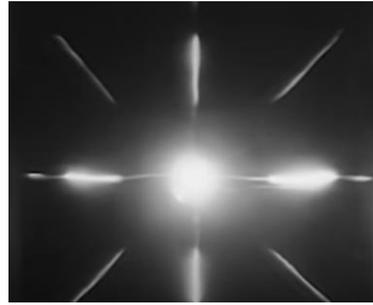
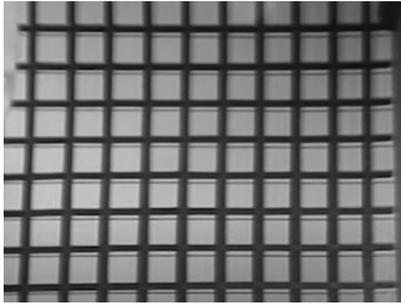
Quattro anni dopo Davisson e Germer hanno condotto un esperimento che ha confermato proprio l'ipotesi sulla dualità delle particelle, ma lo stesso Germer ha in realtà rivelato che l'esperimento era stato condotto prima che loro venissero a conoscenza di quella teoria. Solo dopo averla scoperta, hanno notato un legame e hanno confrontato i valori ottenuti con la relazione imposta da de Broglie, confermandone la teoria.

Con delle biglie può essere ricreata la disposizione degli atomi in un cristallo, per comprendere meglio i successivi passaggi effettuati.



Prendendo in considerazione una superficie di plastica a linee orizzontali e verticali, si sovrappongono delle aste di plastica e si colpisce il complesso con un fascio di luce: sul pannello ci

si aspetterebbe che la luce formi una croce, in realtà vi sono anche i raggi delle diagonali, che formano una figura simmetrica.



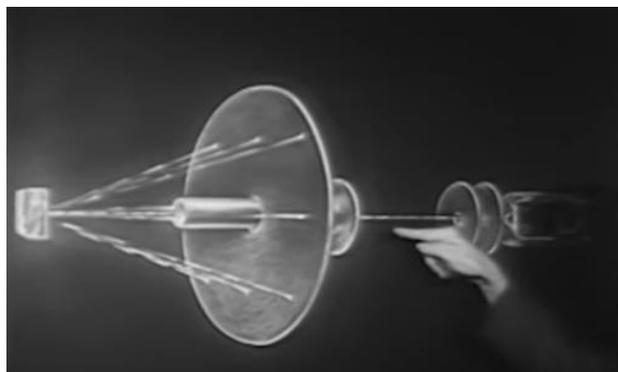
Riprendendo un foglio filtrante si può osservare di nuovo quali sono le lunghezze d'onda corrispondenti al blu e quali al rosso con lo stesso procedimento dell'esempio precedente.

Facendo rimbalzare un fascio di elettroni a 100V su un cristallo, se gli elettroni si comportano come onde, rimbalzano come raggi formando dei punti di luce e quando invece si aumenta il voltaggio, aumenta di conseguenza l'energia e la quantità di moto degli elettroni. Diminuiscono quindi la lunghezza d'onda e anche le dimensioni del punto luminoso.

Per maggiori informazioni sulle onde e sull'elettone, guardare relazioni precedenti.

Esecuzione dell'esperienza/ dati e loro elaborazione:

1. Nel video colui che ricrea l'esperimento è lo stesso Germer, 35 anni dopo la prova originale con Davisson. Germer, utilizzando una pistola di elettroni, fa in modo che il sottile fascio passi attraverso un tubo e che venga riflesso su un cristallo. In seguito, il fascio rimbalza e torna indietro a diversi angoli colpendo uno schermo fluorescente e creando punti luminosi.



Germer afferma che possiamo conoscere gli angoli di dispersione degli elettroni dalla posizione dei punti sullo schermo. Con gli angoli possiamo ricavare la disposizione degli atomi nel cristallo.

2. Innanzitutto, abbiamo spento la luce e abbiamo poi acceso il voltmetro così che si potesse venire a creare un fascio di elettroni. In questo modo è stato possibile osservare i punti luminosi. In questa prima parte è stato utilizzato un voltaggio $V_1 = 40V$
3. I punti che si possono quindi osservare sullo schermo sono simmetrici poiché rimbalzano sulla superficie del cristallo.
4. A questo punto si aumenta il voltaggio a $V_2 = 47V$, osservando che i punti sono diventati più piccoli. La differenza tra i due valori è molto bassa perché si sono voluti evitare errori.

5. Germer ha poi effettuato lo scambio tra i due livelli di voltaggio più volte per mostrare la differenza di grandezza dei punti luminosi: più è alto il voltaggio, più sono piccoli i punti, e viceversa.

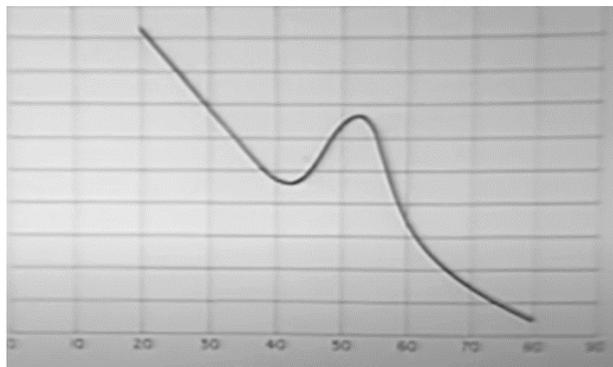


La proporzione della grandezza dei punti è data dalla radice del rapporto dei due voltaggi utilizzati:

$$\sqrt{\frac{V_1}{V_2}}$$

L'energia degli elettroni varia anch'essa con il voltaggio, e la quantità di moto (p) varia in base alla relazione soprariportata. Di conseguenza, la lunghezza d'onda (λ) è inversamente proporzionale alla radice. Si può calcolare la lunghezza d'onda in base alle posizioni dei punti dello schermo fluorescente e quindi in base ai loro angoli, e conoscendo lo spazio che divide gli atomi nel cristallo.

6. Germer ha raccontato che in realtà l'esperimento originale era stato svolto senza schermo fluorescente, e l'inclinazione dei raggi era data da una scatola, parte integrante dello strumento principale, che si muoveva quindi in base alla direzione assunta dal raggio di elettroni. Nell'esperimento originale, dalla scatola proveniva una forte corrente, e i valori presi in esame corrispondevano solo ad angoli maggiori di 20° . All'aumentare dell'angolo diminuiva l'intensità, tuttavia per un breve tratto l'intensità cresceva di nuovo fino ad un massimo corrispondente circa a 53° , per poi scendere. Se ci fosse stato lo schermo fluorescente si sarebbero potuti registrare anche i punti luminosi, tuttavia non è stato possibile.



Conclusioni:

Abbiamo osservato con il video di "AT&T Archives" la validità dell'ipotesi di De Broglie attraverso la ricreazione dell'esperimento di Davisson e Germer.