

Corso Scientifica...Mente

Humaniter – Napoli

25 maggio 2020



Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...!

Il Principio d'Indeterminazione di Heisenberg

A causa del principio di indeterminazione di Heisenberg, in un sistema microscopico non è possibile nemmeno rilevare contemporaneamente la velocità e la posizione di una particella nello spazio in quanto....

L'atto stesso di osservare un elettrone mentre orbita intorno all'atomo influisce sulla sua posizione e sul suo moto. I fotoni della luce colpiscono gli elettroni e ne modificano la traiettoria.

Erwin Schrödinger propose di abbandonare ogni tentativo di misurazione degli elettroni con le leggi della meccanica classica e adottare un'interpretazione probabilistica tramite le leggi della meccanica quantistica



Animazione Principio di indeterminazione di Heisenberg



$$v = \frac{pc}{h}$$

De Broglie e le Onde di Materia

$$\lambda = h/p = 1/v$$

Abbiamo visto che nel 1905 Albert Einstein postula, per spiegare l'effetto fotoelettrico, che la luce debba essere composta da "Quanti di Luce" (Fotoni), cioè particelle.



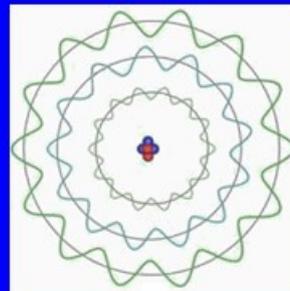
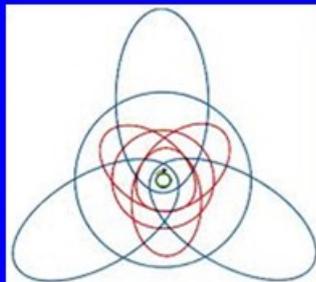
All'opposto ...

... Louis de Broglie postula nel 1924, per spiegare gli effetti quantistici, che anche le particelle dotate di massa (es: l'elettrone) debbano presentare a volte caratteri di tipo ondulatorio

Più precisamente De Broglie postula che una particella di massa m e velocità v , quindi con quantità di moto $p = mv$ sia equivalente ad un'onda di frequenza $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{pv}{h}$ ove h è l'onnipresente costante di Planck

Ma la storia si complica ulteriormente

Dalle orbite alle... onde!



De Broglie: un'altra idea rivoluzionaria

Le continue modifiche e integrazioni miglioravano sempre di più il modello atomico di Bohr, ma non riuscivano a raggiungere la perfezione (corrispondenza perfetta tra equazioni, calcoli e previsioni secondo il modello Bohr-Sommerfeld, e righe spettrali reali dei vari elementi).

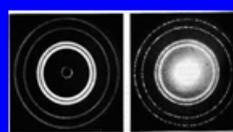
Pertanto in quei tempi vari esperimenti di laboratorio avevano fatto rilevare che i raggi catodici davano diffrazioni e interferenze paragonabili a quelle della luce! Gli elettroni sembravano comportarsi come i fotoni!

Si cominciò a sospettare che anche gli elettroni avessero doppia natura come i fotoni: particellare e ondulatoria.

Ora, se ai fotoni aventi una determinata lunghezza d'onda λ , è stato possibile associare una quantità di moto $mc = h/\lambda$ (effetto fotoelettrico), per analogia doveva essere possibile associare agli elettroni, aventi una determinata quantità di moto mv , una specifica lunghezza d'onda $\lambda_e = h/mv$

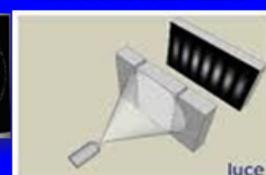
Si cercò di studiare e di capire, quindi, il comportamento ondulatorio dell'elettrone attorno al nucleo.

Diffrazioni da un foro su un foglietto di alluminio

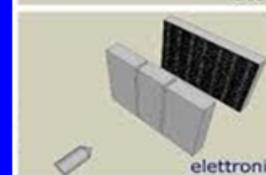


Raggi X Raggi catodici

Interferenza da due fessure



luce



elettroni

$$v = \frac{pc}{h}$$

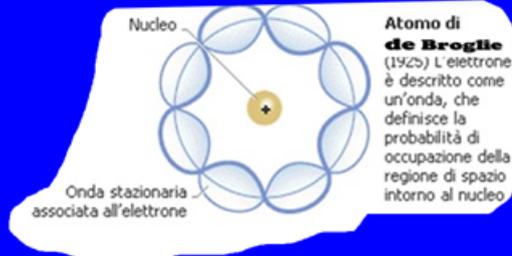
De Broglie e le Onde di Materia

$$\lambda = h/p = h/mv$$

Se questa ipotesi fosse giusta, dovrebbe essere possibile la verifica attraverso la presenza di figure di interferenza simili a quelle prodotte dalle onde di acqua o luminose quando provengono da diverse direzioni.



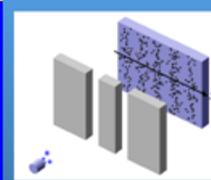
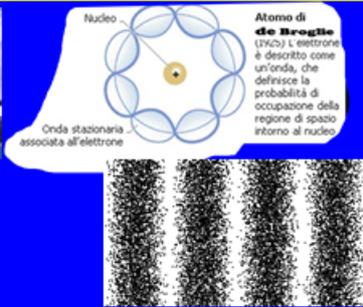
Per cui inviando un fascio di elettroni contro un ostacolo alcuni elettroni dovrebbero generare onde in fase ed altre in controfase generando figure d'interferenza.



$$v = \frac{pc}{h}$$

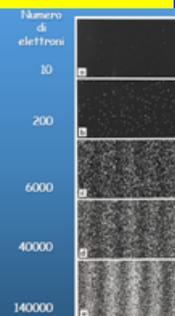
De Broglie e le Onde di Materia

$$\lambda = h/p = h/mv$$



Esperimento della doppia fenditura effettuato con elettroni.

Relazione di de Broglie:
 $v = pc/h = mvc/h$



Già nel 1927, e dunque solo tre anni dopo, furono osservati gli effetti dell'interferenza con un fascio di elettroni dal fisico inglese **George Paget Thomson** con una sottile pellicola metallica e dai fisici americani **Clinton Davison** e **Lester Germer**, i quali studiarono il fenomeno di diffusione degli elettroni incidenti su una lastra di nickel monocristallino

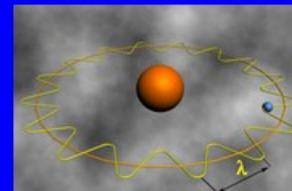
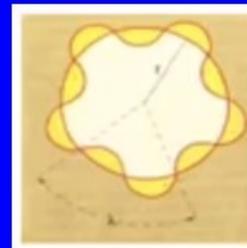
Quindi:

- Bohr dice che gli elettroni si possono muovere intorno ad un atomo solo su determinate orbite (e funziona).

De Broglie dice che ad ogni particella è associata un'onda, quindi si comporta «anche» come un'onda; quindi un elettrone intorno ad un atomo può ruotare su determinate orbite, fissate dalle caratteristiche della particella.

- Resta da spiegare cosa vuol dire «associare» un'onda ad una particella...Schrödinger & Heisenberg.

SI!
Interferenza costruttiva



1. Dati sperimentali: esperimenti di interazione della luce con la materia

- spettri di emissione e di assorbimento

2. Ipotesi di Planck:

quantizzazione dell'energia

$$E = n h \nu$$

3. Ipotesi di Einstein:

natura corpuscolare della luce

- il fotone: $E = h \nu$

4. Ipotesi di De Broglie:

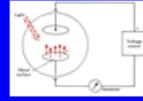
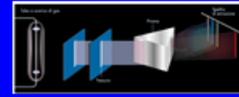
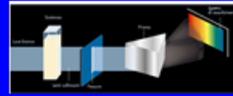
dualismo onda-corpuscolo

$$\lambda = h / m v$$

5. Principio di Indeterminazione di

Heisenberg:

$$\Delta p \Delta x \geq h / 4 \pi$$



Nasce la Meccanica

Quantistica

descrive i sistemi microscopici

1. i sistemi microscopici scambiano energia solo in quantità discrete.

2. il moto delle particelle microscopiche è descritto in termini probabilistici.

Heisenberg e Schrödinger, i Padri della Meccanica Quantistica



Erwin Schrödinger

Una teoria c'è...anzi due!

Nel 1926 **Erwin Schrödinger**, (1887-1961) pubblica su *Annalen der Physik* la teoria basata sull'equazione (che verrà chiamata di Schrödinger) che è alla base della Meccanica Ondulatoria (Nobel 1933)

Secondo Schrodinger, se Einstein aveva mostrato che le onde luminose potevano comportarsi come particelle (fotoni), e De Broglie aveva stabilito il dualismo onda-particella, non poteva essere che i componenti essenziali della materia fossero le onde e non le particelle?

Il matematico John von Neumann (1903-1957) dimostrerà nel 1932 che le due teorie sono equivalenti :si trattava di due punti di vista alternativi per descrivere lo stesso processo.

Heisenberg e Schrödinger, i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...anzi due!

L'equazione di Schrödinger descrive il mondo materiale con la Funzione d'Onda Ψ così come le equazioni di Maxwell descrivono le onde elettromagnetiche (E, B)

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t$$

$$-\hbar^2 / 2m \nabla^2 \Psi / \partial x^2 + V(x, t) \Psi = i \hbar \partial \Psi / \partial t$$



Forse il curioso comportamento delle particelle quantistiche era dovuto al fatto che non erano vere e proprie particelle, ma fasci di onde concentrate in alcuni punti?

Schrodinger sviluppò l'equazione che porta il suo nome.

Applicò tale equazione alle onde per ottenere l'energia associata.

Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...anzi due!

La soluzione di Schrödinger: [le onde di probabilità e gli orbitali](#)

In essa compare una grandezza detta **funzione d'onda Φ' (ψ)** che fornisce **informazioni probabilistiche sulla posizione dell'elettrone** senza «disegnare» le sue traiettorie intorno al nucleo.

Risolvendo l'equazione di Schrödinger quindi è possibile individuare le regioni dello spazio in cui è massima la probabilità di trovare l'elettrone; tali regioni sono chiamate **orbitali**, regioni nelle quali "probabilmente" si muovono gli elettroni

Schrodinger non cercava onde di probabilita'.
Questa interpretazione fu dovuta a Max Born.

Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

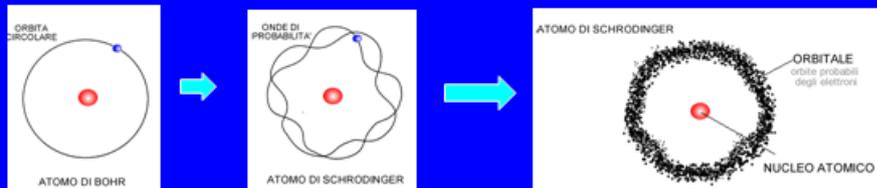
Una teoria c'è...anzi due!

La soluzione di Schrödinger: le onde di probabilità e gli orbitali atomici

Il paradigma dell'incertezza.

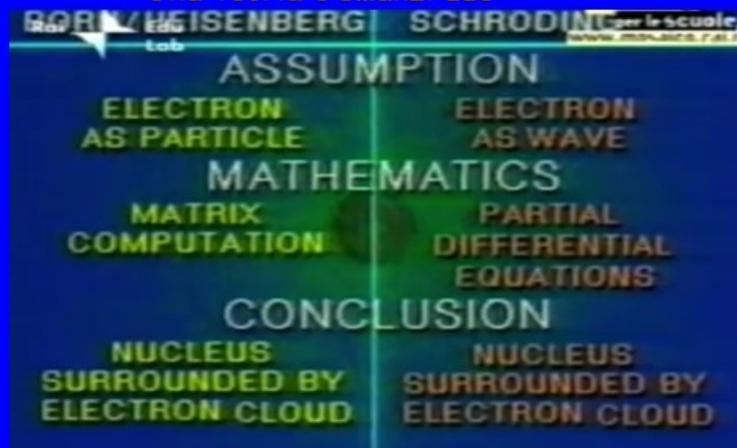
Il lavoro di Schrödinger pose fine alla concezione ottocentesca della certezza nella fisica.

Non era più possibile conoscere esattamente l'orbita delle particelle, era solo possibile immaginare in quali regioni dello spazio atomico potrebbero trovarsi



Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...anzi due!



Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Gli orbitali atomici :che forma dovrebbero avere?

L'orbitale è la regione dello spazio intorno al nucleo dove la probabilità di trovare un elettrone è massima.

Le forme e i volumi dei diversi tipi di orbitali sono molto differenti tra loro

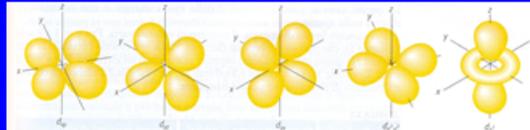
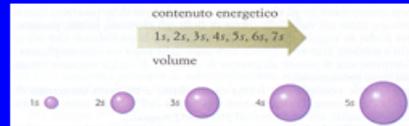
Ad essi furono assegnati i nomi inventati dagli spettroscopisti del XIX secolo per descrivere la serie di righe negli spettri dei metalli alcalini .

la **s** sta per sharp (riga netta),

la **p** per principal (principale),

la **d** per diffuse (diffusa)

la **f** per fundamental (fondamentale).



Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...anzi due!

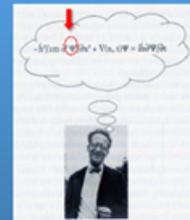
Max Born (1882-1970) vinse il Nobel nel 1954 per l'interpretazione probabilistica della funzione d'onda.

Restavano da spiegare quantisticamente la tavola periodica degli elementi e perchè i gas inerti Elio, Neon, Argon, Xenon, Cripto e Rado non partecipavano alle reazioni chimiche.

Mancava la spiegazione dello spin elettronico, come proprietà intrinseca dell'elettrone che sarebbe stata dimostrata successivamente da Goudsmit e Uhlenbeck

Sovapposizione quantistica :il gatto di Schrodinger ,Paul Dirac e l'antimateria, il modello standard e l'entenglment e il teletrasporto

Schrödinger e Heisenberg sono considerati i padri fondatori della meccanica quantistica...



... in particolare Schrödinger fu onorato dal suo paese, l'Austria, con l'apposizione della sua effigie sulla moneta da 1000 scellini.

Heisenberg e Schrödinger, Max Born: i Padri della Meccanica Quantistica

Una teoria c'è...anzi due!

Max Born (1882-1970) vinse il Nobel nel 1954 per l'interpretazione probabilistica della funzione d'onda.

Restavano da spiegare quantisticamente la tavola periodica degli elementi e perchè i gas inerti Elio, Neon, Argon, Xenon, Cripto e Rado non partecipavano alle reazioni chimiche.

Mancava la spiegazione dello spin elettronico, come proprietà intrinseca dell'elettrone che sarebbe stata dimostrata successivamente da Goudsmit e Uhlenbeck

Sovapposizione quantistica :

il gatto di Schrodinger ,,

Paul Dirac e l'antimateria

l'entenglment e il teletrasporto

il modello standard