

Onde di materia

Elettroni: particelle ?

Traiettorie: proprietà caratteristica di una particella
("la particella è passata di là").

La traiettoria di particelle cariche può essere facilmente rivelata dalle tracce che lascia in una camera riempita di un gas o un liquido.

Si costruiscono sistemi elettrostatici ("lenti elettrostatiche") capaci di guidare gli elettroni lungo percorsi determinati.

Esempio tipico di elettroni guidati: monitor e televisori CRT.



natura "corpuscolare"
piuttosto ben stabilita.

Esperimento?

Esperimento di Davisson e Germer

- 1927: Davisson (Nobel nel 1937) e Germer, e separatamente Thompson (Nobel nel 1937) identificarono pattern di interferenza da elettroni diffusi da bersagli di vari materiali.

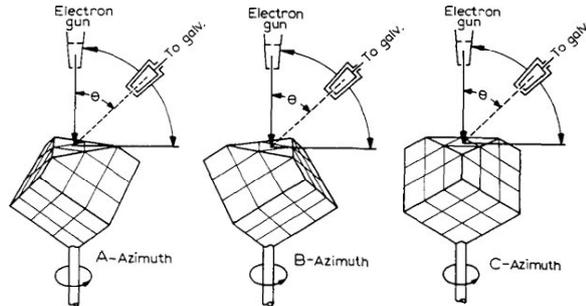


Figure dalla Nobel Lecture di Davisson, (c) Nobel Foundation, 1965

Fig. 1. Schematic diagram showing disposition of primary beam, nickel crystal, and collector. Crystal shown revolved to bring one principal azimuth after another into plane of observation.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1937/davisson-lecture.html

Esperimento di Davisson e Germer (2)

Diffrazione da reticolo!

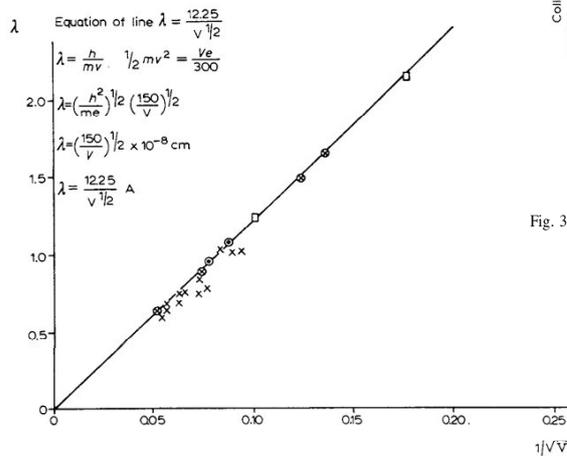


Fig. 4. Test of the de Broglie formula $\lambda = k/p = h/mv$. Wavelength computed from diffraction data plotted against $1/V^{1/2}$, (V , primary-beam voltage). For precise verification of the formula all points should fall on the line $\lambda = 12.25/V^{1/2}$ plotted in the diagram. (x From observations with diffraction apparatus; o same, particularly reliable; same, grazing beams. o From observations with reflection apparatus.)

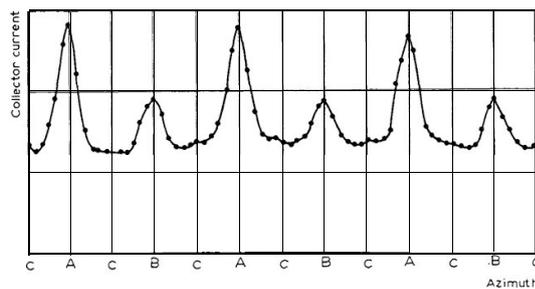


Fig. 3. Curve showing intensity of elastic scattering of 54-volt primary beam as function of azimuth for latitude of peak in 54-volt curve of Fig. 2.

Verifica della relazione di De Broglie

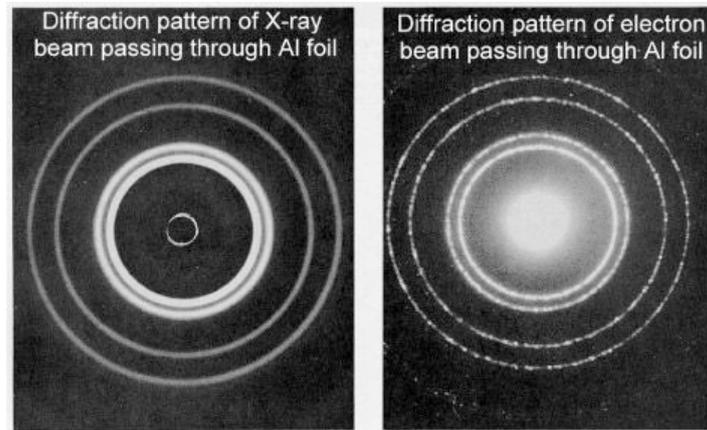
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Figure dalla Nobel Lecture di Davisson, (c) Nobel Foundation, 1965

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1937/davisson-lecture.html

Raggi X e elettroni

Raggi X e elettroni di opportuna energia hanno stessa lunghezza d'onda: i pattern di diffrazione devono quindi essere analoghi



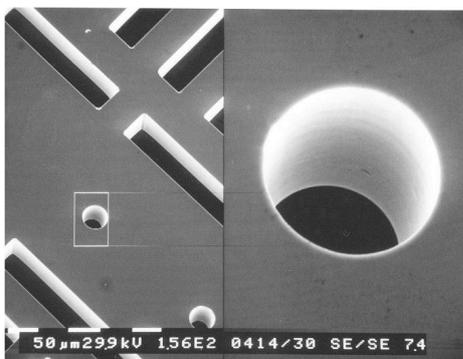
<http://www.rpi.edu/~schubert/Educational-resources/1927%20Electron%20and%20x-ray%20diffraction.jpg>

Elettroni per “vedere”

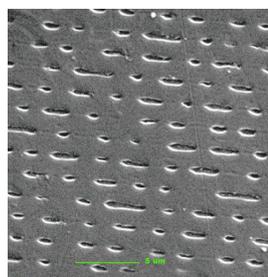
il microscopio elettronico

Stante il comportamento ondulatorio, è possibile usare fasci di elettroni per ottenere immagini di particolari estremamente piccoli: dipende solo dall'energia (-> momento) degli elettroni.

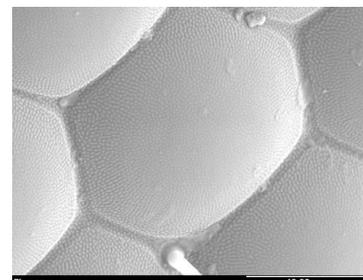
Con $V \approx 10 \text{ kV}$, $E=eV$, $\lambda \approx 0.12 \text{ \AA}$



Particolare di una testina di stampa (inkjet)



Superficie di un CD



Particolare dell'occhio di una mosca

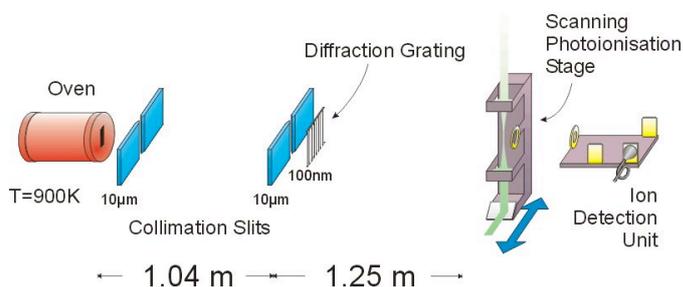
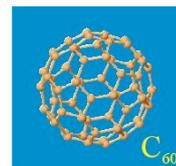
Altre immagini su <http://www.optics.arizona.edu/Nozziger/OPTI%20200/Lecture%2028/L28P4.htm>

La materia presenta aspetti corpuscolari e ondulatori,
esattamente come la luce.

Particelle più grandi?

Molti esperimenti, anche recenti.

Gruppo di Zeilinger: Interferenza di C_{60} : insiemi di 60 atomi di C.



Pressure $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ mbar

Velocità delle molecole di C_{60} (velocità più probabile): 210 m/s

Lunghezza d'onda di de Broglie: 2.5 pm

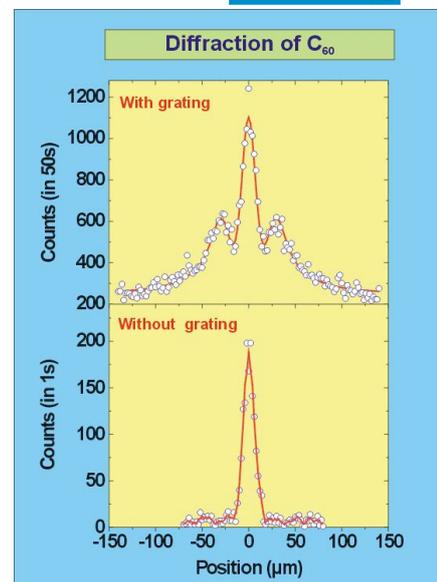
Dimensione delle molecole di C_{60} : ≈ 1 nm

Larghezza delle fenditure: 50 nm

Figure da:

<http://www.quantum.univie.ac.at/research/matterwave/c60/index.html>

Nature 401, 680-682, 14.October 1999



Alcune lunghezze d'onda

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

Costanti e relazioni utili:

massa dell'elettrone $m_e \approx 0.911 \cdot 10^{-30}$ Kg energia $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ J
carica dell'elettrone $e \approx 1.60 \cdot 10^{-19}$ C cost. di Planck $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js

Consideriamo corpi la cui velocità $v \ll c$, per cui $p = mv$.

- Un elettrone con energia cinetica $K = 120 \text{ eV}$.

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{p^2}{2m_e} \rightarrow p = \sqrt{2m_e K} \rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e K}} \simeq 1.12 \text{ \AA}$$

- Un'aspirina ($m = 0.5 \text{ g}$) in automobile sull'autostrada (velocità codice)

$$\lambda \approx 3.7 \cdot 10^{-32} \text{ m}$$

- Un granello di sabbia ($m = 1 \text{ ng}$) che affonda lentamente in un liquido denso (0.5 cm/s)

$$\lambda \approx 1.3 \cdot 10^{-19} \text{ m}$$

Riassunto

Gli esperimenti indicano che una teoria quantistica dovrà contenere:

- Natura ondulatoria e corpuscolare.