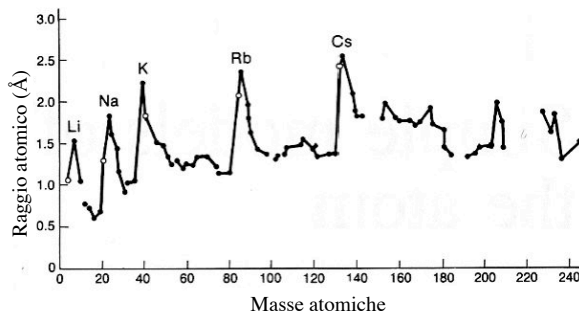


Atomo

Atomi: diversi e uguali



Raggi atomici:
sostanzialmente simili
per tutti gli atomi.

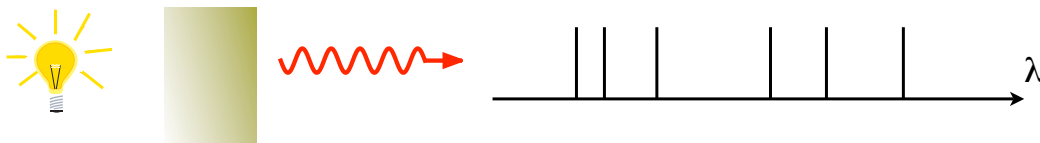
- perché?
 - perché proprio quella dimensione?
 - perché alcuni sono più o meno reattivi?
 - perché vi sono sostanze più o meno dense, conduttive, trasparenti, elastiche, etc etc etc?
 - perché gli atomi (se isolati) restano stabili indefinitamente e non collassano sotto l'azione delle forze elettriche (generando fra l'altro emissione di energia)?
- perché se vengono eccitati con luce, collisioni con altre particelle o in altri modi, emettono radiazione a frequenze discrete?

Spettri atomici

Uno *spettro di emissione* è l'insieme delle frequenze (e intensità) che vengono emesse da una sostanza sottoposta a una *eccitazione* esterna, p. es. scaldandola, illuminandola, bombardandola con particelle.

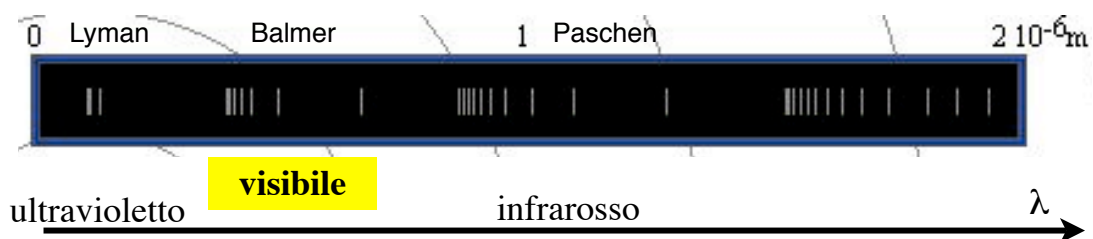


Uno *spettro di assorbimento* è l'insieme delle frequenze (e intensità) che vengono assorbite da una sostanza illuminata.

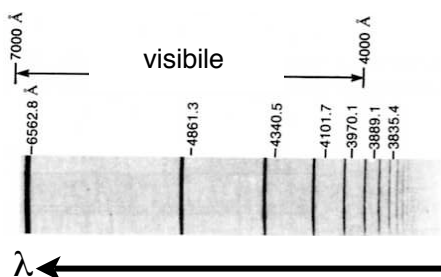


Atomi, molecole presentano spettri di emissione e assorbimento *discreti*: assorbono o emettono solo determinate, ben precise frequenze.

Spettro dell'idrogeno



L'idrogeno presenta varie *serie* di linee di emissione, anche nel visibile. La luce delle serie si misura avere lunghezza d'onda data da una formula numerica semplice. Per esempio, la serie nel visibile (serie di Balmer, 1885):



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n > 2$$

con $R_H \approx 109700 \text{ cm}^{-1}$

Modello atomico di Thomson

1897: Thomson scopre gli elettroni.

Modello atomico: elettroni immersi in una sfera di carica positiva distribuita (modello "plum pudding").

Un elettrone (carica e) in una sfera uniformemente carica è sottoposto a una forza diretta verso il centro:

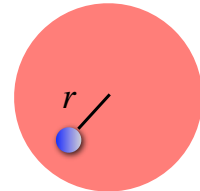
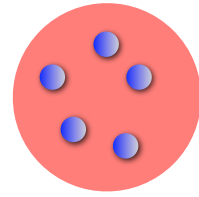
$$\text{Equazione del moto: } F = eE = e \frac{\rho_v}{3\epsilon_0} r \longrightarrow m \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{e\rho_v}{3\epsilon_0} r$$

-> forza elastica

$$\longrightarrow r(t) = r_0 e^{i\omega t}, \quad \omega^2 = \frac{e\rho_v}{3m\epsilon_0}$$

Usando i valori noti di e , m e $R_{atomo} \sim 1 \text{ \AA}$ (da stime di densità dei solidi) -> $\nu = \omega/2\pi$.
Radiazione viene allora emessa a stessa frequenza, con $\lambda = c/\nu \sim 1200 \text{ \AA}$.
Giusto ordine di grandezza, ma:

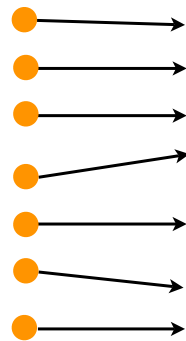
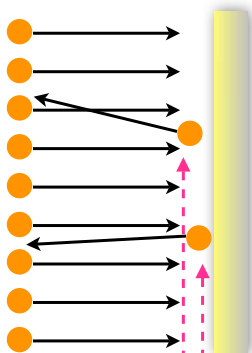
più righe?
righe discrete?
non collassa sul nucleo, ma oscillando dovrebbe irraggiare!



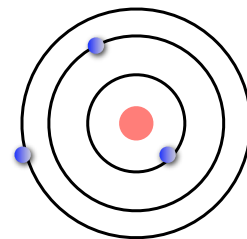
Esperimento di Rutherford

Bombardamento di un foglio d'oro sottile con particelle α (carica +, massa ~ 4 masse protoniche).

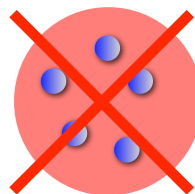
Misura delle particelle α diffuse.



Modelli di tipo planetario



inspiegabili con il modello di Thomson



Problema principale: irraggiamento?

Modello atomico di Bohr

1913: Bohr costruisce un modello planetario con alcune pesanti ipotesi ad hoc:

- Esistono orbite “permesse” per gli elettroni, dove essi non irradiano. Altre orbite non sono permesse.
- Le orbite permesse vengono determinate dalla proprietà che il momento della quantità di moto ($\mathbf{p} \times \mathbf{r}$) sia *quantizzato*:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

nota: costante di Planck razionalizzata $\hbar = h/2\pi \simeq 1.05459 \cdot 10^{-34} \text{Js}$

- Quando un elettrone assorbe energia dalla radiazione elettromagnetica, “salta” a uno stato permesso (n maggiore) con energia maggiore. L'energia assorbita è data dalla relazione di Einstein:

$$h\nu_{\text{assorbito}} = E_{\text{finale}} - E_{\text{iniziale}}$$

- Il processo di emissione è il reciproco del precedente: da un'orbita a energia maggiore (n maggiore) l'elettrone può “saltare” a uno stato permesso a energia inferiore, emettendo un fotone:

$$h\nu_{\text{emesso}} = E_{\text{iniziale}} - E_{\text{finale}}$$

(1). Among the conceivably possible states of motion in an atomic system there exist a number of so-called *stationary states* which, in spite of the fact that the motion of the particles in these states obeys the laws of classical mechanics to a considerable extent, possess a peculiar, mechanically unexplainable stability, of such a sort that every permanent change in the motion of the system must consist in a complete transition from one stationary state to another.

(2). While in contradiction to the classical electromagnetic theory no radiation takes place from the atom in the stationary states themselves, a process of transition between two stationary states can be accompanied by the emission of electromagnetic radiation, which will have the same properties as that which would be sent out according to the classical theory from an electrified particle executing an harmonic vibration with constant frequency. This frequency ν has, however, no simple relation to the motion of the particles of the atom, but is given by the relation

$$h\nu = E' - E'',$$

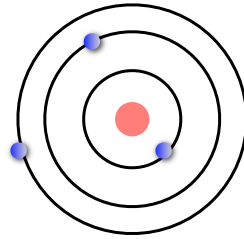
where h is Planck's constant, and E' and E'' are the values of the energy of the atom in the two stationary states that form the initial and final state of the radiation process. Conversely, irradiation of the atom with electromagnetic waves of this frequency can lead to an absorption process, whereby the atom is transformed back from the latter stationary state to the former.

While the first postulate has in view the general stability of the atom, the second postulate has chiefly in view the existence of spectra with sharp lines.

N. Bohr,
Nobel
lecture

Il modello di Bohr contiene numerosi concetti nuovi:

- lo “stato quantistico”, stato stazionario.
- il “numero quantico”



Ed è in aperto conflitto con la fisica classica.

Il fisico sperimentale Stern commentò:

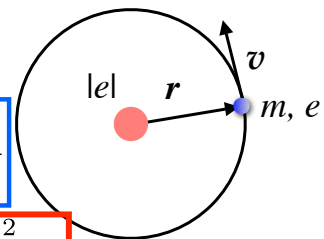
“If that nonsense which Bohr has published is correct, I will give up to be a physicist”

Previsioni del modello di Bohr

Energia e raggi degli stati permessi

forza centripeta = forza di Coulomb

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} = eE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$



moltiplicando \square per mr^3 : $(n\hbar)^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} me^2 r \rightarrow r = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} n^2$

avendo usato il postulato: $mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar \quad n = 1 : r = a_0 = 0.529 \text{ \AA}$

$$E = K + V = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2}mv^2 = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

attenzione: V è l'energia potenziale, non il potenziale

inserendo l'espressione per r :

$$E = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0} \frac{1}{n^2}$$

Gli stati permessi hanno energie discrete

Il modello di Bohr giustifica le serie dell'idrogeno.

Per esempio, in emissione:

$$h\nu = E_{iniziale} - E_{finale} = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0} \left(\frac{1}{n_{iniziale}^2} - \frac{1}{n_{finale}^2} \right)$$

La serie di Balmer, ad esempio, è la serie con $n_{finale}=2$

e predice il valore della costante numerica: $\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0} \simeq 2.17 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

in accordo eccellente con l'esperimento, essendo

$$\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a_0} \frac{1}{hc} = 109500 \text{ cm}^{-1} = R_H$$

Su: <http://www.lon-capa.org/~mmp/kap29/Bohr/app.htm> una applet con il modello dell'atomo di Bohr.

Le serie di Lyman ($n = 1$), Brackett ($n = 4$), Pfund ($n = 5$) furono scoperte solo dopo la presentazione del modello atomico di Bohr, e risultarono in pieno accordo con esso.

Le serie di altri atomi, e la costanza dei raggi atomici, erano invece in forte *disaccordo* con un modello "alla Bohr".

Riassunto

Gli esperimenti indicano che una teoria quantistica dovrà contenere:

- Natura ondulatoria e corpuscolare.
- Probabilità.
- Stati stazionari, energie discrete per stati legati.