

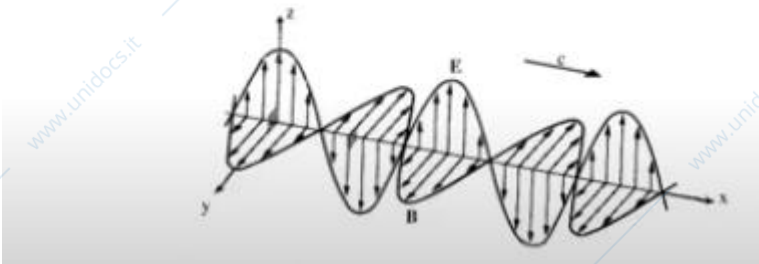
Continuazione onde:

07. il fotone:

4. Campo elettrico e campo magnetico sono in fase

$$E = E_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$B = \frac{E_0}{c} \cos(kx - \omega t)$$



Le onde elettromagnetiche sono campi vettoriali che si propagano nello spazio.

Si pensa che questo vettore possa assumere qualunque lunghezza, o valore del modulo. Il modulo di un'onda è un numero reale, quindi abbiamo campi elettrici di qualunque entità che si propagano nello spazio.

Per poter spiegare l'effetto fotoelettrico occorre ammettere che la luce si propaghi sotto forma di quanti di energia:

$$E = h\nu = h\omega$$

La costante  $h$  è detta costante di Planck e compare anche nell'espressione dello spettro della radiazione di corpo nero.

Costante di Planck

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$E = h\nu = h \frac{2\pi}{T} = hc \frac{2\pi}{\lambda} = hc \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$hc = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}}{2\pi} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{eV}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1.97 \cdot 10^{-7} \text{ eV} \cdot \text{m}$$

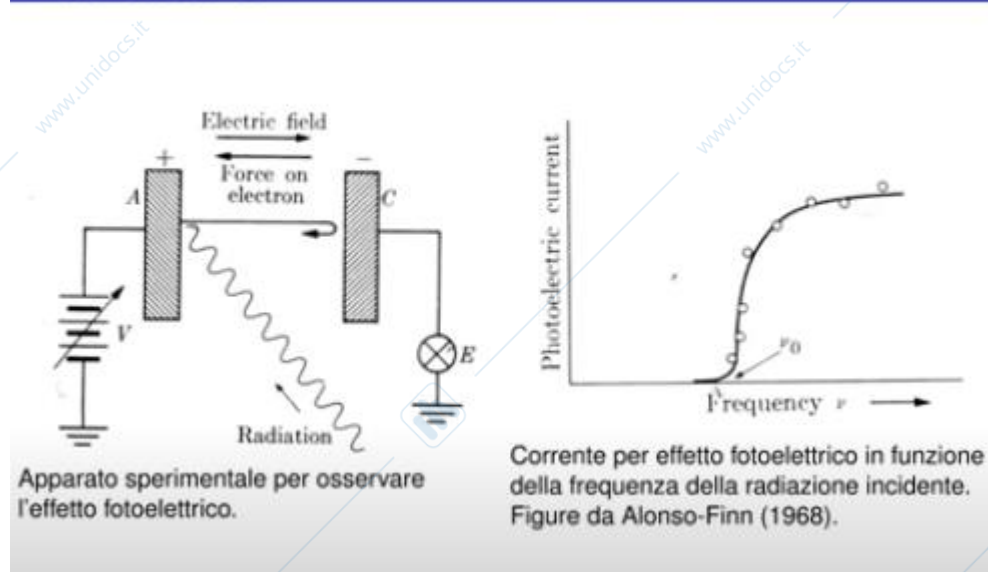
$$hc = 1.97 \cdot 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{cm} = 197 \text{ eV} \cdot \text{nm}$$

Quando noi sappiamo la frequenza di un'onda indicata come  $\nu$ , allora l'energia può essere solo multiplo di  $h\nu$ .

Cioè può trasportare tanti fotoni ma non per esempio mezzo fotone.

Le onde hanno contemporaneamente le caratteristiche di un'onda, quella di una vibrazione che si propaga nello spazio e allo stesso tempo anche quella di una particella che trasporta una quantità di energia definita.

### Effetto fotoelettrico



Si considera un condensatore che normalmente in condizioni statiche non è soggetto a passaggio di corrente; una differenza di potenziale ai capi e una volta esaurito il transitorio non può passare corrente tra di essi.

Se una di queste armature viene colpita da una radiazione elettromagnetica, allora questa può essere sufficiente a strappare un elettrone da una di queste piastre; il campo elettrico va dalla piastra + a quella -, quindi la forza che è esercitata sull'elettrone tende a riportarlo sulla piastra positiva.

Se abbiamo un elettrone che ha energia sufficiente questa gli permette di raggiungere l'armatura opposta e questo viene osservato come un passaggio di corrente.

Se l'elettrone non ha abbastanza energia torna indietro e questa radiazione luminosa non ha nessun effetto.

Quindi andando a vedere se passa o no corrente, noi possiamo vedere qual è l'energia portata da questo tipo di radiazione; se l'energia portata da ogni pacchetto di luce è sufficiente o meno a far arrivare l'elettrone dall'altra parte e quindi a generare il passaggio di una corrente.

Si osserva che è necessaria una radiazione di frequenza adeguata per poter far fare il salto all'elettrone. Se la frequenza non è sufficiente allora potremmo avere molti fotoni di bassa frequenza, ma questi non riescono a dare l'energia al fotone e a farlo transitare sull'armatura opposta.

L'interazione tra radiazione elettromagnetica e elettroni è basata su pacchetti di luce.

La formula è:

$$E = h\nu$$

Dobbiamo considerare al posto della frequenza la lunghezza d'onda

$$E = h\nu = hc \frac{\nu}{c} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{2\pi \frac{h}{2\pi} c}{\lambda} = \frac{2\pi \hbar c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$E = \frac{2\pi \hbar c}{\lambda} \quad \hbar c = 197 \text{ eV} \cdot \text{nm} \approx 200 \text{ eV} \cdot \text{nm}$$

La lunghezza d'onda alla luce rossa è  $0.08 \text{ micron} = 800 \text{ nm}$ .

Quindi la sua energia vale:

$$E_R = \frac{2\pi \cdot 197 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{800} \approx 1.55 \text{ eV}$$

## Il fotone

L'onda elettromagnetica trasporta cioè energia, quantità di moto e momento angolare in modo quantizzato

### Energia del fotone

$$E_\gamma = h\nu$$

### Quantità di moto del fotone

$$E_\gamma = \frac{h\nu}{c}$$

### Momento angolare del fotone

$$J = h = \frac{h}{2\pi}$$

Anche nei fenomeni di emissione ed assorbimento da parte della materia, la luce appare come composta da quanti di energia elettromagnetica (fotoni).

08. assorbimento ed emissione.

Abbiamo un oggetto privo di massa che trasporta quantità di moto e momento angolare.

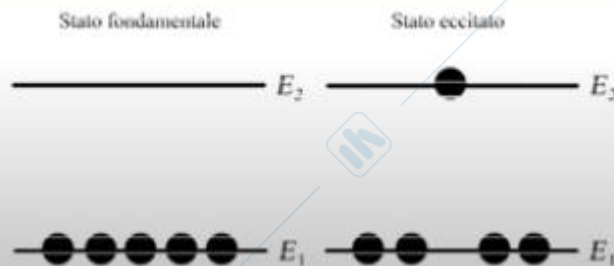
## Livelli energetici degli atomi

Un elettrone in un atomo o in una molecola può solo assumere particolari tipi di moto, denominati stati, a cui corrispondono particolari valori della sua energia (cinetica e potenziale).

Per le leggi della meccanica quantistica gli atomi e le molecole possono quindi esistere solo in certi definiti stati (detti stati quantici), e in definiti livelli di energia discreti.

### Quantizzazione dell'energia

L'energia di un atomo non può avere che un certo numero di valori discreti crescenti:  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n, \dots$ , detti livelli energetici

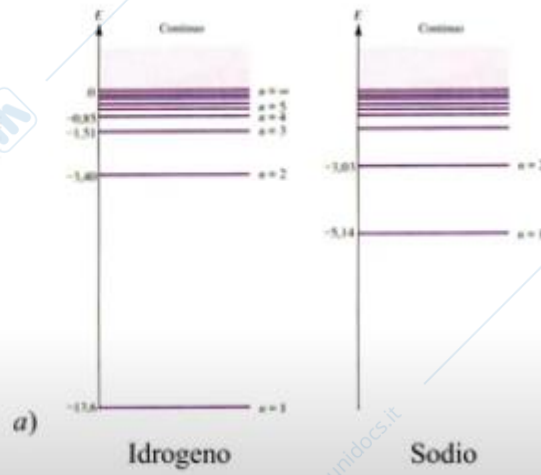


## Esempi

L'atomo di idrogeno è composto da un elettrone in moto attorno ad un protone. I suoi livelli di energia sono dati dalla relazione:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

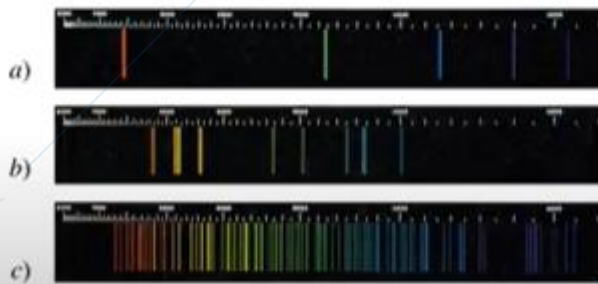
dove  $n \geq 1$  è un numero intero



## Spettri di emissione

Alcuni spettri di emissione a righe (spettri atomici):

- spettro di emissione a righe dell'idrogeno atomico contenuto in un tubo di vetro entro cui si fa passare una scarica elettrica;
- spettro di emissione a righe degli atomi di sodio contenuti in una fiamma;
- spettro di emissione a righe degli atomi di ferro contenuti in un arco voltaico fra elettrodi di ferro.



## Emissione della luce

22

Ogni qualvolta un atomo compie una transizione da uno stato eccitato di energia  $E_m$  ad uno stato di energia  $E_n < E_m$  emette la differenza di energia  $E_m - E_n$  sotto forma di un fotone di energia:

$$E = h\nu_{mn} = E_m - E_n$$

### Emissione della luce

Emissione di fotoni dovuta al riassetto degli elettroni esterni degli atomi di cui è costituito il materiale della sorgente (diseccitazione degli atomi).

### Assorbimento/rivelazione della luce

Assorbimento di fotoni da parte degli atomi di cui è costituito il materiale del rivelatore (retina dell'occhio, cella fotoelettrica, fotomoltiplicatore, pellicola fotografica, CCD).

Quando osserviamo una radiazione, specialmente in condizioni ideali di condizione, vediamo che gli atomi emettono luce a determinate lunghezze d'onda.

## Spettri continui

### Osservazioni

- L'intensità delle varie righe di uno spettro atomico dipende dal modo con cui gli atomi vengono eccitati.
- Aumentando la densità del mezzo che emette la luce l'allargamento delle righe dovuto all'interazione con gli atomi vicini aumenta sempre più, finché in un liquido o in un solido le righe contigue si sovrappongono dando così luogo ad uno spettro continuo.



In un gas vediamo lo spettro a righe, ma se si considerano i liquidi o i solidi queste righe si sovrappongono dando luogo ad uno spettro continuo.

## Spettri di assorbimento

### Spettri di assorbimento

- Se interponiamo, tra una sorgente che dà uno spettro continuo e lo spettroscopio, una sostanza allo stato gassoso, si osserva che la striscia multicolore dello spettro continuo è solcata da righe nere, che dimostrano che il vapore interposto ha *assorbito* luce di determinate frequenze. Queste righe prendono il nome di *righe di assorbimento*. La figura rappresenta lo spettro di assorbimento del sodio: le due righe nere sono nella stessa posizione delle due righe gialle dello spettro di emissione di figura b).

