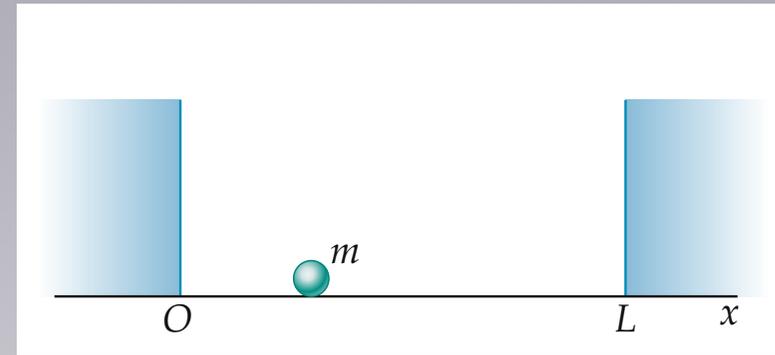
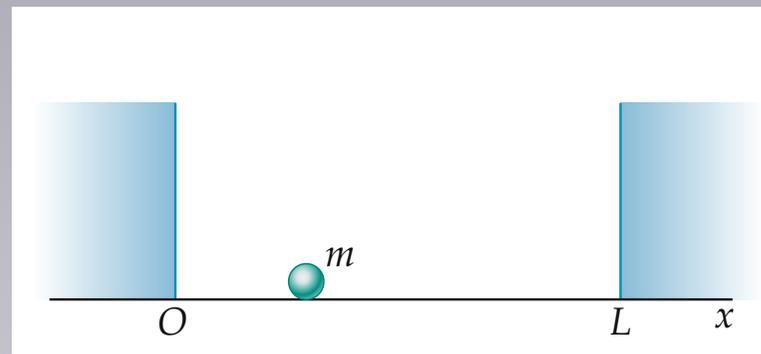


eq. di Schroedinger per una buca di potenziale infinita

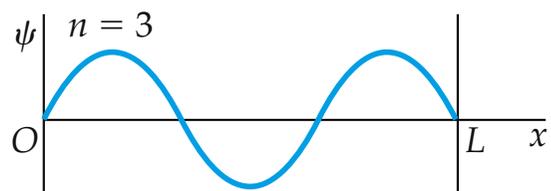


La probabilità che la particella sia oltre le pareti è nulla.
Se imponiamo che la funzione d'onda vari con continuità, si dovrà annullare in O e in L , che saranno quindi dei nodi.

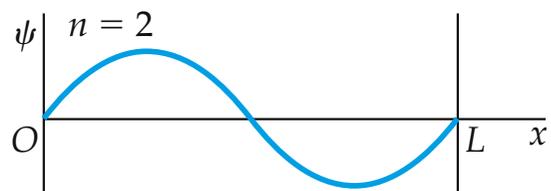
eq. di Schroedinger per una buca di potenziale infinita



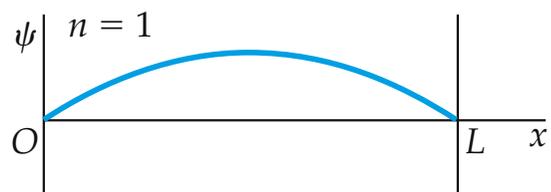
$$L = \frac{3}{2} \lambda$$



$$L = \lambda$$



$$L = \frac{\lambda}{2}$$

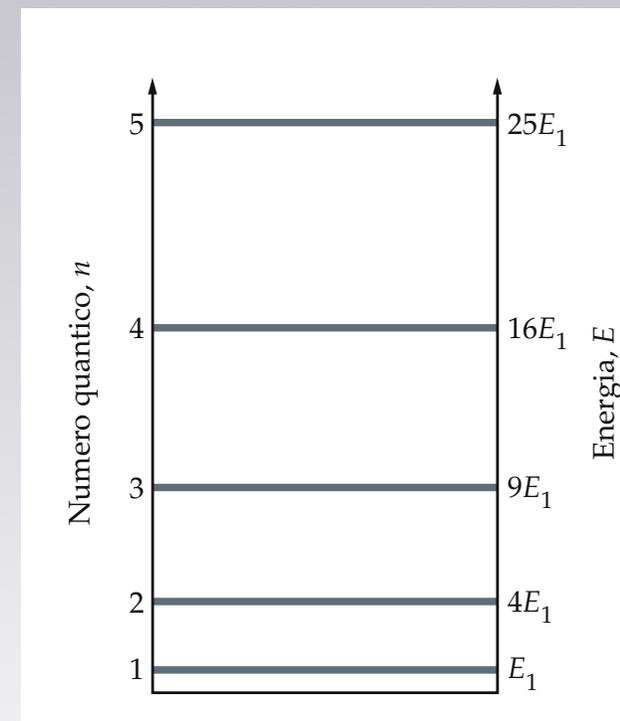


$$L = \frac{n}{2} \lambda$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\pi}{L}$$

$$E = \hbar\omega = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

$$E_n = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m} = \frac{\hbar^2 n^2 \pi^2}{2mL^2} = \frac{hn^2}{8mL^2}$$



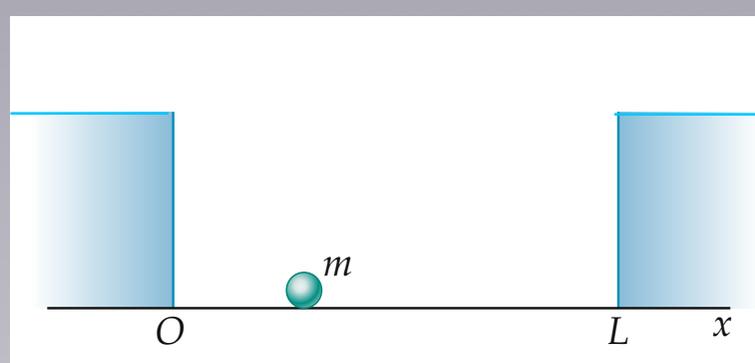
principio di sovrapposizione

Poiché l'eq. di Schroedinger è lineare, per essa vale il principio di sovrapposizione: la somma di due soluzioni è ancora una soluzione.

Nei sistemi nei quali l'energia (o l'impulso) possono assumere solo valori finiti (come nella buca di potenziale) questo significa che sono possibili stati che siano miscele di stati "puri" (o "autostati", quegli stati che hanno p.es. una energia definita)

La soluzione dell'eq. di Schroedinger somma di due stati di energia definita rappresenta un sistema nel quale la misura di energia può dare (con probabilità ben determinate) uno qualunque dei due valori.

buca finita e effetto “tunnel”



Nel caso la buca di potenziale sia finita, le funzioni d'onda si estendono oltre il segmento 0-L con probabilità minore, per tenere conto della minore energia cinetica a disposizione

Che succede nel caso che l'energia totale del punto sia minore dell'altezza U della buca di potenziale?

Ci sarà una probabilità piccola ma finita di trovare la particella al di fuori della buca!

La stessa cosa succede per una barriera finita di potenziale: se una particella incontra una barriera, parte di essa verrà riflessa, parte procederà in avanti:

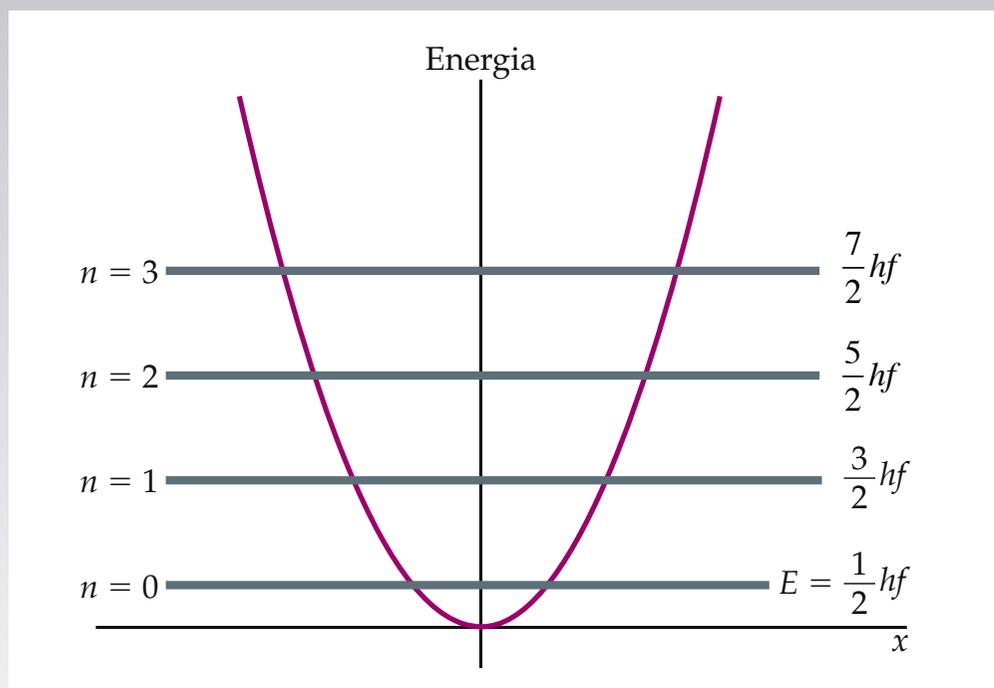
“effetto tunnel”

Una nuova luce sui decadimenti

La possibilità di superare una barriera di potenziale con una probabilità determinata, che può essere piccola ma finita, giustifica la natura dei processi di decadimento delle particelle instabili, altrimenti inspiegabili in fisica classica

Oscillatore armonico quantistico

l'equazione per l'oscillatore armonico si ottiene inserendo nell'eq. di Schroedinger un potenziale parabolico: $V(x) = \frac{1}{2}kx^2$



Livelli di energia di un oscillatore armonico

$$E_n = (n + \frac{1}{2})hf$$

$$2\pi f = \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$E_n - E_{n-1} = hf$$

orbite degli elettroni nell'idrogeno

equazione di Schroedinger in tre dimensioni:

tre quantizzazioni.

$$V \text{ dipende da } r: \left[\frac{-\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) + V(x, y, z) \right] \Psi(\vec{r}, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t)$$

$x, y, z \rightarrow r, \vartheta, \varphi$ (separabili, soluzione fattorizzabile)

Numero quantico principale (radiale), n

Numero quantico orbitale (momento angolare), l

Numero quantico magnetico (proiezione del momento angolare su una direzione privilegiata, p. es. quella di un campo magnetico esterno), m

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

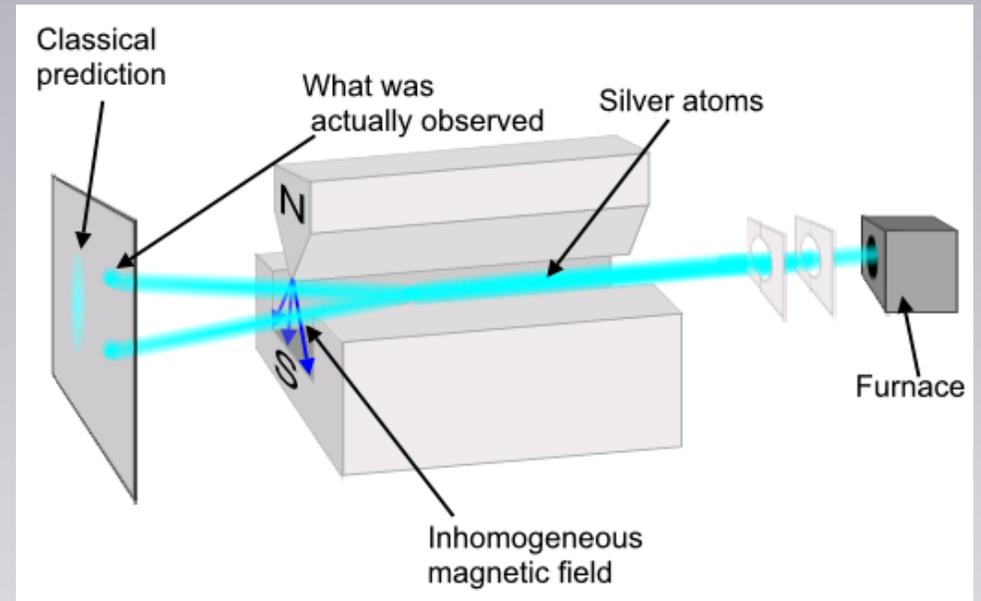
$$m = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l \quad (\text{in numero dispari, } 2l+1)$$

Ciascuno dei tre numeri definisce un autostato

momento angolare intrinseco o spin

Ricerca della struttura fine, ossia degli m (dispari) stati corrispondenti alla proiezione del momento orbitale l

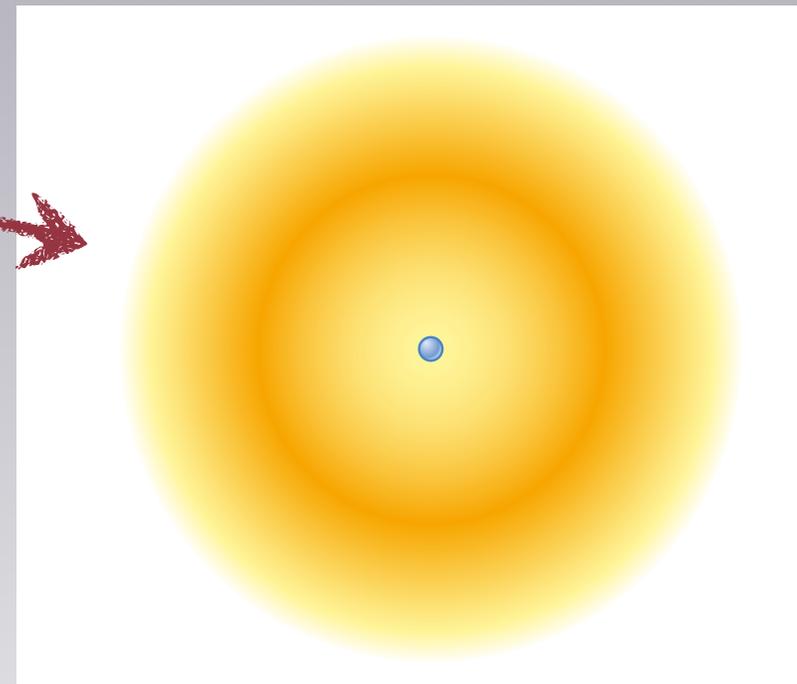
Esp. di Stern e Gerlach (1922) osserva due stati!



- spin dell'elettrone (Uhlenbeck e Goudsmit, 1925)
- atomi con più elettroni: qual è lo stato fondamentale?
- principio di esclusione di Pauli (1925) per i fermioni
- già l'elio è un problema a molti corpi...
- il riempimento dei livelli atomici

Gli stati dell'idrogeno

| | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|----------------------|
| $n = 1, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 1$ | | | Sei stati |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |



In questi stati l'elettrone non "orbita"

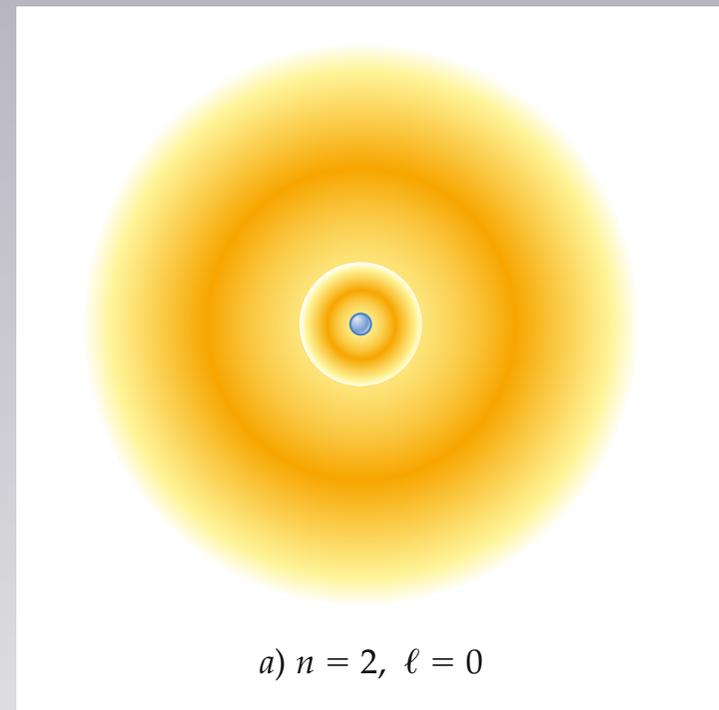
Gli stati dell'idrogeno

| | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|----------------------|
| $n = 1, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 1$ | | | Sei stati |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |

tuttavia c'è un momento angolare intrinseco dovuto allo spin, con due possibili valori, messi in evidenza da un eventuale campo magnetico esterno

Gli stati dell'idrogeno

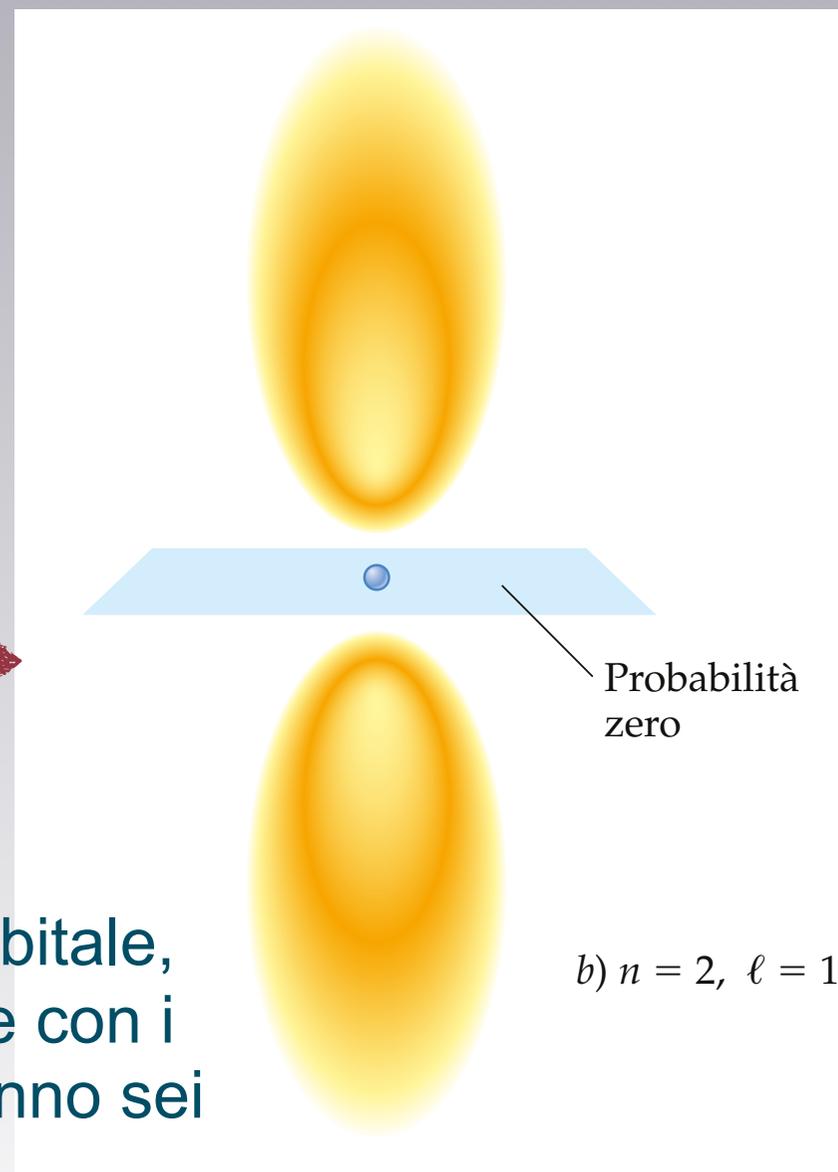
| | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|----------------------|
| $n = 1, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 1$ | | | Sei stati |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |



di nuovo, il momento orbitale è nullo
e non è presente un momento orbitale
intrinseco

Gli stati dell'idrogeno

| | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|----------------------|
| $n = 1, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 1$ | | | Sei stati |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |



qui finalmente è presente un momento orbitale, con tre possibili proiezioni, che combinate con i due possibili stati di spin dell'elettrone danno sei stati

Gli stati dell'idrogeno

| | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|----------------------|
| $n = 1, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 1$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 0$ | | | Due stati |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 0$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2, \ell = 1$ | | | Sei stati |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = 0$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = \frac{1}{2}$ |
| $n = 2$ | $\ell = 1$ | $m_\ell = -1$ | $m_s = -\frac{1}{2}$ |

- dato n , stati degeneri (stessa energia)
- un campo magnetico rimuove la degenerazione (effetto Zeeman)
- “struttura fine”, anche per effetto del campo magnetico generato dall'elettrone che ruota intorno al protone

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

la tavola degli elementi rivisitata

Configurazione elettronica degli elementi dall'idrogeno al potassio

| Numero atomico | Elemento | Configurazione elettronica |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| 1 | Idrogeno (H) | $1s^1$ |
| 2 | Elio (He) | $1s^2$ |
| 3 | Litio (Li) | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | Berillio (Be) | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | Boro (B) | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | Carbonio (C) | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | Azoto (N) | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | Ossigeno (O) | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | Fluoro (F) | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | Neon (Ne) | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | Sodio (Na) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |
| 12 | Magnesio (Mg) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ |
| 13 | Alluminio (Al) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ |
| 14 | Silicio (Si) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ |
| 15 | Fosforo (P) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ |
| 16 | Zolfo (S) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ |
| 17 | Cloro (Cl) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ |
| 18 | Argon (Ar) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| 19 | Potassio (K) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ |

| Z | simbolo elettronico | rappresentazioni della configurazione elettronica | |
|----|---------------------|---|-----------------------|
| 3 | ● Li | (He) 2s ↑ | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | ●● Be | (He) 2s ↑↓ | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | ●● B ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | ●● C ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | ●● N ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | ●● O ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | ●● F ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | ●● Ne ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑↓ | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | ● Na | (Ne) 3s ↑ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |

la tavola degli elementi rivisitata

Configurazione elettronica degli elementi dall'idrogeno al potassio

| Numero atomico | Elemento | Configurazione elettronica |
|----------------|----------------|---|
| 1 | Idrogeno (H) | 1s ¹ |
| 2 | Elio (He) | 1s ² |
| 3 | Litio (Li) | 1s ² 2s ¹ |
| 4 | Berillio (Be) | 1s ² 2s ² |
| 5 | Boro (B) | 1s ² 2s ² 2p ¹ |
| 6 | Carbonio (C) | 1s ² 2s ² 2p ² |
| 7 | Azoto (N) | 1s ² 2s ² 2p ³ |
| 8 | Ossigeno (O) | 1s ² 2s ² 2p ⁴ |
| 9 | Fluoro (F) | 1s ² 2s ² 2p ⁵ |
| 10 | Neon (Ne) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ |
| 11 | Sodio (Na) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹ |
| 12 | Magnesio (Mg) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² |
| 13 | Alluminio (Al) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹ |
| 14 | Silicio (Si) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ² |
| 15 | Fosforo (P) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³ |
| 16 | Zolfo (S) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴ |
| 17 | Cloro (Cl) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵ |
| 18 | Argon (Ar) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ |
| 19 | Potassio (K) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹ |

| Z | simbolo elettronico | rappresentazioni della configurazione elettronica | |
|----|---------------------|---|---|
| 3 | ●Li | (He) 2s ↑ | 1s ² 2s ¹ |
| 4 | ●●Be | (He) 2s ↑↓ | 1s ² 2s ² |
| 5 | ●●B● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ | 1s ² 2s ² 2p ¹ |
| 6 | ●●C● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ² |
| 7 | ●●N● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ³ |
| 8 | ●●O● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁴ |
| 9 | ●●F● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁵ |
| 10 | ●●Ne● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑↓ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ |
| 11 | ●Na | (Ne) 3s ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹ |

gas nobili

la tavola degli elementi rivisitata

Configurazione elettronica degli elementi dall'idrogeno al potassio

| Numero atomico | Elemento | Configurazione elettronica |
|----------------|----------------|---|
| 1 | Idrogeno (H) | 1s ¹ |
| 2 | Elio (He) | 1s ² |
| 3 | Litio (Li) | 1s ² 2s ¹ |
| 4 | Berillio (Be) | 1s ² 2s ² |
| 5 | Boro (B) | 1s ² 2s ² 2p ¹ |
| 6 | Carbonio (C) | 1s ² 2s ² 2p ² |
| 7 | Azoto (N) | 1s ² 2s ² 2p ³ |
| 8 | Ossigeno (O) | 1s ² 2s ² 2p ⁴ |
| 9 | Fluoro (F) | 1s ² 2s ² 2p ⁵ |
| 10 | Neon (Ne) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ |
| 11 | Sodio (Na) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹ |
| 12 | Magnesio (Mg) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² |
| 13 | Alluminio (Al) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹ |
| 14 | Silicio (Si) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ² |
| 15 | Fosforo (P) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³ |
| 16 | Zolfo (S) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴ |
| 17 | Cloro (Cl) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵ |
| 18 | Argon (Ar) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ |
| 19 | Potassio (K) | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹ |

| Z | simbolo elettronico | rappresentazioni della configurazione elettronica | |
|----|---------------------|---|---|
| 3 | ●Li | (He) 2s ↑ | 1s ² 2s ¹ |
| 4 | ●●Be | (He) 2s ↑↓ | 1s ² 2s ² |
| 5 | ●●B● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ | 1s ² 2s ² 2p ¹ |
| 6 | ●●C● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ² |
| 7 | ●●N● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ³ |
| 8 | ●●O● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁴ |
| 9 | ●●F● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁵ |
| 10 | ●●Ne● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑↓ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ |
| 11 | ●Na | (Ne) 3s ↑ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹ |

alcalini

la tavola degli elementi rivisitata

Configurazione elettronica degli elementi dall'idrogeno al potassio

| Numero atomico | Elemento | Configurazione elettronica |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| 1 | Idrogeno (H) | $1s^1$ |
| 2 | Elio (He) | $1s^2$ |
| 3 | Litio (Li) | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | Berillio (Be) | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | Boro (B) | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | Carbonio (C) | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | Azoto (N) | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | Ossigeno (O) | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | Fluoro (F) | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | Neon (Ne) | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | Sodio (Na) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |
| 12 | Magnesio (Mg) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ |
| 13 | Alluminio (Al) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ |
| 14 | Silicio (Si) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ |
| 15 | Fosforo (P) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ |
| 16 | Zolfo (S) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ |
| 17 | Cloro (Cl) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ |
| 18 | Argon (Ar) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| 19 | Potassio (K) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ |

| Z | simbolo elettronico | rappresentazioni della configurazione elettronica | |
|----|---------------------|---|-----------------------|
| 3 | ● Li | (He) 2s ↑ | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | ●● Be | (He) 2s ↑↓ | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | ●● B ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | ●● C ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | ●● N ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | ●● O ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | ●● F ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | ●● Ne ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑↓ | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | ● Na | (Ne) 3s ↑ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |

alogeni

la tavola degli elementi rivisitata

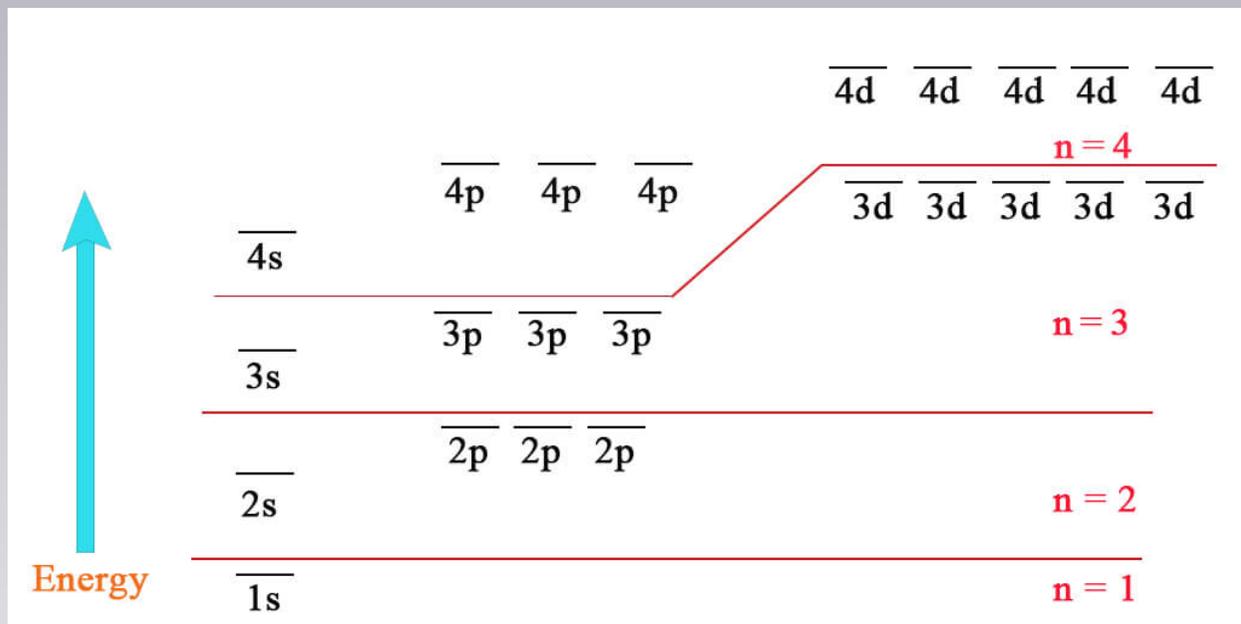
Configurazione elettronica degli elementi dall'idrogeno al potassio

| Numero atomico | Elemento | Configurazione elettronica |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| 1 | Idrogeno (H) | $1s^1$ |
| 2 | Elio (He) | $1s^2$ |
| 3 | Litio (Li) | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | Berillio (Be) | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | Boro (B) | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | Carbonio (C) | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | Azoto (N) | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | Ossigeno (O) | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | Fluoro (F) | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | Neon (Ne) | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | Sodio (Na) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |
| 12 | Magnesio (Mg) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ |
| 13 | Alluminio (Al) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ |
| 14 | Silicio (Si) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ |
| 15 | Fosforo (P) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ |
| 16 | Zolfo (S) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ |
| 17 | Cloro (Cl) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ |
| 18 | Argon (Ar) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| 19 | Potassio (K) | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ |

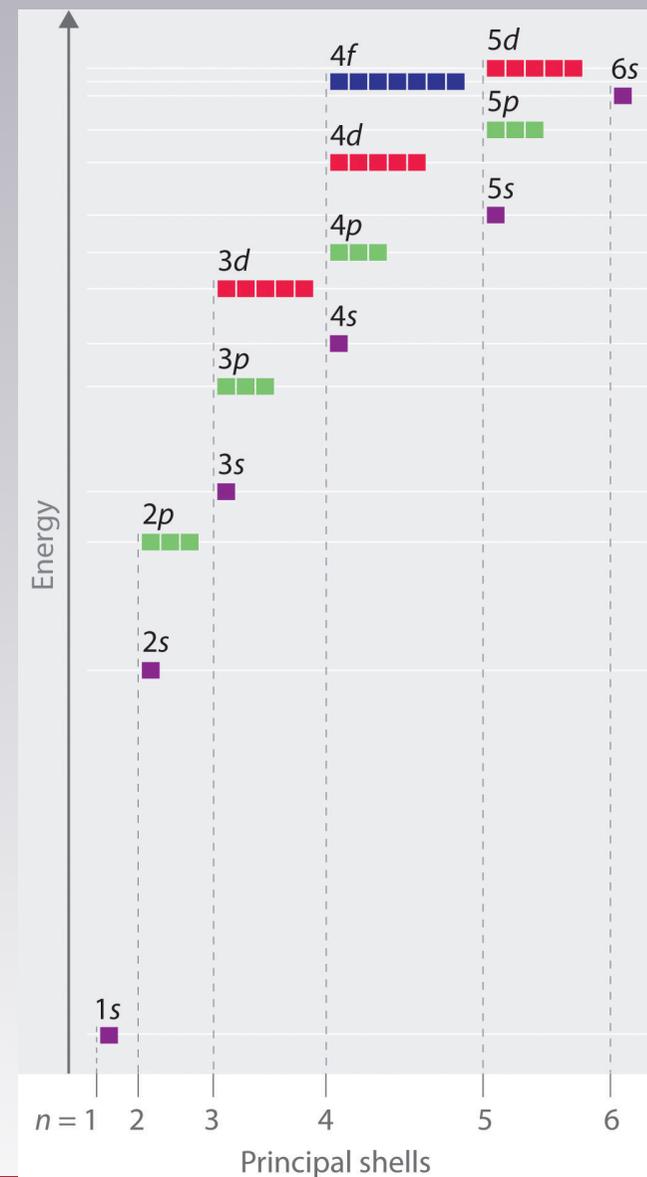
| Z | simbolo elettronico | rappresentazioni della configurazione elettronica | |
|----|---------------------|---|-----------------------|
| 3 | ● Li | (He) 2s ↑ | $1s^2 2s^1$ |
| 4 | ●● Be | (He) 2s ↑↓ | $1s^2 2s^2$ |
| 5 | ●● B ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ | $1s^2 2s^2 2p^1$ |
| 6 | ●● C ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^2$ |
| 7 | ●● N ● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| 8 | ●● O ●● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^4$ |
| 9 | ●● F ●● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑ | $1s^2 2s^2 2p^5$ |
| 10 | ●● Ne ●● | (He) 2s ↑↓ 2p ↑↓ ↑↓ ↑↓ | $1s^2 2s^2 2p^6$ |
| 11 | ● Na | (Ne) 3s ↑ | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ |

perché non troviamo 3d¹?

I livelli energetici dei substrati



Copyright © 2017 - TutorVista.com



la tavola degli elementi rivisitata

$l = 1, 2l+1=3$ stati m , con spin 6 stati

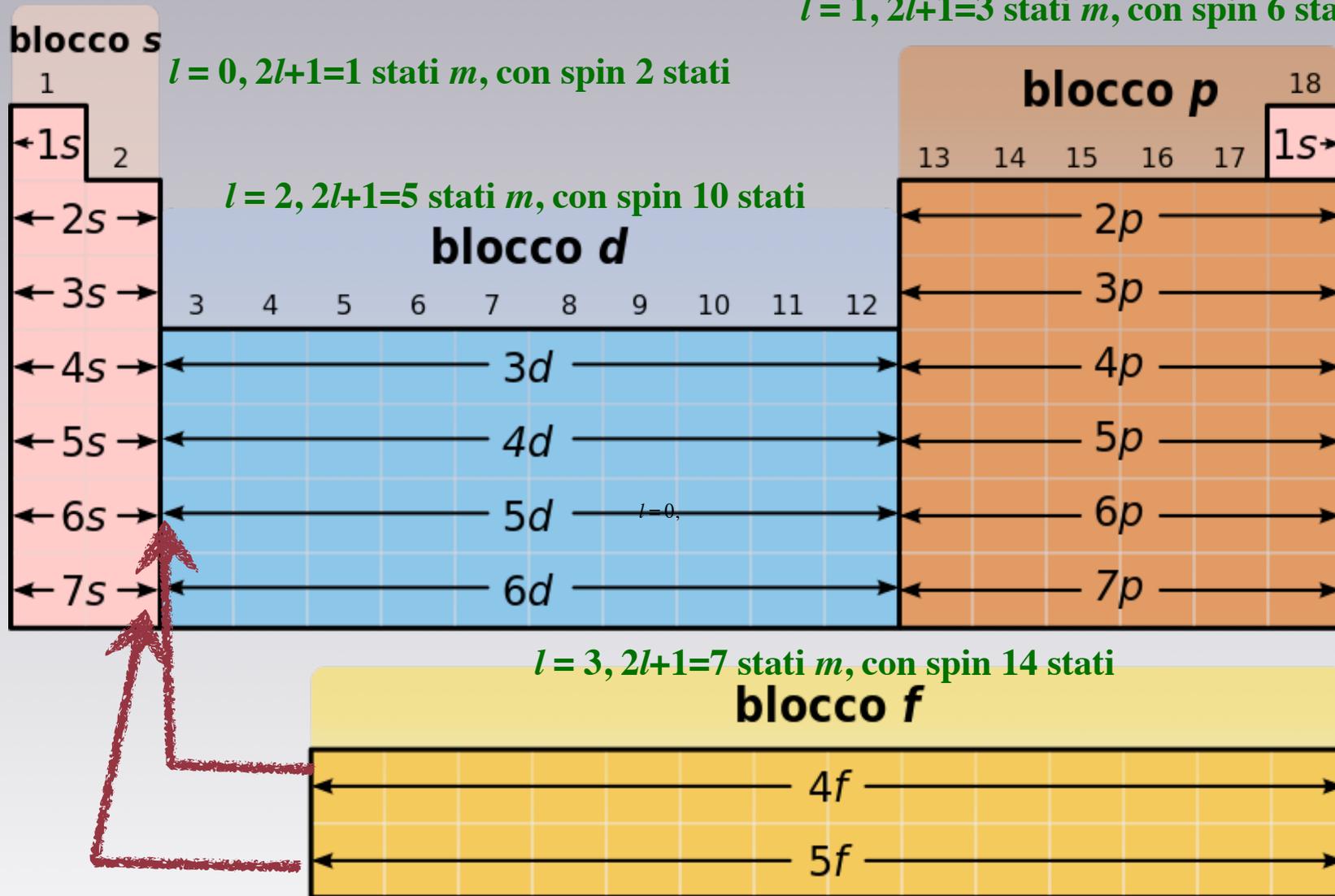


Tavola Periodica

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>IA</p> <p>1 H 1.008 2</p> <p>Atm χ^1</p> <p>IIA</p> <p>3 Li 6.941 4 Be 9.012 5</p> <p>Li χ^1 χ^2</p> <p>11 Na 22.99 12 Mg 24.31 13</p> <p>Na χ^1 χ^2</p> <p>19 K 39.1 20 Ca 40.08 21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37 31 Ga 69.72 32 Ge 72.64 33 As 74.92 34 Se 78.96 35 Br 79.91 36 Kr 83.8 37 Rb 85.47 38 Sr 87.62 39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3 55 Cs 132.9 56 Ba 137.3 57 La 58 Ce 140.1 59 Pr 140.9 60 Nd 144.2 61 Pm [145] 62 Sm 150.4 63 Eu 152 64 Gd 157.3 65 Tb 158.9 66 Dy 162.5 67 Ho 164.9 68 Er 167.3 69 Tm 168.9 70 Yb 173 71 Lu 175 72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222] 87 Fr [223] 88 Ra [226] 89 Ac [227] 90 Th 232 91 Pa 231 92 U 238 93 Np [237] 94 Pu [244] 95 Am [243] 96 Cm [247] 97 Bk [247] 98 Cf [251] 99 Es [252] 100 Fm [257] 101 Md [258] 102 No [259] 103 Lr [262]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | <p>IIIA IVA VA VIA VIIA</p> <p>5 B 10.81 6 C 12.01 7 N 14.01 8 O 16 9 F 19 10 Ne 20.18</p> <p>13 Al 26.98 14 Si 28.09 15 P 30.97 16 S 32.07 17 Cl 35.45 18 Ar 39.95</p> <p>31 Ga 69.72 32 Ge 72.64 33 As 74.92 34 Se 78.96 35 Br 79.91 36 Kr 83.8</p> <p>49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>IB IIIB</p> <p>29 Cu 63.55 30 Zn 65.37 31 Ga 69.72 32 Ge 72.64 33 As 74.92 34 Se 78.96 35 Br 79.91 36 Kr 83.8</p> <p>49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | <p>III IV V VI VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | <p>IIIB IVB VB VIB VII VIII IX X XI XII</p> <p>21 Sc 44.96 22 Ti 47.87 23 V 50.94 24 Cr 52 25 Mn 54.94 26 Fe 55.85 27 Co 58.93 28 Ni 58.69 29 Cu 63.55 30 Zn 65.37</p> <p>39 Y 88.91 40 Zr 91.22 41 Nb 92.91 42 Mo 95.94 43 Tc 98.91 44 Ru 101.1 45 Rh 102.9 46 Pd 106.4 47 Ag 107.9 48 Cd 112.4 49 In 114.8 50 Sn 118.7 51 Sb 121.8 52 Te 127.6 53 I 126.9 54 Xe 131.3</p> <p>72 Hf 178.5 73 Ta 180.9 74 W 183.8 75 Re 186.2 76 Os 190.2 77 Ir 192.2 78 Pt 195.1 79 Au 197 80 Hg 200.6 81 Tl 204.4 82 Pb 207.2 83 Bi 209 84 Po [209] 85 At [210] 86 Rn [222]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

elettroni per livello

numero atomico (Z) **1**

simbolo **X**

peso atomico standard (A) **1.1**

classificazione Goldschmidt **1**

elemento

nome **1111K**

numero di fusione (K) **1111**

energia di prima ionizzazione (kJ/mol) **111**

densità (g/cm³) **111**

elettronegatività **1.1**

proprietà degli ossidi **1**

stato d'ossidazione **+1**

configurazione elettronica **1s¹**

X solido

X fluido

X gassoso

X non conosciuto

fortemente acido

mediamente acido

debolmente acido

neutro

debolmente basico

mediamente basico

fortemente basico

anfotero

peso atomico **[peso atomico]**

elemento stabile

elemento instabile o radioattivo

elemento naturale

elemento sintetico

Lit litofilo

Cal calcofilo

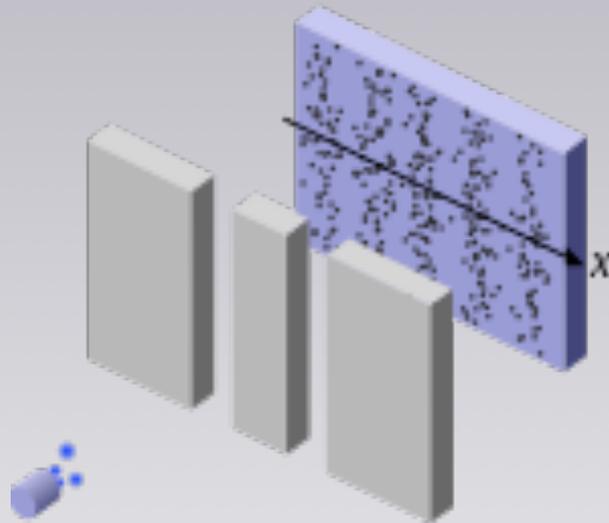
Sid siderofilo

Atm atmafilo

Syn sintetico

| | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|
| blocco - s (con He) | | blocco - f | | blocco - d | | blocco - p (senza He) | |
| Metalli | | | | Metalloidi | | Non metalli | |
| Metalli alcalini | Metalli alcalino terrosi | Attinidi | REE (Lantanidi) | Metalli di transizione | Post-metalli di transizione | Poliatomici | Diatomici |
| probabili | probabili | REE = Terre Rare | | REE | Metalli preziosi | probabili | Gas nobili |
| | | | | probabili | | | |

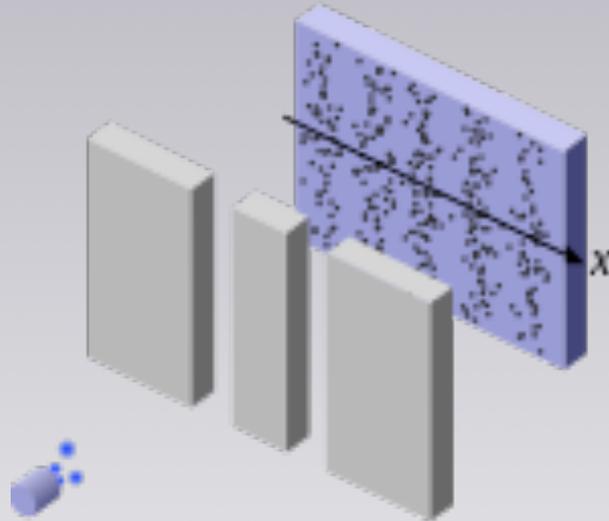
doppia fenditura



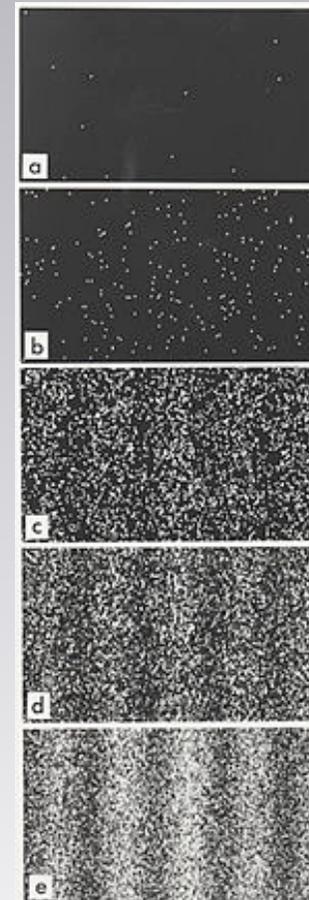
esperimento con elettroni
(1961)

doppia fenditura

che succede se riduco l'intensità in modo che ogni volta ci sia un solo elettrone in movimento?



tutto quello che segue si applica altrettanto bene ai fotoni: il dualismo onda-corpuscolo compare sempre



doppia fenditura

che succede se cerco di misurare il passaggio dell'elettrone da una delle due fenditure ?!

- mettiamo un contatore sul percorso di una delle due fenditure: se riveliamo il passaggio in una fenditura, le frange di interferenza scompaiono
- immaginiamo allora un dispositivo che può essere attivato o meno, addirittura che sia posto dopo una delle due fenditure: il risultato non cambia; se riveliamo il passaggio in una fenditura, le frange di interferenza scompaiono
- se metto un rivelatore su uno dei percorsi e l'elettrone viene rivelato, allora non passa più nell'altra fenditura e le frange di interferenza scompaiono. Se non vedo l'elettrone, allora l'elettrone passa solo nell'altra fenditura, non osservo le frange ma la figura è spostata

dualismo onda-corpuscolo; non posso mai osservare contemporaneamente comportamenti ondulatori e corpuscolari: principio di complementarità

Le interpretazioni della MQ

come si trasmette l'informazione all'altra fenditura?

interpretazione di Copenaghen:

la misura provoca il “collasso” della funzione d'onda: la sovrapposizione dei due stati con probabilità 50% e 50% si riduce al solo stato osservato con probabilità 100%

interpretazione “realistica”:

ci sono delle variabili non misurabili, “nascoste” che distinguono i due stati che appaiono sovrapposti: la sovrapposizione è solo statistica

Esperimento EPR (1935)

esperimento concettuale proposto da Einstein, Podolsky e Rosen che permette di distinguere tra i due casi:

consideriamo una variabile discreta X che può assumere solo due valori, $+1$ e -1 (polarizzazione o spin)

supponiamo che due particelle vengano preparate a partire da uno stato iniziale con X totale uguale a zero: allora se una delle due ha $X=+1$, l'altra deve avere necessariamente $X=-1$. Se la preparazione è simmetrica, i due stati sono equiprobabili: $P(+1)=P(-1)=50\%$ per entrambe le particelle

se ora le due particelle vengono allontanate e misurate in due posti diversi A e B (da Alice e da Bob), Alice misura $X=+1$ con probabilità 50% . Ma se Bob nello stesso istante fa la misura, deve misurare $X=-1$ con probabilità 100%

però l'informazione che Alice ha misurato $X=+1$ non può propagarsi con velocità infinita alla particella di Bob, senza violare la RR (possiamo dunque parlare della richiesta di "realismo locale"), quindi ci devono essere delle variabili nascoste

Disuguaglianza di Bell (1964)

Per distinguere tra le due interpretazioni si deve però trovare un caso in cui non sia rilevante la singola misura (il cui esito è scontato in entrambe le interpretazioni), ma la correlazione tra due possibili misure. In questo modo con l'analisi probabilistica è possibile distinguere tra una eventuale correlazione nascosta e un processo casuale che fa collassare la funzione d'onda.

consideriamo due numeri quantici che non possono essere misurati contemporaneamente, x e y , e che abbiano entrambi due soli possibili valori, $+1$ e -1 (esempi: polarizzazione lineare o circolare per un fotone) se misuro $x=1$ e poi misuro y , devo trovare $y=1$ in metà dei casi e $y=-1$ nell'altra metà.

Immaginiamo ora una sorgente che emetta una coppia di particelle con x opposti, oppure y opposti e le particelle siano misurate da due osservatori lontani tra loro

se Alice misura $x=1$, Bob misurerà necessariamente $x=-1$

se Alice decide invece di misurare y , Bob misurerà $x=1$ o -1 nella metà dei casi

Disuguaglianza di Bell (2)

In questo caso è la decisione di Alice di cosa misurare che modifica la misura di Bob, e la decisione di Alice non può essere legata a variabili nascoste del sistema

Notiamo che una singola misura ora non ci dice nulla! E' solo l'analisi della frequenza combinata dei vari risultati (ossia delle correlazioni) che permette di distinguere tra i due casi

Bell dimostra che le correlazioni sono necessariamente diverse nella MQ e nel realismo locale

Le restrizioni imposte da Bell alle correlazioni tra variabili correlate prendono il nome di “diseguaglianze di Bell”

Le diseguaglianze di Bell possono essere violate dalla meccanica quantistica, nella quale il collasso della funzione d'onda introduce una non-località negli stati del sistema, per cui si parla di stati “entangled”

Disuguaglianza di Bell (3)

Deve passare una ventina d'anni perché Alain Aspect riesca a fare un esperimento (1981-82) in grado di verificare la violazione di una disuguaglianza di Bell

Tutti i successivi esperimenti sembrano privilegiare con sempre maggiore significatività la MQ, quindi si deve rinunciare o al realismo o alla località

Ma Einstein aveva invocato la località proprio per preservare il realismo...

Oggi però si privilegia l'abbandono della località, soprattutto sulla base del fatto che la relatività speciale è comunque preservata dalla dimostrata impossibilità di utilizzare la non località della funzione d'onda per trasmettere segnali con velocità superiore a quella della luce

E, ancora una volta, le applicazioni degli stati "entangled" procedono senza curarsi troppo dei fondamenti della MQ...