SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Modello atomico di Niels Bohr

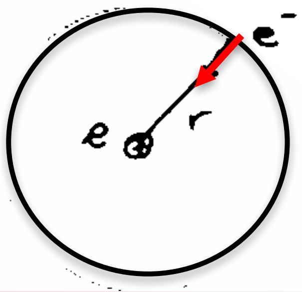
**Postulati:**

- L'elettrone descrive orbite circolari attorno al nucleo.
- Sono permesse quelle orbite per le quali il momento angolare dell'elettrone è: $mvr=n(h/2\pi)$
- L'elettrone non irradia nel suo moto attorno al nucleo su un'orbita permessa (**stato stazionario**). Le emissioni (di radiazione) si manifestano solo se l'elettrone passa da un'orbita più esterna ad una più interna permessa. La frequenza della radiazione emessa sarà pari a: $\nu=(E_2-E_1)/h$

## Modello atomico di Niels Bohr

**Postulati:**

- L'elettrone descrive orbite circolari attorno al nucleo.
- Sono permesse quelle orbite per le quali il momento angolare dell'elettrone è: $mvr = n(h/2\pi)$
- L'elettrone non irradia nel suo moto attorno al nucleo su un'orbita permessa (**stato stazionario**). Le emissioni (di radiazione) si manifestano solo se l'elettrone passa da un'orbita più esterna ad una più interna permessa. La frequenza della radiazione emessa sarà pari a: $\nu = (E_2 - E_1)/h$



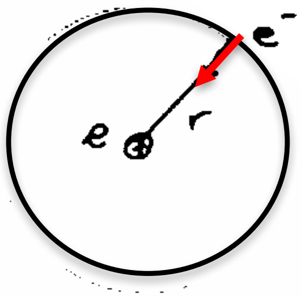

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{mr}$$

## Modello atomico di Niels Bohr

**Postulati:**

- L'elettrone descrive orbite circolari attorno al nucleo.
- Sono permesse quelle orbite per le quali il momento angolare dell'elettrone è: mvr=n(h/2π)
- L'elettrone non irradia nel suo moto attorno al nucleo su un'orbita permessa (**stato stazionario**). Le emissioni (di radiazione) si manifestano solo se l'elettrone passa da un'orbita più esterna ad una più interna permessa. La frequenza della radiazione emessa sarà pari a: $\nu=(E_2-E_1)/h$




$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{mr}$$

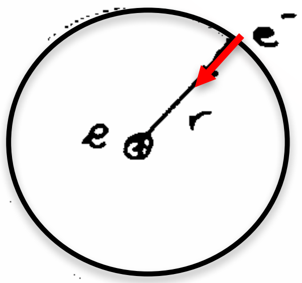
$$E = U_{el} + K = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} + \frac{1}{2}m\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{mr} =$$

## Modello atomico di Niels Bohr

**Postulati:**

- L'elettrone descrive orbite circolari attorno al nucleo.
- Sono permesse quelle orbite per le quali il momento angolare dell'elettrone è: $mvr=n(h/2\pi)$
- L'elettrone non irradia nel suo moto attorno al nucleo su un'orbita permessa (**stato stazionario**). Le emissioni (di radiazione) si manifestano solo se l'elettrone passa da un'orbita più esterna ad una più interna permessa. La frequenza della radiazione emessa sarà pari a: $\nu=(E_2-E_1)/h$




$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{mr}$$

$$E = U_{el} + K = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} + \frac{1}{2}\cancel{m}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{\cancel{m}r} =$$

$$= -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

## Modello atomico di Niels Bohr

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$L = I\omega = mr^2 \cdot \frac{v}{r} = mvr$$


$$I = mr^2$$

$$\Downarrow$$

$$I = \sum_{i=1} m_i r_i^2$$

## Modello atomico di Niels Bohr

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$L = I\omega = mr^2 \cdot \frac{v}{r} = mvr$$

$\downarrow$


$$I = mr^2$$

$$I = \sum_{i=1} m_i r_i^2$$

$$L = n\frac{h}{2\pi} \qquad \frac{h}{2\pi} = \hbar$$

$$L = n\hbar \qquad \boxed{mvr = n\hbar}$$

# Modello atomico di Niels Bohr

**Fisica classica**

$$\begin{cases} v^2 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{mr} \\[2ex] E = -\dfrac{1}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r} \end{cases}$$

**Postulato di Bohr**

$$mvr = n\hbar$$

$$v = n\frac{\hbar}{mr} = n\frac{h}{2\pi m r}$$

# Modello atomico di Niels Bohr

**Fisica classica**

$$\begin{cases} v^2 = \boxed{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{m r}} \\[2ex] E = -\dfrac{1}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r} \end{cases}$$

**Postulato di Bohr**

$$m v r = n \hbar$$

$$v = n \frac{\hbar}{m r} = \boxed{n \frac{h}{2\pi m r}}$$

# Modello atomico di Niels Bohr

**Fisica classica**

$$\begin{cases} v^2 = \boxed{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{mr}} \\[2ex] E = -\dfrac{1}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r} \end{cases}$$

**Postulato di Bohr**

$$m v r = n \hbar$$

$$v = n\frac{\hbar}{mr} = \boxed{n\frac{h}{2\pi m r}}$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{mr} = n^2\frac{h^2}{4\pi^2 m^2 r^2}$$

# Modello atomico di Niels Bohr

**Fisica classica**

$$\begin{cases} v^2 = \boxed{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{m r}} \\[2ex] E = -\dfrac{1}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r} \end{cases}$$

**Postulato di Bohr**

$$m v r = n \hbar$$

$$v = n\frac{\hbar}{m r} = \boxed{n\frac{h}{2\pi m r}}$$

$$\frac{1}{\cancel{4}\cancel{\pi}\varepsilon_0}\frac{e^2}{\cancel{m}\cancel{r}} = n^2\frac{h^2}{\cancel{4}\pi^2 m^2 r^2}$$

$$r_n = n^2\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m} \qquad n = 1, 2, 3 \ldots\ldots$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Modello atomico di Niels Bohr

**Fisica classica**

$$\begin{cases} v^2 = \boxed{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{m r}} \\[2ex] E = -\dfrac{1}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r} \end{cases}$$

**Postulato di Bohr**

$$m v r = n \hbar$$

$$v = n\frac{\hbar}{m r} = \boxed{n\frac{h}{2\pi m r}}$$

$$\frac{1}{\cancel{4}\cancel{\pi}\varepsilon_0}\frac{e^2}{\cancel{m}\cancel{r}} = n^2\frac{h^2}{\cancel{4}\pi^2 m^{\cancel{2}} r^{\cancel{2}}}$$

$$\boxed{r_n = n^2\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m}} \qquad n = 1, 2, 3 \;\ldots\ldots$$

$n = 1 \qquad r_1 = \dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\, m$

$n = 2 \qquad r_2 = 4 r_1$

$n = 3 \qquad r_3 = 9 r_1$

$10^{-10}\, m = 1\, \text{Å}$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

$n = 1 \qquad r_1 = \dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\, m$

$n = 2 \qquad r_2 = 4 r_1$

$n = 3 \qquad r_3 = 9 r_1$

$10^{-10}\, m = 1\, \mathring{A}$

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m}$$

$$E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \frac{e^2}{\boxed{r}}$$

$$E = -\frac{1}{8\cancel{\pi}\varepsilon_0} \frac{e^2 \cdot \cancel{\pi} e^2 m}{n^2 \varepsilon_0 h^2} = -\frac{1}{n^2} \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2}$$

$$n=1 \qquad r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m} = 5{,}3\cdot 10^{-11}\,m$$

$$n=2 \qquad r_2 = 4\,r_1$$

$$n=3 \qquad r_3 = 9\,r_1$$

$$10^{-10}\,m = 1\,\text{Å}$$

$$r_n = n^2\,\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m}$$

$$E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\,\frac{e^2}{\boxed{r}}$$

$$E = -\frac{1}{8\cancel{\pi}\varepsilon_0}\,\frac{e^2\cdot \cancel{\pi} e^2 m}{n^2\varepsilon_0 h^2} = -\frac{1}{n^2}\,\frac{m e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

$$n = 1 \qquad E_1 = -\frac{m e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -\frac{m e^2\cdot e^2}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -2{,}17\cdot 10^{-18}\,J =$$

$$= -13{,}6\,eV$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

$n=1 \qquad r_1 = \dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,m$

$n=2 \qquad r_2 = 4 r_1$

$n=3 \qquad r_3 = 9 r_1$

$10^{-10}\,m = 1\,\text{Å}$

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m}$$

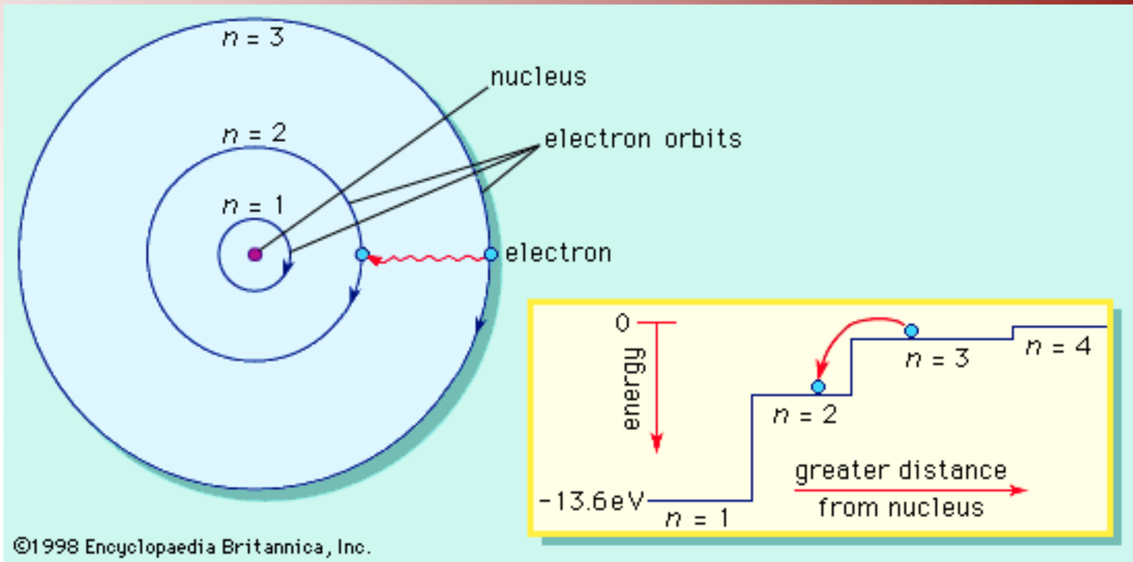
$$\boxed{E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{\boxed{r}}}$$

$$E = -\frac{1}{8\cancel{\pi}\varepsilon_0}\,\frac{e^2 \cdot \cancel{\pi} e^2 m}{n^2 \varepsilon_0 h^2} = -\frac{1}{n^2}\,\frac{m e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

$n = 1 \qquad E_1 = -\dfrac{m e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -\dfrac{m e^2 \cdot e^2}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -2{,}17 \cdot 10^{-18}\,J = -13{,}6\,eV$

$n = 2 \qquad E_2 = -\dfrac{1}{4} \cdot 13{,}6\,eV = -3{,}4\,eV$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



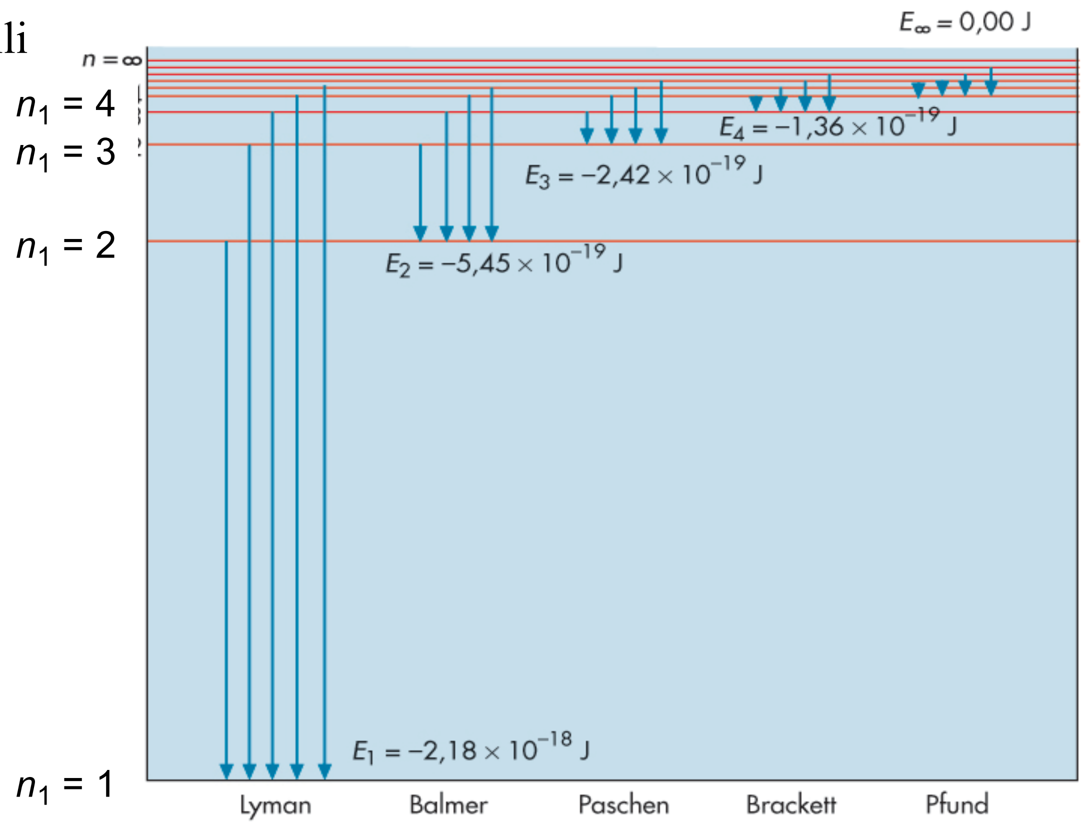

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} = \left(-\frac{1}{n_2^2}\cdot\frac{me^4}{8\pi\varepsilon_0^2 h^3}\cdot Z^2\right) - \left(-\frac{1}{n_1^2}\cdot\frac{me^4}{8\pi\varepsilon_0^2 h^3}\cdot Z^2\right)$$

$$\nu = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad \text{e} \quad \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{quindi} \quad \bar{\nu} = \frac{\nu}{c}$$

$$\bar{\nu} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}\cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = R\cdot\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \text{per Z} = 1$$

Transizioni tra i livelli dell'atomo di idrogeno.




$$\bar{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

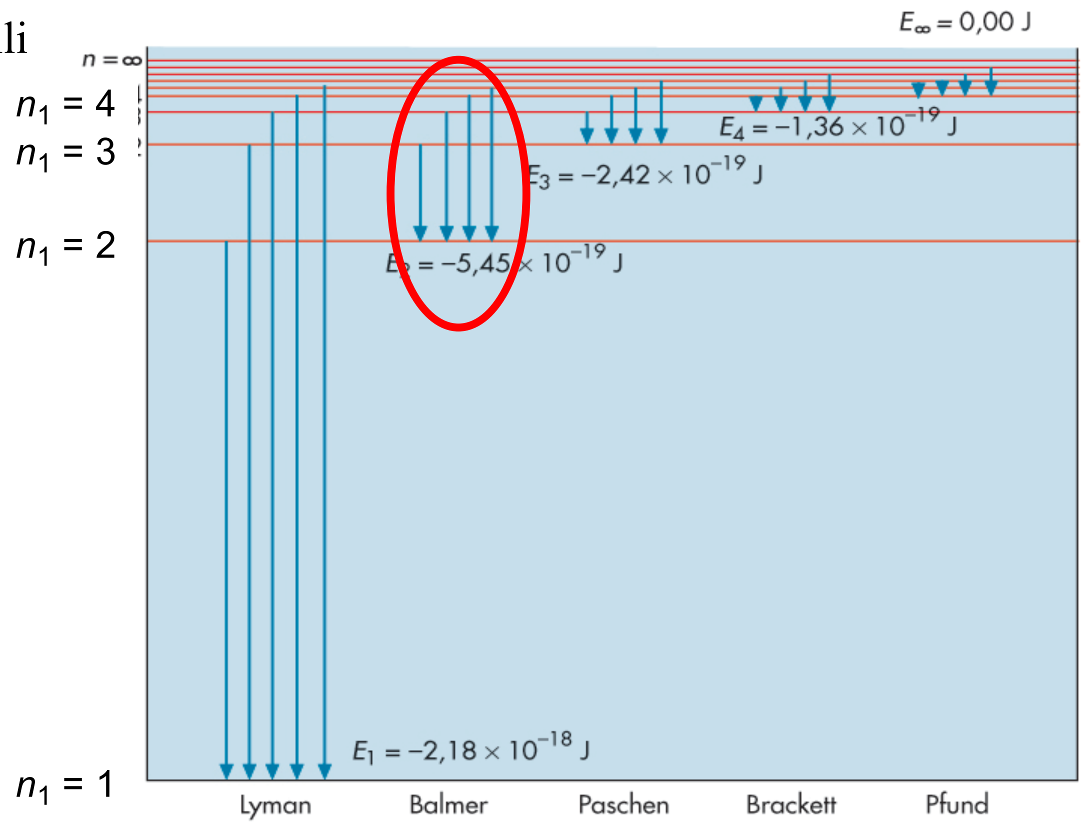
$$n_1 = 1, 2, 3, \ldots$$

$$n_2 = (n_1 + 1), (n_1 + 2), \ldots$$

EdiSES
Palmisano, Schiavello
*Fondamenti di Chimica*
EdiSES

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Transizioni tra i livelli dell'atomo di idrogeno.




$$\bar{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$n_1 = 1, 2, 3, \ldots$$

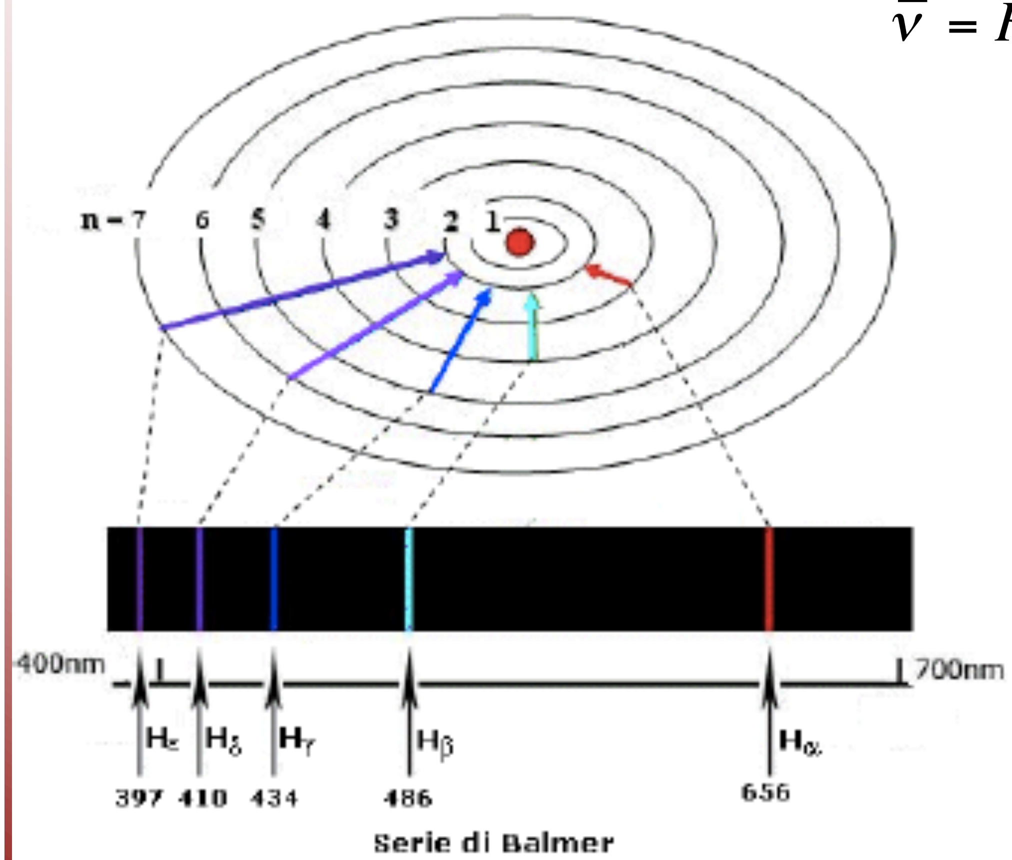
$$n_2 = (n_1 + 1), (n_1 + 2), \ldots$$

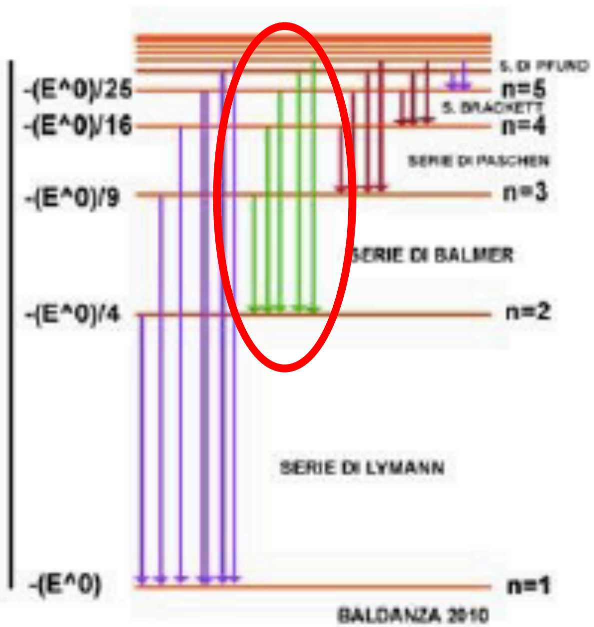
EdiSES
Palmisano, Schiavello
*Fondamenti di Chimica*
EdiSES

## Serie di Balmer ($n_1$ = 2; $n_2$ = 3,4,5,6...)

$$\bar{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$n_1 = 1, 2, 3, \ldots$$
$$n_2 = (n_1 + 1), (n_1 + 2), \ldots$$



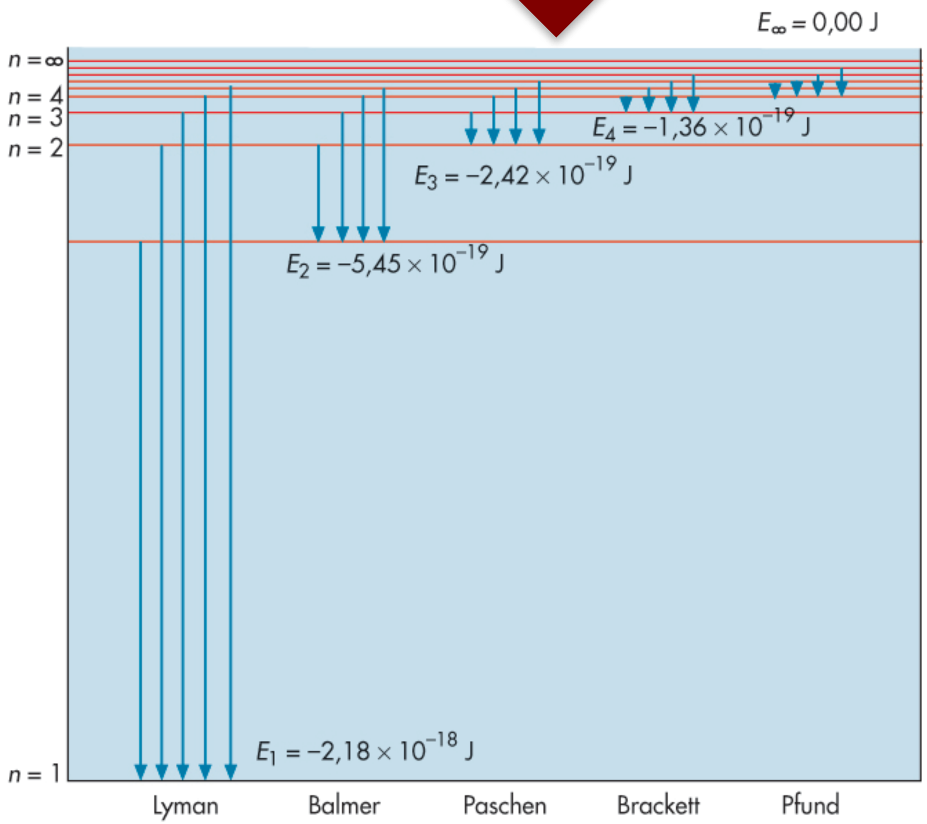



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Transizioni tra i livelli dell'atomo di idrogeno

Figura 2.19
Transizioni tra i livelli energetici dell'atomo di idrogeno.

$$E = f(n)$$




$$\bar{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$n_1 = 1, 2, 3, \ldots$$

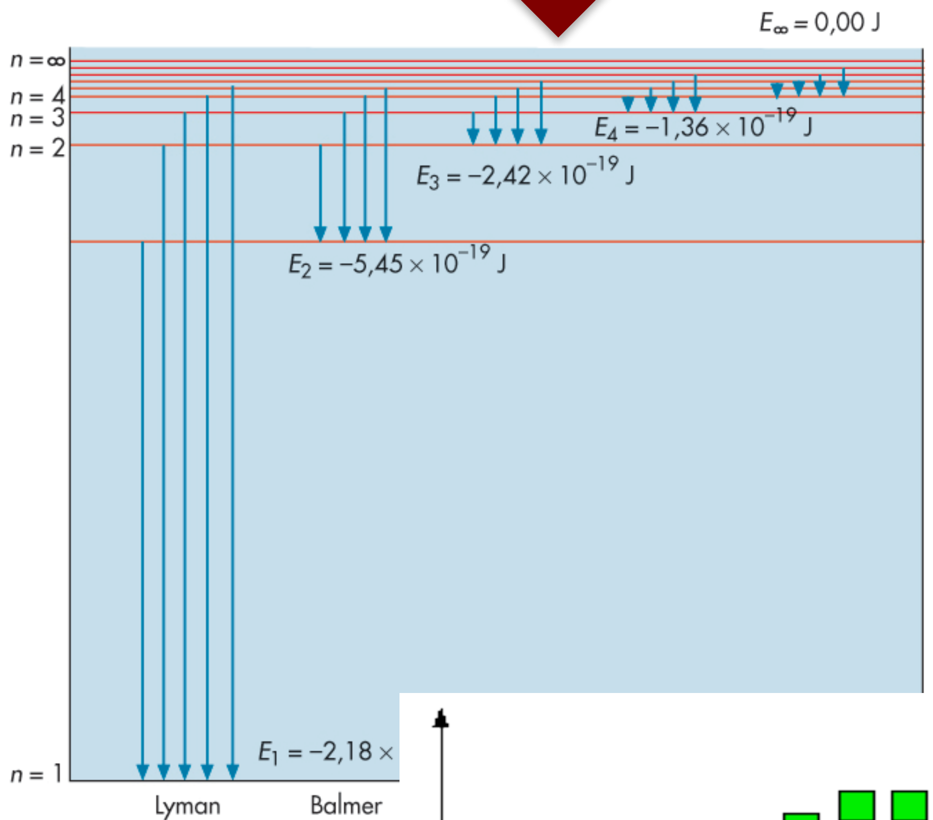
$$n_2 = (n_1 + 1), (n_1 + 2), \ldots$$


EdiSES
Palmisano, Schiavello
*Fondamenti di Chimica*
EdiSES

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Transizioni tra i livelli dell' atomo di idrogeno

Figura 2.19
Transizioni tra i livelli energetici dell'atomo di idrogeno.

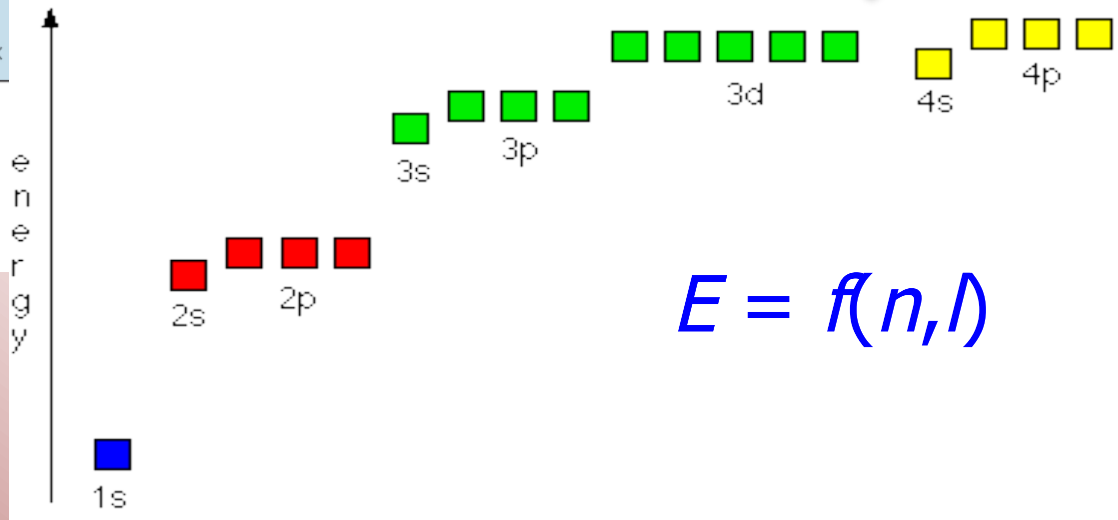



$E = f(n)$

$$\bar{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Palmisano, Schiavello
*Fondamenti di Chimica*
EdiSES

# Transizioni tra i livelli degli atomi polielettronici



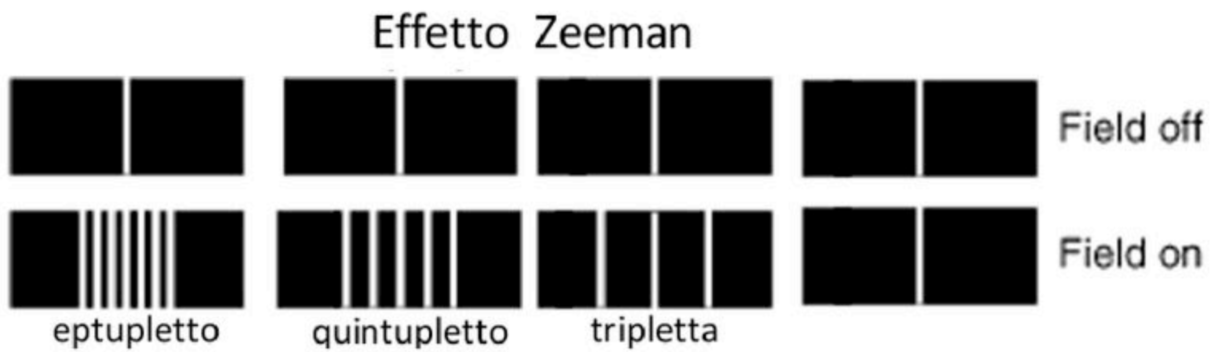

$E = f(n,l)$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Effetto Zeeman

(scoperto nel 1896)

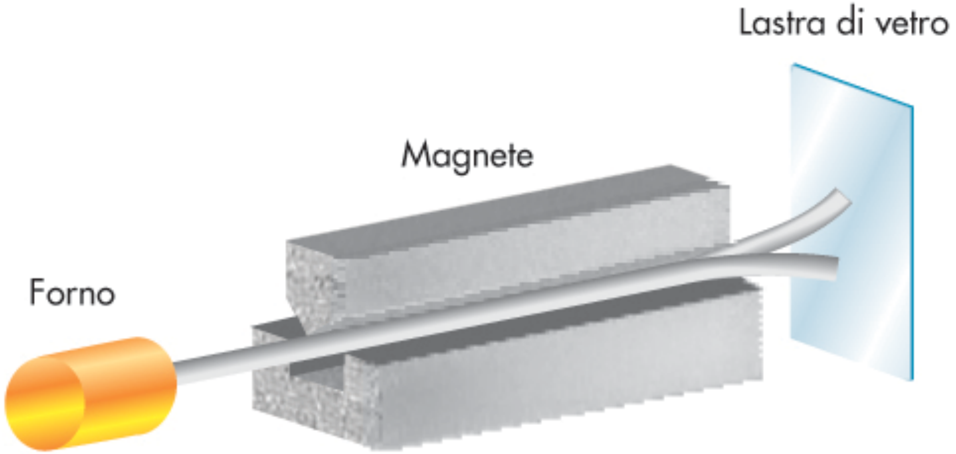
Ulteriore possibilità di alterazione energetica in seno alle varie orbite: quando un gas rarefatto eccitato viene sottoposto a un **campo magnetico**, **alcune sue righe spettrali** si scompongono in **multipletti** di **3**, **5** o **7 righe**, tanto più separate quanto più intenso è il campo (**effetto Zeeman**).



# Relazione tra i numeri quantici n, l ed m

| n | l (0,...n–1) | m (–l,......,0,......l) |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | –1, 0, 1 |
| 3 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | –1, 0, 1 |
| 3 | 2 | –2, –1, 0, 1, 2 |
| 4 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | –1, 0, 1 |
| 4 | 2 | –2, –1, 0, 1, 2 |
| 4 | 3 | –3, –2, –1, 0, 1, 2, 3 |

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA




Schema dell’esperimento di Stern e Gerlach.

EdiSES
Palmisano, Schiavello
*Fondamenti di Chimica*
EdiSES

## Dualismo onda-particella

$$\begin{cases} E = m \cdot c^2 \\ E = h \cdot \nu \quad \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{p} \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{mv} \\ \nu = \dfrac{c}{\lambda} \end{cases}$$

**Dualismo onda-particella**

$$\begin{cases} E = m \cdot c^2 \\ E = h \cdot \nu \quad \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{p} \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{mv} \\ \nu = \dfrac{c}{\lambda} \end{cases}$$

Palla da golf: $m = 45{,}0$ g $v = 30\ m{\cdot}s^{-1}$ :

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ j \cdot s}{(45{,}0 \cdot 10^{-3}\ kg) \cdot (30{,}0\ m \cdot s^{-1})} = 4{,}9 \cdot 10^{-34}\ m$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Dualismo onda-particella**

$$\begin{cases} E = m \cdot c^2 \\ E = h \cdot \nu \quad \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{p} \rightarrow \lambda = \dfrac{h}{mv} \\ \nu = \dfrac{c}{\lambda} \end{cases}$$

Palla da golf: $m$ = 45,0 g  $v$ = 30 $m{\cdot}s^{-1}$ :

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \ j \cdot s}{(45{,}0 \cdot 10^{-3} \ kg) \cdot (30{,}0 \ m \cdot s^{-1})} = 4{,}9 \cdot 10^{-34} \ m$$

Elettrone nella 1° orbita dell'atomo di idrogeno:

$$m = 9{,}11 \cdot 10^{-31} \ kg \quad v = 2{,}19 \cdot 10^{6} \ m \cdot s^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \ j \cdot s}{(9{,}11 \cdot 10^{-31} \ kg) \cdot (2{,}19 \cdot 10^{6} \ m \cdot s^{-1})} = 3{,}3 \cdot 10^{-10} \ m$$

## Principio di Indeterminazione di Heisenberg

Non è possibile determinare *simultaneamente* e con uguale *precisione* posizione e momento di una particella:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Principio di Indeterminazione di Heisenberg

Non è possibile determinare *simultaneamente* e con uguale *precisione* posizione e momento di una particella:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Per determinare con una certa esattezza la posizione dell'elettrone si potrebbe pensare di localizzarlo entro $10^{-12}$ m.

$$\Delta p \cdot \Delta x \cong \frac{h}{4\pi}$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Principio di Indeterminazione di Heisenberg

Non è possibile determinare *simultaneamente* e con uguale *precisione* posizione e momento di una particella:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Per determinare con una certa esattezza la posizione dell'elettrone si potrebbe pensare di localizzarlo entro $10^{-12}$ m.

$$\Delta p \cdot \Delta x \cong \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta p \cong \frac{h}{4 \cdot \pi \cdot \Delta x} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \ j \cdot s}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-12} \ m} = 5{,}3 \cdot 10^{-23} \ j \cdot s \cdot m^{-1} = 5{,}3 \cdot 10^{-23} \ kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta p}{m} = \frac{5{,}3 \cdot 10^{-23} \ kg \cdot m \cdot s^{-1}}{9{,}11 \cdot 10^{-31} \ kg} = 5{,}8 \cdot 10^{7} \ m \cdot s^{-1}$$