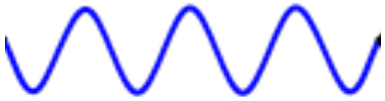
Partícula também é onda (ER-3)

elétron  Onda do elétron

Comprimento de onda de de Broglie :

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

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \ \text{J . s}$$

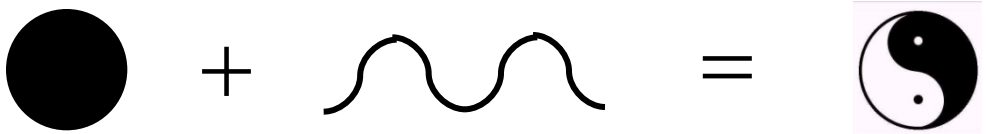
Constante de Planck

Função de onda $\psi\,(x,t)$

$$\psi^*\,(x,t)\,\psi(x,t) = |\psi(x,t)|^2$$ Probabilidade de encontrar a partícula

Elétron = Partícula e Onda Puntiforme e Extenso

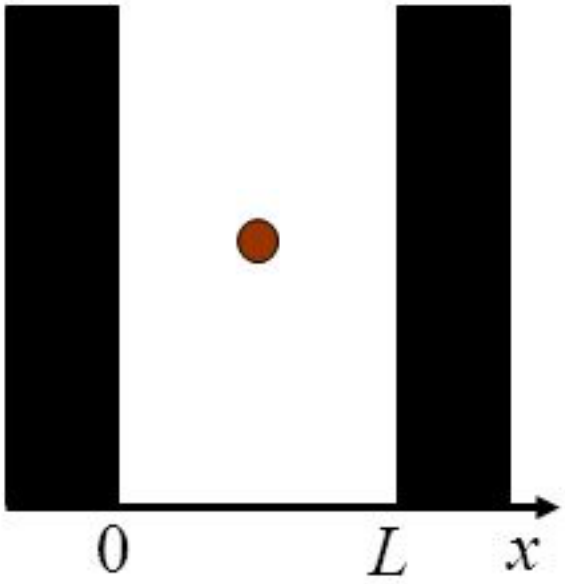
Como imaginar isso ?



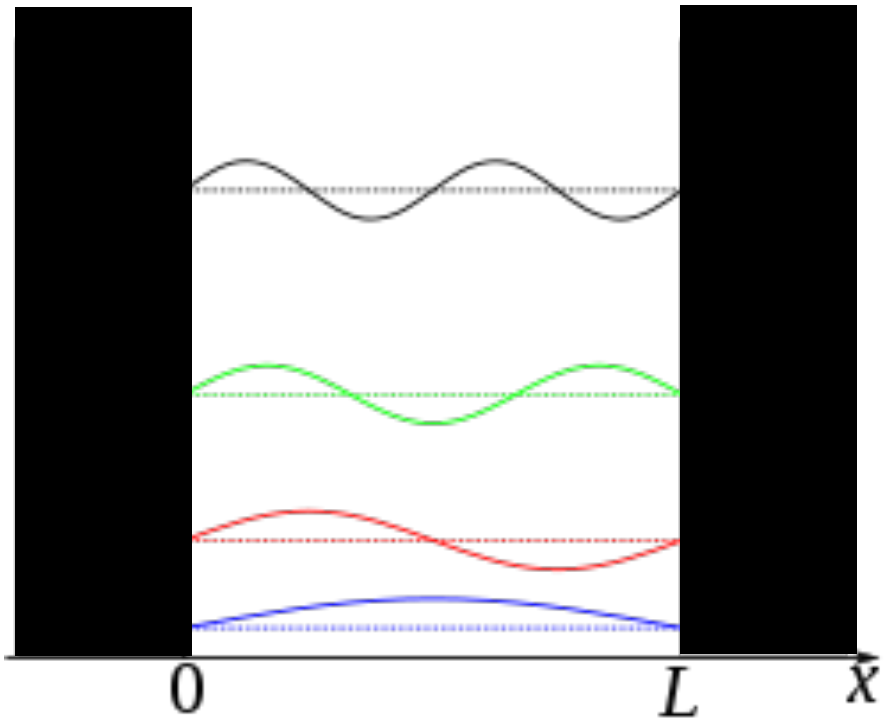
dualidade

Confinamento gera quantização !

Partícula confinada numa caixa com paredes rígidas



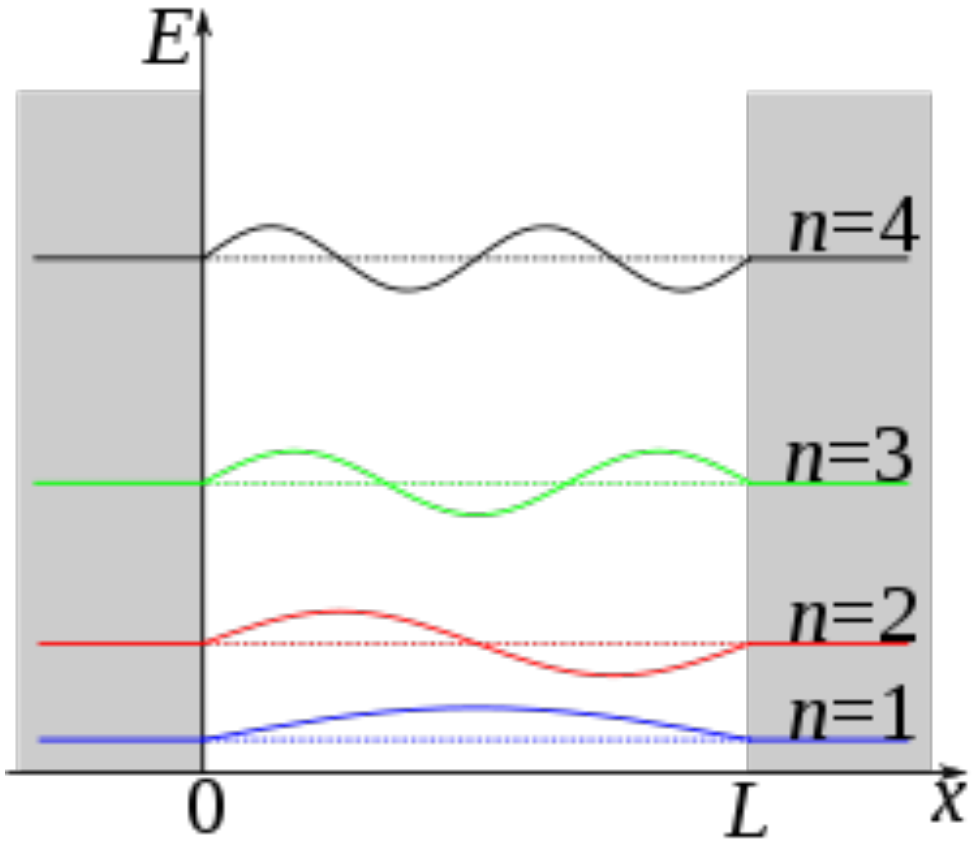
$\psi(x) = 0$ $\psi(x) = 0$



$$E = \frac{p^2}{2\,m}$$

$$\psi(x) = sen\,(\frac{2\,\pi}{\lambda}\,x)$$

Só cabem alguns comprimentos de onda !



$\lambda = 1/2\, L$

$\lambda = 2/3\, L$

$\lambda = L$

$\lambda = 2\, L$

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

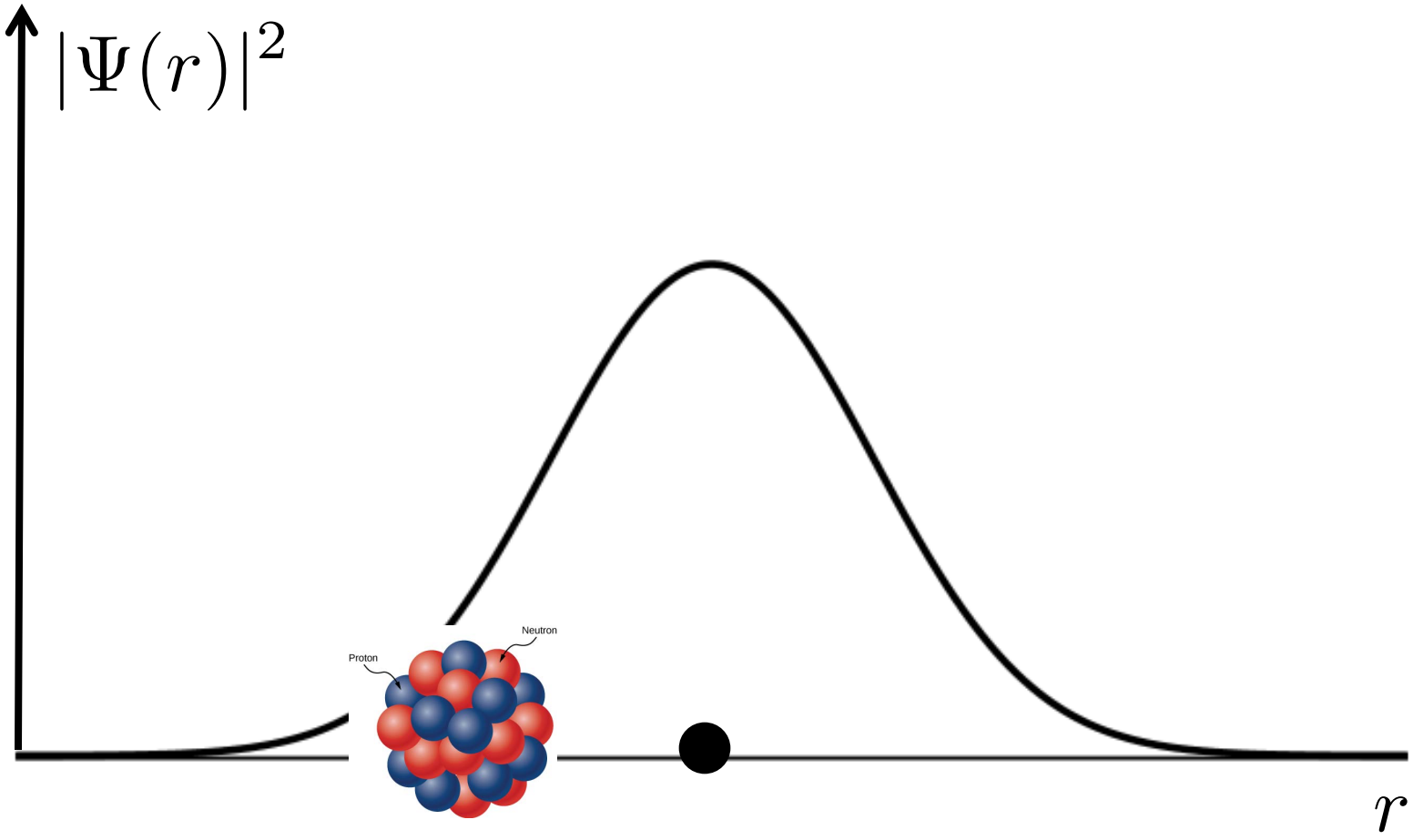
$$\boxed{\lambda = \frac{2}{n}\,L}$$

$$E = \frac{p^2}{2\,m} \qquad p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\,n}{2\,L} \longrightarrow$$

$$\boxed{E = \frac{h^2 n^2}{8\,m\,L^2}}$$

Valores discretos: energia quantizada !

Captura do elétron pelo núcleo



$$p + e \rightarrow n + \nu_e$$

Aula 2

Átomo de Bohr

Momento angular

Spin é uma carga (gera forças)

Spin está nas partículas elementares

Spin é quânticoc

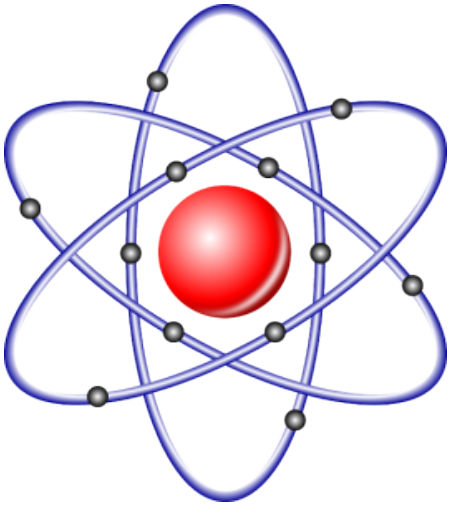
Física quântica: dualidade onda-partícula

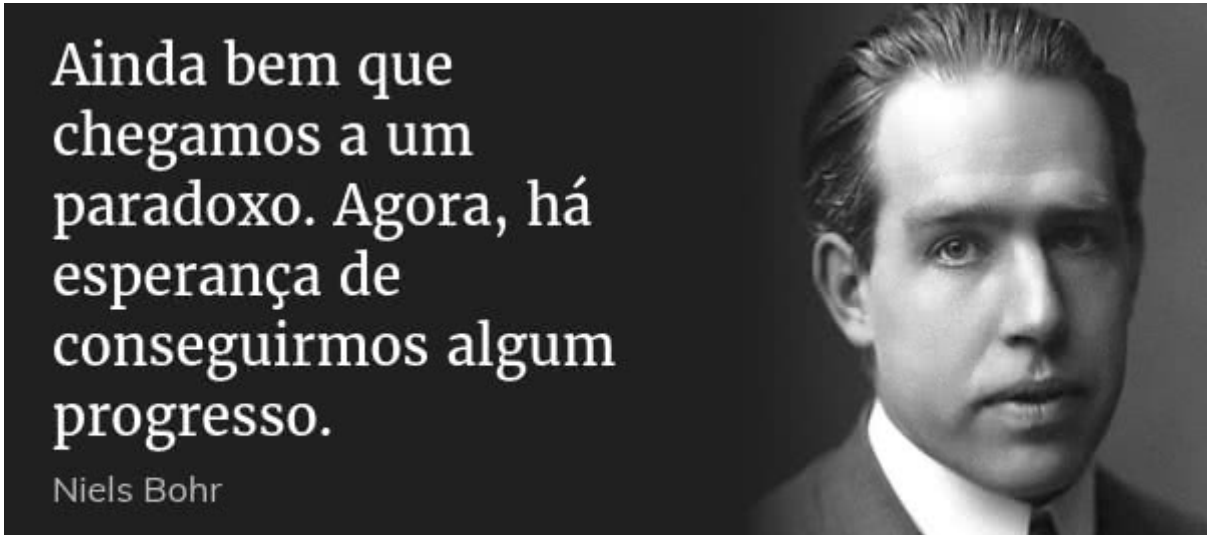
"Onpa" descrita por função de onda

Movimento limitado no espaço (confinado)
implica níveis discretos de energia:
quantização !

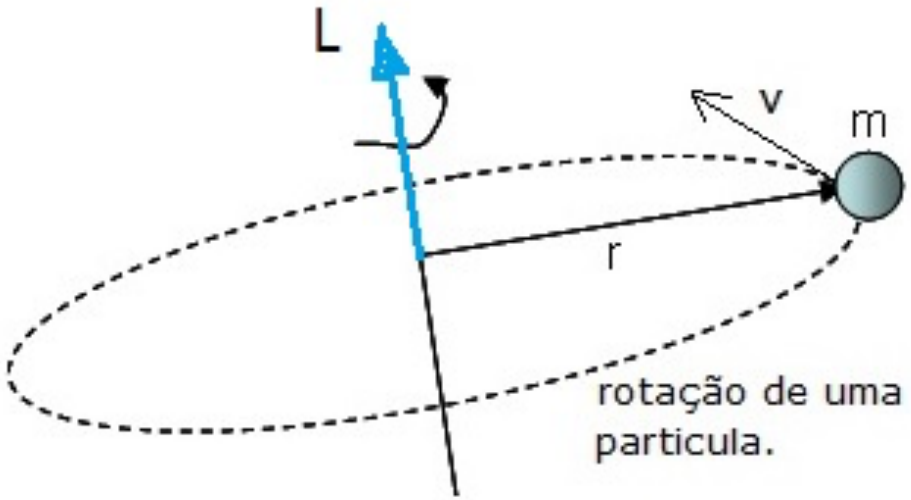
Spin é rotação

Átomo de Bohr





Momento angular de uma partícula



$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m\,\vec{r} \times \vec{v}$$

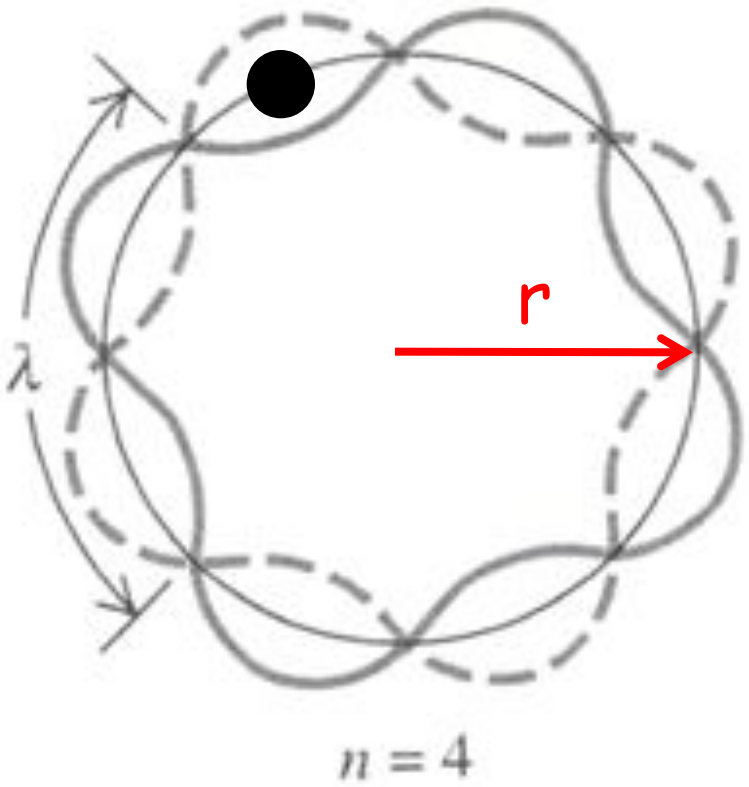
$$\vec{r} \perp \vec{v} \longrightarrow |\vec{r} \times \vec{v}| = r\,v \qquad L = r\,p$$

Confinamento gera quantização: órbita circular

Número inteiro de comprimentos de onda

$$2\,\pi\,r = n\,\lambda = n\,\frac{h}{p}$$

$$r\,p = n\,\frac{h}{2\,\pi} = n\,\hbar$$



$$\boxed{L = n\,\hbar}$$

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

Valores discretos: momento angular quantizado !

Modelo do átomo de Bohr : o hidrogênio

Postulados :

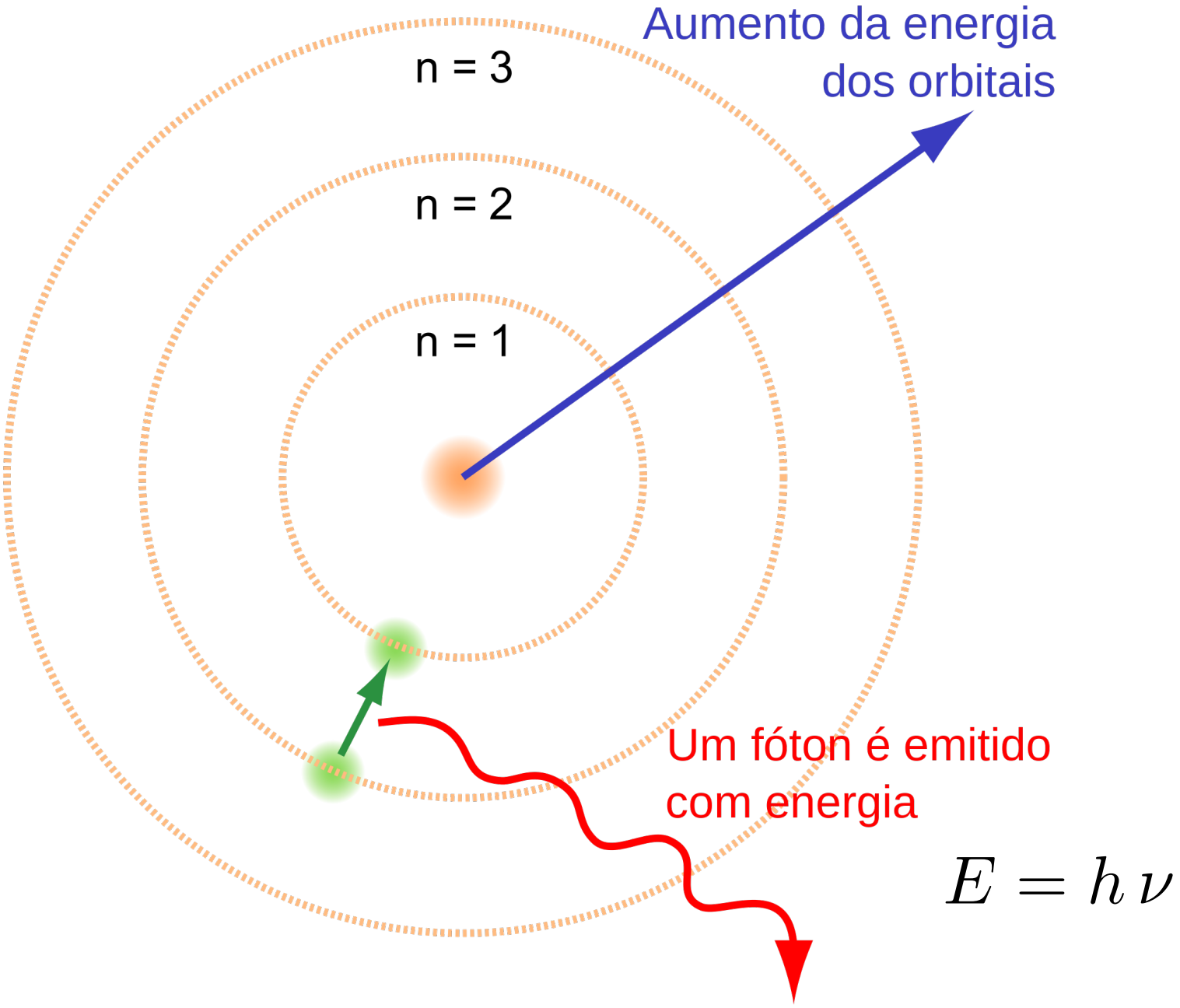
1) Elétron executa órbitas circulares

2) Só são permitidas as órbitas em que $L = n\,\hbar$

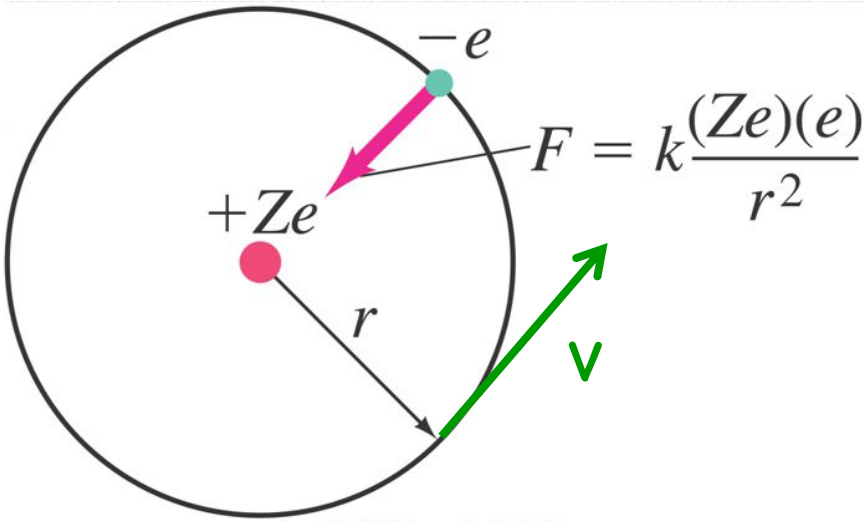
3) Elétron não irradia ! A energia é constante.

4) A emissão de energia (fóton) ocorre quando o elétron

"salta" de órbita mais energética para uma menos energética


Aumento da energia
dos orbitais
n = 3
n = 2
n = 1
Um fóton é emitido
com energia

$$E = h\,\nu$$



$$F = m\,a$$

$$F = \frac{Z e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\,r^2} \qquad a = \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{m v^2}{r} = \frac{Z\,e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\,r^2} \longrightarrow m\,v^2 = \frac{Z\,e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\,r}$$

$$L = m\,v\,r = n\,\hbar \longrightarrow m\,v^2 = \frac{n^2\,\hbar^2}{m\,r^2}$$

$$r = 4\,\pi\,\epsilon_0\,\frac{n^2\,\hbar^2}{Z\,m\,e^2}$$

$$v = \frac{Z\,e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0}\,\frac{1}{n\,\hbar}$$

Energia Potencial

$$U = q\,V \qquad \begin{cases} V = \dfrac{Z\,e}{4\,\pi\,\epsilon_0}\,\dfrac{1}{r} \\ q = -\,e \end{cases} \longrightarrow \quad U = -\,\frac{Z e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0}\,\frac{1}{r}$$

Energia Cinética

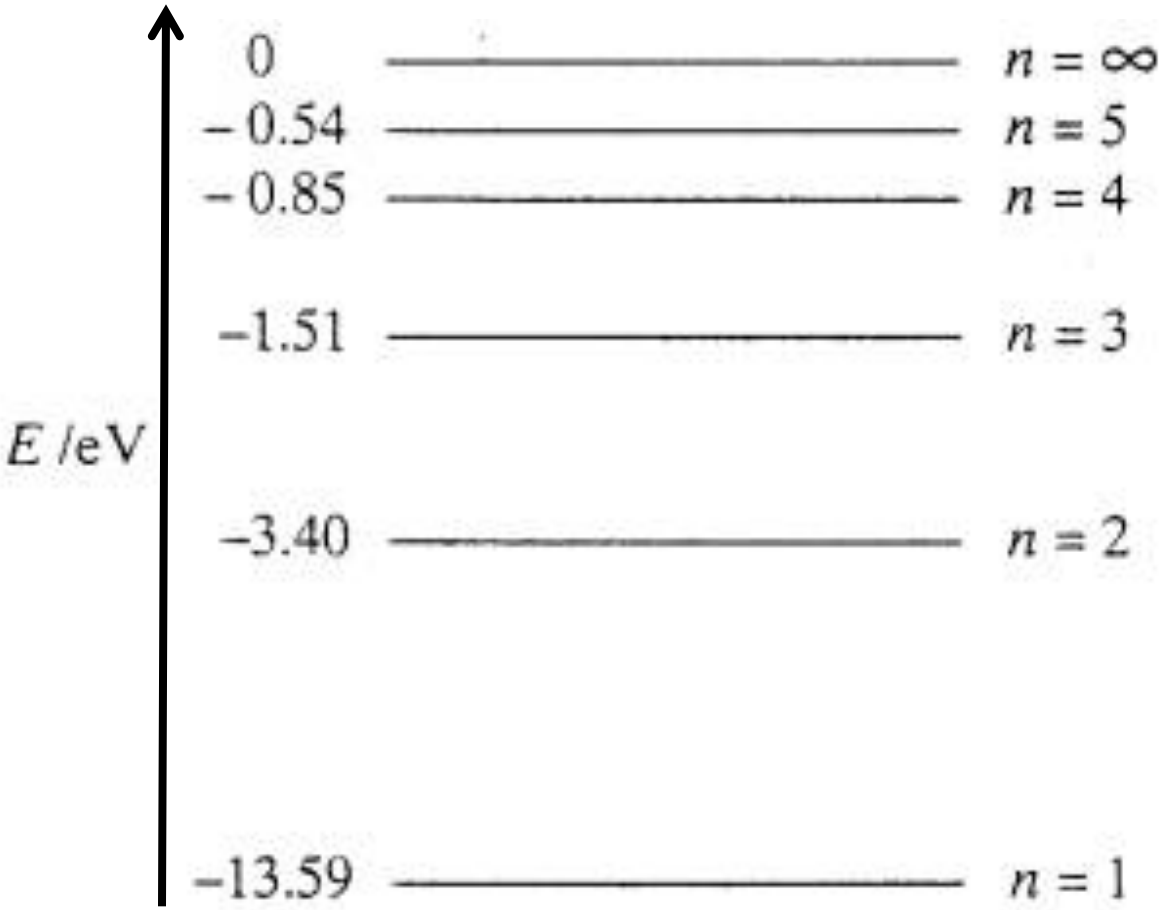
$$K = \frac{1}{2}\,m\,v^2 \qquad \begin{cases} \dfrac{m v^2}{r} = \dfrac{Z\,e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\,r^2} \end{cases} \longrightarrow \quad K = \frac{Z e^2}{8\,\pi\,\epsilon_0}\,\frac{1}{r}$$

Energia Total

$$E = K + U = -\,\frac{Z e^2}{8\,\pi\,\epsilon_0}\,\frac{1}{r}$$

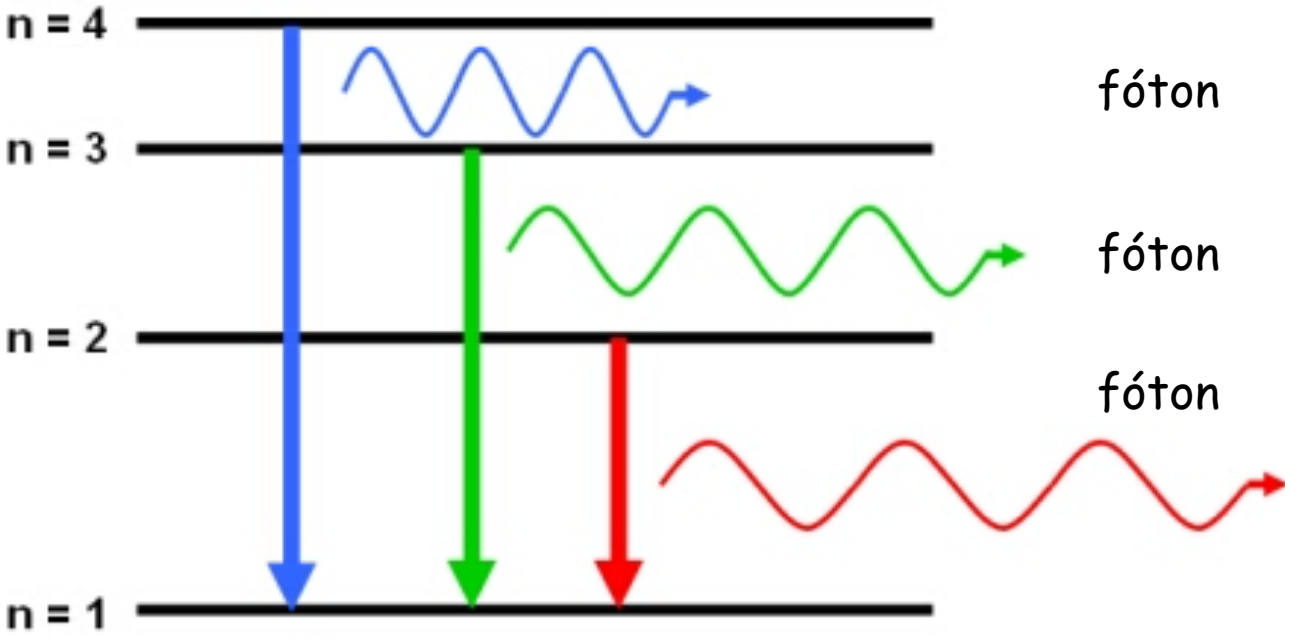
$$\boxed{E = -\,\frac{m}{2}\left(\frac{Z\,e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\,\hbar}\right)^2\,\frac{1}{n^2}}$$

Níveis de energia do átomo de hidrogênio



$$1\,\mathrm{e\,V} = 1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{Joule}$$

Transição de níveis de energia e emissão de fotons

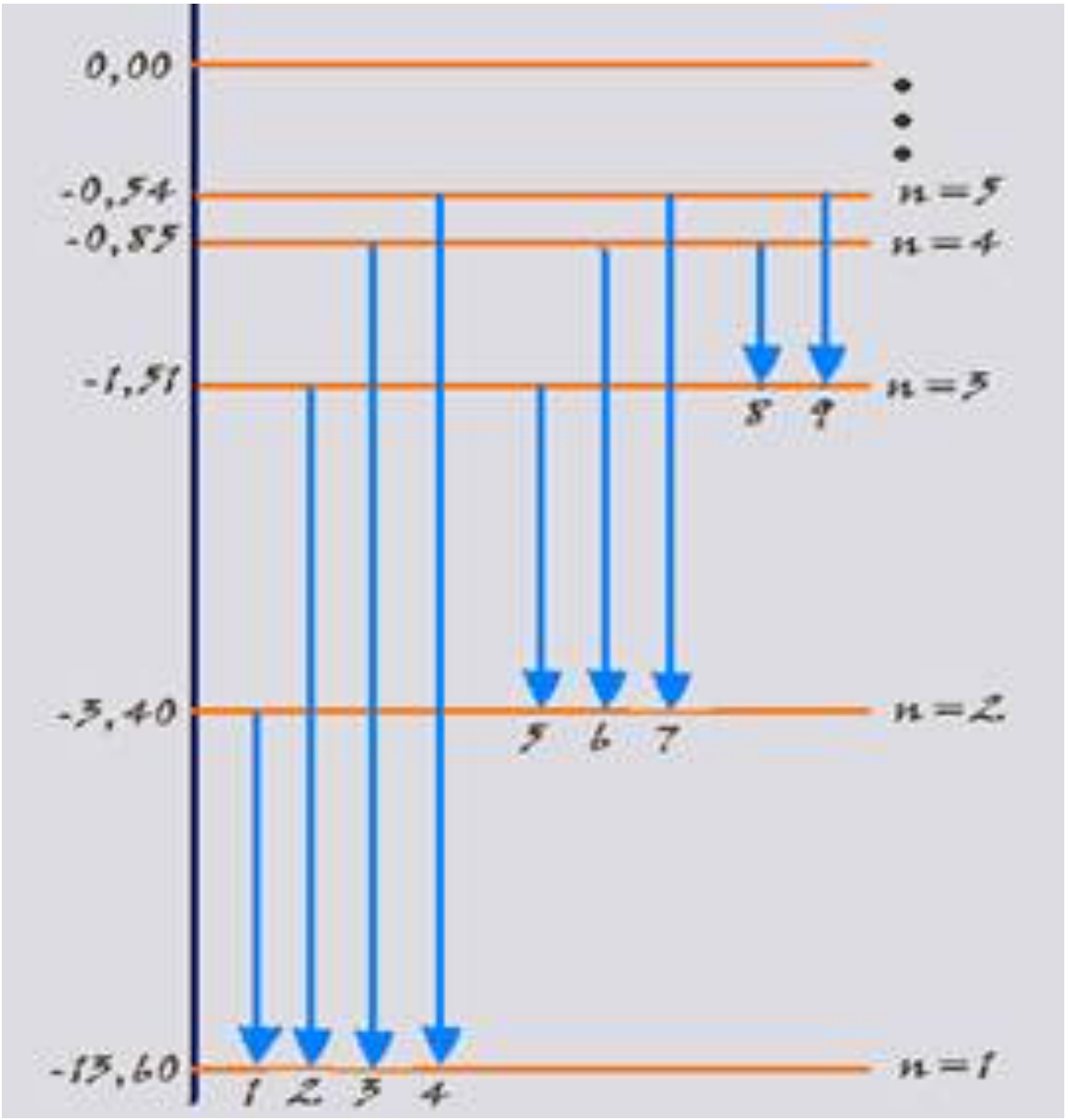


$$E_i - E_f = h\nu$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m}{4\,\pi\,\hbar\,c}\left(\frac{e^2}{4\,\pi\,\epsilon_0\hbar}\right)^2 Z^2\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) = R\;Z^2\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Séries do átomo de hidrogênio



Paschen

Balmer

Lyman

Espectroscopia

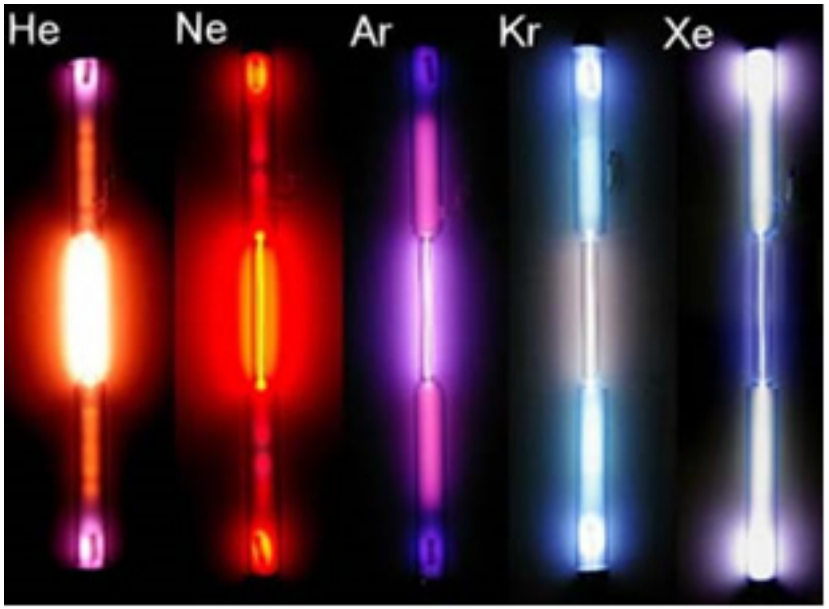
Átomos excitados emitem luz. Luz de várias cores.

Cada cor corresponde a uma frequência (e um comprimento de onda).

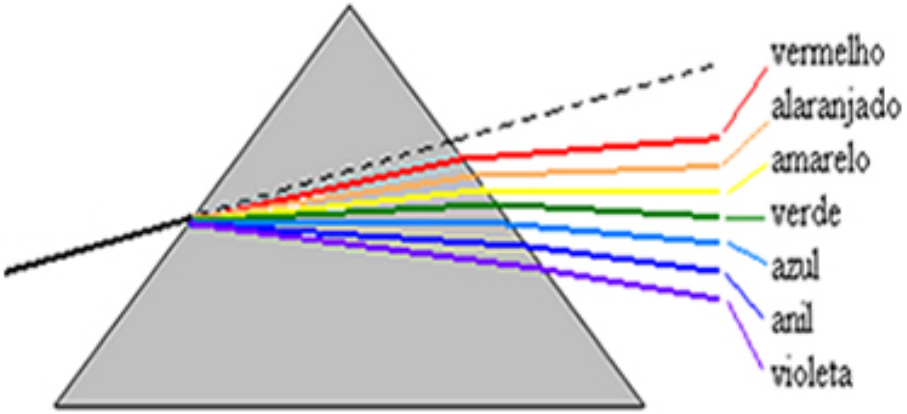
Espectro = conjunto de frequências de luz emitidas por um átomo

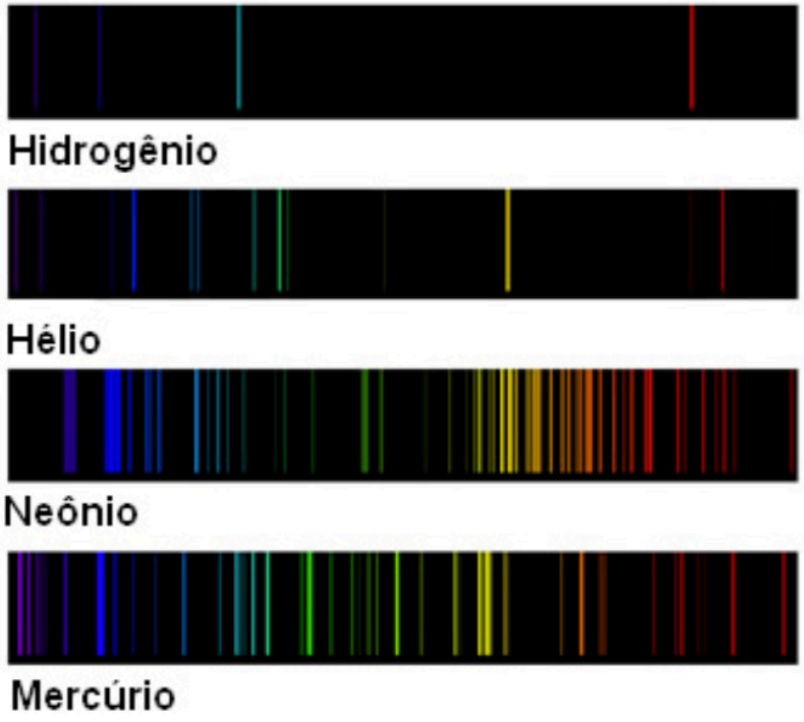
Cada átomo tem seu espectro,
sua "assinatura",
seu "código de barras"...

Medindo a luz (radiação)
de um objeto
podemos determinar a sua composição



Linhas espectrais





Luz revela a identidade !

Luz revela a temperatura !

Princípio da incerteza

$$\vec{p} = p_x\,\hat{i} + p_y\,\hat{j} + p_z\,\hat{k}$$

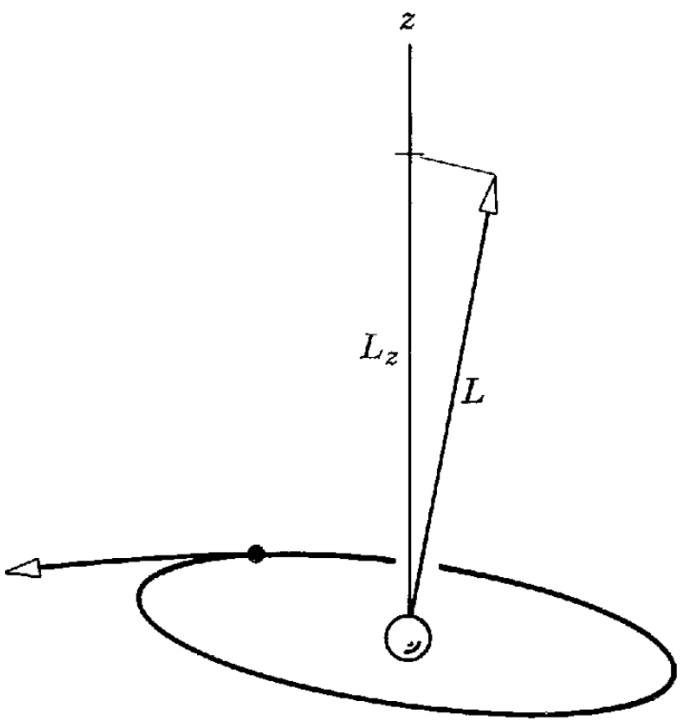
$$\vec{r} = x\,\hat{i} + y\,\hat{j} + z\,\hat{k}$$

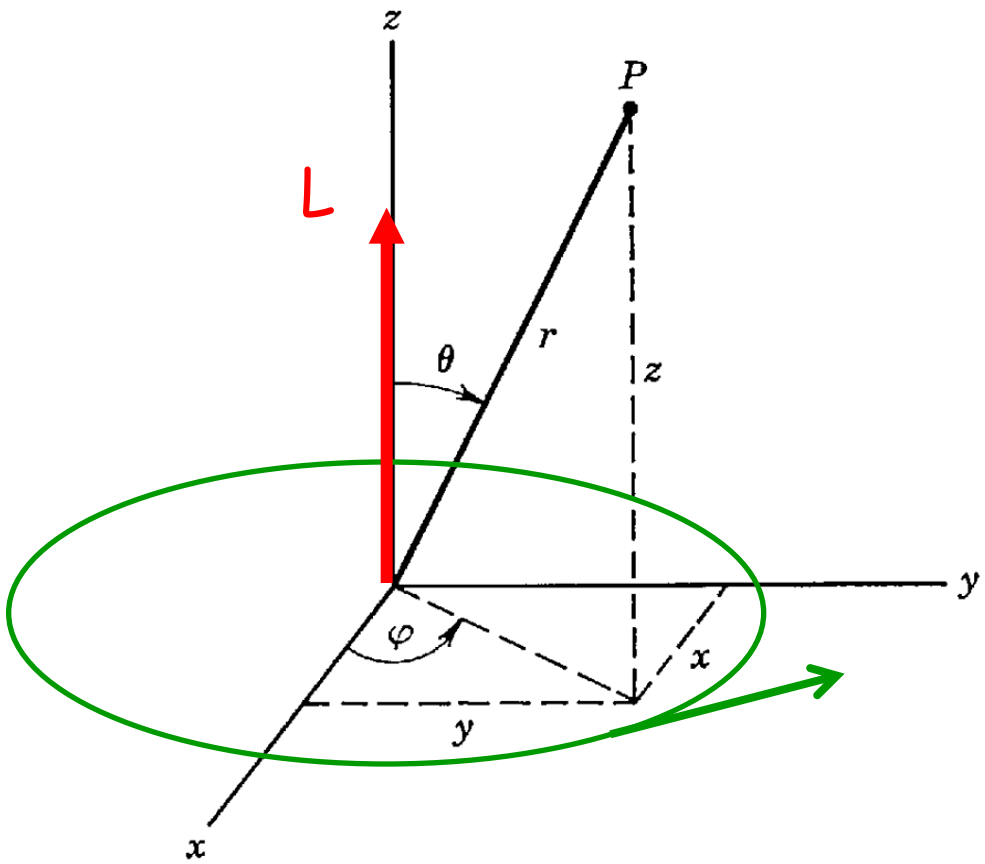
Δx incerteza na coordenada x

Δp_x incerteza na componente x do momento

$$\Delta x\,\Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \qquad \Delta y\,\Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2} \qquad \Delta z\,\Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$$

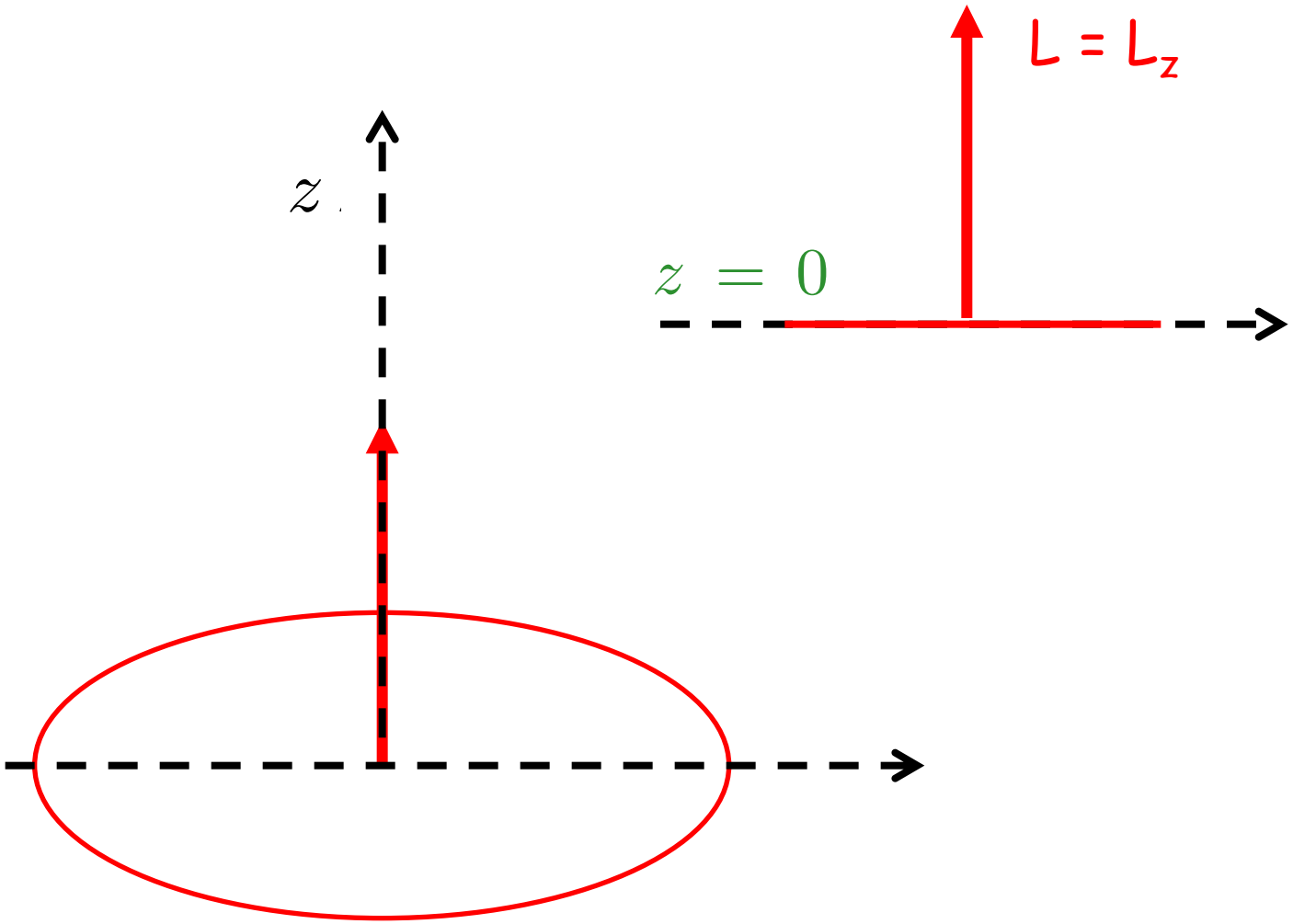
Momento angular de uma partícula

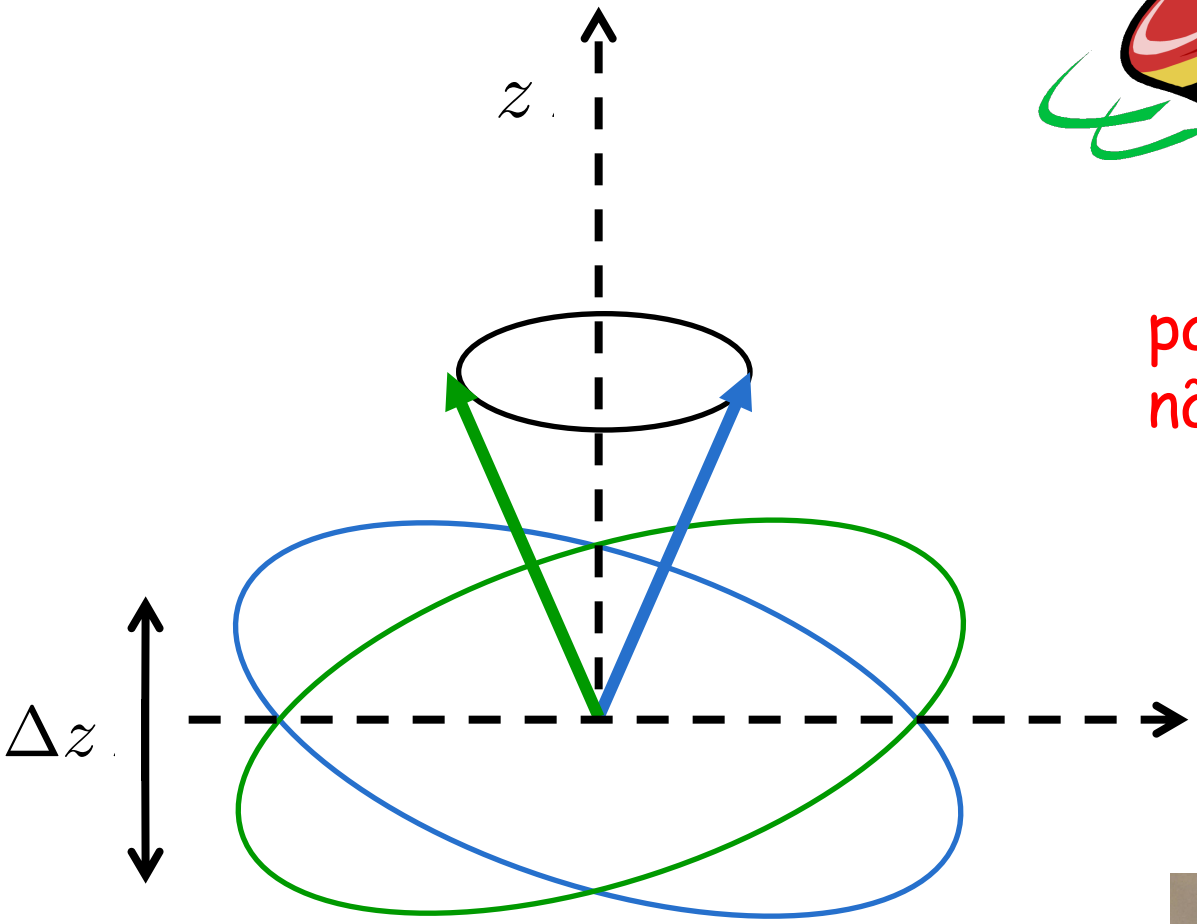




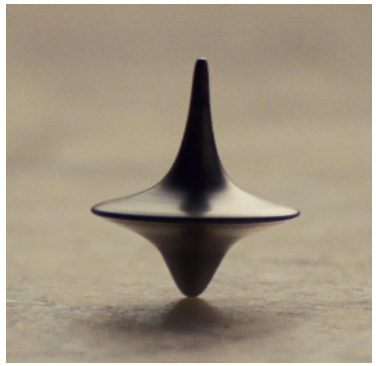
$$z = 0 \qquad p_z = 0 \longrightarrow \Delta z \,.\, \Delta p_z = 0$$

Princípio da incerteza: impossível "alinhar" L e L_z !


$L = L_z$
z
$z = 0$



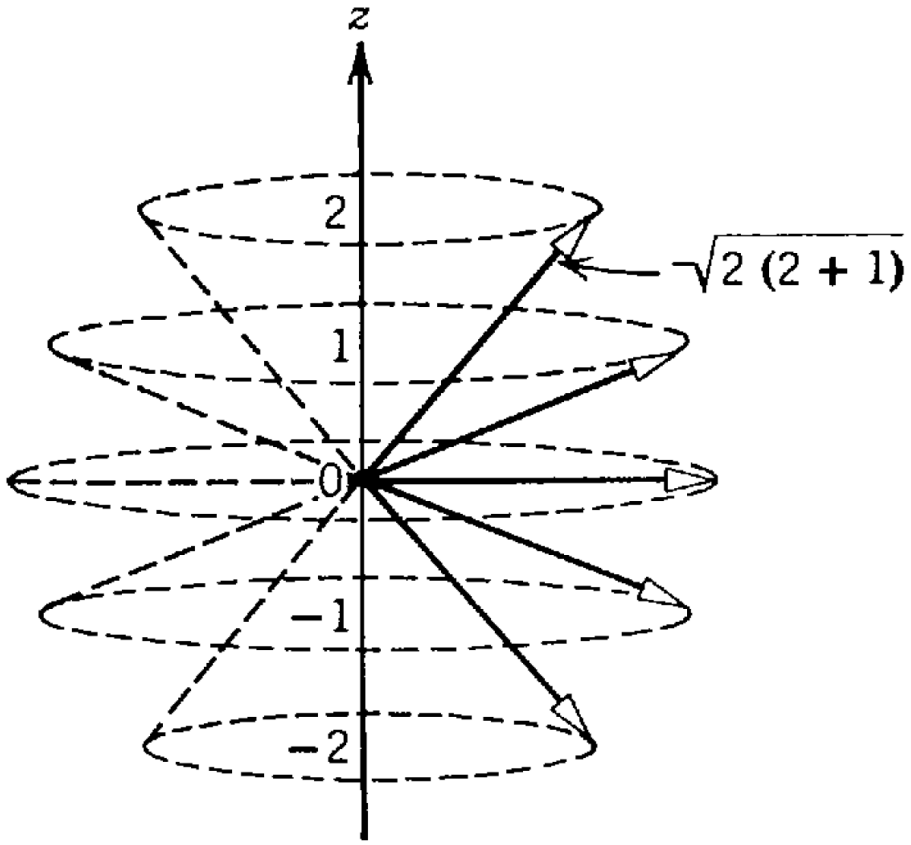
parece mas
não é pião !



"Nova mecânica quântica"

$$\begin{cases} L_z = m_l \hbar \\ L^2 = l(l+1)\hbar^2 \end{cases}$$

$l = 0, 1, 2, \ldots$ inteiro

$-l \leq m_l \leq l$ inteiro

$$L = \sqrt{l(l+1)}\,\hbar$$