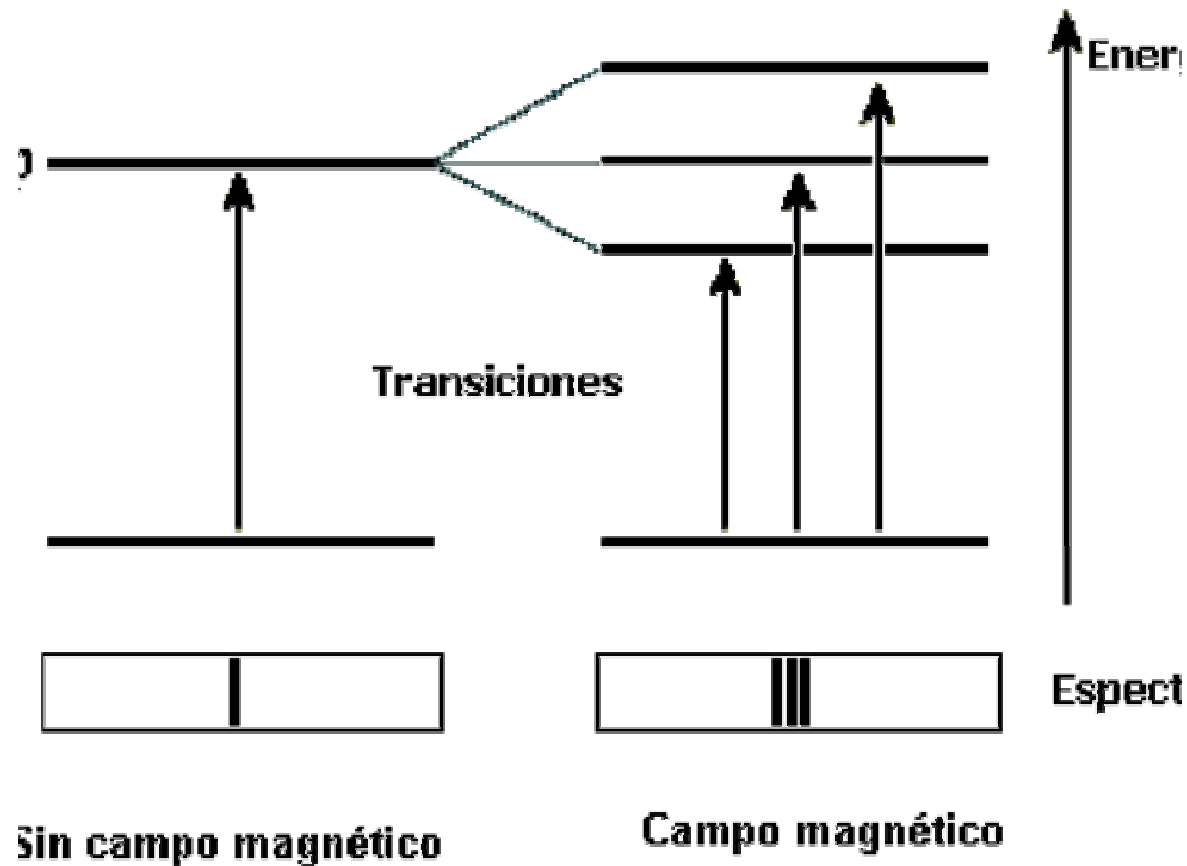
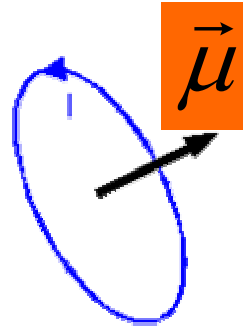


## *El Efecto Zeemann*

Subdivisión de los niveles de energía atómica y del espectro de líneas asociado cuando los átomos se colocan en presencia de un campo magnético



Momento dipolar magnético



$$\vec{\mu} = I\vec{A}$$

Cuando un dipolo magnético se coloca en presencia de un campo magnético, el campo ejerce un momento de torsión sobre el dipolo

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

La energía potencial asociada a esa interacción está dada por

$$U_L = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

$$\mu = I * area = \frac{ev}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{evr}{2} = \frac{e}{2m} L$$

Razón Giromagnética

$$\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m}$$

$$\vec{\mu} = -\left(\frac{e}{2m}\right) \vec{L}$$

Magnetón de Bohr

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

$$\mu_B = 5,778 * 10^{-5} eV / T$$

Así la energía de interacción esta por

$$U_L = -\mu_B \vec{L} \cdot \vec{B}$$

Escogemos el campo en la dirección del eje z y la energía de interacción magnética pasa a ser

$$U_L = -\left(-\frac{e}{2m} L_z\right) B = \frac{e}{2m} m_l \hbar B$$
$$U_L = \mu_B m_l B, \quad m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

La energía de un átomo de Hidrogeno en presencia de un campo magnético

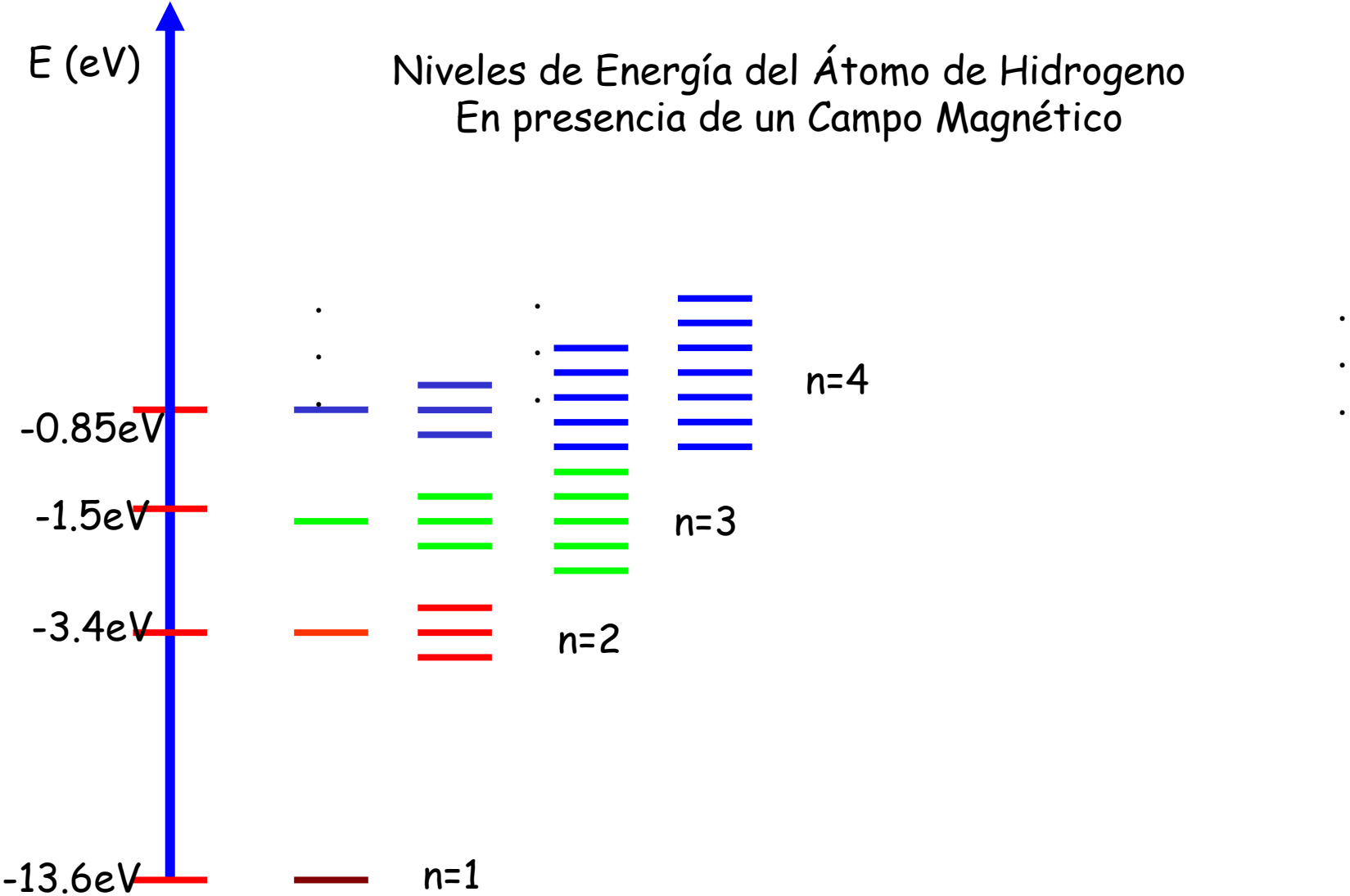
$$E_n' = E_{0n} + \mu_B m_l B$$

con

$$E_{0n} = - \left( \frac{me^4}{2\hbar^2 (4\pi\epsilon_0)^2} \right) \frac{1}{n^2}$$

La energía del átomo de Hidrogeno sin interacción

Niveles de Energía del Átomo de Hidrogeno  
En presencia de un Campo Magnético



$$E_d \text{ ————— } B = 0$$

$$E_d' = E_{0d} + \mu_B m_l B, \quad m_l = -2, -1, 0, 1, 2$$

$$\begin{array}{l} \text{—————} +2\mu_B B \\ \text{—————} +1\mu_B B \\ \text{—————} 0 \\ \text{—————} -1\mu_B B \\ \text{—————} -2\mu_B B \end{array}$$

$$B \neq 0$$

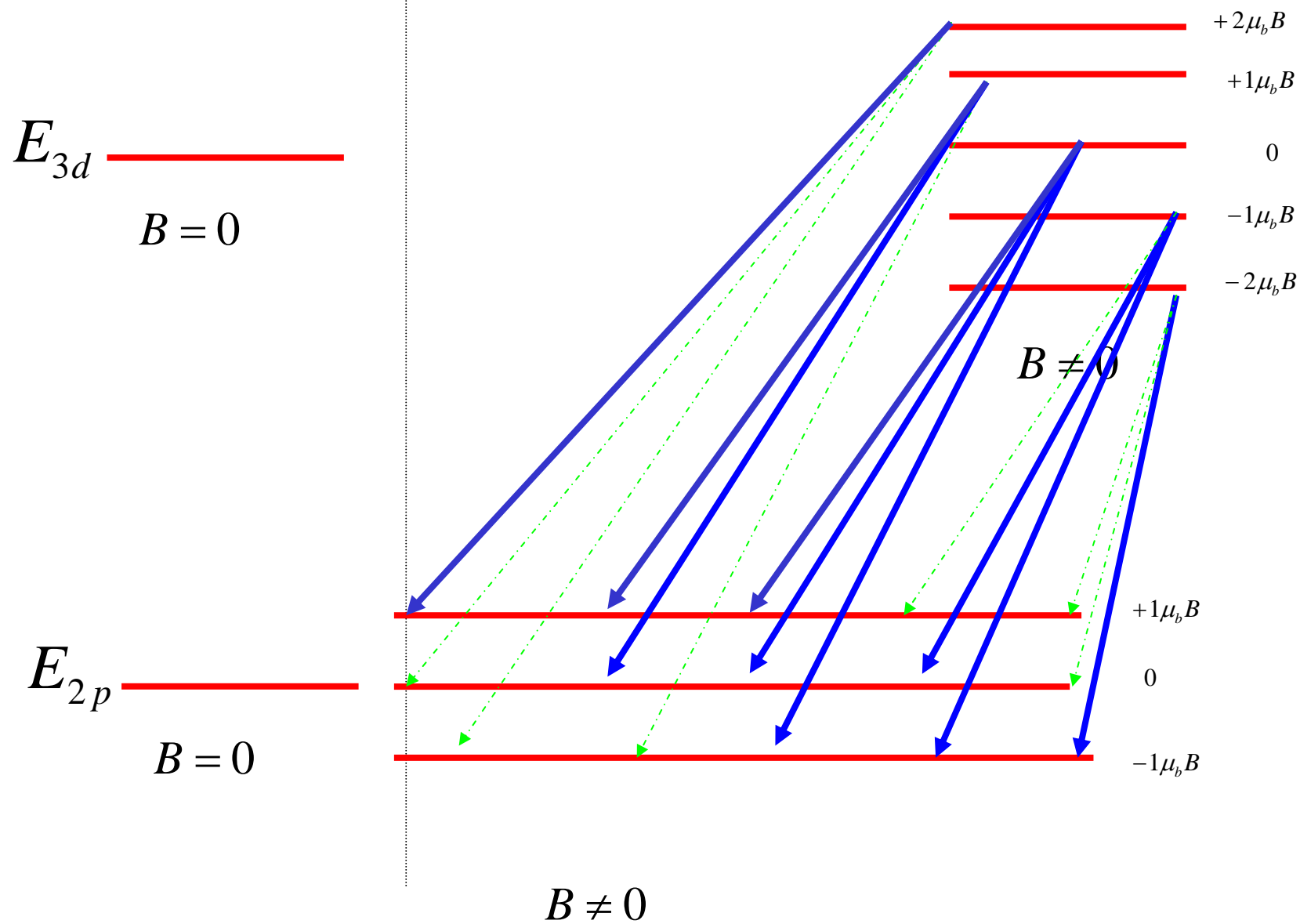
¿Transiciones?

No todas las transiciones están permitidas existen reglas de selección

$$\Delta L = \pm 1,$$

$$\Delta m_l = 0 \text{ ó } 1$$

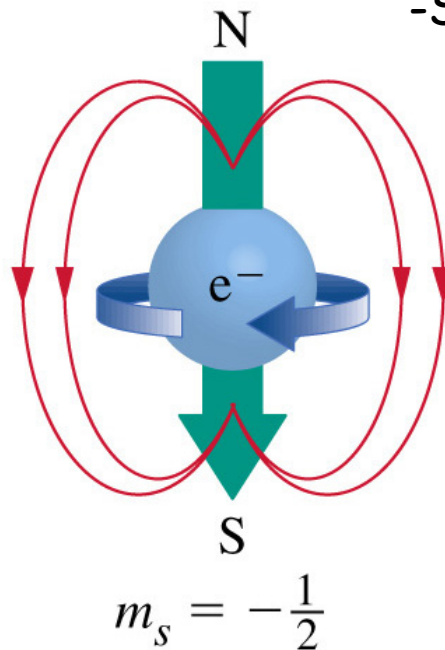
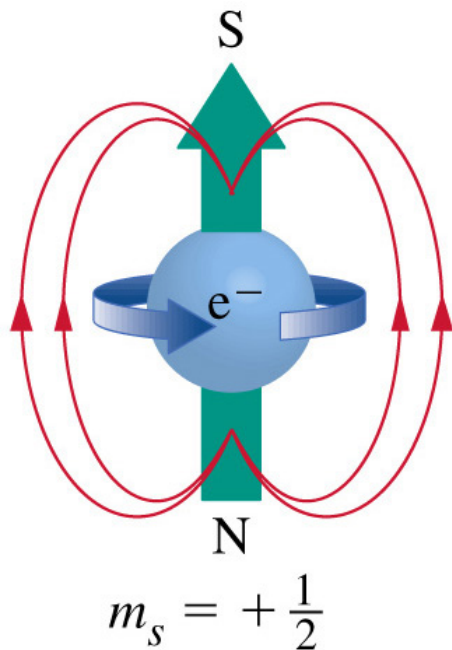
# Ejemplo de Transiciones Permitidas





# El Spin del electrón

En 1928 fue descubierto que un electrón tiene un momento angular INTRINSECO, o SPIN



-Propiedad Fija  
-Spin toma valores discretos

$$s^2 = s(s+1)\hbar^2,$$

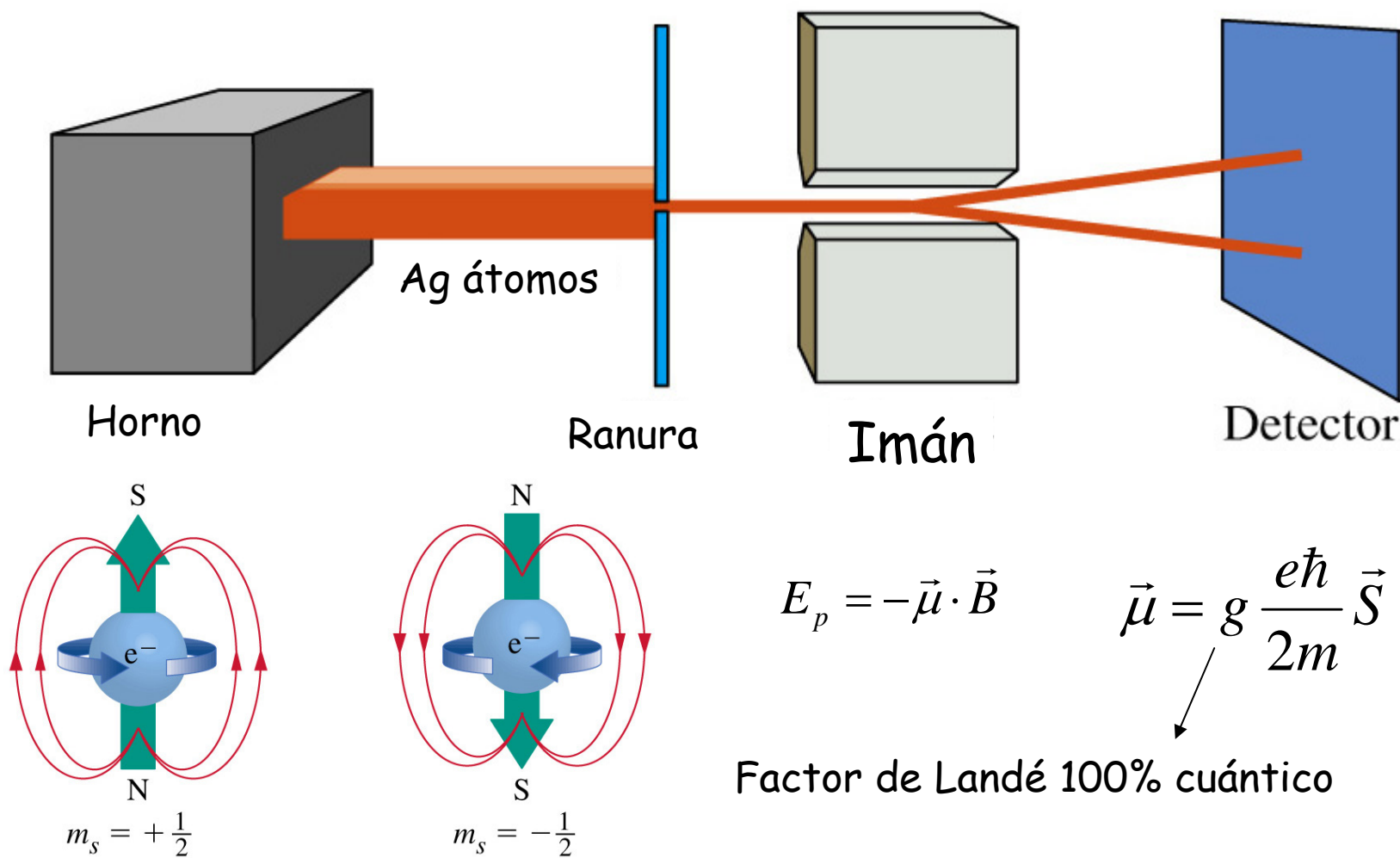
$$s = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \dots$$

-Naturaleza del spin, es Puramente CUÁNTICA  
-Componente z del spin

$$S_z = m_s \hbar,$$

$$m_s = -s, -s+1, \dots, s-1, +s$$

# Experimento de Stern-Gerlach



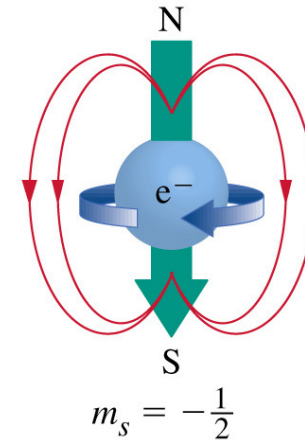
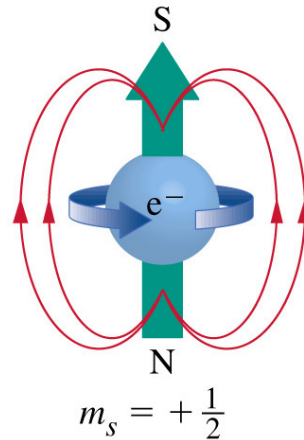
$$E_p = g\mu_B \vec{S} \cdot \vec{B}$$

Tomamos campo magnético a lo largo del eje z

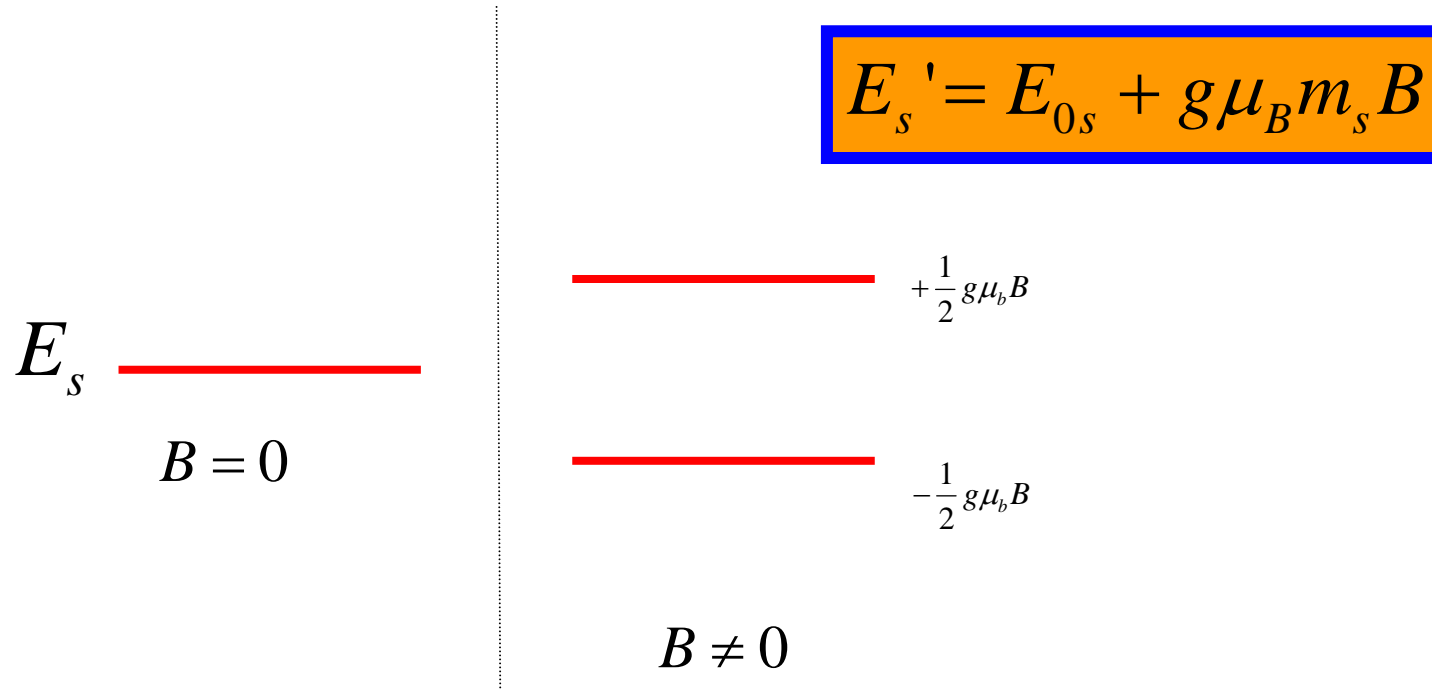
$$E_p = g\mu_B m_s B$$

Por lo tanto electrón

$$E_p = \begin{cases} +\frac{1}{2} g\mu_B B \\ -\frac{1}{2} g\mu_B B \end{cases}$$



## Energía de Interacción Magnética del espín



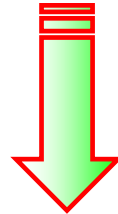
## Energía de Interacción Magnética Orbital y del espín

$$E_n' = E_{0n} + \mu_B m_l B + g\mu_B m_s B$$

# *Interacción Espín Orbita*

"Movimiento del electron alrededor del nucleo (Bohr) se puede interpretar como una corriente eléctrica la que genera un campo magnético que interactúa con el espín"

La energía de interacción puede expresarse en función del producto escalar de los vectores momentum angular y de espín



ACOPLAMIENTO ESPÍN-ORBITA

$$U_{sl} = a\vec{S} \cdot \vec{L}$$



Sodium

589.0nm y 589.6nm

Momentum angular total

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

con  $J = \sqrt{j(j+1)}\hbar$

Podemos tener estados con  $j = \left| l \pm \frac{1}{2} \right|$

$l + \frac{1}{2}$   $\vec{L}$  y  $\vec{S}$  Tiene componente z paralela

$l - \frac{1}{2}$   $\vec{L}$  y  $\vec{S}$  Tiene componente z ANTI-paralela

EJEMPLO

$$l = 1,$$

$$j = \begin{cases} 1/2 \\ 3/2 \end{cases}$$

$$^2P_{1/2}$$

$$^2P_{3/2}$$

Estructura Fina:

Diversas subdivisiones de líneas que resultan de las interacciones magnéticas

Estructura Hiperfina:

Subdivisiones muchos más pequeñas que surgen del hecho que el núcleo tiene un momento dipolar magnético  
Que interactúa con el momento angular orbital y/o con el espín de los electrones