

INTRODUCCION A LA FISICA DE PARTICULAS ELEMENTALES

Gilberto Tetlalmatzi-Xolocotzi

Clase maestra en ALICE

CPPS, Theoretische Physik 1,
Universität Siegen



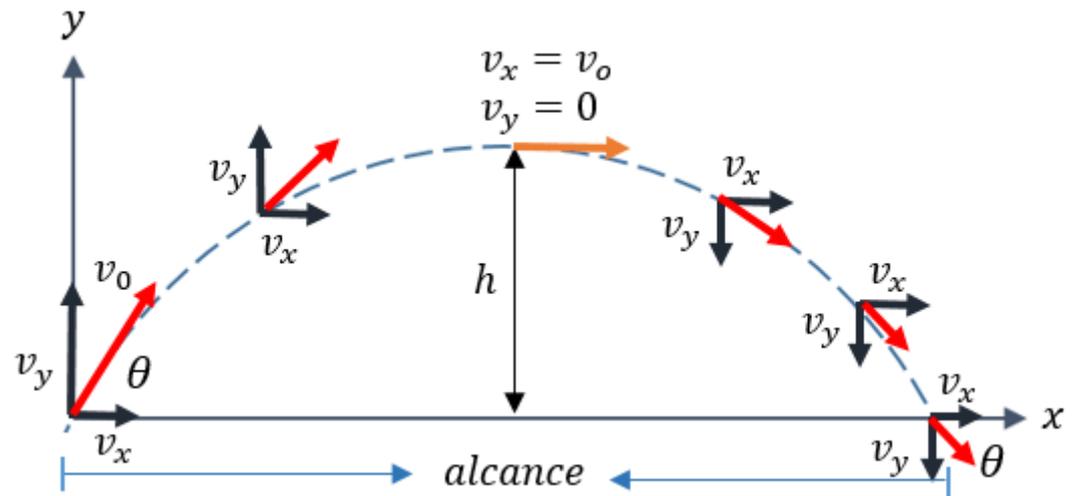
INTRODUCCION

FISICA CLASICA

$$\Delta \vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \quad \vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{x} = \frac{\vec{a}}{2} t^2 + \vec{v}_i t + \vec{x}_i \quad \vec{F} = \frac{\Delta(m \vec{v})}{\Delta t}$$

$$E = \frac{m v^2}{2} + V$$

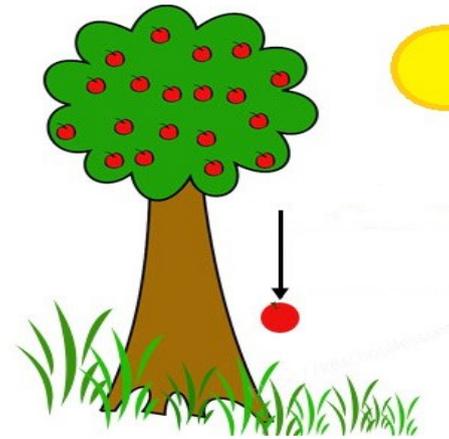
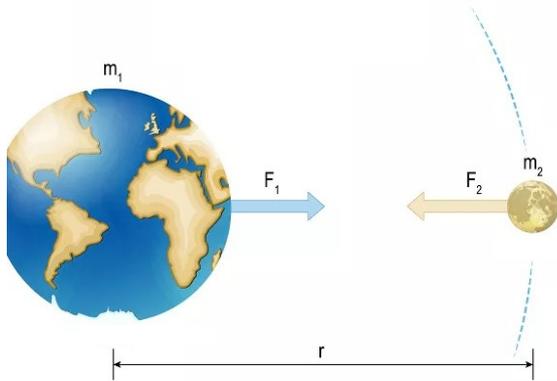


Ecuaciones deterministas

FUERZA GRAVITACIONAL

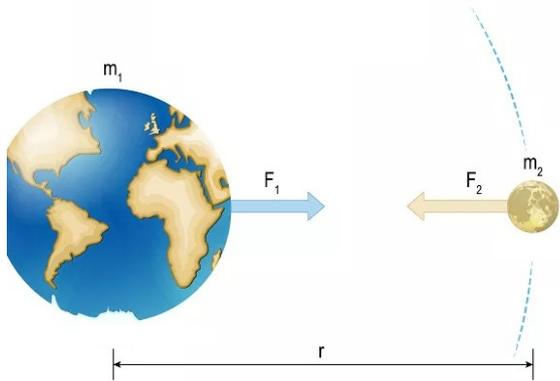
$$\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}$$

$$\vec{F} = \frac{-(G m_1 m_2)}{r^2} \hat{e}_r$$



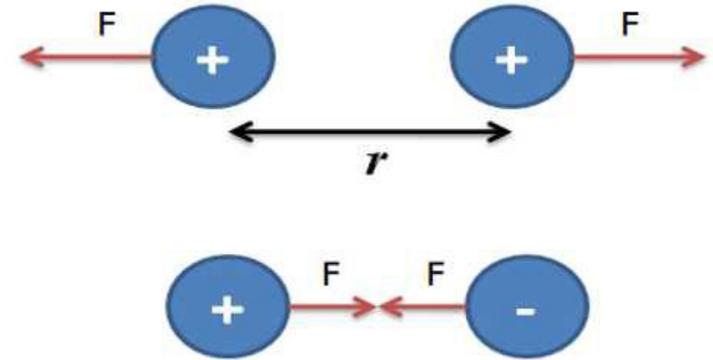
FUERZA GRAVITACIONAL

$$\vec{F} = \frac{-(G m_1 m_2)}{r^2} \hat{e}_r = m_1 \left(\frac{-(G m_2)}{r^2} \hat{e}_r \right) = m_1 \vec{g}$$



FUERZA ELECTRICA

$$\vec{F} = \frac{(k q_1 q_2)}{r^2} \hat{e}_r$$

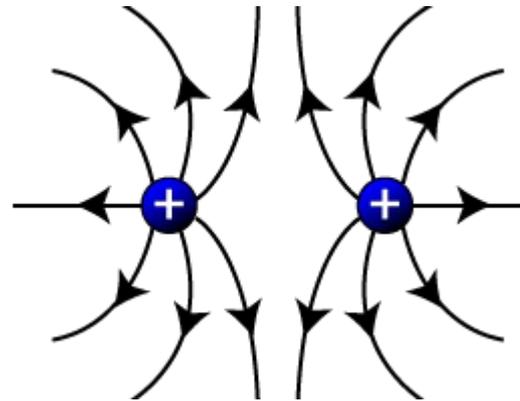
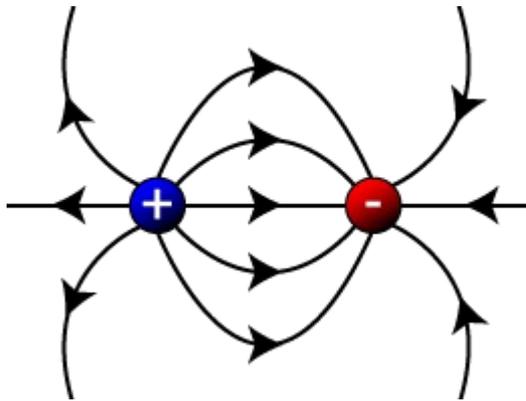
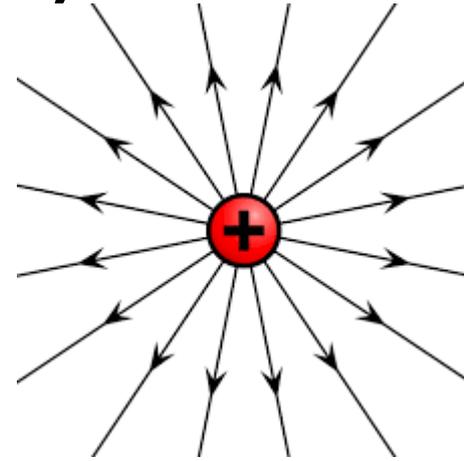


FUERZA ELECTRICA

Campo Eléctrico

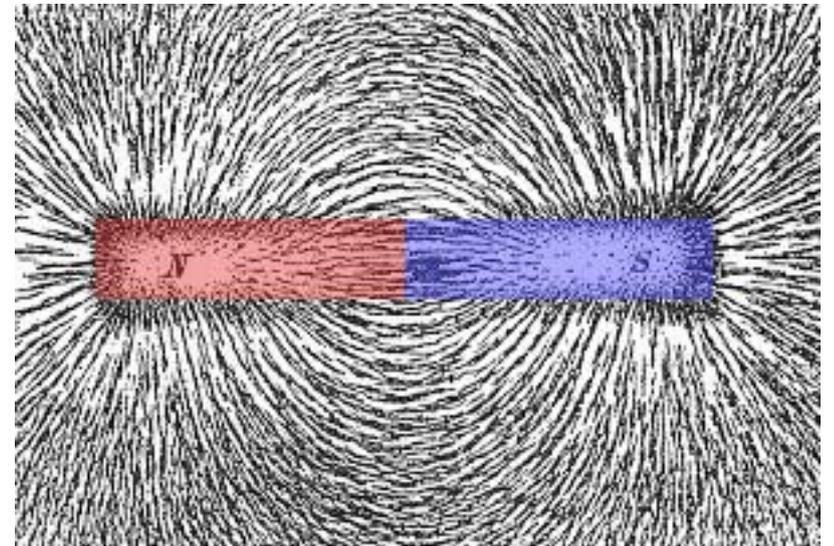
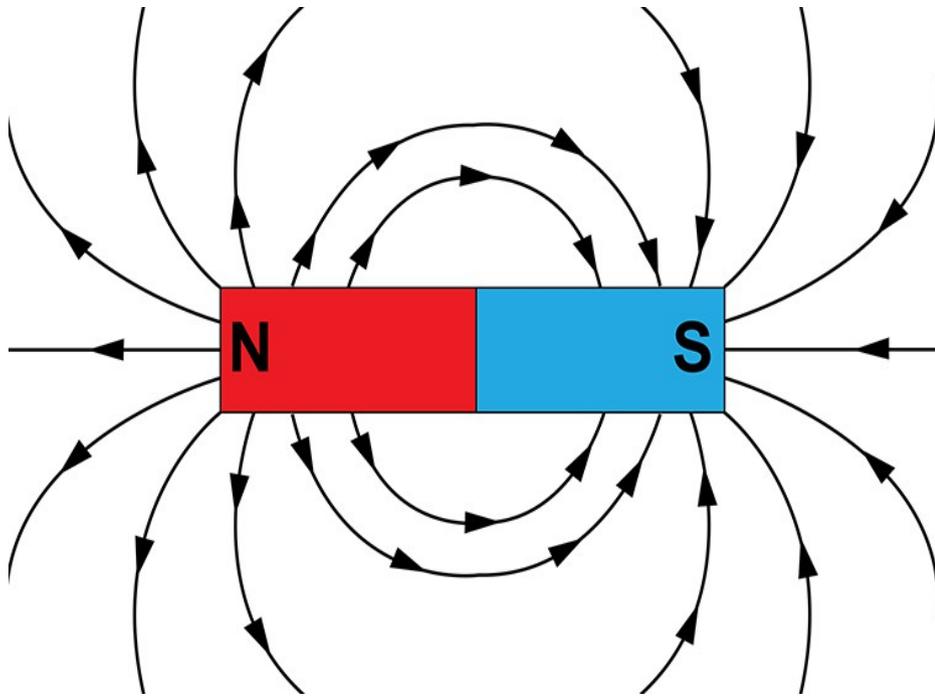
$$\vec{F} = \frac{(k q_1 q_2)}{r^2} \hat{e}_r = q_1 \frac{(k q_2)}{r^2} \hat{e}_r = q_1 \vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{(k q_2)}{r^2} \hat{e}_r$$



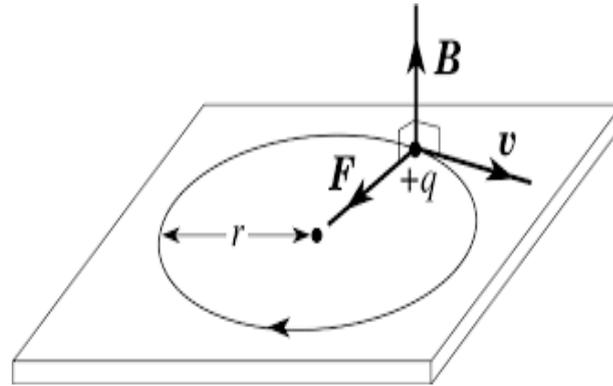
FUERZA MAGNETICA

Campo magnetico

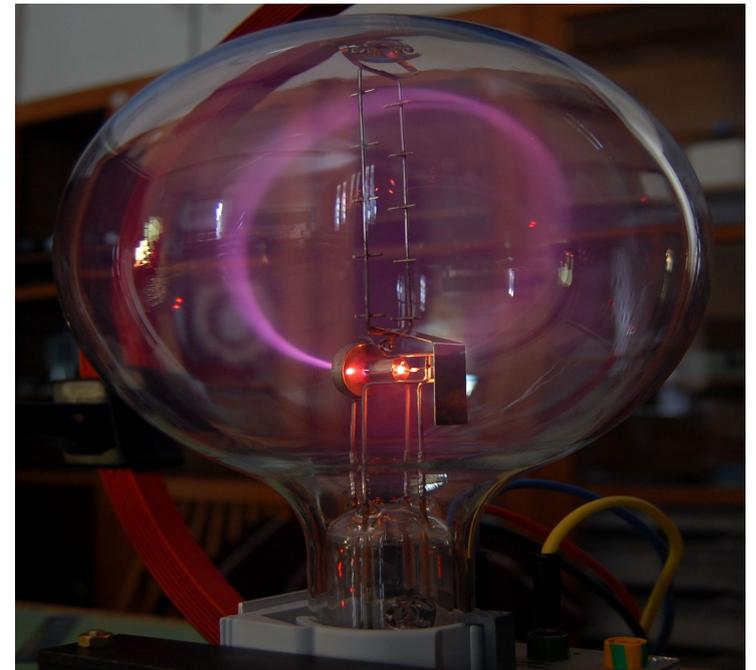
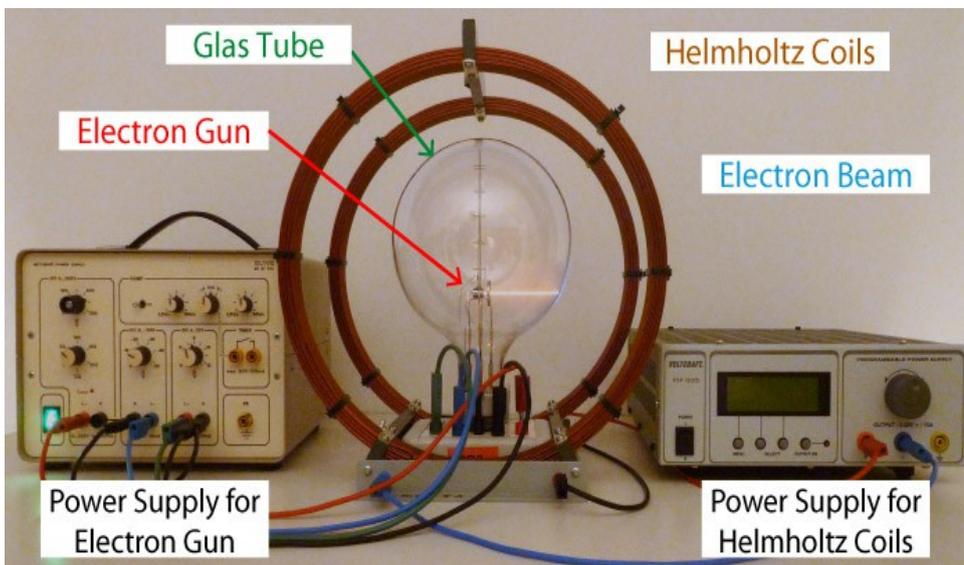


FUERZA MAGNETICA

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

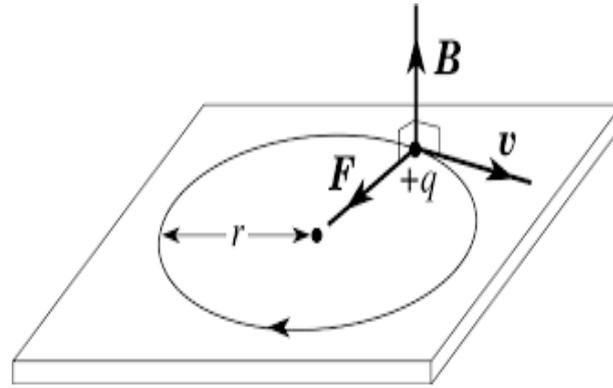


\vec{B} es el campo magnético



FUERZA MAGNETICA

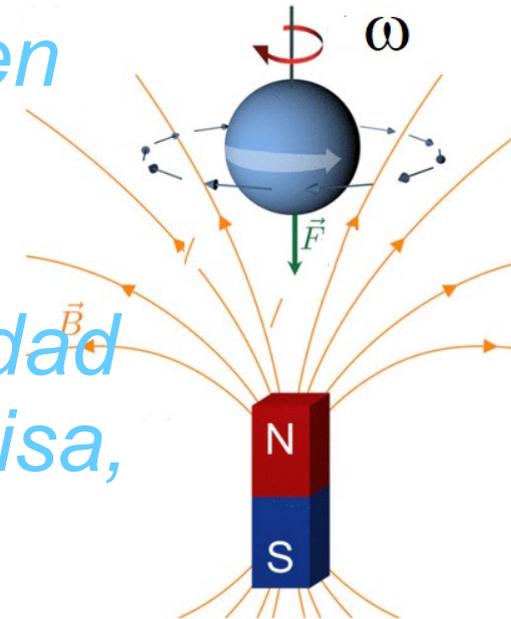
$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$



\vec{B} es el campo magnético

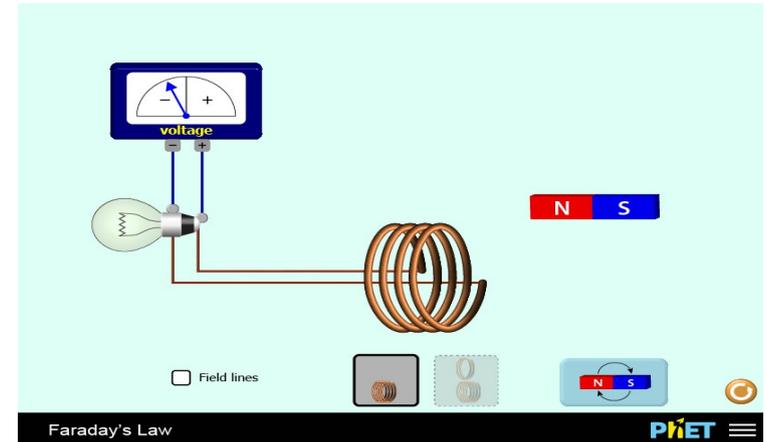
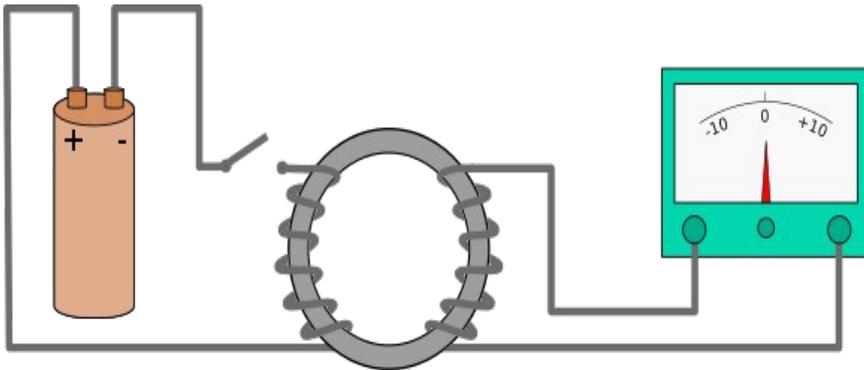
Una esfera cargada rotando en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza proporcional a la velocidad de rotación (en forma mas precisa, al momento angular)

$$F \propto \omega \quad F \propto I \omega = L$$



ELECTROMAGNETISMO

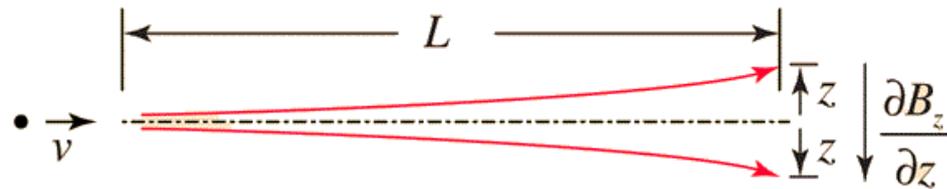
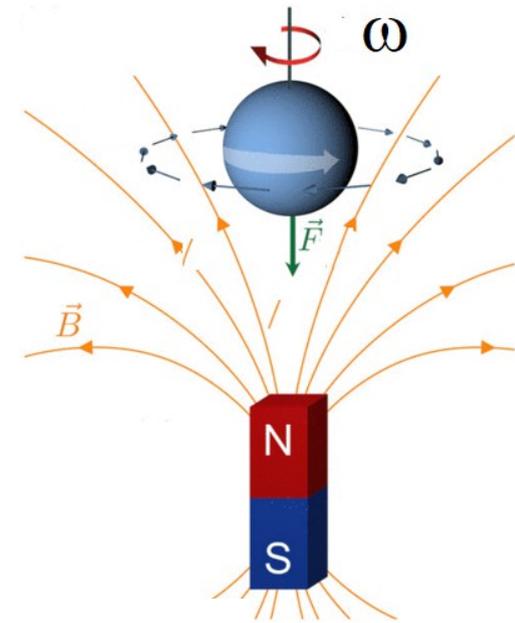
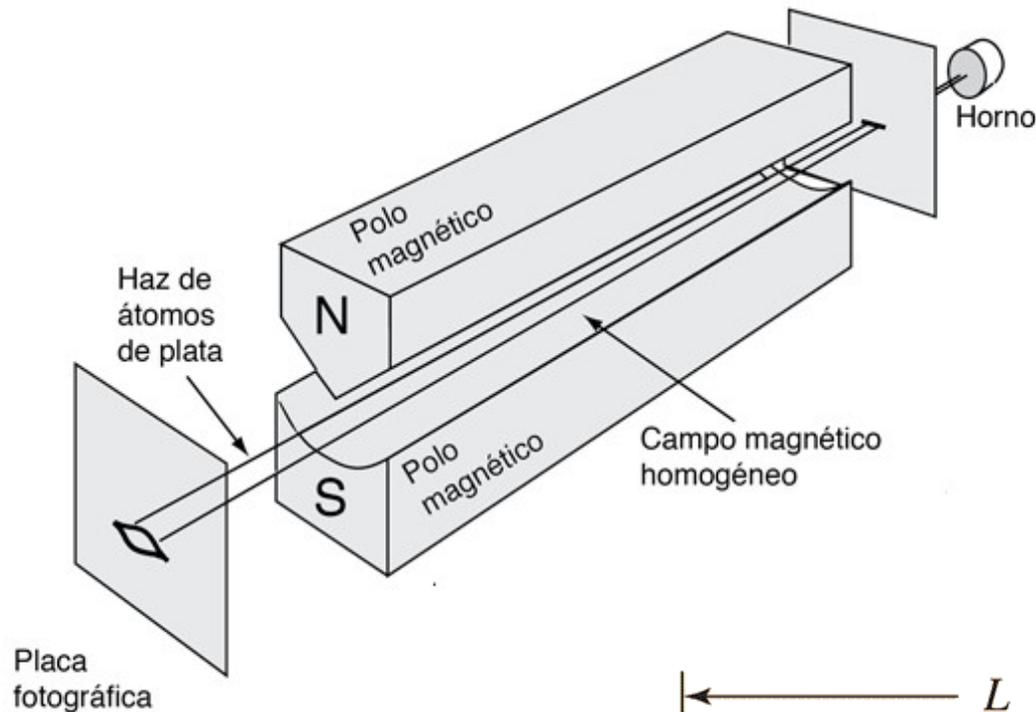
Los campos eléctricos y magnéticos son dos manifestaciones de un mismo fenómeno.



Campos magnéticos variables en el tiempo inducen campos eléctricos.

$$E_x \Delta x = \Delta (B_z * A) / \Delta t$$

DESCRIPCION CUANTICA



El experimento es sensible al momento angular del electrón mas externo en los átomos de plata

DESCRIPCION CUANTICA

Resultado
clásico

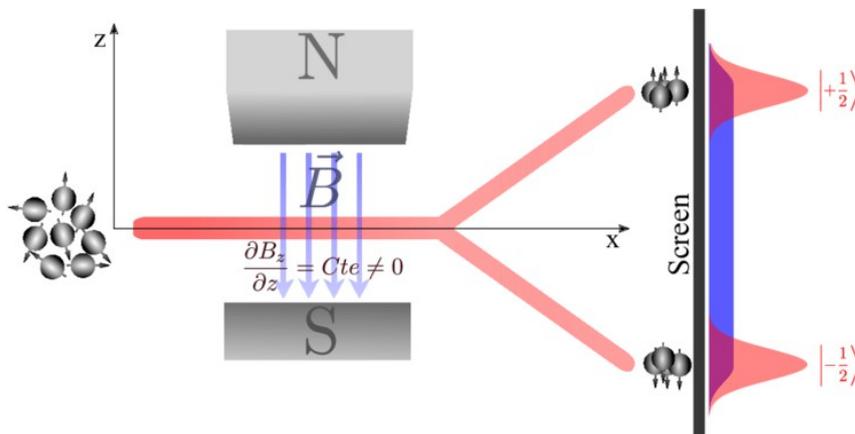


DESCRIPCION CUANTICA

Resultado clásico



Resultado medido

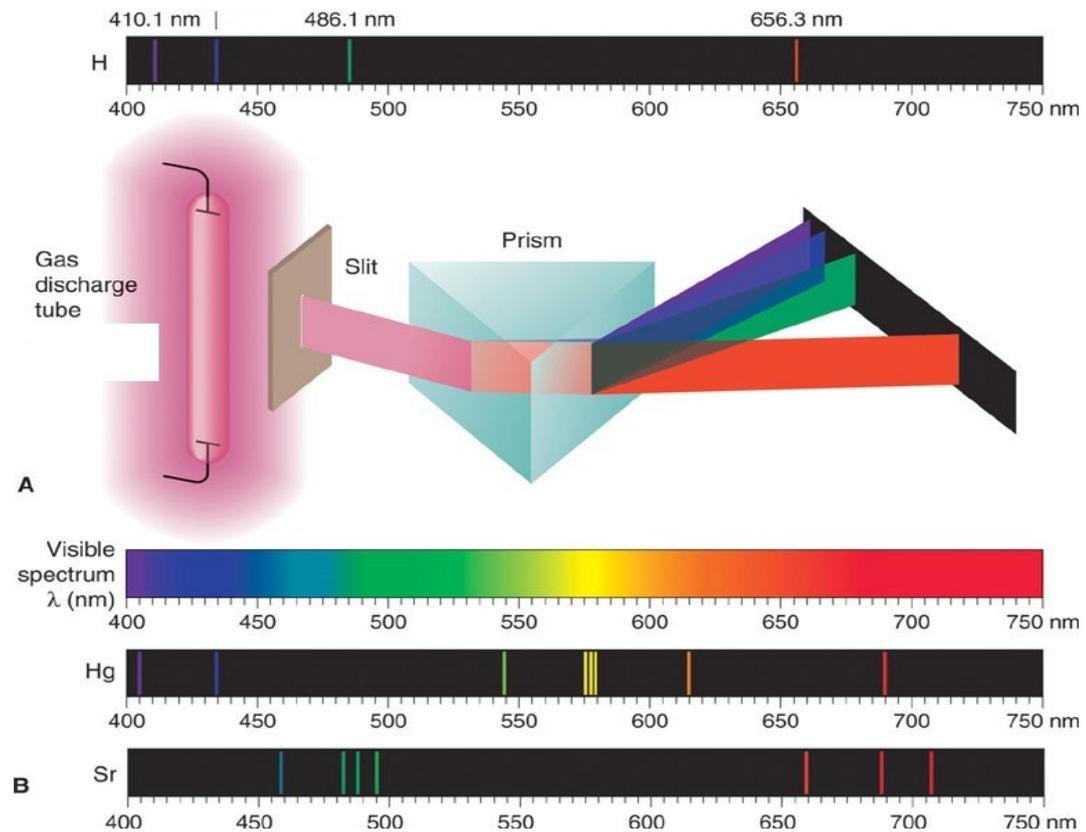


El momento angular del electrón solo puede asumir 2 valores discretos: esta cuantizado

Momento angular intrínseco del electrón: Spin (spin=1/2, fermión)

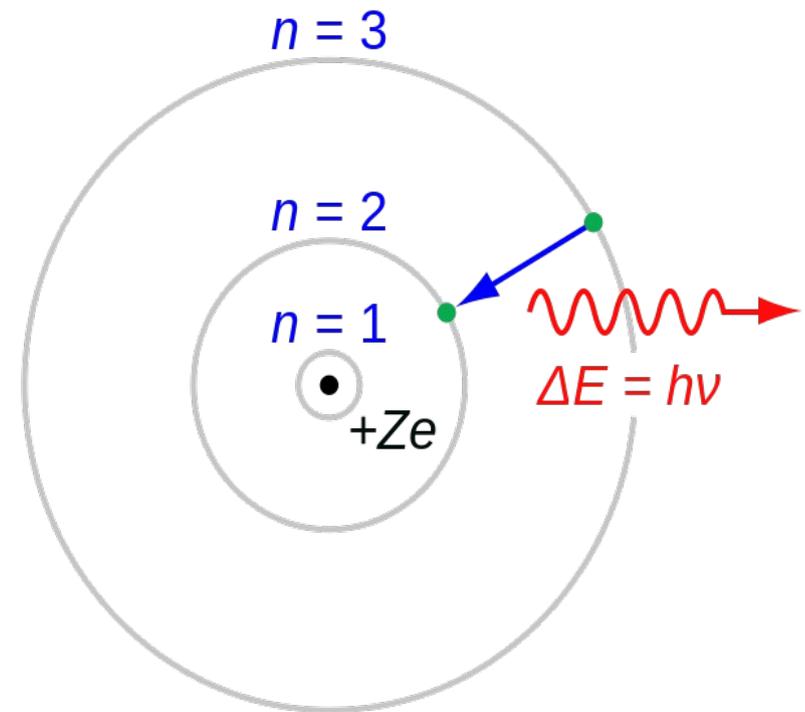
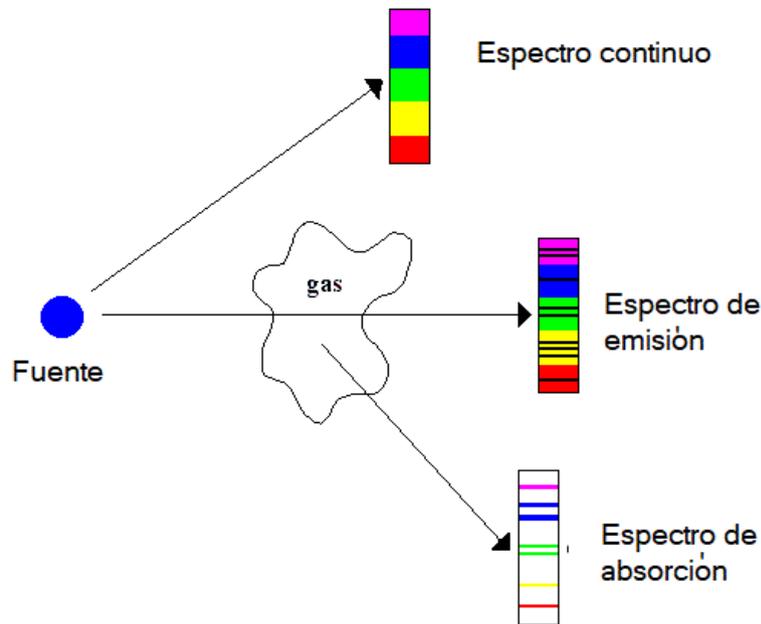
DESCRIPCION CUANTICA

Descomposición espectral



DESCRIPCION CUANTICA

Descomposición espectral



Los niveles de *energía* del electrón dentro del átomo están *cuantizados* (valores discretos).

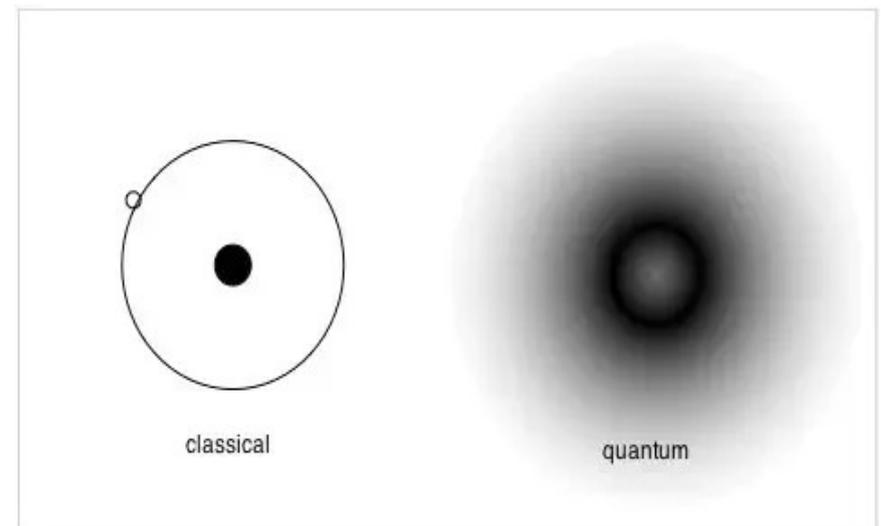
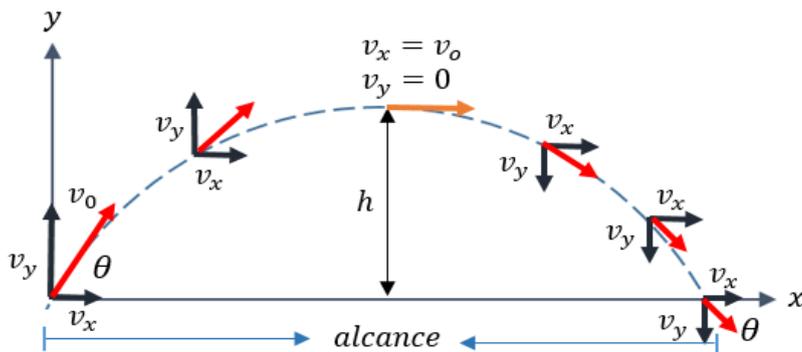
DESCRIPCION CUANTICA

La descripción de eventos subatómicos requiere un tratamiento probabilístico.

$$\Delta E \Delta t > \hbar/2$$

$$\Delta p \Delta x > \hbar/2$$

$$\hbar = 1.05 * 10^{-34} \text{ J*s}$$



*FISICA
DE
PARTICULAS*

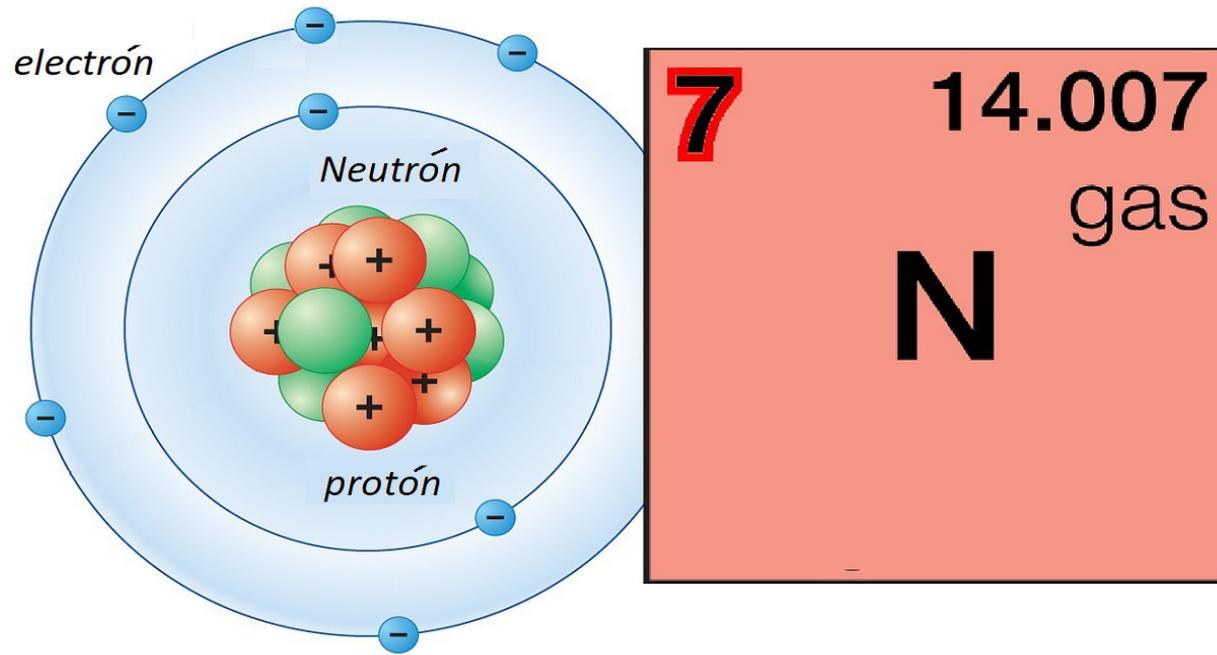
BLOQUES BASICOS DE LA NATURALEZA

group 1*																	18	
1	1 H											2 He						
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

lanthanoid series 6	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
actinoid series 7	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

118 Elementos

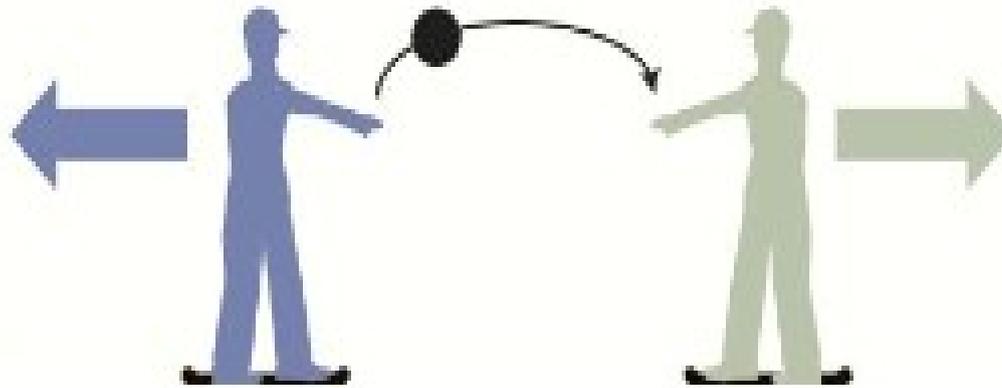
BLOQUES BASICOS DE LA NATURALEZA



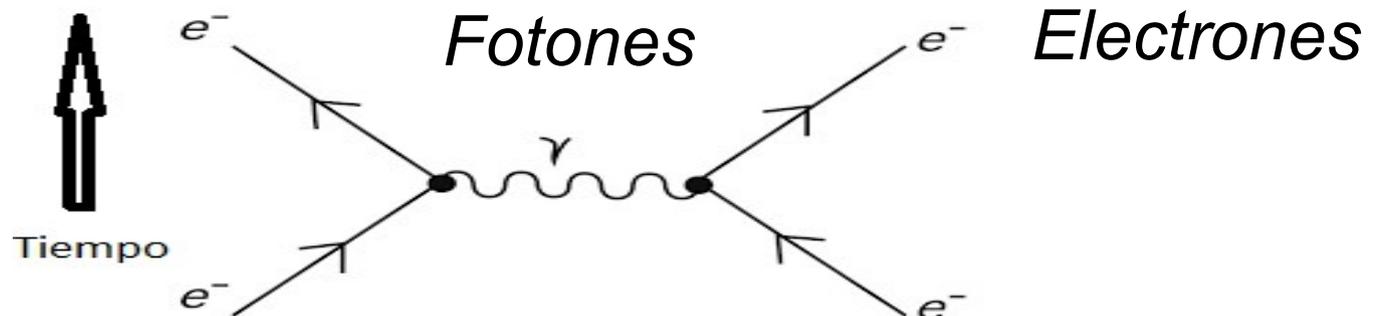
átomos: electrones, protones y neutrones

INTERACCION ELECTROMAGNETICA

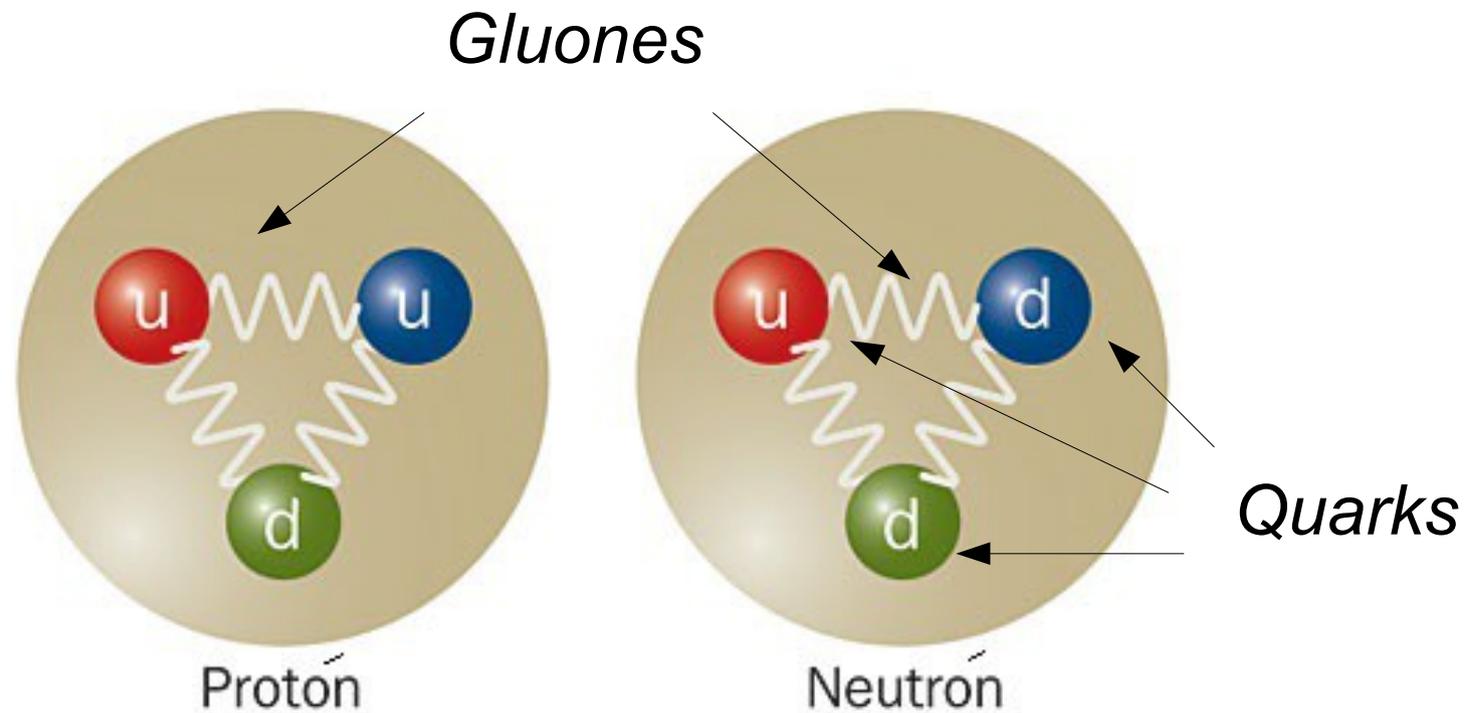
*Interacciones en términos de Intercambio
de partículas*



Electrodinámica cuántica



INTERACCION FUERTE



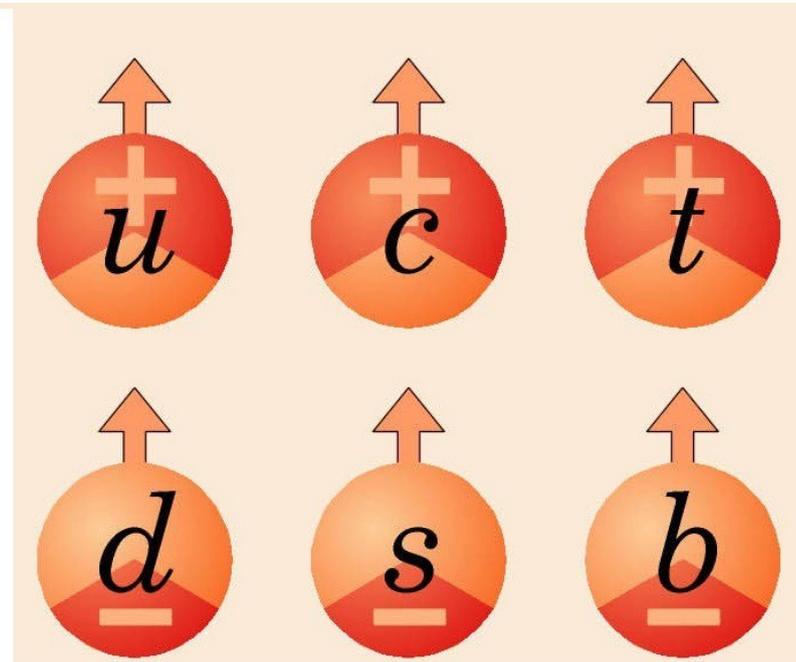
*Los protones y neutrones pueden descomponerse en termino de **quarks**, "atados" por medio de **gluones***



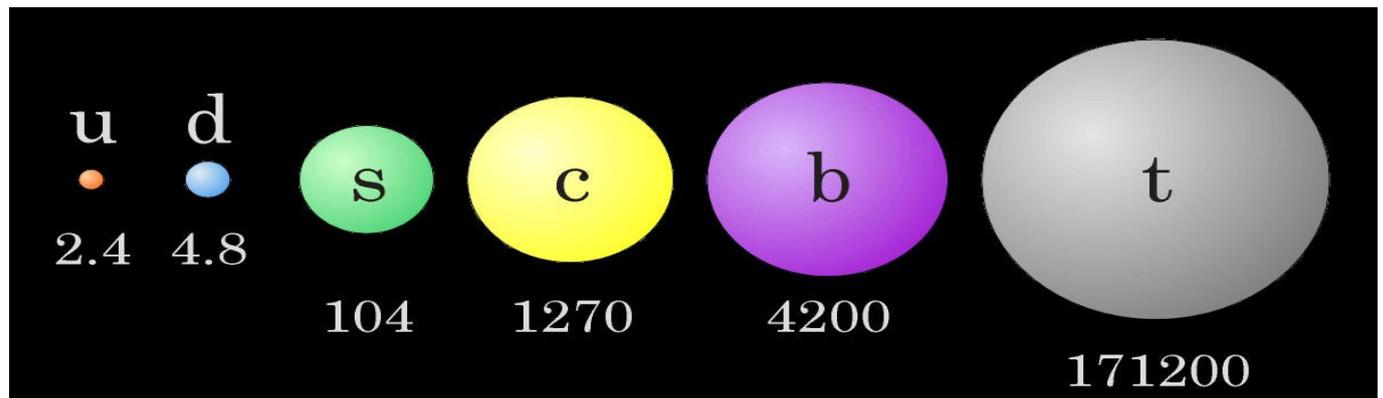
***cromodinámica cuántica**
(Interacción Fuerte).*

QUARKS

Quarks

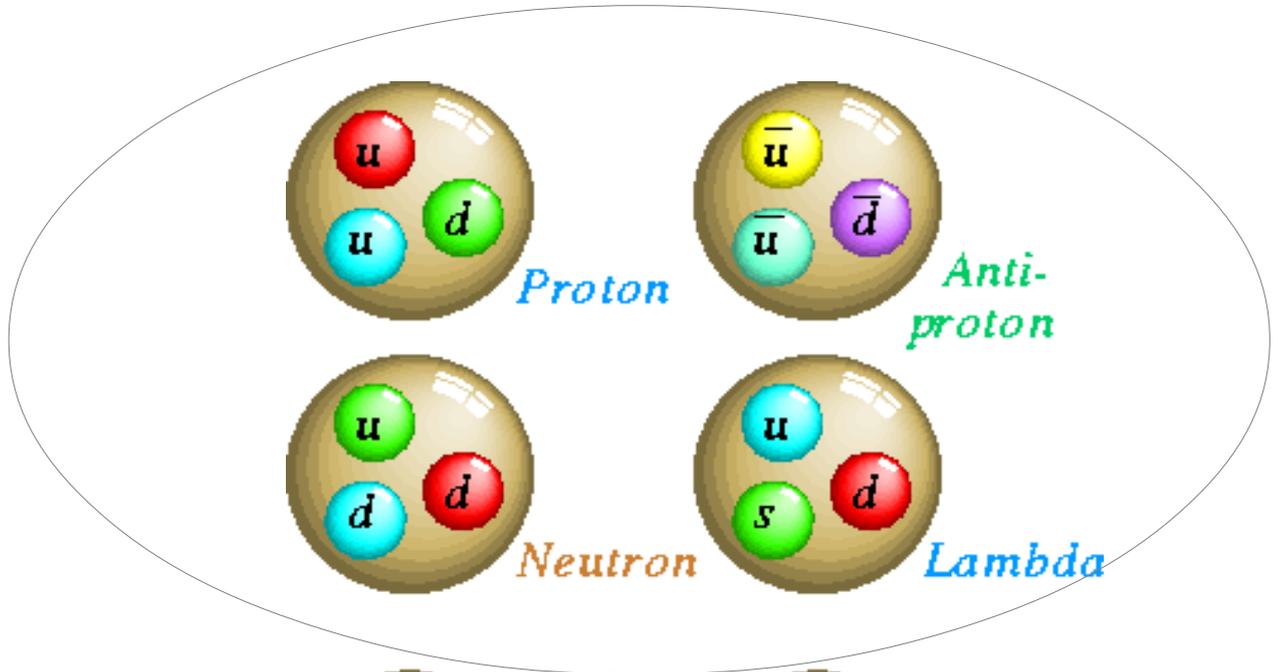
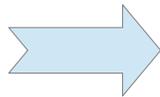


*Orden
dependiendo
de las masas*

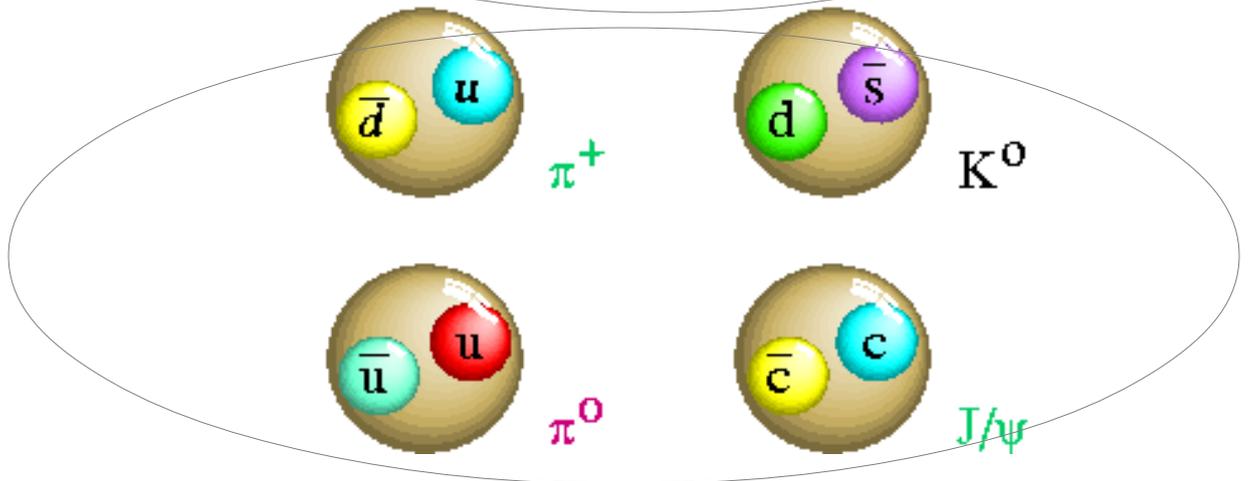
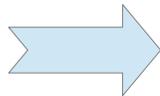


QUARKS

Bariones



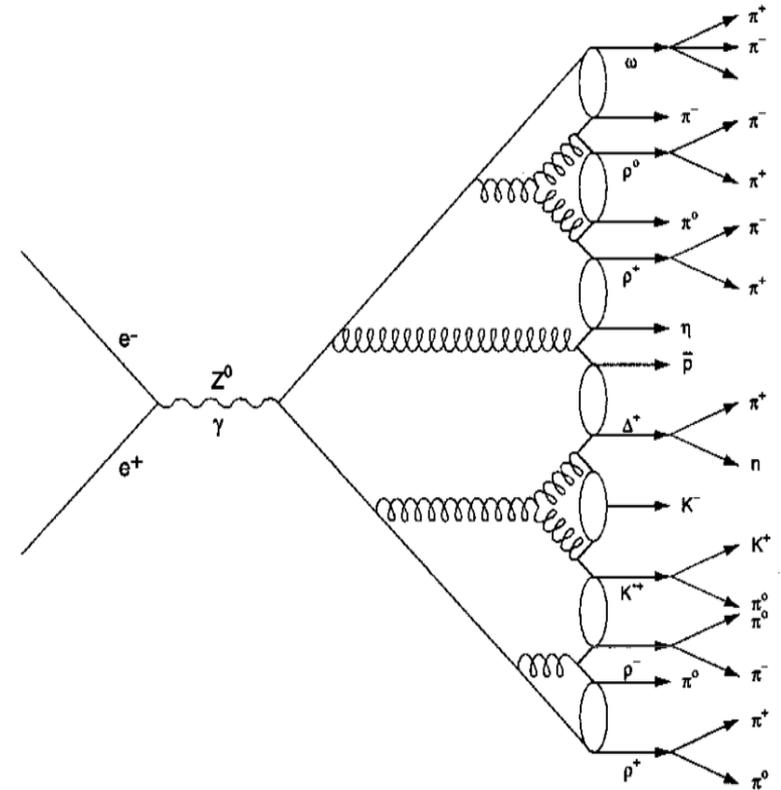
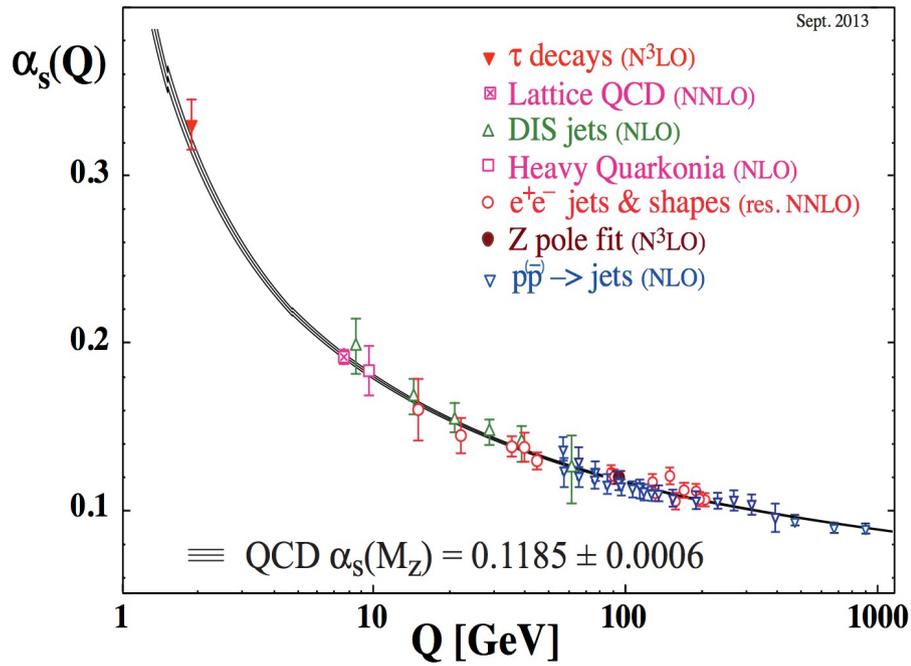
Mesones



LIBERTAD ASINTOTICA

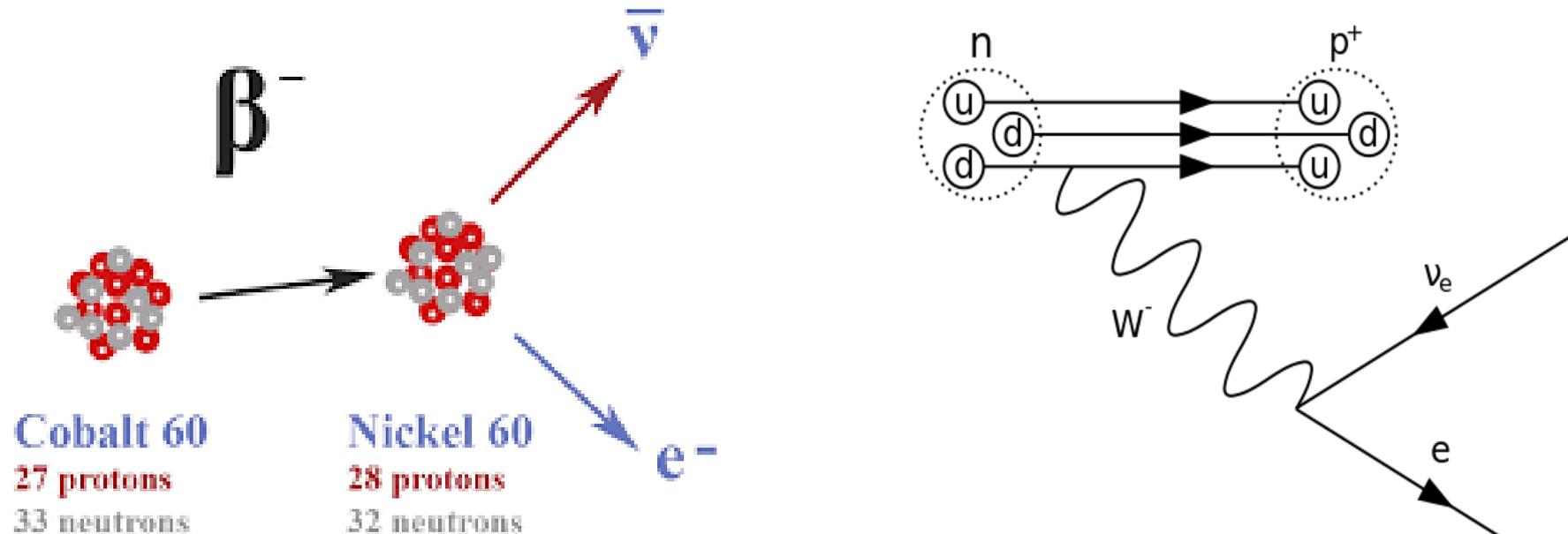
Libertad asintótica

Hadronización



INTERACCION DEBIL

Decaimiento Beta



©.atomoo.com

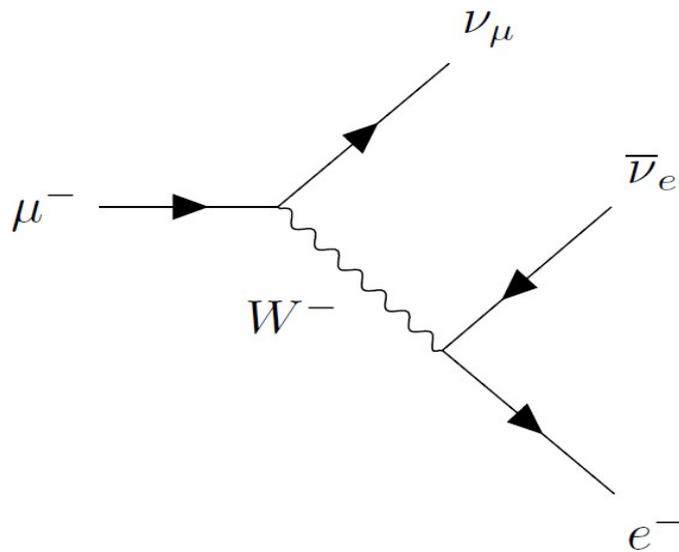
Para explicar este proceso se requiere una nueva interacción



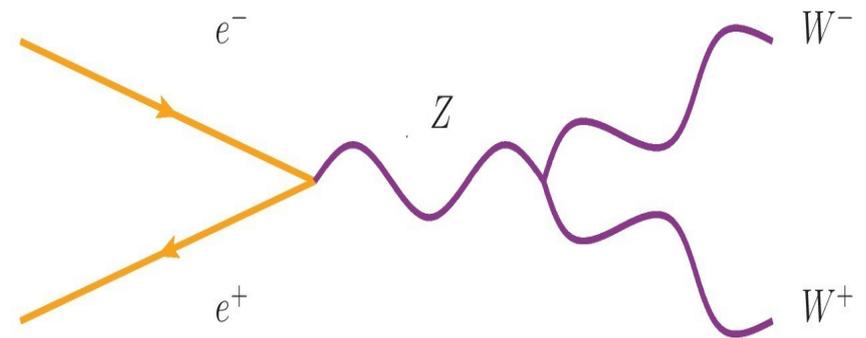
Interacción electro-débil

INTERACCION DEBIL

La interacción débil requiere de la introducción de dos nuevos mediadores



Bosón W



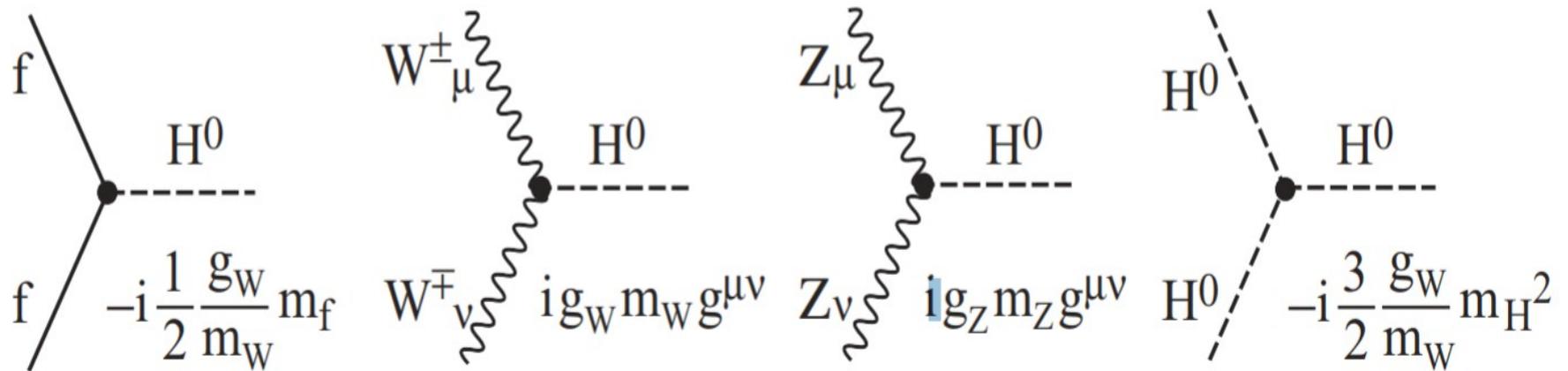
Bosón Z

LEPTONES Y NEUTRINOS

$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ e electrón	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ μ muón	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ τ tau
$< 1.0 \text{ eV}/c^2$ ν_e neutrino electrónico	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ ν_μ neutrino muónico	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ ν_τ neutrino del tau

LA PARTICULA DE HIGGS

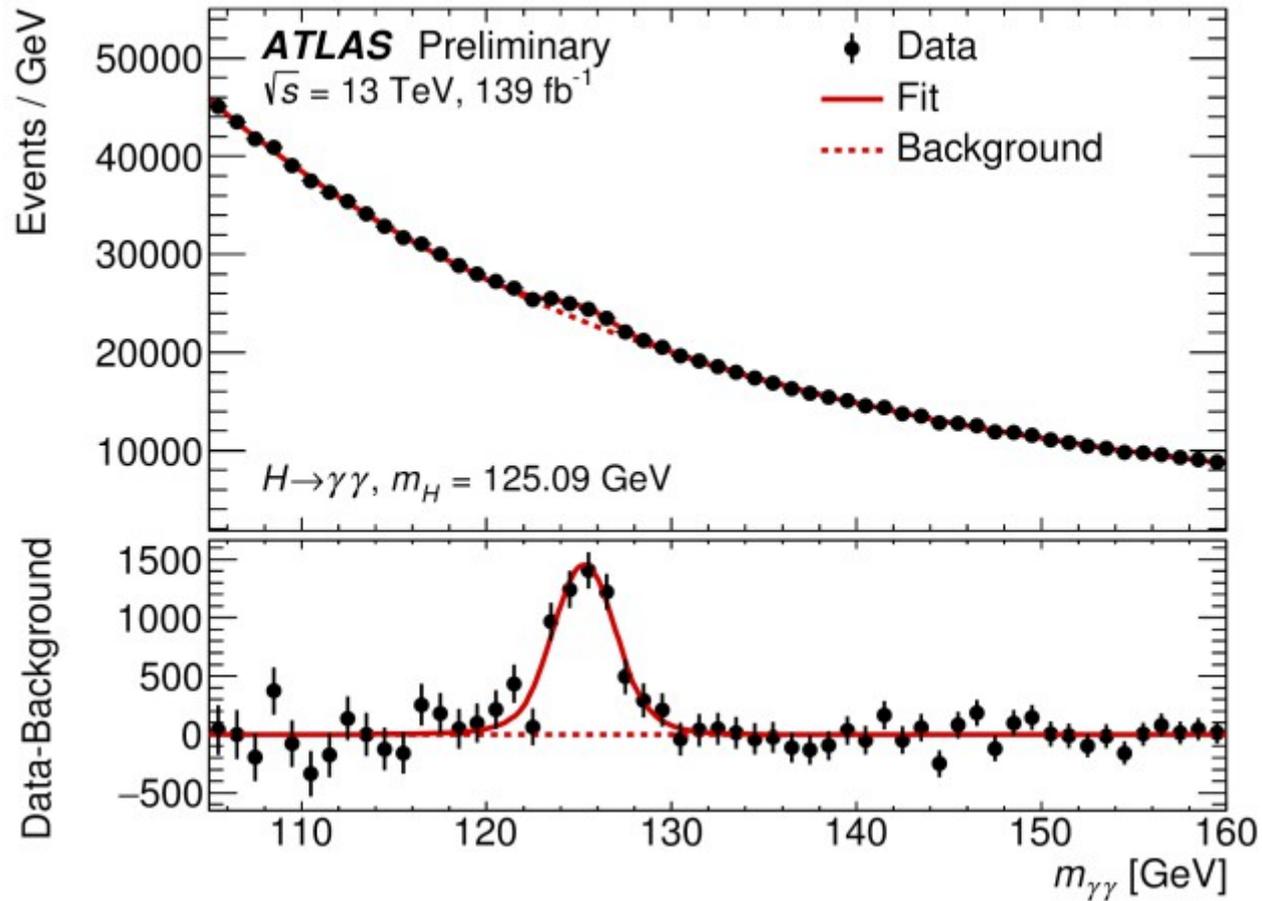
Interacciones con las partículas del ME



Da masa a fermiones y bosones vectoriales masivos



LA PARTICULA DE HIGGS



Fue descubierto en el 2012.

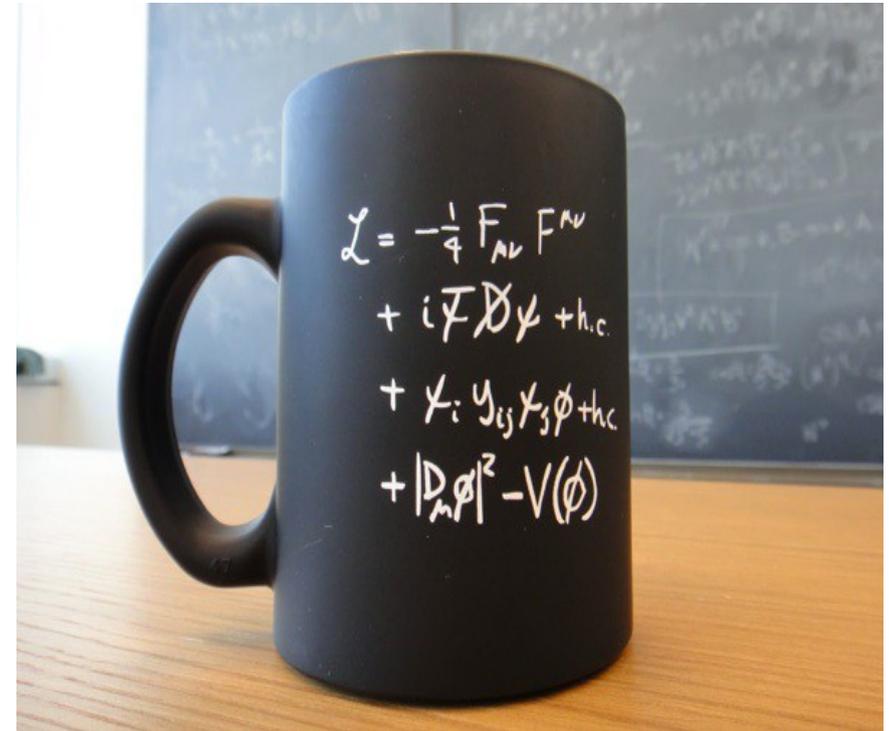
Tiene una masa de 125 GeV

EL MODELO ESTANDAR

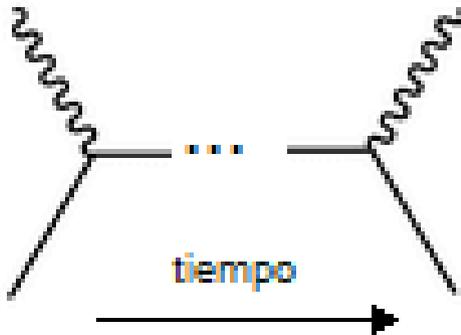
Tres generaciones de la materia (fermiones)

	I	II	III		
masa →	2,4 MeV/c ²	1,27 GeV/c ²	171,2 GeV/c ²	0	? GeV/c ²
carga →	2/3	2/3	2/3	0	0
espín →	1/2	1/2	1/2	1	0
nombre →	u up	c charm	t top	γ Foton	H Boson Higgs
Quark	4,8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4,2 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	g Gluon	
Lepton	<2,2 eV/c ²	<0,17 MeV/c ²	<15,5 MeV/c ²	91,2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e Neutrino electrónico	ν_μ Neutrino muónico	ν_τ Neutrino tauónico	Z⁰ Boson Z	
	0,511 MeV/c ²	105,7 MeV/c ²	1,777 GeV/c ²	80,4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e Electrón	μ Muón	τ Tau	W[±] Boson W	

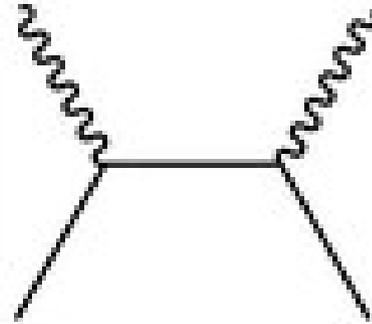
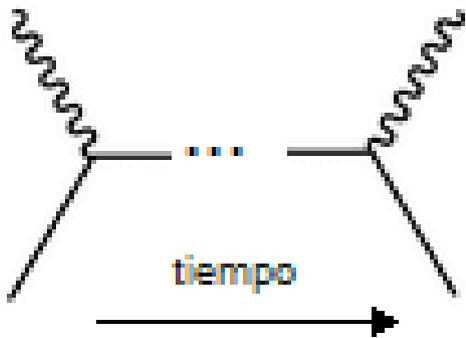
Bosones de gauge



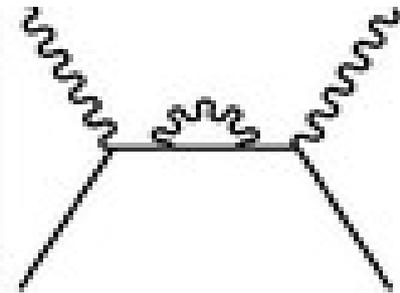
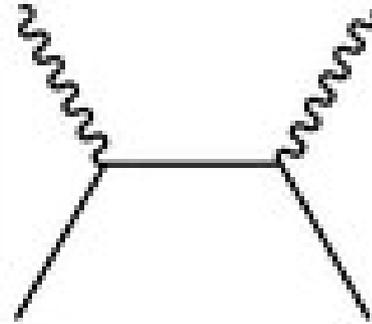
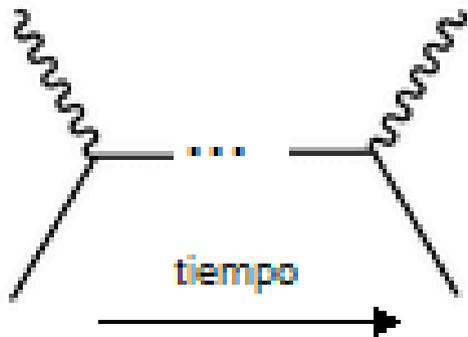
EL MODELO ESTANDAR



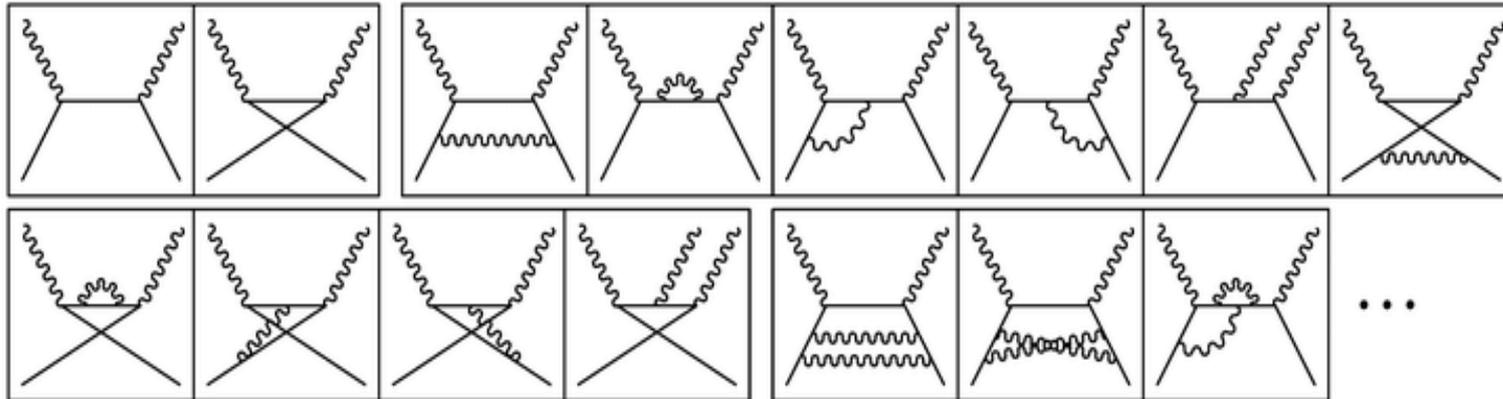
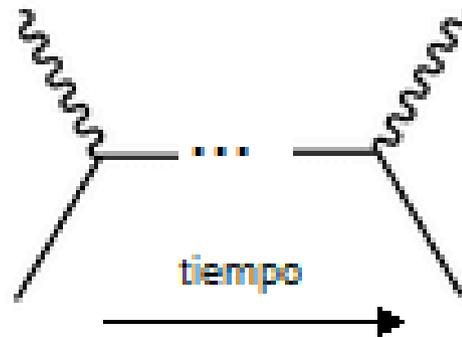
EL MODELO ESTANDAR



EL MODELO ESTANDAR



EL MODELO ESTANDAR



El Modelo Estándar

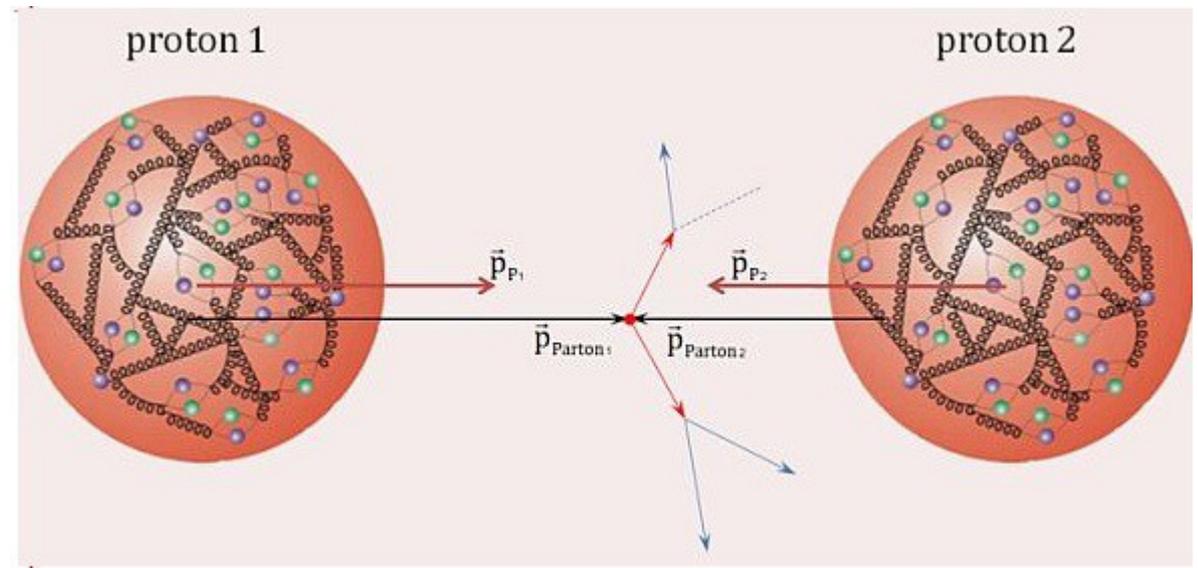
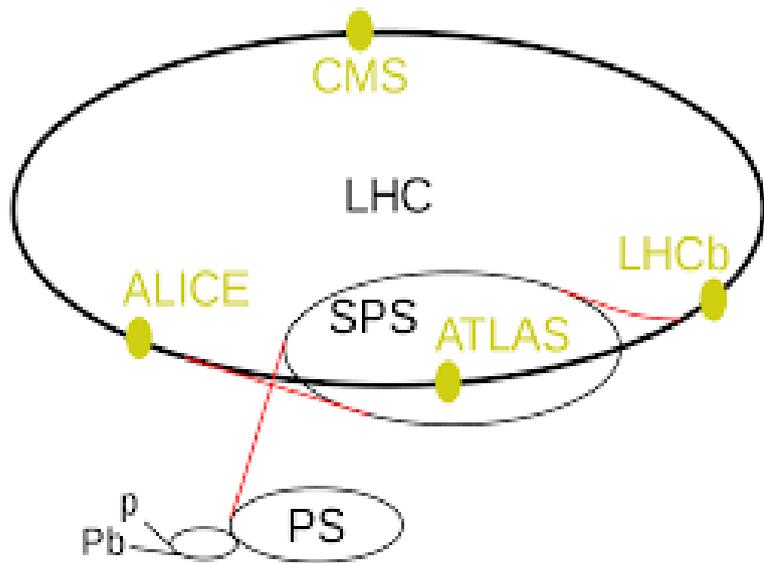
El Modelo Estándar es una teoría con un poder predictivo impresionante.

*Sin embargo **no es una teoría completa.***

- No incluye la interacción gravitacional.
- No incluye posibles candidatos a materia oscura.
- No explica las masas de los neutrinos.

Búsqueda por efectos subatómicos mas allá del Modelo Estándar

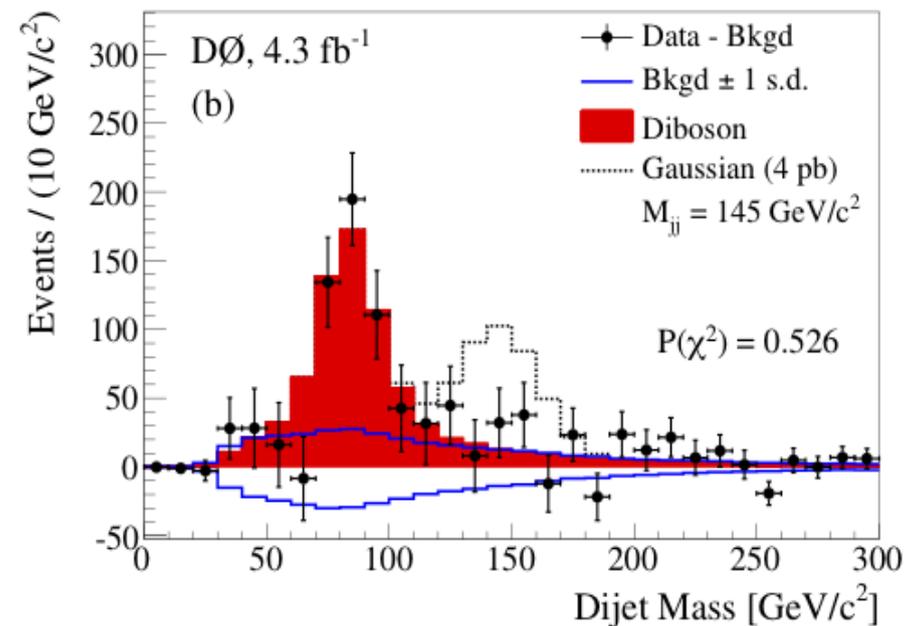
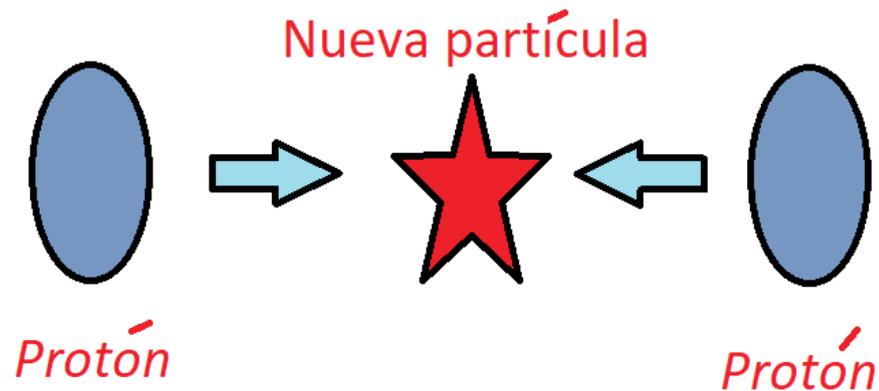
Las propiedades de las partículas elementales
son estudiadas por ejemplo en colisionadores
de hadrones



LHC: colisiones proton-proton a 13 TeV
en el centro de masa

Búsqueda por efectos subatómicos mas allá del Modelo Estándar

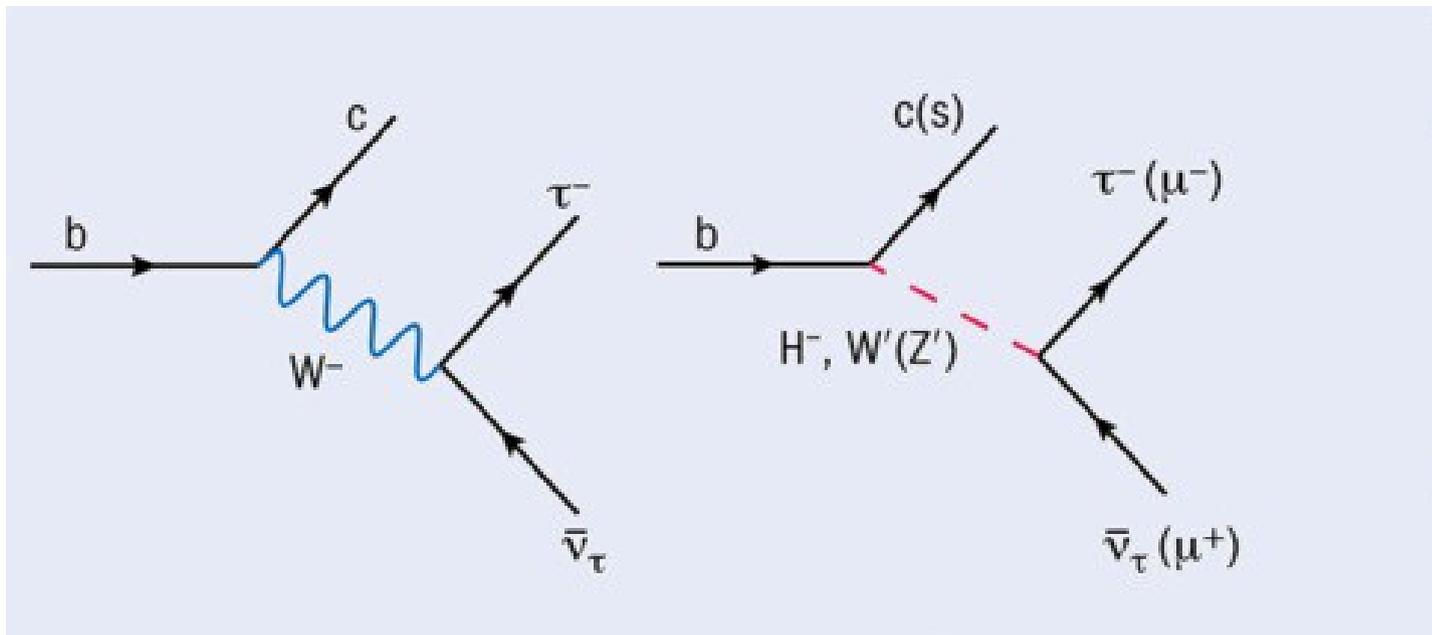
Búsquedas directas



- *Fáciles de interpretar.*
- *Están limitadas por la energía del colisionador donde son producidas.*

Búsqueda por efectos subatómicos mas allá del Modelo Estándar

Búsquedas indirectas



- *Permiten explorar escalas de energía bastante altas.*
- *La interpretación depende del modelo.*

Búsqueda por efectos subatómicos mas allá del Modelo Estándar

Búsquedas indirectas

$$\mathcal{R}(D) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D\tau^-\bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D\ell'^-\bar{\nu}_{\ell'})}, \quad \mathcal{R}(D^*) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^*\tau^-\bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^*\ell'^-\bar{\nu}_{\ell'})}$$

$$\mathcal{R}(D) = 0.340 \pm 0.027 \pm 0.013 = 0.340 \pm 0.030,$$

$$\mathcal{R}(D^*) = 0.295 \pm 0.011 \pm 0.008 = 0.295 \pm 0.014,$$

$$\mathcal{R}_{\text{SM}}(D) = 0.299 \pm 0.003,$$

$$\mathcal{R}_{\text{SM}}(D^*) = 0.258 \pm 0.005$$

CONCLUSIONES

- El mundo subatómico requiere una descripción cuántica.
- Nuestra mejor teoría es el Modelo Estándar.
- No es una teoría completa completa.
- Una de las principales tareas de la física actual es la búsqueda de nuevas interacciones y partículas que permitan explicar observaciones y resultados que el ME no puede atender.