

Partículas elementales I

Física Nuclear y subnuclear

6 de febrero de 2024

Masa y números cuánticos

- Diversidad de masas
- Importante para la conservación de la energía
- Si las partículas son cuánticas tienen asociados números cuánticos
- Descritos por la ecuación de Dirac.

Números cuánticos de momento angular

- $L_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$
- Valores propios del operador están cuantizados
- La función de onda es un valor propio de los operadores L_z y \mathbf{L}^2
- Números cuánticos ℓ y m enteros, hay $2\ell + 1$ valores de m

Momento angular

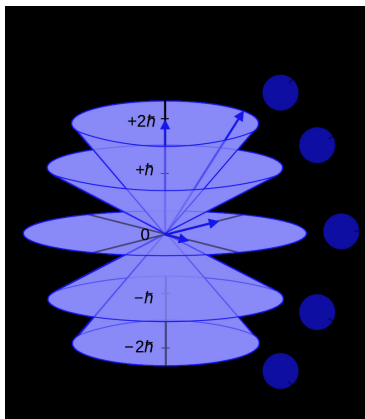


Figura: Modelo vectorial de la cuantización del momento angular orbital, imagen de dominio público por Maschen - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17763200>

Metales alcalinos

- Dobletes en el espectro de metales alcalinos
- $2\ell + 1 = 2 \implies \ell = \frac{1}{2}$
- Pauli: electrón con un valor doble intrínseco
- Uhlenbeck y Goudsmit: el electrón gira

Operador \mathbf{J}

- Un nuevo operador de momento angular total
- Números cuánticos M y J , M tiene $2J + 1$ posibles valores
- Todas las partículas tienen un momento angular intrínseco \mathbf{S}
- Ecuaciones de onda diferenciadas

Fermiones y Bosones

- Espín entero: Bose-Einstein
- Espín semientero: Fermi-Dirac
- Simétrico $\Psi(1, 2) = \Psi(2, 1)$
- Antisimétrico $\Psi(1, 2) = -\Psi(2, 1)$

Carga eléctrica

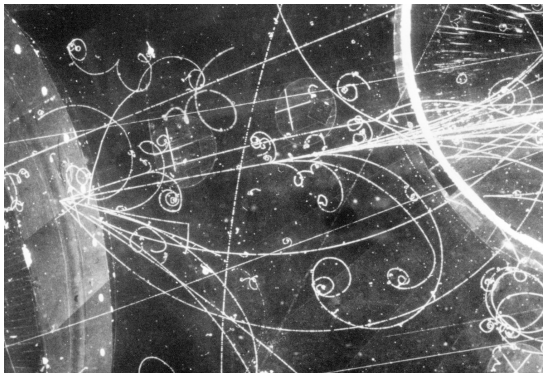


Figura: Fotografía tomada en una cámara de burbujas, imagen de Fermilab tomada de: <https://arstechnica.com/science/2016/10/sun-clouds-climate-connection-takes-a-beating-from-cern/>

Cámara de burbujas



Figura: Cámara de burbujas del CERN, imagen: "CERN: An old Detector"
by polapix is licensed under CC BY-NC 2.0

Carga y espín

- $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
- Experimento de Millikan para determinar la masa del electrón
- Partícula cargada girando \implies una corriente \implies un campo magnético
- Las partículas cargadas tienen asociado un momento dipolar magnético $\mu = g\mu_0 \frac{J}{\hbar}$

Antipartículas

Partícula libre con momento \vec{p}

$$\Psi(\vec{r}, t) = Ne^{i(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)/\hbar}, \quad \nu = \frac{E}{h}, \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

La energía relativista

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

La ecuación de Klein-Gordon

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2 \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = -\hbar^2 c^2 \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) + m^2 c^4 \Psi(\vec{r}, t)$$

Dos posibilidades

$$\Psi(\vec{r}, t) = Ne^{i(\vec{p}\cdot\vec{r} - E_p t)/\hbar}, \quad E = E_p = (p^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2} \geq mc^2$$

$$\Psi(\vec{r}, t) = N^* e^{i(-\vec{p}\cdot\vec{r} + E_p t)/\hbar}, \quad E = -E_p = -(p^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2} \leq -mc^2$$

Entra Dirac en escena

- La ecuación de Klein-Gordon aún no cumple con los requerimientos cuánticos
- Dirac propone un hamiltoniano

$$H = -i\hbar c \sum_{i=1}^3 \alpha_i \frac{\partial}{\partial x_i} + \beta mc^2 = c\boldsymbol{\alpha} \cdot \hat{\mathbf{p}} + \beta mc^2, \quad (1)$$

- Los coeficientes tienen características particulares

$$\boldsymbol{\Psi}(\vec{r}, t) = \begin{pmatrix} \Psi_1(\vec{r}, t) \\ \Psi_2(\vec{r}, t) \\ \Psi_3(\vec{r}, t) \\ \Psi_4(\vec{r}, t) \end{pmatrix}$$

Zoológico de partículas

Tipo	Ejemplos	Interacciones
Bosones de norma	γ , W^{\pm} , Z , gluón	Son los mediadores de las interacciones
Leptones	e^{-} , μ , τ , ν_e , ν_{μ} y ν_{τ}	Electromagnética, nuclear débil
Hadrones	p , n , π^{\pm} , π^0 , λ^0 , Δ^{++} , K^{\pm} ,...	Electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil

Bariones y mesones

- Bariones: fermiones, asociada una conservación, el número bariónico
 - Número para bariones: $+1$
 - Número para anti-bariones: -1
- Mesones: bosones, no se conservan

Leptones

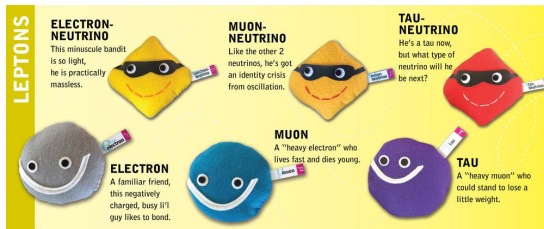


Figura: Peluches de leptones, imagen tomada de:
<https://www.particlezoo.net/>

Nueva tabla de las partículas fundamentales

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV ⁰
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z fuerza débil
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV [±]
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptones	e electron	μ muon	τ tau	W[±] fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

Figura: Partículas fundamentales, imagen con licencia GNU Free Documentation License, File:Generaciones delamateria.png. (2020, March 10). Wikimedia Commons, the free media repository. Retrieved 02:38, July 27, 2020.

Leptones y conservaciones

Introducimos la ℓ en términos del parámetro de impacto

- Número leptónico
 - Número leptónico por familia: familia e , familia μ , familia τ
 - Leptón de una familia: $+1$
 - Antileptón de una familia: -1

Decaímiento

$$p_{938\text{MeV}/c^2} \rightarrow e^+_{0,511\text{MeV}/c^2} + \pi^0_{135\text{MeV}/c^2}$$

