



SOBRE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES, LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES Y LAS TEORÍAS DE CAMPOS

Narciso Román Roy

*Profesor Titular del Departamento de Matemática Aplicada y Telemática
Edificio C-3. Campus Nord U.P.C. Jordi Girona 1.
08034 Barcelona . España.
e-mail: matnrr@mat.upc.es.*

INTRODUCCIÓN

En el campo de la Física Teórica hay multitud de temas que, bien sea por su espectacularidad, bien sea por su trascendencia en el mundo actual, atraen la atención no sólo del especialista científico o técnico, sino también del público profano con inquietudes culturales. Entre dichos temas, quizás los que más interesan son los que tienen que ver con la *Teoría de la Relatividad*, la *Cosmología* y la *Astrofísica* y el *mundo subatómico*.

El propósito de este trabajo es incidir en la última cuestión. En concreto, se intentará hacer una somera descripción que pueda servir de introducción al fascinante mundo de las *fuerzas fundamentales* de la naturaleza, de las *partículas elementales* y de las teorías físicas que tratan de describirlas. Para una información más profunda y detallada sobre todos estos temas (pero que mantiene un nivel no excesivamente técnico) puede consultarse la referencia (1).

*En la naturaleza hay
cuatro fuerzas,
(también llamadas en
Física interacciones o
campos) que son
responsables de todos
los fenómenos en el
Universo*

La exposición está dividida en tres partes. En la primera se presentan las *fuerzas o interacciones fundamentales* y sus características. La segunda está dedicada a la descripción de las *partículas elementales* y sus propiedades. Finalmente, en la tercera parte se hacen

algunos comentarios sobre las *teorías de campos*, que tratan de explicar estos fenómenos. También se incluye un apéndice donde se explican algunas cuestiones más técnicas que pueden servir para clarificar ciertos aspectos de la exposición.

INTERACCIONES FUNDAMENTALES

En la naturaleza hay cuatro *fuerzas*, (también llamadas en Física *interacciones* o *campos*) que son responsables de todos los fenómenos en el Universo: la fuerza o interacción **gravitacional**, la **nuclear débil**, la **electromagnética** y la **nuclear fuerte**. Vamos a describir brevemente las principales características de cada una de ellas.

Interacción gravitacional

Descripción: Es la responsable de la interacción entre las partículas con masa y, por extensión, de la configuración a escala macroscópica del Universo y de su estabilidad.

Acción: Actúa sobre todas las partículas que tienen masa no nula. Es de naturaleza atractiva.

Alcance: Prácticamente infinito.

Fuerza: Es la más débil. Tomando como unidad la más fuerte de las cuatro, ésta sería 10^{-39} veces más débil, aproximadamente.

Interacción nuclear débil

Descripción: Es la responsable de la *desintegración* de ciertas partículas inestables; es decir, de aquellos procesos en los que algunas partículas se descomponen (*decaen*) en otras más ligeras. Por extensión, es la que origina algunos procesos radiactivos (*desintegración beta*).

Acción: Actúa sobre las partículas denominadas *leptones* y *quarks* (ver la sección siguiente).



Alcance: Menos de 10^{-15} cm.

Fuerza: 10^5 (en la escala anterior).

Interacción electromagnética

Descripción: Es la responsable de la interacción entre las *partículas con carga eléctrica* y, por extensión, de todas las reacciones químicas (y, por consiguiente, de todos los fenómenos biológicos).

Acción: Actúa sobre todas las partículas cargadas eléctricamente. Es de naturaleza *atractiva o repulsiva*.

Alcance: Prácticamente infinito.

Fuerza: 10^2 .

Interacción nuclear fuerte

Descripción: Es la responsable de la interacción entre los *nucleones*, esto es, las partículas que forman el núcleo atómico (*protones y neutrones*). Mantiene el núcleo unido (obsérvese que al tener los protones carga eléctrica positiva y los neutrones carga nula, por efecto de la fuerza electromagnética repulsiva entre los primeros, el núcleo sería inestable de no existir esta fuerza). Por extensión, es la responsable de la estabilidad de toda la materia.

Acción: Actúa sobre las partículas denominadas *quarks* (ver la sección siguiente). Es de naturaleza *atractiva*.

Alcance: 10^{-13} cm.

Fuerza: 1. Es la más fuerte.

PARTÍCULAS ELEMENTALES

De acuerdo con la teoría actualmente aceptada (que recibe el nombre de *Modelo Estándar*), las *partículas elementales* pertenecen a dos grandes grupos: los **fermiones** y los **bosones**¹. En realidad todas las partículas subatómicas, sean o no elementales son, o bien fermiones, o bien bosones y es el comportamiento estadístico de dichas partículas el que hace que pertenezcan a uno u otro grupo. El papel que desempeñan en la naturaleza las partículas elementales es muy diferente según sean fermiones o bosones, tal y como se verá seguidamente.

Fermiones

Las partículas elementales que forman parte del grupo de los *fermiones* son los constituyentes básicos de la *materia y la antimateria* en el Universo. Aunque no hay una razón aparente que justifique esta asimetría, el Universo parece estar formado esencialmente de materia, aun cuando también se ha detectado en él la presencia de antimateria, principalmente formando parte de los *rayos cósmicos* en forma de *antipartículas*.

Dentro del grupo de los fermiones existen dos familias de partículas elementales: los **leptones** y los **quarks**². En cada una de ellas se agrupan partículas (rigurosamente hablando, *partículas* y sus correspondientes *antipartículas*) con ciertas características comunes:

<u>Familia</u>	<u>Nombre</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Masa</u>	<u>Carga</u>	<u>Generación</u>
LEPTONES	Electrón	e	0,511 MeV	-1	Primera
	Neutrino electrónico	ν_e	<18 eV (¿0?)	0	
	Muón	μ	105,65 MeV	-1	Segunda
	Neutrino muónico	ν_μ	<0,25 MeV (¿0?)	0	
	Tau	τ	1784 MeV	-1	Tercera
	Neutrino tauónico	ν_τ	<35 MeV (¿0?)	0	
QUARKS	Up (Arriba)	u	336 MeV	+2/3	Primera
	Down (Abajo)	d	338 MeV	-1/3	
	Charm (Encanto)	c	1500 MeV	+2/3	Segunda
	Strange (Extraño)	s	540 MeV	-1/3	
	Top (Cima)	t	174000 MeV (aprox.)	+2/3	Tercera
	Bottom (Fondo)	b	55000 MeV (aprox.)	-1/3	

Tabla 1

¹ Los nombres de fermión y bosón son en honor de los físicos Enrico Fermi y Satyendra Nath Bose que, simultáneamente con Paul Adrian Maurice Dirac y Albert Einstein respectivamente, desarrollaron sendos modelos teóricos para describir el comportamiento estadístico de cada uno de estos tipos de partículas.

² La palabra leptón proviene del griego y significa ligero. El apelativo quark no tiene etimología; Murray Gell-Mann, que fue quien postuló teóricamente la existencia de estas partículas (simultáneamente a George Zweig) tomó su nombre del título de un cuento llamado Three quarks for Muster Mask.

<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Masa</i>	<i>Carga</i>	<i>Interacción</i>
Gravitón	g	0	0	Gravitacional
Bosones Vectoriales	Z_0 W^+, W^-	94000 MeV (aprox) 83000 MeV (aprox)	0 +1, -1	Nuclear Débil
Fotón	γ	0	0	Electromagnética
Gluones	$G_1, G_2, G_3, G_4,$ G_5, G_6, G_7, G_8	Desconocida (pero no nula)	0	Nuclear Fuerte

Tabla 2

Leptones: Todos ellos son sensibles a la interacción nuclear débil pero no a la fuerte.

Quarks: Todos ellos son sensibles a la interacción nuclear fuerte. Una característica de estas partículas es que no aparecen como partículas libres sino como ingredientes de otras más pesadas que se denominan hadrones: las combinaciones de dos quarks (*unquark* y *unantiquark*)

Uno de los objetivos principales de la Física Teórica es poder unificar la descripción de las cuatro interacciones en una sola teoría de campos que sirva para explicarlas todas al unísono

son los llamados *mesones* (y *antimesones*), mientras que las de tres quarks (o tres *antiquarks*) reciben el nombre de *bariones* (o *antibariones*), los más conocidos e importantes de éstos últimos son el *protón* y el *neutrón*.

En cada una de estas familias hay tres *generaciones*. Al parecer, para explicar la constitución de la materia sólo la primera generación es realmente necesaria y, hoy en día, el papel que juegan las otras dos no está completamente claro (en general las partículas de estas generaciones forman partículas pesadas altamente inestables, que son los *mesones* y *bariones pesados*).

En la tabla 1 se recogen las propiedades principales de los leptones y los quarks. Para cada una de las partículas existe la correspondiente antipartícula: ambas tienen la misma masa pero carga eléctrica opuesta (véase el apéndice).

Bosones

Las partículas elementales del grupo de los *bosones* son las que llevan a cabo las interacciones fundamentales. Ésto significa que dos partículas fermiónicas que interactúen entre sí mediante una de las cuatro fuerzas, lo hacen intercambiando alguna de éstas partículas bosónicas.

Hay cuatro clases de partículas elementales del tipo bosónico. Cada una de ellas corresponde a una de las cuatro interacciones y contiene una o varias partículas.

En la tabla 2 se describen las principales propiedades de todas ellas. (Hay que hacer notar que, a diferencia de las partículas elementales fermiónicas, las bosónicas no tienen antipartículas).

Es interesante hacer notar que existe una estrecha relación entre el alcance de una interacción y la masa del bosón o bosones que la implementa: en general, cuanto mayor es la masa de la partícula intermediadora, menor es el alcance de la interacción. Concretamente:

- La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance infinito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (gravitón y fotón) tienen masa nula.
- La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance finito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (bosones vectoriales y gluones) tienen masa no nula.

TEORÍAS DE CAMPOS

Para poder explicar de manera teórica las interacciones fundamentales y, eventualmente, la relación entre éstas y las partículas elementales, los físicos y matemáticos han elaborado diversas teorías que reciben el nombre genérico de **Teorías de Campos**. Las hay de dos tipos:

Teorías Clásicas de Campos: Son las que tratan de explicar el comportamiento *macroscópico* de las

<i>Interacción</i>	<i>Teoría Clásica</i>	<i>Teoría Cuántica</i>	<i>Unificación</i>		
GRAVITACIONAL	Teoría de la Relatividad General	Sin elaborar			Teoría de Super Unificación (Aún no elaborada)
NUCLEAR DÉBIL	No existe (su rango es sólo microscópico)	Teoría Débil	Teoría Electro Débil	Teoría de Gran Unificación	
ELECTRO-MAGNÉTICA	Teoría de Maxwell	Electrodinámica Cuántica (QED)			
NUCLEAR FUERTE	No existe (su rango es sólo microscópico)	Cromodinámica Cuántica (QCD)			

Tabla 3

interacciones; esto es, cuando se consideran partículas y distancias grandes (macroscópicas).

Teorías Cuánticas de Campos: Son las que tratan de explicar el comportamiento *microscópico* de las interacciones; esto es, cuando se consideran partículas y distancias microscópicas (en concreto, cuando se trabaja a nivel *subatómico, atómico* o *molecular*).

Actualmente hay teorías de campos que describen bien cada una de las interacciones, clásica y/o cuánticamente. Uno de los objetivos principales de la Física Teórica es poder unificar la descripción de las cuatro interacciones en una sola teoría de campos que sirva para explicarlas todas al unísono (y que tendrá que ser cuántica necesariamente, ya que algunas de las interacciones sólo tienen rango microscópico). Hasta el momento, este objetivo sólo se ha cubierto parcialmente, aunque hay diversos intentos para culminarlo, como son las teorías de *Supersimetría* y *Supergravedad* y las teorías de *Cuerdas* y *Supercuerdas*.

La situación en el presente se resume en la tabla 3, en la que se halla especificado el nombre y carácter de las teorías que modelizan cada una de las interacciones.

La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance finito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (bosones vectoriales y gluones) tienen masa no nula

La masa de las partículas elementales se mide en unidades de energía. Ello es debido a la conocida relación entre masa y energía establecida en la teoría de la Relatividad Especial

APÉNDICE

La masa de las partículas elementales se mide en unidades de energía. Ello es debido a la conocida relación entre *masa* y *energía* establecida en la *teoría de la Relatividad Especial*: $E=mc^2$ (E es la energía, m es la masa en reposo de la partícula y c es la velocidad de la luz). La unidad utilizada es el *electrón-Volt* (eV) que es el incremento de la energía cinética de un electrón que esté sometido a una diferencia de potencial de 1 Volt a lo largo de 1 centímetro, y equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ Jouls. En unidades de masa, 1 eV equivale a $1,782 \times 10^{-33}$ gramos. 1 MeV es un millón de eV.

Para medir la carga eléctrica de las partículas se toma como unidad la carga del electrón que es $1,602 \times 10^{-19}$ Coulombs.

Hay otras propiedades que son indispensables para la completa descripción de las partículas elementales (como son el *spin*, el *número bariónico*, el *número leptónico*, etc.), pero cuya explicación excede el objetivo de esta exposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VARIOS AUTORES: Partículas Elementales. Quarks, Leptones y unificación de las fuerzas. Libros de Investigación y Ciencia. Prensa Científica. Barcelona 1984.