

principalmente como la fuerza responsable de la desintegración radiactiva de sustancias como el uranio.

Los físicos describen estas fuerzas por medio del modelo estándar mencionado. Según este modelo, las fuerzas ejercen su efecto por medio de partículas especiales. Por ejemplo, dos objetos cargados eléctricamente intercambian fotones, la partícula asociada con la fuerza electromagnética. De manera similar, los constituyentes más pequeños de los campos de la fuerza nuclear débil y de la fuerza nuclear fuerte son partículas llamadas bosones intermedios y gluones, respectivamente. El nombre gluón (*glue* es pegamento en inglés) es particularmente descriptivo, ya que se considera como el mediador de la fuerza que mantiene unidos a los quarks en los protones y neutrones y a éstos en el núcleo atómico. Para 1984, los físicos ya habían establecido definitivamente la existencia y las propiedades detalladas de los tres tipos de partículas mediadoras de fuerzas, las cuales se resumen en la Tabla 2. También creen que la fuerza de la gravedad tiene una partícula asociada (el gravitón), pero su existencia aún no se ha comprobado.

Tabla 2. Las 4 fuerzas de la naturaleza

Fuerza	Partícula de fuerza	Masa
Nuclear fuerte	Gluón	0
Electromagnética	Fotón	0
Nuclear débil	Bosones intermedios*	86.97
Gravedad	Gravitones	0

* asociados a la fuerza nuclear débil

Los leptones (del griego *leptos*, delgado, débil) son partículas a las que no les afecta la interacción fuerte, pero sí la interacción débil y, si están eléctricamente cargadas, también la interacción electromagnética. Son más ligeras que la mayoría, y el electrón es el leptón que nos resulta más familiar. Los neutrinos también son leptones, pero sólo interactúan con la materia a través de la interacción débil y por eso son tan difíciles de detectar.

Los hadrones (del griego *hadros*, fuerte) sienten la interacción fuerte. Los hadrones

están compuestos de quarks y son más pesados que los leptones. El protón y el neutrón son los hadrones más conocidos.

Criterio 2: el número de espín

La subdivisión de los hadrones en mesones y bariones tiene que hacerse con base en el espín, ya que la masa no es concluyente. Si el espín es un entero, entonces tenemos un mesón, si el espín es un entero más un medio, se tiene un barión, como el protón o el neutrón.

Ejemplos de mesones son los piones y los kaones, cuyas propiedades fueron predichas por el físico japonés Hideki Yukawa. Los piones también se observaron por primera vez (1935) en una época en que no podían producirse artificialmente y sólo se encontraron en los rayos cósmicos, al igual que los neutrinos y el muón. Por cierto, el rarísimo muón, observado y repudiado por los físicos cuánticos de las primeras décadas del siglo XX, es resultado de la poca estabilidad de los piones, partículas que chocan a altísimas velocidades con los átomos de la estratosfera y como resultado de la colisión forman (en la diezmilésima parte de un segundo) un muón y un neutrino.

Finalmente, hay otro criterio en el que las partículas se clasifican de acuerdo al espín y es el que las separa en bosones y fermiones. Los bosones son las partículas con espín entero y las que tienen espín múltiplo de 1/2 son los fermiones. Al consultar la Tabla 1 se puede confirmar que los leptones y los bariones son fermiones y que los mesones y los fotones son bosones.

III. Bibliografía

- Green, Brian, *El Universo elegante*, Editorial Planeta, Madrid, 2001.
- Hoof, Gerard't, *Partículas elementales*, Editorial Crítica, Madrid 2001.
- Ynduráin, F. J., *Electrones, neutrinos y quarks*, Editorial crítica, Madrid, 2001.

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

¿Partícula inmortal?



De: Daniel Martín Reina
(No. 84, p. 16)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Relación con los temarios del bachillerato UNAM

Esta guía y el artículo de referencia pueden utilizarlos los maestros de física y química de cursos superiores, ya que el estudio de las partículas elementales corresponde más a los intereses particulares de algunos estudiantes con respecto al desarrollo de la física de frontera.

II. Más información

La física moderna parte del año 1900, cuando surge la teoría cuántica de Planck. En estos 105 años, los avances en el conocimiento profundo de la materia han sido vertiginosos y sorprendentes. Fundamentados como están

en teorías complejas, resultan difíciles de comprender para la mayoría de las personas.

Con el fin de dar un contexto histórico al artículo de referencia, en esta guía nos centraremos en explicar, de la manera más sucinta posible, lo que son las partículas elementales, cómo se han ido descubriendo y cuál es su futuro en términos de las teorías más modernas que tratan de explicarlas como un todo. Sin duda esto será insuficiente en un espacio tan pequeño y por eso la bibliografía recomendada resulta indispensable.

Las partículas elementales antes de 1970

A principios de la década de 1930, los trabajos colectivos de científicos como J. J. Thomson, Ernest Rutherford, Niels Bohr y James Chadwick habían perfilado el modelo atómico cuántico, que se simplifica en la escuela como una especie de Sistema Solar en miniatura. Lejos de los átomos que concibieron los griegos, y de los de Dalton 2000 años más tarde, para entonces quedaba claro que los átomos están formados por un núcleo que contiene protones y neutrones, rodeado por un enjambre de electrones que se mueven en regiones más o menos definidas (llamadas orbitales) alrededor de él.

Durante cierto tiempo muchos físicos pensaron que los protones, los neutrones y los electrones eran los "átomos" griegos, es decir, las partículas más pequeñas y simples posibles. Pero en 1968 los científicos que realizaban experimentos en el Centro del Acelerador Lineal de Stanford, valiéndose de una capacidad tecnológica cada vez mayor para comprobar las profundidades microscópicas de la materia, descubrieron que los protones y los neutrones no eran partículas simples. Aunque esto lo habían predicho una gran cantidad de cálculos teóricos desde la década de 1930, sólo entonces se pudo demostrar que los protones y neutrones están formados por tres partículas menores, llamadas quarks, un nombre caprichoso que aparece en un pasaje de *Finnegan's Wake* de James Joyce y que fue adoptado por el físico teórico Murray Gell-Mann. Los científicos que realizaron los experimentos confirmaron que los propios quarks existen en dos variedades: los llamados, un poco menos creativamente, arriba (*up*) y abajo (*down*). Un protón está formado por dos quarks *u* y un quark *d*; un neutrón está formado por dos quarks *d* y un quark *u*.

Todo lo que nos rodea en la Tierra y en el espacio resulta estar hecho de combinaciones de electrones y quarks. No hay prueba experimental que indique que alguna de estas tres partículas esté constituida por componentes más pequeños. Pero muchas pruebas indican que el propio Universo posee otras partículas adicionales, mucho menos evidentes.

Partículas fantasma procedentes del espacio
A mediados de la década de 1950, Frederick Reines y Clyde Cowan encontraron pruebas experimentales concluyentes de la existencia de un cuarto tipo de partícula elemental (después del electrón, el protón y el neutrón) a la que se llamó neutrino, partícula cuya existencia ya había predicho Wolfgang Pauli a principios de 1930. Los neutrinos resultaron muy difíciles de encontrar porque son partículas que rara vez interactúan con otro tipo de materia: un neutrino dotado de una energía media puede atravesar fácilmente muchos miles de

millones de kilómetros de plomo sin que en su movimiento se produzca el más leve efecto. Esto puede tranquilizarnos, ya que mientras estamos leyendo esta guía, miles de millones de neutrinos lanzados al espacio por el Sol y otras estrellas están atravesando nuestro cuerpo y también todo el planeta, como parte de su largo viaje a través del cosmos.

Por otra parte, en la década de los años 30 se descubrió experimentalmente el muón, partícula muy parecida al electrón, pero con una masa 200 veces mayor. El muón lo descubrieron unos físicos que estudiaban los rayos cósmicos (lluvia de partículas que bombardean la Tierra desde el espacio exterior). Dado que no había nada que predijera ni explicara la existencia, ni la necesidad matemática de esta nueva partícula, el famoso físico de partículas y premio Nobel Isidor Rabi recibió con poco entusiasmo al muón. "¿Quién pidió esto?", preguntó. Y sin embargo ahí estaba, y todavía faltaban más cosas raras por venir.

Los vertiginosos últimos 30 años

La física cuántica de la primera mitad del siglo XX había predicho la existencia de algunas partículas. Pero para poder verlas experimentalmente pasaron varias décadas. Hoy, con el advenimiento de tecnología todavía más poderosa, los físicos continúan buscando los ingredientes del Universo, lo cual requiere de cantidades de energía descomunales. En los últimos años, y por medio de aceleradores impresionantes como los del CERN (Centro Europeo de Investigaciones Nucleares), se somete a la materia a unas condiciones que no se habían dado desde el *Big Bang*. En los escombros resultantes, se buscan y encuentran nuevos componentes fundamentales y esto es lo que han hallado, extendiendo la lista de partículas elementales predichas y confirmadas: cuatro quarks más, llamados encanto (*charm*), extraño (*strange*), fondo (*bottom*) y cima (*top*), y un pariente aún más pesado del electrón, al que se ha denominado tau, así como otras dos partículas con propiedades similares a las del neutrino, que se llaman neutrino del muón y neutrino del tau, para distinguirlas del neutrino original, que actual-

mente se denomina neutrino del electrón. Estas partículas se producen como resultado de colisiones de otras partículas a altas energías y tienen una existencia efímera; no son constituyentes que se puedan percibir en nuestro entorno habitual. Sin embargo, y como era de esperarse, tampoco aquí se acaba la historia. Cada una de estas partículas tiene asociada una antipartícula. Las antipartículas son iguales a las partículas salvo en la carga eléctrica, que es del signo opuesto

que la de la partícula (el fotón, partícula de luz sin carga, es su propia antipartícula y el antineutrón, también neutro, difiere del neutrón en que está formado por antiquarks en vez de quarks). Por ejemplo, la antipartícula del electrón se llama positrón, y tiene exactamente la misma masa que un electrón, pero su carga eléctrica es positiva. Cuando se ponen en contacto una partícula y su antipartícula se aniquilan mutuamente para producir energía en forma de fotones.

Las fuerzas fundamentales y la aparición de más partículas

Actualmente, los físicos han clasificado toda la enorme gama de partículas, clasificación que se hace de acuerdo al llamado *modelo estándar*. Este modelo se basa en el número cuántico de espín (de giro) para hacer la clasificación, como se ve en la Tabla 1. Antes de continuar, es importante mencionar que la masa de estas partículas se expresa en una unidad llamada mega-electrón-volt o MeV, para abreviar. Aunque para las partículas elementales es una buena medida de masa o energía, un MeV es una energía muy pequeña en el mundo macroscópico: un mosquito en

Tabla 1. Las partículas elementales

Nombre	Símbolo	Masa (MeV)	Carga	Espín	Vida media (segundos)
Fotón	γ	0	0	1	∞
<i>Leptones (L=1, B=0):</i>					
Electrón	e^-	0.5109990	-	1/2	∞
Muón	μ^-	105.6584	-	1/2	2.1970×10^{-6}
Neutrino electrónico	ν_e	~ 0	0	1/2	$\sim \infty$
Neutrino tauónico	ν_μ	~ 0	0	1/2	$\sim \infty$
<i>Mesones (L=0, B=0):</i>					
Pión positivo	π^+	139.570	+	0	2.603×10^{-8}
Pión negativo	π^-	139.570	-	0	2.603×10^{-8}
Pión neutro	π^0	134.976	0	0	0.84×10^{-16}
Kaón positivo	K^+	493.68	+	0	1.237×10^{-8}
Kaón negativo	K^-	493.68	-	0	1.237×10^{-8}
K-largo	K_L^0	497.7	0	0	5.17×10^{-8}
K-corto	K_S^0	497.7	0	0	0.893×10^{-10}
Éta	η	547.5	0	0	5.5×10^{-19}
<i>Bariones (L=0, B=1)</i>					
Protón	p	938.2723	+	1/2	∞
Neutrón	n	939.5656	0	1/2	887
Lambda	Λ	1115.68	0	1/2	2.63×10^{-10}

vuelo tiene una energía cinética de varios millones de MeVs.

Para poder entender la existencia de otras partículas, además de las descritas, conviene hacer referencia a las fuerzas que las mantienen unidas.

Criterio 1: las fuerzas básicas de la física

Cuando tenemos en cuenta las fuerzas que actúan en la naturaleza, lo único que conseguimos es complicar las cosas aún más. Durante los últimos 100 años, los físicos han acumulado gran cantidad de pruebas que demuestran que cualquiera de los millones de interacciones que pueden darse en la naturaleza se reducen a cuatro fuerzas fundamentales. Las cuatro fuerzas son: la de gravedad, la electromagnética, la nuclear débil y la nuclear fuerte. Estas dos últimas sólo se detectan a nivel atómico, por eso se conocen desde hace muy poco. La fuerza nuclear fuerte es la responsable de que los quarks se mantengan "pegados" unos a otros dentro de los protones y los neutrones, y de que los propios protones y neutrones estén estrechamente apiñados dentro del núcleo atómico. La fuerza nuclear débil se conoce