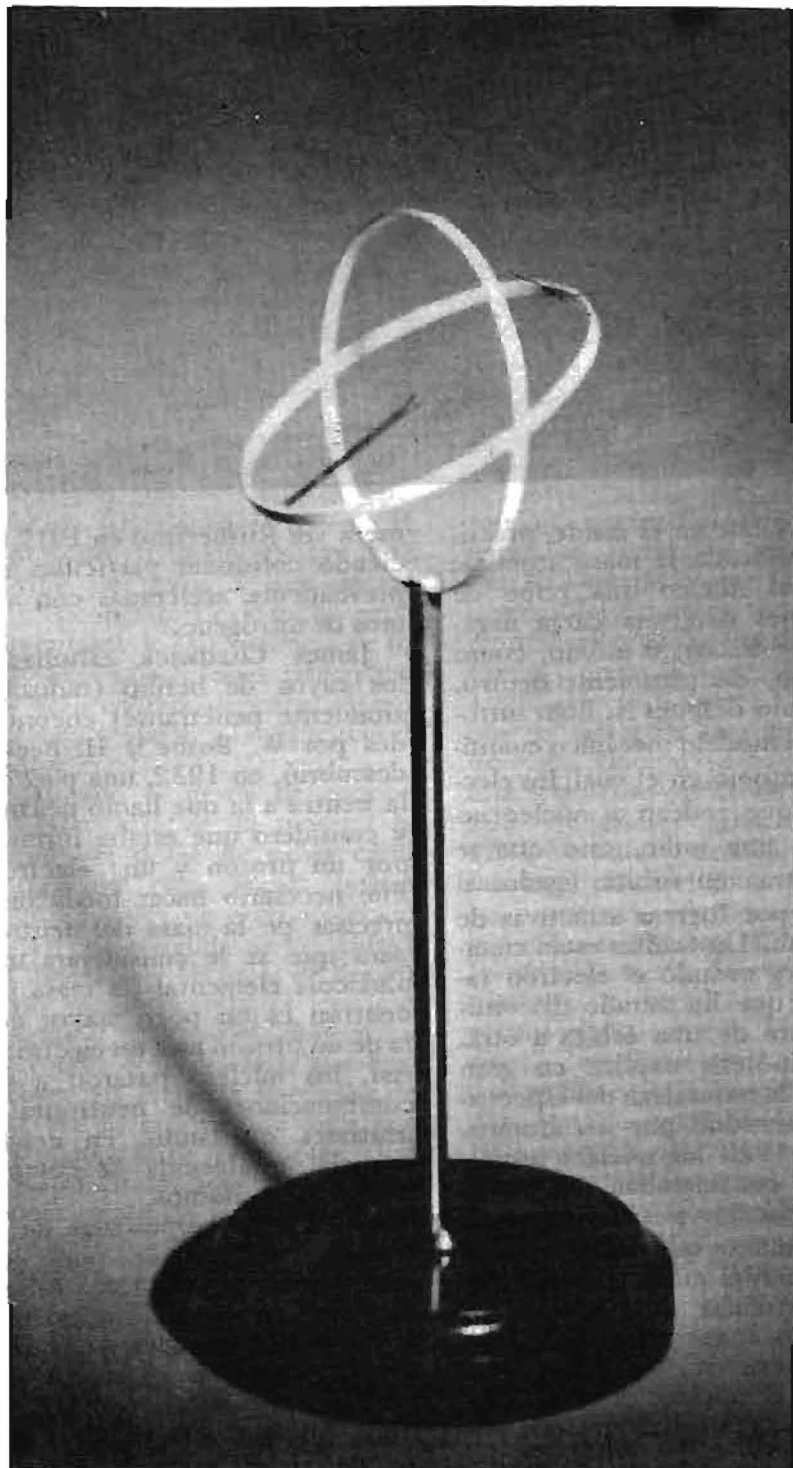


# Las partículas fundamentales y sus aplicaciones, breve bosquejo histórico

Modelo de un átomo de helio



Miguel Angel Soriano  
Enrique Barradas \*

El verdadero propósito que guía nuestros estudios experimentales y teóricos sobre las partículas elementales no es confeccionar una lista exhaustiva de ellas y sus propiedades. Antes bien, nos guían el afán de comprender los principios subyacentes que dictan por qué la naturaleza es como es. Nuestra experiencia demuestra que el estudio de las partículas elementales constituye hoy el mejor modo, tal vez el único, de dar con las leyes fundamentales que rigen la naturaleza.

*Steven Weinberg*

La composición última de la materia es y ha sido una incógnita desde tiempos remotos. Aproximadamente hace ya 25 siglos Leucipo y Demócrito plantearon "los cuerpos están formados por átomos eternos, indivisibles e incorruptibles, en perpetuo movimiento". Esta idea del átomo sobrevivió hasta nuestra época.

En el siglo XVII surgió la ciencia moderna que pronto desalojó a la antigua filosofía natural. Esta nueva ciencia no se asentaba en la especulación pura, sino en la experiencia y las matemáticas. Con ésta, la idea de átomo se convirtió en soporte de teorías cuantitativas de la materia.

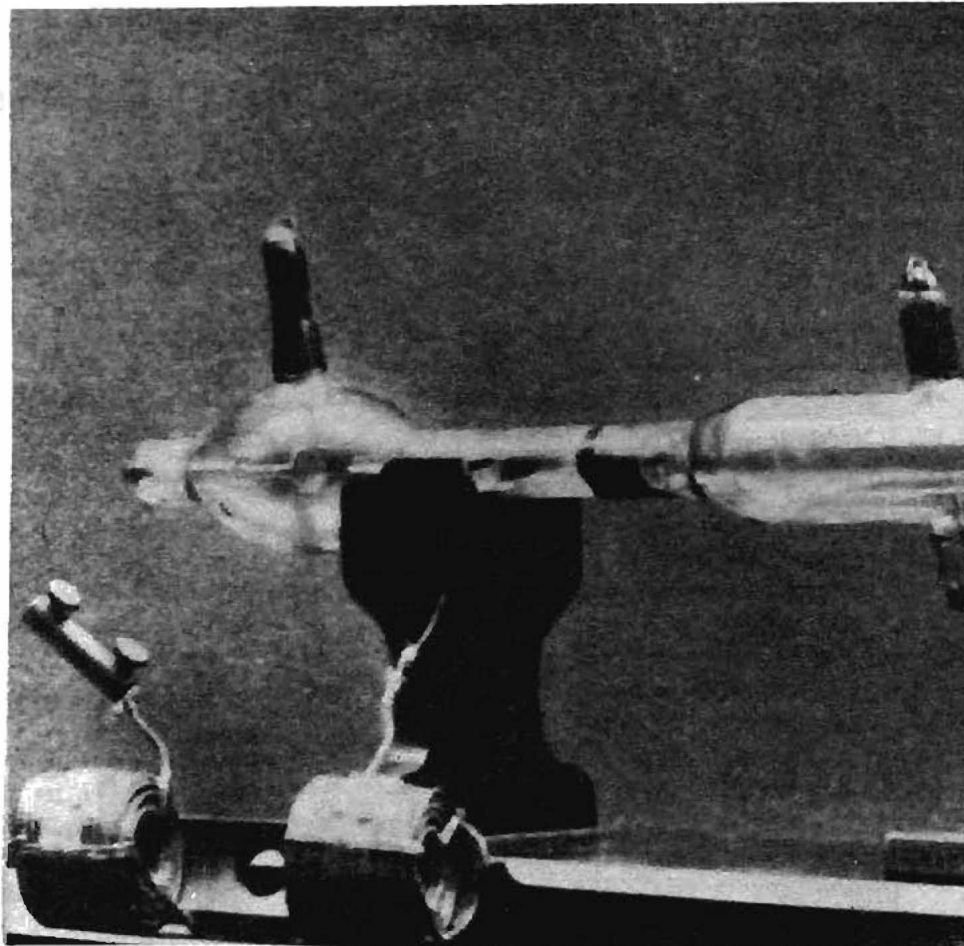
\* Escuela de Físico-Matemáticas, UAP. Avenida Universidad y avenida San Claudio, C. U., C. P. 72570, Puebla, Pue.

Hasta el siglo XIX la teoría atomista pudo ser confirmada experimentalmente. Hombres como J. Dalton, J.L. Gay Lussac, A. Avogadro y J. J. Berzelius, por mencionar algunos, aclararon la constitución atómica de la materia, establecieron que está formada por átomos que, al agruparse, forman moléculas y que éstas a la vez se reagrupan para constituir estructuras mayores: los cuerpos que comúnmente observamos. Sin embargo, esta idea no era aceptada aunque la mayoría de los científicos estaban familiarizados con ella. Fue a principios del presente siglo, con los descubrimientos de los constituyentes del átomo, el electrón y el núcleo atómico, cuando hubo una aprobación general de la naturaleza atómica de la materia.

La indivisibilidad de los átomos no se pudo sostener. En 1815, William Prout concluyó que los átomos de todos los elementos químicos estaban formados por números enteros de alguna partícula fundamental que, él suponía, era el átomo de hidrógeno.

El electrón fue descubierto por J. J. Thomson en las investigaciones que realizó sobre la naturaleza de las descargas eléctricas en gases rarificados; en particular, sobre el tipo de descargas conocida por rayos catódicos. Los trabajos fueron publicados en tres artículos en 1897, en ellos escribió que los rayos catódicos están formados por una sola clase de partículas, con un único valor de masa y carga. Y además, que Prout estaba en lo cierto, pero que el hidrógeno no sería el "átomo" fundamental, sino una partícula más ligera, la del rayo catódico (G. J. Stoney fue quien llamó electrón a esta partícula en 1874).

Esta posibilidad de que los átomos estén compuestos condujo a buscar y plantear una serie de modelos atómicos. Fueron los trabajos de E. Rutherford sobre la difusión de las partículas alfa (núcleos de helio) al atravesar hojas delgadas de metal, en 1911, los que establecieron que un átomo está formado por un núcleo central, cargado positiva-



mente y que en él reside, prácticamente, toda la masa atómica; rodea al núcleo una nube de electrones con una carga negativa que hacen al átomo, como un todo, eléctricamente neutro.

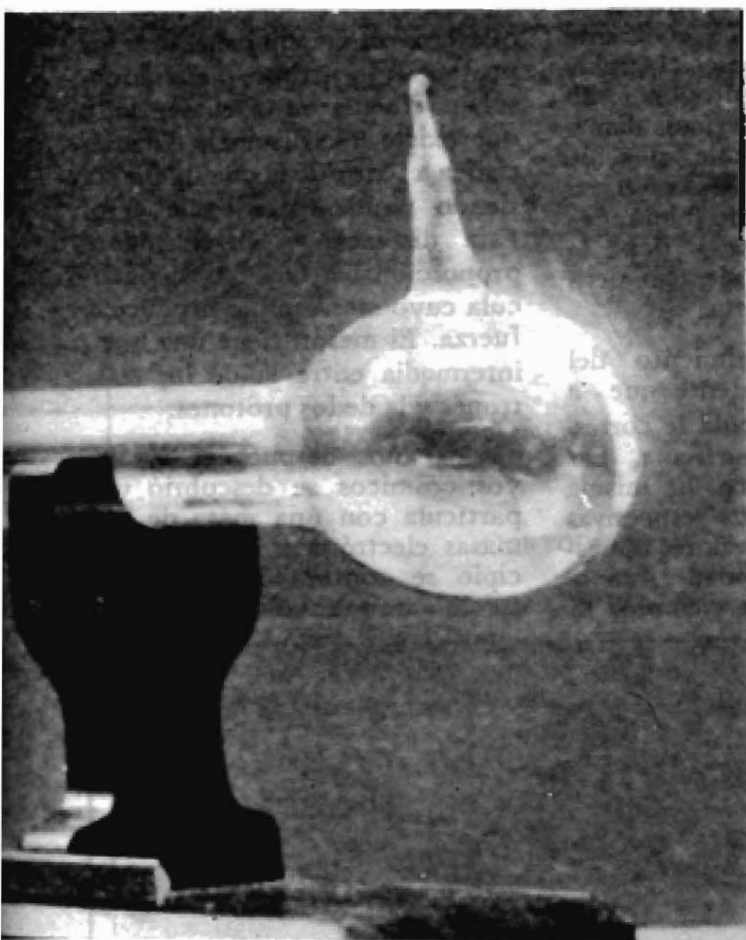
Un año después N. Bohr introdujo un modelo mecánico cuántico del átomo en el cual, los electrones que rodean al núcleo no forman una nube, sino que se encuentran en órbita, ligados al núcleo por fuerzas atractivas de Coulomb. Las órbitas están cuantizadas y cuando el electrón radía, es que ha saltado discontinuamente de una órbita a otra. Esta hipótesis explica en gran medida la naturaleza del espectro de luz emitido por los átomos.

Para 1920 los núcleos atómicos se consideraban formados por partículas pesadas cargadas positivamente que podían identificarse con el núcleo del hidrógeno, partículas que Rutherford llamó protones. Era necesario, para averiguar su naturaleza, romper el núcleo, es decir, desintegrarlo. Esto lo logró por pri-

mera vez Rutherford en 1917 haciendo colisionar partículas alfa previamente aceleradas con átomos de nitrógeno.

James Chadwick estudiando los rayos de berilio (radiación altamente penetrante) encontrados por W. Bothe y H. Becker descubrió, en 1932, una partícula neutra a la que llamó neutrón y consideró que estaba formada por un protón y un electrón. Fue necesario hacer mediciones precisas de la masa del neutrón para que se le considerara una partícula elemental (la masa del neutrón es un poco mayor que la de un protón más un electrón). Así, los núcleos pasaron a ser combinaciones de neutrones y protones quedando, en consecuencia, establecida la composición de los átomos.

El carácter corpuscular de la materia también se pone de manifiesto en la luz. Albert Einstein, en 1905, propuso que la luz podía considerarse formada por partículas: el cuanto del campo electromagnético (el fotón). Millikan en estudios del



Fotografía del aparato en que J. J. Thomson midió la relación  $e/m$  del electrón.

efecto fotoeléctrico y A. H. Compton en trabajos sobre la difusión de rayos X por electrones encontraron evidencias experimentales de la existencia de los fotones. Los fotones tienen masa cero en reposo, carga eléctrica nula y viajan a la velocidad de la luz.

Aunado al deseo de conocer la estructura de la materia ha estado el deseo de saber cómo interactúa ésta. Isaac Newton planteó la ley de gravitación universal con la ayuda de la caída de la manzana y las leyes de Kepler; esto es, unificando la mecánica celeste y terrestre al advertir que la fuerza o interacción que hace mover los planetas alrededor del sol era la misma que hace caer las manzanas de los árboles.

Otra interacción que ya se conocía desde los antiguos griegos, la electromagnética, en las propiedades del ámbar y la piedra imán, se desarrolló en su aspecto cuantitativo en los siglos XVIII y XIX. En 1785 Charles A. Coulomb publicó los resultados de sus estudios en la balanza de

torsión para medir la fuerza entre pequeñas bolas de médula de sauco. Descubrió que la ley del inverso del cuadrado se satisfacía de manera precisa para diferentes cargas y diversas separaciones. En 1820, H. Ch. Oersted advirtió que la aguja de una brújula se desviaba cuando se hacía pasar una corriente eléctrica por un hilo conductor próximo. En 1832 M. Farady descubrió las relaciones entre el magnetismo y las corrientes eléctricas y treinta y dos años después J. C. Maxwell formuló la teoría del electromagnetismo, unificando así los fenómenos eléctricos con los magnéticos y, mediante sus ecuaciones, que predicen la existencia de ondas, unificó también la óptica. La existencia de tales ondas electromagnéticas fue confirmada varios años después por H. Hertz.

Al comenzar el siglo presente J. Becquerel, Pierre y Marie Curie y otros descubrieron la radiactividad; placas fotográficas fueron grabadas por alguna clase de radiación que emergía de la materia. Investigaciones

posteriores identificaron un tipo de esta radiación como decaimiento beta; la emisión de un electrón proveniente de un neutrón del núcleo del átomo, convirtiéndose el neutrón en un protón. Al fin el sueño dorado de los alquimistas, convertir un elemento químico en otro parecía ser lo que estaba ocurriendo. Se observaba tan débilmente que se le llamó "fuerza nuclear débil". Históricamente las primeras interacciones débiles que se observaron fueron el decaimiento nuclear beta. Originalmente, la interacción débil fue descrita por Fermi (1934) en términos de una interacción puntual de contacto de cuatro fermiones (partículas con spin semientero que cumplen con la estadística de Fermi-Dirac) con intensidad constante, a la cual se le llamó constante de Fermi.

Finalmente, hablaremos de una cuarta interacción, la "fuerte". Al descubrirse que los núcleos atómicos estaban formados por protones y neutrones, se notó que si sólo existieran los tres tipos de interacciones señalados, los protones (debido a su carga eléctrica) se repelerían entre sí y el núcleo se rompería. Sin embargo, esto no sucede y los protones permanecen juntos, lo cual indica la existencia de una nueva fuerza, que debe ser más intensa que la electromagnética cuyo alcance es corto para mantener los protones y neutrones en el núcleo. A esta interacción, por sus características, se les denominó interacción fuerte.

La gravitacional es familiar para todos. Aun a la escala de masa y distancia que implica la física de partículas es, con mucho, la menos importante de las cuatro. Aparte de la gravitacional, la interacción electromagnética considera generalmente fenómenos extranucleares en la física y conduce a estados límites de átomos y moléculas. Las interacciones débiles son ejemplificadas por los procesos extremadamente lentos del decaimiento beta radiactivo del núcleo. Las interacciones fuertes están postuladas para mantener juntos los quarks (ver

más adelante) en un protón y sus efectos residuales, aparentemente, motivan las interacciones entre neutrones y protones, que son la fuerza de ligadura nuclear.

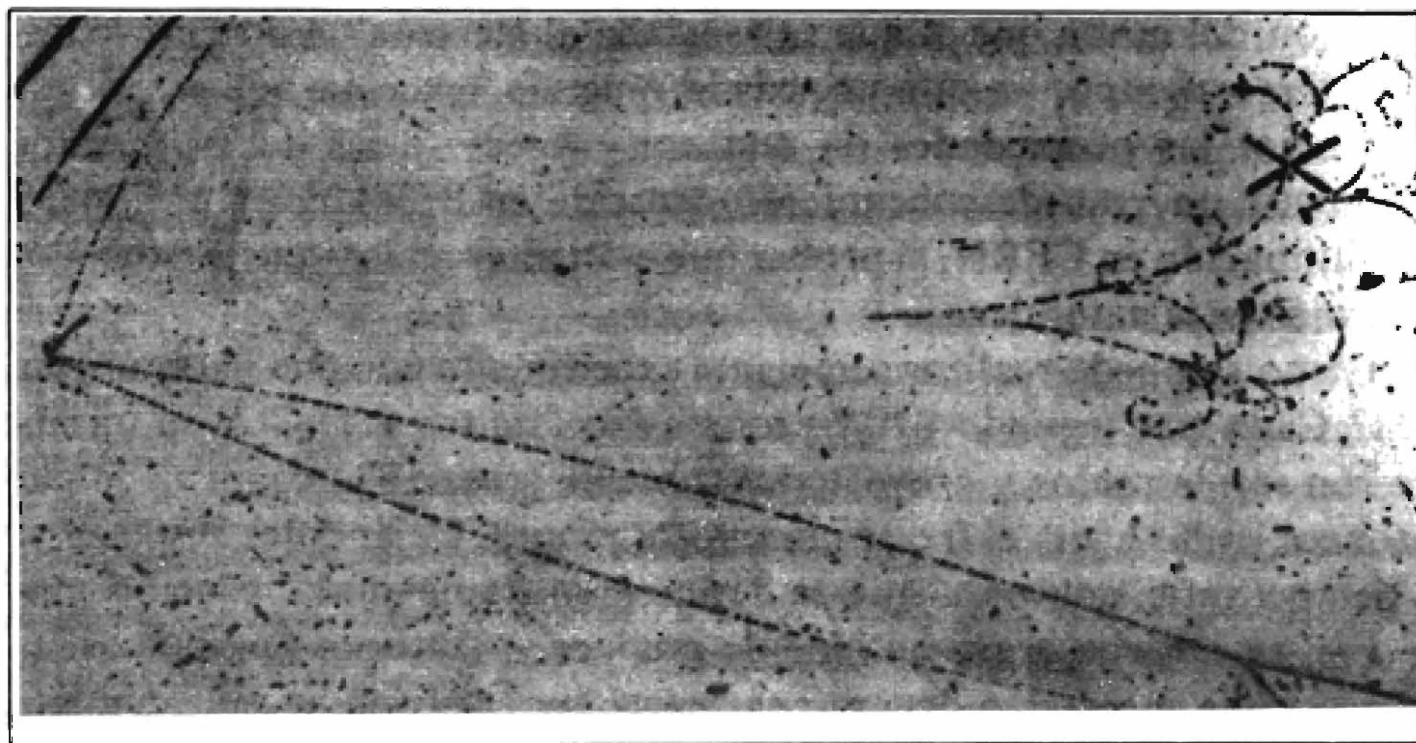
Como vemos en el párrafo anterior han sido observadas otras partículas, aparte de los constituyentes del átomo y la luz. En 1930 Wolfgang Pauli propuso que en la desintegración beta se emitía otra partícula además del electrón, que compartiría la energía disponible dado que el núcleo radiactivo no salía con energía cinética definida, sino con un espectro continuo de energías, que iban desde cero hasta un valor máximo característico del núcleo emisor. La hi-

la mecánica cuántica coherente con la relatividad especial, trabajo que lo llevó a proponer, en 1930, una nueva partícula llamada positrón. Partícula que fue observada por C. Anderson en 1932, en experimentos con rayos cósmicos. El positrón tiene la misma masa que el electrón pero carga eléctrica opuesta.

Tras el descubrimiento del positrón, quedó patente que a cada tipo de partícula le correspondería su antipartícula. Las antipartículas tienen la misma masa y spin que sus respectivas partículas, aunque valores opuestos en otras propiedades, en la carga eléctrica por ejemplo. El

que eran intercambiadas por los protones y neutrones (generándose una fuerza entre ellas), dado que existe una distancia característica a partir de la cual la fuerza tiende rápidamente hacia cero. Esta distancia es inversamente proporcional a la masa de la partícula cuyo intercambio produce la fuerza. El mesón tiene una masa intermedia entre la de los electrones y la de los protones.

Dos años después en los rayos cósmicos se descubrió una partícula con una masa de 200 masas electrónicas. En un principio se confundió con la partícula de Yukawa pero en



potética partícula de Pauli pasó a ser conocida como neutrino: "la pequeña neutra". Por lo tanto el proceso de desintegración beta consistía en lo siguiente: el neutrón del interior del núcleo se convertía, espontáneamente, en un protón, un electrón y un neutrino (para ser exactos en un antineutrino). El neutrino es una partícula cuya masa no es mayor que  $10^{-4}$  la masa del electrón y que es eléctricamente neutra. Fue observada por Clyde L. Cowan y Frederick Reines en 1955.

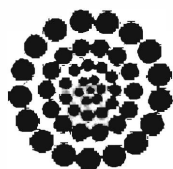
A finales de la década de 1920, P. A. M. Dirac desarrolló

positrón es la antipartícula del electrón; el antineutrino, emitido junto con electrones en la desintegración beta del núcleo rico en neutrones es la antipartícula del neutrino, emitido junto con positrones en la desintegración beta de núcleos ricos en protones, y el fotón, eléctricamente neutro, constituye su propia antipartícula. En 1955 se consiguieron antiprotones en el acelerador Bevatrón de Berkeley.

Al tratar de explicar la causa de la interacción nuclear Hidekei Yukawa, en 1935, planteó la existencia de los mesones, partículas

1945 otro experimento demostró que los mesones que predominan en los rayos cósmicos interaccionan muy débilmente con los neutrones y los protones. Este problema se resolvió en base a la surgerencia de que había dos tipos de mesones con masas ligeramente diferentes. El más pesado, el mesón pi o pion, interacciona fuertemente con protones y neutrones y contribuye a la fuerza nuclear de la manera prevista por Yukawa; el más ligero, el muon, interacciona débil y electromagnéticamente y no tiene nada que ver con la teoría de Yukawa. Esto

## CONCURSO NACIONAL "NEWTON"



### CONVOCATORIA

La Sociedad Mexicana de Física, el Planetario de Puebla y las revistas *Ciencia y Desarrollo* y *Elementos* convocan al Concurso Nacional "Newton" en el tercer centenario de la publicación del *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* conforme a las siguientes bases:

1. Presentación de un ensayo inédito de carácter divulgativo sobre "La obra de Newton y sus repercusiones en el mundo actual". El ensayo deberá estar escrito en español.
2. Los concursantes deberán enviar sus trabajos por cuadruplicado, escritos a máquina a doble espacio, en papel tamaño carta, por una sola cara, con una extensión máxima de 20 cuartillas a la Sociedad Mexicana de Física, Apartado Postal 70-348, 04510 México, D.F., o entregarlos personalmente en el local de la SMF.\*
3. Los trabajos deberán enviarse firmados con seudónimo, adjuntando en un sobre separado la identificación precisa del autor indicando domicilio y teléfono.
4. El certamen queda abierto desde la publicación de esta convocatoria hasta el 2 de septiembre de 1987.
5. El jurado calificador estará integrado por distinguidos hombres de ciencia, historiadores y escritores cuyos nombres serán dados a conocer con oportunidad.
6. El acto de premiación se llevará a cabo el 28 de octubre de 1987, durante el Congreso Nacional de la SMF que se realizará en la ciudad de Mérida.
7. Las revistas *Ciencia y Desarrollo* y *Elementos* publicarán el trabajo premiado.
8. Habrá un premio único de 750,000 pesos y diploma.
9. A propuesta del jurado, se podrán otorgar una o más menciones honoríficas consistentes en diploma, un lote de libros, y posible publicación en las revistas *Ciencia y Desarrollo* y/o *Elementos*.

\* En Puebla entregarlos en las oficinas de la revista *Elementos*, Av. Reforma 913, Planta alta. Tel. 46 80 67.

se verificó experimentalmente. Existen varias variedades de piones y muones.

Piones, protones y neutrones pertenecen a la clase de partículas conocidas por hadrones; se caracterizan porque sienten la interacción fuerte. Muones, electrones y neutrinos pertenecen a la clase de leptones que no interactúan fuertemente pero sí lo hacen de una manera débil y electromagnéticamente.

Las partículas que se han mencionado son las más comunes en nuestro universo pero esto no significa que no existan más. A partir de 1947 se han seguido descubriendo nuevos estados hadrónicos (e incluso con otras propiedades, como la extrañeza) y leptónicos, sin embargo, en nuestro artículo no es posible continuar enumerándolos.

La física de altas energías se ocupa básicamente de los constituyentes últimos de la materia y de la naturaleza de las interacciones entre ellos. Las investigaciones experimentales en este campo de la ciencia son realizadas con gigantescos aceleradores de partículas y sus equipos de detección asociados. Las altas energías son necesarias por dos razones: la primera es que para realizar la investigación a escalas muy pequeñas de las distancias asociadas con los constituyentes elementales, uno requiere radiación de longitud de onda lo más pequeña que sea posible y las energías más altas posibles; segundo, que muchos de los constituyentes tienen masas grandes y requieren, correspondientemente, energías altas para su creación y estudio.

Por último queremos hablar de los quarks y los mediadores de interacción. Los quarks fueron postulados por Murray Gell-Mann y George Zweig por separado en 1964 como los constituyentes de los hadrones, es decir, los hadrones son estados ligados de los quarks. Evidencias experimentales fueron encontradas por primera vez en 1968 en SLAC y el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Los quarks poseen carga de "color" (si tienen interacción fuerte) y,

además, carga eléctrica fraccionaria ( $-1/3$  y  $2/3$  de la carga del electrón). Para formar un hadrón se ligan entre sí tres quarks con un quark de cada color (combinaciones blancas) o, se ligan un quark de un color dado con un antiquark del anticolor correspondiente (combinaciones sin color). No hay otras combinaciones posibles. Las interacciones fuertes se deben a la interacción entre colores. Hasta la fecha existen evidencias de seis clases de quarks (las clases también se conocen como sabores).

A fines de la década de los cincuenta (1957), Glashow, A. Salam y S. Weinberg trabajaron sobre la teoría electrodébil que plantea la unificación de las interacciones débiles con las electromagnéticas. En 1974, H. Georgi y S. L. Glashow formularon una teoría que unifica las interacciones electrodébiles y la cromodinámica\* con la teoría de las interacciones fuertes a través de una teoría de norma no

abeliana basada en un grupo de simetría. Esta teoría requiere un conjunto de partículas mediadoras de la interacción: el fotón, para las interacciones electromagnéticas; los bosones vectoriales  $W^{\pm}$  y  $Z^0$ , para las interacciones débiles (fueron detectados en 1983 por CERN); y ocho gluones G, para las interacciones fuertes (también existen evidencias experimentales de su existencia).

Desgraciadamente no nos es posible profundizar más en los puntos tratados en este artículo. Sugerimos a los lectores interesados consultar las referencias.

\* La cromodinámica es una teoría que describe un grupo de simetrías de la teoría que está asociada con la conservación de la carga de color y con el hecho de que los gluones, partículas mediadoras entre los quarks, carecen de masa.

## Referencias

1. Steven Weinberg, *Partículas subatómicas*, editado por Prensa Científica, Editorial Labor, 1985.
2. Arnulfo Zepeda D., *Revista Mexicana de Física*, vol. 31, núm. 3, 1985. pp. 531-549.
3. Y. Nambu, *Quarks, Frontiers in elementary particle physics*, editado por World Scientific, 1985.
4. A. Borovóv, *Cómo se registran las partículas*, editado por Editorial MIR Moscú, 1985.
5. *CERN Courier*, vol. 23 núm. 29, 1983 pp. 355-361.
6. *Partículas elementales, Quarks, leptones y unificación de las fuerzas*. Libros de Investigación y Ciencia, editado por la Prensa Científica Editorial Labor, 1985.
7. James S. Tefil, *De los átomos a los quarks*, editado por Biblioteca Científica Salvat, 1985.
8. *Berkeley physics course. Física cuántica*, vol. 4, editado por Editorial Reverté S. A., 1972.
9. L. Ponomarióv, *Alrededor del cuanto*, editado por MIR Moscú, 1974.

# CIENCIAS

REVISTA DE DIFUSION



**Revista Ciencias\***  
 Cubículos 320 y 321  
 Departamento de Física  
 Facultad de Ciencias, UNAM  
 México, 04510 D.F.

\* En Puebla adquirla en las oficinas de la revista *Elementos*, Av. Reforma 915 Planta Alta, Tel. 46 80 67.