

Lectura complementaria: Las fuerzas fundamentales *

En los últimos años se han realizado descubrimientos excitantes en Física, descubrimientos que han revolucionado la forma en que comprendemos la materia y las fuerzas que determinan su comportamiento. Los físicos están intentando encontrar una única fuerza que explique todas las interacciones que observamos en la naturaleza. Esta búsqueda para unificar todas las fuerzas es una única fuerza que se basa en el concepto de fuerza fundamental. Una fuerza fundamental es el resultado de interacciones elementales entre partículas. Tal fuerza explica muchos fenómenos que no pueden atribuirse a otras fuerzas. Por ejemplo, las fuerzas de contacto entre objetos macroscópicos no son consideradas fuerzas fundamentales. Estas fuerzas son complejas manifestaciones de una fuerza más fundamental, la fuerza electromagnética (que se discutirá más adelante). Contrariamente, la fuerza gravitatoria no es un efecto que pueda ser explicado como un ejemplo de alguna otra fuerza. La fuerza gravitatoria es una fuerza fundamental. ¿Lo es en realidad? ¿cómo podemos estar seguros? Una fuerza es considerada como fundamental en una época en función de lo que se conoce en ese momento.

Para ser más concretos, vamos a situarnos en el año 1967 y describamos las fuerzas que se conocían entonces. Había cuatro fuerzas fundamentales:

1. La fuerza gravitatoria.
2. La fuerza electromagnética.
3. La fuerza nuclear fuerte.
4. La fuerza nuclear débil.

Ya estamos familiarizados con la fuerza gravitatoria. Después de discutir brevemente las otras tres fuerzas y comparar las cuatro fuerzas fundamentales, discutiremos los progresos realizados hacia la unificación de las fuerzas fundamentales.

La fuerza electromagnética es importante por muchas razones. Como se mencionó anteriormente, es el origen de las fuerzas de contacto que se experimentan a nivel macroscópico, como el rozamiento. Esta interacción da

lugar a las descargas eléctricas en alambres metálicos, la fuerza electromagnética es la base de una gran parte de nuestra tecnología. Es considerada como una fuerza fundamental porque es responsable de las interacciones entre algunas de las partículas elementales que componen la materia. Por ejemplo, proporciona la fuerza atractiva que mantiene los electrones del átomo cerca de su núcleo. Como indica su nombre, la fuerza electromagnética incluye las fuerzas eléctrica y magnética. Estas dos fuerzas están íntimamente relacionadas, ambas son el resultado de una propiedad de la materia, la carga eléctrica.

La fuerza nuclear fuerte es la fuerza que une los protones con los neutrones para formar los núcleos atómicos. Dentro del núcleo los protones y los neutrones están confinados a un espacio muy pequeño, unos $5 \cdot 10^{-15}$ m de diámetro. Debido a su carga eléctrica, los protones se repelen entre sí mediante la fuerza electromagnética. Si no fuera por el dominio que ejerce la fuerza nuclear fuerte, la repulsión entre los protones haría inestable el núcleo; los protones se dispersarían y el núcleo no podría existir.

La fuerza nuclear débil actúa entre partículas elementales y es responsable de algunas reacciones nucleares. Por ejemplo, en la desintegración radiactiva de los núcleos provoca su escisión en varios fragmentos. La fuerza nuclear débil causa una desintegración radiactiva particular que se denomina desintegración beta. Además la fuerza nuclear débil es importante en el control de la velocidad de reacción de algunas reacciones nucleares que ocurren en estrellas como el sol. La vida media del sol está determinada por las características de esta fuerza.

La tabla siguiente muestra una comparación entre las fuerzas fundamentales. Consideremos la distancia a la que actúa cada fuerza, o su alcance.

Comparación de las fuerzas fundamentales

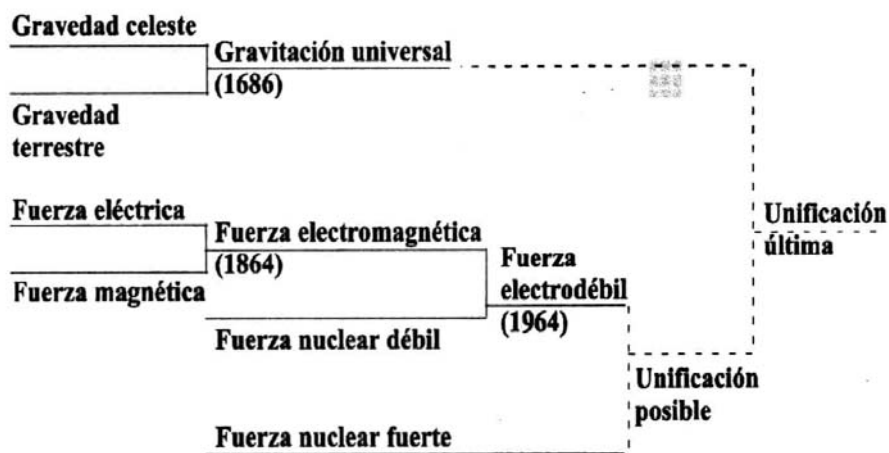
	Gravitacional	Electromagnética	Nuclear fuerte	Nuclear débil
Ejemplo de interacción	Une las estrellas en las galaxias	Mantiene unidos los electrones en los átomos	Une a los protones y los neutrones del núcleo	Responsable de la desintegración beta
Alcance	Infinito	Infinito	10^{-15} m	10^{-16} m
Intensidad relativa	10^{-39}	10^{-2}	1	10^{-5}

Las fuerzas gravitacional y electromagnética dependen inversamente con el cuadrado de la distancia. El módulo de estas fuerzas disminuye al aumentar la distancia, pero nunca llega a ser cero. El alcance de estas fuerzas es infinito. La fuerza nuclear fuerte tiene un alcance corto; su efecto es imperceptible más allá de la distancia de separación de unos 10-15 m . El alcance de la fuerza nuclear débil es aún menor, menos de unos 10-16 m.

En una escala de intensidades, en que la fuerza nuclear fuerte tuviese magnitud 1, la fuerza electromagnética tendría un valor de 10^{-2} , la fuerza nuclear débil tendría un valor de 10^{-5} , y la fuerza gravitatoria tendría un valor de 10^{-39} . La fuerza gravitatoria es, con mucho, la fuerza más débil de las fuerzas fundamentales. Esto es evidente, ya que la fuerza gravitatoria es a menudo la fuerza dominante sobre los objetos que regularmente nos encontramos. Para comprender esto, debemos tener en cuenta que las fuerzas nucleares débil y fuerte actúan en un rango de distancias que no son accesibles en el mundo macroscópico, donde se fragua la experiencia humana directa. Los efectos directos de estas fuerzas se observan en experimentos con aceleradores de alta energía, donde se aceleran partículas que penetran profundamente en la materia. En el caso de la fuerza electromagnética, la carga eléctrica de los objetos macroscópicos es a menudo tan pequeña que no produce efectos notables. Los objetos macroscópicos están compuestos tanto por partículas elementales con carga positiva como por otras con carga negativa. Normalmente la cantidad de carga negativa es casi exactamente igual a la carga positiva, de forma que prácticamente el objeto es eléctricamente neutro y experimenta fuerzas eléctricas insignificantes.

La figura anexa muestra la tendencia histórica hacia la unificación. Como hemos visto en este capítulo, Newton unificó las fuerzas celestiales con la fuerza gravitatoria de la Tierra al descubrir la ley de la gravitación universal. Los trabajos experimentales a lo largo del siglo XIX unificaron los fenómenos eléctricos y magnéticos, lo que culminó con la teoría del electromagnetismo desarrollada por James Clerk Maxwell. Más recientemente, el avance hacia la unificación fue llevado a cabo independientemente por Steven Weinberg y Abdus Salam, quienes mostraron la conexión que subyace entre la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil. Esta unificación dio lugar a la

llamada fuerza electrodébil. Un esquema similar al de la fuerza Weinberg-Salam puede traernos en el futuro próximo la unificación de la fuerza electrodébil con la fuerza nuclear fuerte. En la figura nos hemos atrevido a especular sobre la existencia de una unificación última entre todas las fuerzas. ¿Existe esta fuerza fundamental? Si existe, ¿será suficientemente simple como para que los humanos podamos conocerla? La búsqueda de la unificación se basa en nuestra creencia de que, eliminando la máscara de la complejidad, encontraremos que la esencia de la naturaleza es maravillosamente simple.



*Extraído de W.E. Gettyf, J.F. Keller y M.J. Skove. "Física Clásica y Moderna". McGraw-Hill (España) 1991