

Ciencia, arte, tradición, opinión, reflexión y meditación.

Artículo: **Las fuerzas de la naturaleza**

Autor(es): **Dr. René Luna García**

rlunar@cic.ipn.mx

Publicación: **No. 1, vol. 2023**

Reserva de derechos al uso exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR): 04-2022-111717422400-102. ISSN en trámite.

Las opiniones expresadas por los autores de artículos no necesariamente reflejan la postura del editor de esta publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



Las fuerzas de la naturaleza

No. 1

Vol. 2023

René Luna García

rlunar@cic.ipn.mx

Conceptualmente, la fuerza se considera la interacción entre dos objetos (materia). Newton define la interacción como algo que mueve un objeto en forma acelerada y que puede ser de atracción o repulsión.

Las fuerzas de la naturaleza más formalmente son conocidas como las fuerzas fundamentales, y son las que rigen la dinámica y en general el comportamiento que observamos del universo. El universo por su complejidad en general, crea en los primeros momentos de su nacimiento, reglas a las que llamamos leyes, y que sirven como elementos/reglas de la evolución temporal y espacial.

En la creación del universo, se le dota a la materia de propiedades fundamentales e intrínsecas, y que están ahí por el simple hecho de ser materia, mismas que le fueron asignadas en los primeros momentos de la evolución del universo, es decir, en momentos cercanos a la gran explosión. Las propiedades de la materia propician 4 tipos de interacciones fundamentales que han sido estudiadas por los físicos durante mucho tiempo.

Las 4 interacciones fundamentales son: fuerza gravitacional, fuerza electromagnética, fuerza nuclear fuerte y fuerza débil (¿Hay una quinta fuerza?). Cada una de estas interacciones rigen la materia a diferentes escalas espaciales y temporales. Con esto podemos explicar mucha de la dinámica de la materia en el universo.

Desde el punto de vista histórico, la observación de los fenómenos naturales ha motivado a la búsqueda de una explicación consistente que describa estos fenómenos y de ser factible predecir posibles consecuencias. Como podemos notar, las interacciones fundamentales se encuentran ocultas detrás de lo que vemos y percibimos todos los días, y son capaces de combinarse a nivel macroscópico y

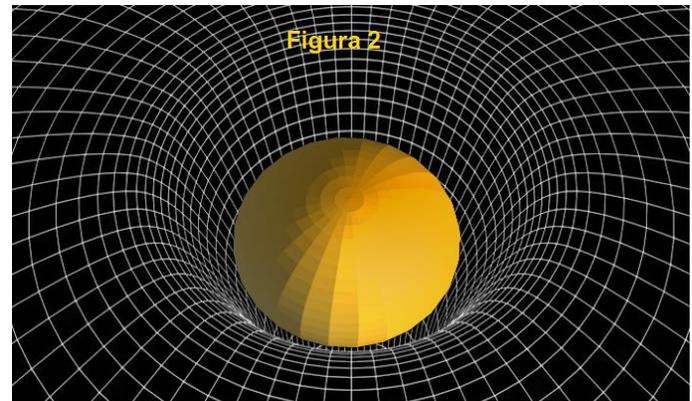
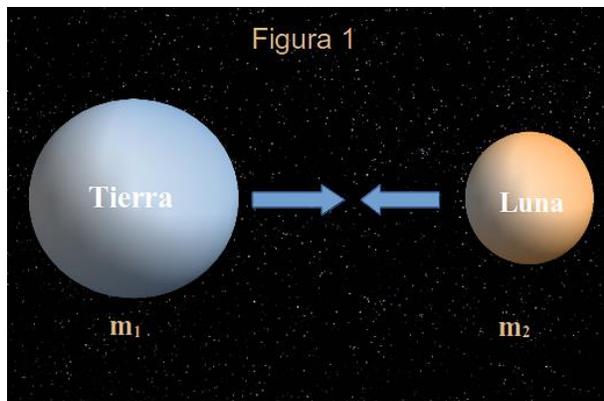
microscopio.

La presencia de las interacciones fundamentales puede ser vista en todo lo que usamos y vemos cotidianamente, por ejemplo: el magnetismo en los imanes que tenemos en la puerta del refrigerador, la radiación que cocina nuestros alimentos en un horno de microondas, la atracción gravitacional que actúa sobre el balón con el que jugamos al fútbol, la electricidad que llega por cable a nuestras casas, etc. Una descripción general de las interacciones fundamentales es descrita a continuación,

Interacciones gravitacionales (F_g)

La interacción gravitacional/gravitatoria o simplemente fuerza de gravedad es probablemente la más familiar e intuitiva en general. Esta fuerza es la más débil de las 4 y su escala de acción es de larga distancia comparada con las otras 3 fuerzas.

Issac Newton fue el primero en proponer que la gravedad es la fuerza de atracción entre objetos con masa, inspirado al observar una manzana cayendo de un árbol; o como la atracción gravitacional entre la tierra y la luna, y es descrita por la hoy conocida como ley de gravitación universal, ver **Figura 1**. Sin embargo, Albert



Einstein propone una idea diferente para describir la gravedad, surgiendo que la gravedad no es una fuerza de atracción, sino las consecuencias de objetos masivos deformando el espacio-tiempo, y que se describe a través de la conocida Teoría General de la Relatividad, ver **Figura 2**. Un objeto altamente masivo en el espacio tiempo deforma el espacio, como un objeto pesado colocado en el centro de una

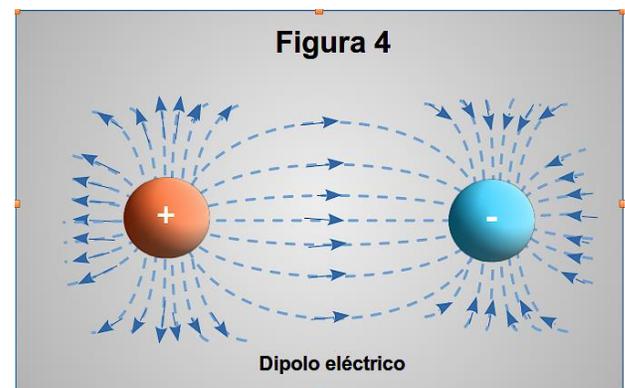
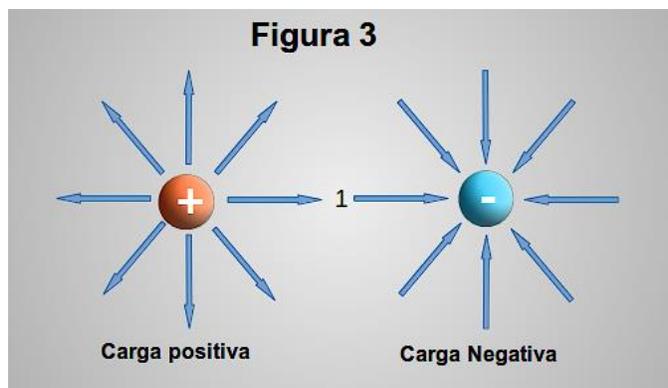
tela bien estirada, haciendo que los objetos caigan hacia el centro.

Interacciones electromagnéticas

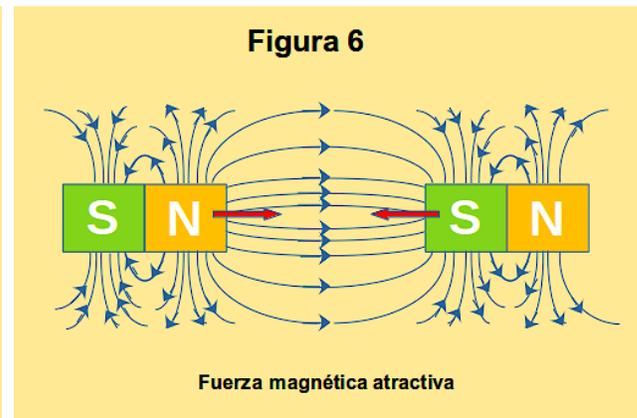
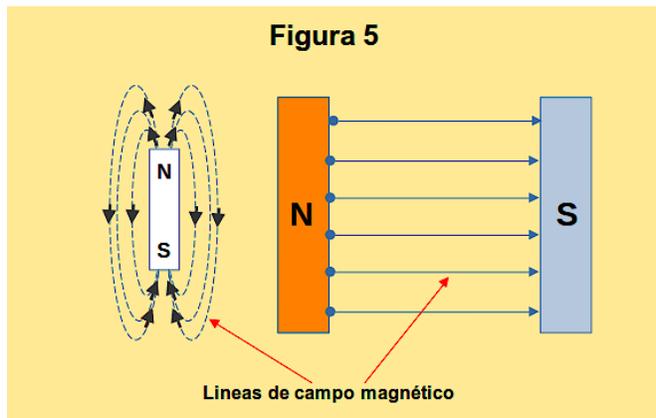
El electromagnetismo es también una interacción que experimentamos comúnmente en la vida cotidiana. Y esta formada por las fuerza eléctricas y magnéticas.

Fuerza eléctrica (F_e)

La fuerza eléctrica es la interacción que sienten dos partículas cargadas eléctricamente. El campo eléctrico de cada partículas cargadas se representa por líneas de campo eléctrico que salen en caso de cargas positivas y líneas que entran en caso de cargas negativas, **Figura 3**. Experimentalmente se observa que cargas iguales se repelen, mientras que cargas diferentes se atraen, y para cargas mas grandes mayor es la fuerza, **Figura 4**.



Pensemos en un experimento: Sean dos partículas idénticas con masa $m=1\text{kg}$, carga $q=1\text{ C}$, separadas una distancia $r=1\text{m}$, con estos valores podemos ver que la F_e es mucho mas grande que la F_g gravitacional, mas precisamente $F_e=1.35 \times 10^{20} F_g$, esto significa que la fuerza eléctrica es 135000000000000000000 veces más grande que la fuerza gravitacional, es decir, que la fuerza eléctrica tiene su mayor aportación a escalas espaciales pequeñas.



Fuerza magnética (F_m)

La fuerza magnética es la manifestación de la interacción entre campos magnéticos. El campo magnético al igual el campos electrico se representa por líneas que salen del polo norte y se dirigen hacia el polo sur como se muestra en la **Figura 5**, y pueden ser producidos por cargas eléctricas en movimiento, estos movimientos pueden ser macroscópicos o microscópicos como ocurre en los imanes naturales o artificiales. La fuerza magnética se produce cuando interactúan 2 objetos magnéticos (2 imanes), o un objeto magnético (imán) con objetos hechos de materiales ferromagnéticos (hierro, cobalto, níquel, etc), **Figura 6**.

Fuerza electromagnética (F_{em})

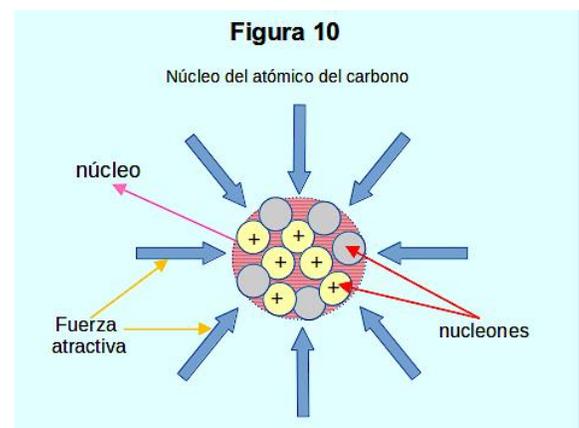
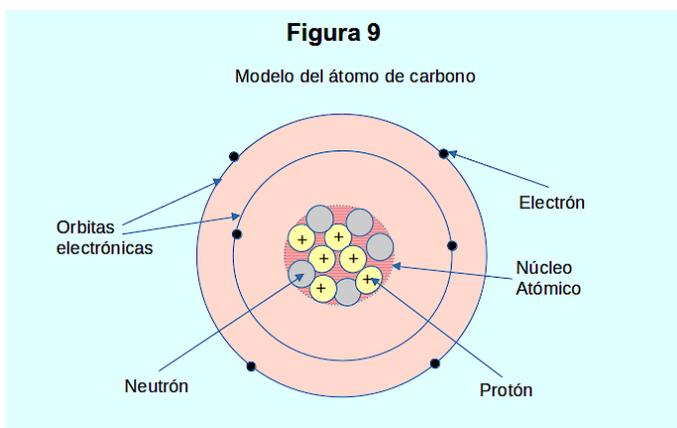
El magnetismo y la electricidad son 2 fuerzas que provienen del mismo fenómeno. La corriente eléctrica es un conjunto de electrones moviéndose a través de un cable y que a su vez producen un campo magnético, si este envuelve a un material ferromagnético se produce un electro imán, como se describe en la **Figura 7**.

Faraday propone líneas de campo invisibles que envuelven un imán (semejantes a las propuestas por Coulomb para la descripción del campo eléctrico). Estas líneas cubren el espacio que lo rodea como se muestra en la **Figura 8**, la sección del material donde las líneas de campo salen e conoce como polo norte, y la región donde las líneas de campo llegan se conoce como polo sur.

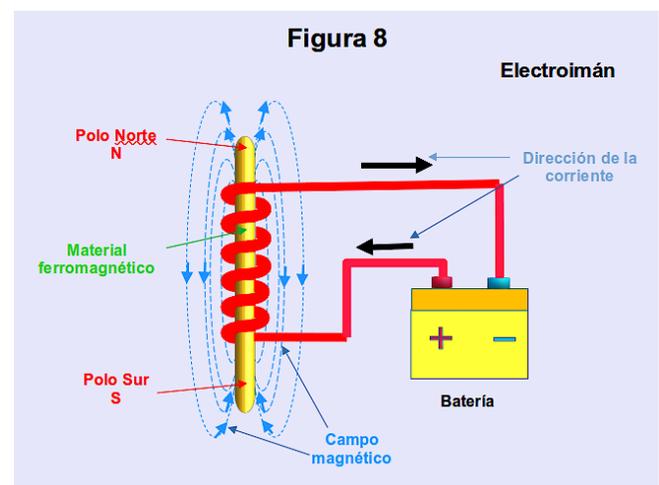
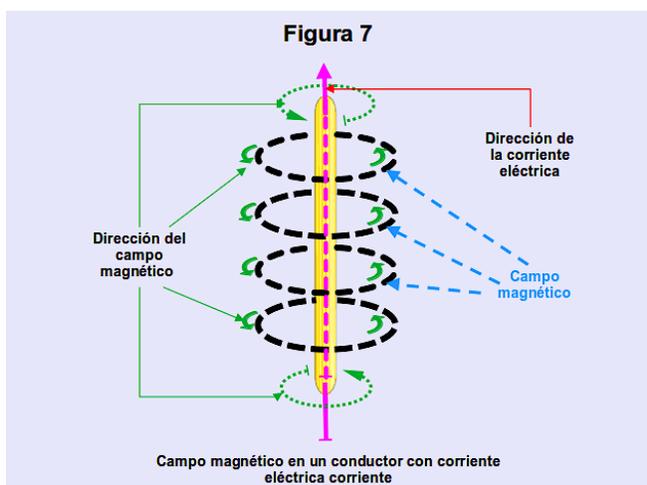
James Clark Maxwell, a partir de las líneas de Faraday plantea la idea de que la fuerza magnética sentida entre las partículas magnéticas se produce a través de estas líneas de campo.

Interacciones Fuertes (F_f)

Las interacciones fuertes o también llamadas fuerza nuclear fuerte, a diferencia de las 2 anteriores, no las encontramos comúnmente en nuestras actividades cotidianas, o al menos no es fácil identificarlas.



La F_f es la mayor fuerza atractiva e interactúa a distancias nucleares, es decir, a distancias del orden de 1fermi ($1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$), que es aproximadamente el tamaño del núcleo atómico. Esta fuerza es la responsable de mantener a los nucleones (protones y neutrones) confinados en el núcleo atómico (ver **Figura 9**).



Si consideremos que el tamaño medio de un átomo es del orden de un 1ámstrong ($1A=10^{-5}fm=10^{-10}m$), significa que estas fuerzas interactúan aproximadamente a distancias de un diezmilésimo del tamaño de un átomo, que es como pensar que la cabeza de un alfiler es el núcleo y un estadio de beisbol el átomo.

Si comparamos la magnitud de la fuerza fuerte con las fuerza gravitacional, tenemos que la fuerza nuclear es aproximadamente 6×10^{39} (un 6 con 39 ceros) veces mayor que la fuerza gravitacional (**Figura 10**).

Por otra parte si ahora comparamos la F_f con la F_e , tenemos que la fuerza nuclear es aproximadamente 4.2×10^{19} (42 mas 18 ceros) veces mayor que la fuerza gravitacional (**Figura 10**). Por lo que a distancias nucleares las interacciones fuertes predominan sobre las interacciones electromagnéticas y gravitacionales.

Dos protones en un núcleo atómico tienen la misma carga eléctrica por tanto se repelen eléctricamente, pero la fuerza de repulsión es nula comparada con la fuerza fuerte de atracción.

Interacciones débiles

Las interacciones débiles o fuerzas nucleares débiles, son las responsables de la radioactividad o también conocida como decaimiento radioactivo.

Se describen a continuación algunos ejemplos de decaimientos radiactivos como: decaimiento alfa(α), decaimiento beta(β) o emisión de neutrones, emisión de positrones, emisión gama, captura electrónica, fisión espontanea; que son solo algunos de los tipos de decaimientos conocidos:

- *El decaimiento alfa (α)* es la emisión de una partícula alfa o núcleo de helio, este decaimiento ocurre en átomos pesados, por ejemplo: $^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^4_2\alpha$, es decir, un átomo de Radio-226 decae en una átomo de Radón-222 mas una partícula Alfa,
- *El decaimiento beta (β)* o emisión de neutrones ocurre cuando dentro de un núcleo, un neutrón se convierte en protón al mismo tiempo que libera un

electrón, por ejemplo, $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\beta$, es decir, un átomo de Carbono-14 decae en un átomo de Nitrógeno-14 más una partícula Beta,

- *La emisión de positrones (e^+)* ocurre comúnmente en núcleos atómicos no estables, cuando un protón se convierte en un neutrón emitiendo un positrón y un neutrino del electrón (ν_e), por ejemplo: $^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^0_{+1}\beta^+(e^+) + \nu_e$, es decir, un átomo de Radio-226 que decae en un átomo de Radón-222 más una partícula Alfa más un Neutrino del electrón,
- *La emisión gama (γ)* ocurre cuando un núcleo excitado que emite un fotón de alta energía o también llamado gamma, para alcanzar un estado no excitado, por ejemplo: $^{234}_{88}\text{Th}^* \rightarrow ^{234}_{88}\text{Th} + ^0_0\gamma$, es decir, un átomo de Torio-234 emite un fotón (gama) y cambiando a un átomo de Torio-222,
- *La captura electrónica* ocurre cuando en un núcleo atómico, un electrón es capturado por un protón para dar como resultado un neutrón, por ejemplo: $^{40}_{19}\text{K} + ^0_{-1}e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_e$, es decir, un átomo de Potasio-40 captura un Electrón, transformándose en un átomo de Argón-40 más un Neutrino del Electrón,

Reacción	Formula	Modelo
Emisión de Positrones	$^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^0_{+1}\beta^+(e^+) + \nu_e$	
Captura Electrónica	$^{40}_{19}\text{K} + ^0_{-1}e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_e$	
Fisión Espontánea	$^{254}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{118}_{46}\text{Pd} + ^{132}_{52}\text{Te} + 4 \cdot ^1_0n$	

Figura 9.

- *La fisión espontánea* puede ser observada en núcleos con número atómico

mayor que 104 ($z > 104$). Este es un proceso donde un núcleo atómico se divide en varios núcleos (2 o mas), esto puede pasar cuando la relación entre número de neutrones y numero de electrones es alta, por ejemplo: $^{254}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{118}_{46}\text{Pd} + ^{132}_{52}\text{Te} + 4 \cdot ^1_0\text{n}$, es decir, un átomo de Californio-254 se fisiona en un átomo de Paladio-118 mas un átomo de Telurio-118 mas 4 Neutrones.

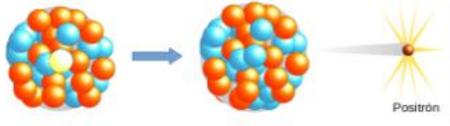
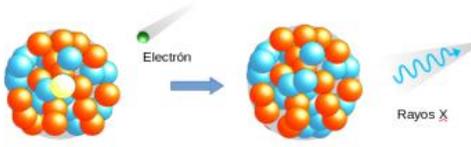
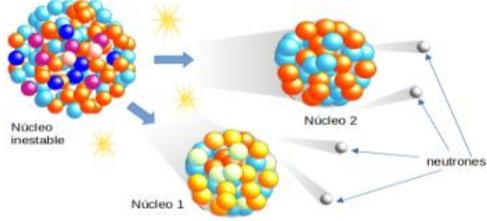
Reacción	Formula	Modelo
Emisión de Positrones	$^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^0_{+1}\beta^+(e^+) + \nu_e$	
Captura Electrónica	$^{40}_{19}\text{K} + ^0_{-1}e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_e$	
Fisión Espontanea	$^{254}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{118}_{46}\text{Pd} + ^{132}_{52}\text{Te} + 4 \cdot ^1_0\text{n}$	

Figura 10.

Estas son solo algunas de la posibles reacciones que son propiciadas y explicadas por las interacciones débiles. Estas interacciones han permitido el desarrollo de tecnología en diversas áreas, como por ejemplo: en la física médica y en el desarrollo de nuevos tratamientos médicos basados en el haz de neutrones o protones.

Partículas portadoras

Las partículas portadoras o mediadores de las fuerzas, pero mas formalmente llamados bosones, son partículas que se encuentran en intercambio permanente durante el proceso de cualquier interacción fundamental, por ejemplo: en la unión de los átomos, en la radiactividad, en la atracción de objetos con masa o carga

electromagnética, etcétera. Cada una de las 4 fuerzas fundamentales tiene al menos una partícula mediadora o portadora:

- los bosones W y Z son las partículas implicadas y las responsables de la interacción débil,
- el gluón es el mediador o el responsable de la interacción fuerte,
- el fotón es el mediador o responsable de la fuerza electromagnética, y
- el gravitón es el mediador o responsable de la fuerza gravitacional.

Quinta fuerza

En 2015 un grupo de científicos del Instituto de Investigaciones nucleares de Hungría (Atomki) [referencia 7, 8, 10] encuentra anomalías en experimentos de creación de pares de partículas e^-e^+ , para resolver las discrepancias se postularon la existencia de un nuevo bosón neutro, que es indicador de una nueva interacción. Un año más tarde en la Universidad de California, un grupo de investigadores concluye que la hipótesis del equipo húngaro, es compatible con los resultados observados, postulando el descubrimiento un nuevo bosón (a veces conocido como bosón oscuro) que escapaba al Modelo Estándar de la Física [referencia 8]. En el experimento Muong g-2, se ha analizado el comportamiento de de la creación de pares, encontrando unas partículas subatómicas que existen de manera fugaz y desaparecen en cuestión de fracciones de segundo y que concuerda con el bosón oscuro. Años mas tarde, en 2021 el mismo grupo húngaro encuentra nueva evidencia de la existencia de la quinta fuerza con un bosón en el orden 17MeV.

En enero del 2022, G. Burra investigador de la Universidad de Udine, Italia, propone una teoría y muestra desde el punto de vista matemático la posible existencia de la quinta fuerza.

Pero aún no se tiene estadística suficiente, ni comprobación de dicho bosón en otros experimento que muestren pruebas contundentes de la existencia de una

quita fuerza. Así que, por ahora, solo queda esperar mas resultados.

Unificación de fuerzas

Considerando las fuerza eléctrica y magnética como dos fuerzas diferentes, pero manifestaciones de un mismo fenómeno, entonces estas pueden ser unificadas en una única fuerza llamada fuerza electromagnética.

A su vez el modelo electrodébil es un modelo que unifica las interacciones nucleares débiles y las interacciones electromagnéticas, es decir, se tiene la unificación de 2 de las 4 fuerzas fundamentales.

Una pregunta que se han hecho los físicos por muchos años es, ¿Las 4 fuerzas fundamentales podrían ser la manifestación de una sola gran fuerza unificada?, y de ser así, ¿Podemos crear una teoría para la gran unificación de fuerzas?

La historia

En la historia, han existido grandes científicos que han contribuido el conocimiento de las fuerzas de la naturaleza y con el avance de los conocimientos de la humanidad, entre ellos están:

- Galileo Galilei (1564-1642) describe las manchas solares, y superficies montañosas en la luna, y describe la rotación de la tierra alrededor del sol, terminando en un juicio de la inquisición en 1633.
- Isaac Newton (1643-1727) enuncia las 3 leyes del movimiento y la ley de gravitacional universal.
- Michael Faraday (1791-1867) descubre la inducción electromagnética, y crea la idea de líneas de campo electromagnético.
- James Clerk Maxwell (1831-1879) desarrolla las ecuaciones de Maxwell para electromagnetismo.

- Max Plank (1858-1947) contribuyó principalmente con sus ideas de cuantificación de la radiación con la ley de Plank, descubriendo una constante fundamental que es conocida como constante de Plank.
- Marie Curie (1867-1934) descubre la radioactividad y el elemento químico radio, gana dos veces el premio Nobel en 1906 y 1911,
- Ernest Rutherford (1871-1937) descubre el concepto de vida media radioactiva, gana el premio Nobel 1908.
- Albert Einstein (1879-1955) creador de la teoría especial y general de la relatividad, gana el premio Nobel en 1921.
- Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) realiza contribuciones importantes en termodinámica y mecánica cuántica, recibe el premio Nobel en 1933
- Niels Bohr (1885-1962) establece la idea actual de la estructura del átomo, premio Nobel en 1922.
- Louis-Víctor Pierre Raymond de Broglie (1892 - 1987) pionero en el desarrollo de la mecánica cuántica y descubre del comportamiento ondulatorio de la materia.
- Paul Dirac (1902-84) formuló la conocida ecuación de Dirac para la descripción de la mecánica cuántica relativista, prediciendo la existencia de la antimateria, gana el premio Nobel en 1933.
- Richard Feynman (1918-1988) realiza importantes contribuciones en la electrodinámica cuántica, computación cuántica y nanotecnología.
- Stephen Hawking (1942-2018) contribuye con investigaciones como la radiación de Hawking y aportaciones en gravedad cuántica.

Y la historia continua...

Para saber más, consulta:

- Byju - [Fundamental Forces in Nature](#)
- [Física Linda](#)
- Space.com - [The four fundamental forces of nature](#)
- Business Insider - [Físicos descubren la quinta fuerza de la naturaleza, basada en muones: las partículas podrían explicar la energía oscura y la expansión del universo](#)
- LiveScience - [What is magnetism? Facts about magnetic fields and magnetic force.](#)
- Liceo AGB - [Química nuclear. Reacciones Nucleares. Ecuaciones Nucleares.](#)
 - Artículo en ArXiv (Cornell University) - [Observation of Anomalous Internal Pair Creation in \$^8\text{Be}\$: A Possible Signature of a Light, Neutral Boson.](#)
 - Artículo en ArXiv (Cornell University) - [The Fifth Force.](#)
 - Nature - [Has a Hungarian physics lab found a fifth force of nature?](#)
 - Artículo en ArXiv (Cornell University) - [New evidence supporting the existence of the hypothetic X17 particle.](#)
 - Artículo en ArXiv (Cornell University) - [Evidence for a Protophobic Fifth Force from \$^8\text{Be}\$ Nuclear Transitions.](#)
- Guía Universitaria - [10 físicos más importantes de la historia y sus contribuciones.](#)
- Nautilus - [The Fifth Force of Physics Is Hanging by a Thread.](#)
- Radiochemistry and Nuclear Chemistry, Gregory Choppin, Jan-Olov Liljenzin, Jan Rydberg and Christian Ekberg, Academic Press, Year: 2013.
- Handbook of Nuclear Chemistry, G. Friedlander, G. Herrmann (auth.), Attila Vértes, Sándor Nagy, Zoltán Klencsár, Rezső G. Lovas, Frank Rösch (eds.).