

UNA BREVE DESCRIPCION DE LA EVOLUCION DE LA IMAGEN DE LA NATURALEZA EN LA FISICA

Roberto Martínez
Depto de Física
Universidad Nacional
Santafé de Bogotá

RESUMEN:

Hacemos una descripción de como evolucionaron las leyes físicas desde Newton hasta las teorías más recientes.

ABSTRACT:

A brief description of how was the evolution of physical laws is done since Newton up to now.

Isaac Newton fue la primer persona que se atrevió a pensar que las leyes del movimiento que rigen la caída de los cuerpos eran exactamente las mismas leyes que rigen el movimiento de los cuerpos celestes, en contraposición con el pensamiento aristotélico el cual les atribuía a los cuerpos celestes propiedades inmutables y a la caída de los cuerpos causas naturales, por ejemplo, el aire sube y la piedra cae porque estas son sus naturalezas.

Para entender los razonamientos que hizo Newton consideremos un ejemplo: si lanzamos un proyectil con cierta velocidad este describe un movimiento parabólico y dicho cuerpo caerá a una distancia lejana dependiendo de la velocidad que le imprimamos. Si la velocidad es mayor la parábola será mayor y el cuerpo caerá más lejos.

Concretamente, pensemos que lanzamos un satélite desde Bogotá. Si la velocidad es suficientemente alta, éste podrá caer en Venezuela o en el Océano Atlántico e incluso podrá caer en Africa. Sin embargo, si la velocidad es suficientemente alta cuando el satélite inicie el retorno seguramente no caerá en ningún lugar de la tierra y empezaría a girar alrededor de ésta, justamente como los satélites terrestres .

Newton se percató de este hecho y propuso que las leyes del movimiento que rigen la caída de la manzana son exactamente las mismas leyes que describen el movimiento de la Luna alrededor de la tierra. Posteriormente, Newton generalizó dichas leyes de movimiento para todos los cuerpos y propuso la

ley de la Gravitación Universal.

En este sentido Newton fue quien primero unificó dos mundos aparentemente diferentes antes del renacimiento. El pensamiento Newtoniano fue de gran importancia para la ciencia moderna porque a partir de él, la naturaleza pierde su carácter teleológico y los hombres se ven en la necesidad de observar la naturaleza para poderla conocer.

Simultáneamente, se llevaron a cabo ingeniosos estudios por William Gilbert para entender las fuerzas magnéticas generadas por los imanes. También se hicieron importantes descubrimientos relativos a las propiedades de las cargas eléctricas. Se observó que cuando el ambar era frotado éste atraía pequeños trozos de papel y cuando dos cuerpos eran tocados por ambar frotado se repelían.

También se descubrió que la carga eléctrica podría ser transferida de un cuerpo a otro.

En el siglo XVIII se conocían dos tipos de electricidad: la producida por el frotamiento del ambar y la producida por el frotamiento de la mica. Se pudo además establecer que dos clases iguales de carga se repelen y dos clases diferentes de carga se atraen.

Benjamin Franklin propuso que realmente existía una clase de fluido eléctrico, la electricidad vitrea. Las dos clases de electricidad eran un exceso o falta de electricidad vitrea. Cuando un cuerpo tiene exceso de electricidad vitrea se decía que estaba cargado positivamente y en caso contrario se decía que estaba cargado negativamente.

Cuando dos cuerpos se juntaban, la electricidad fluía del cuerpo con exceso de electricidad vitrea al otro cuerpo. Fue de esta manera como nació el concepto moderno de corriente eléctrica.

Los primeros experimentos que se hicieron sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos no permitieron establecer ninguna relación entre ellos. Las cargas eléctricas no fluyen por los imanes ni estos por las cargas eléctricas.

Christian Oersted en 1820 puso a circular cargas eléctricas a través de un conductor y descubrió que el efecto sobre las brújulas era similar al producido por los imanes. De esta forma Oersted descubrió el electromagnetismo, es decir, la relación que existe entre los efectos producidos por las

cargas eléctricas y los efectos producidos por los imanes.

El Físico James C. Maxwell fue capaz de describir matemáticamente todos los fenómenos electromagnéticos y hasta la fecha dichas leyes son válidas. De esta forma J. Maxwell es la segunda persona en la historia de la física que unifica dos efectos aparentemente sin relación alguna. Actualmente no tenemos que referirnos a los campos eléctricos y magnéticos como dos entes completamente diferentes, simplemente hablamos de las leyes de Maxwell para la electrodinámica.

Algunas de las consecuencias o predicciones de estas nuevas leyes era que la luz se propagaba como una onda de igual manera que lo hacían las ondas mecánicas en los medios materiales.

Para poder explicar la propagación de la luz en el "vacío" se propuso la existencia de un medio material con propiedades fuera de lo común. Por ejemplo, este medio debería ser más denso que el hierro para que la luz se pudiese propagar a velocidades suficientemente altas y también debería ser lo suficientemente sutil para que permitiera el movimiento de los planetas. A dicho medio se le llamó el éter.

Todos los experimentos que se realizaron en el siglo pasado para medir la velocidad de la tierra con respecto al éter y poder determinar la velocidad de la luz en el "vacío" fueron fallidos.

Muchas hipótesis se tejieron intentando explicar los resultados experimentales. Por ejemplo, se decía que los planetas arrastraban el éter, también se pensó que los cuerpos se contraen cuando se mueven con respecto al éter. La última hipótesis se propuso para comprender los resultados fallidos del experimento de Michelson y Morley.

Fue necesario esperar hasta 1905, cuando un empleado de la oficina de patentes de Berna, Albert Einstein, propuso la Relatividad Especial la cual permitió establecer las leyes del movimiento de los cuerpos y fenómenos electromagnéticos, consistentemente.

Los postulados propuestos por Albert Einstein afirman que para todos los observadores que se mueven a velocidad constante las leyes para describir los fenómenos de la naturaleza son iguales y la velocidad de la luz en cualquiera de estos sistemas de referencia es la misma e independiente de la velocidad del observador.

La teoría de Einstein fue de gran importancia porque ésta garantizaba que las leyes físicas fueran válidas para todos los observadores e independiente de sus velocidades, es decir, las leyes utilizadas por un observador espacial serían las mismas leyes que nosotros utilizaríamos. Obviamente que la formulación que hizo Einstein de las leyes de la naturaleza cambiaron radicalmente algunos conceptos clásicos que estaban muy cimentados porque fueron elaborados a partir de concepciones religiosas y, además, no reñían con el sentido común.

La concepción del espacio y el tiempo cambió radicalmente. Ya no se aceptaban los conceptos de espacio y tiempo absoluto en el sentido Newtoniano donde residían los cuerpos y los acontecimientos ocurrían de forma homogénea, un evento detrás de otro. Con Einstein dichos conceptos dependían del observador en el sentido de que cada sistema de observación construía sus propios metros y relojes y dichos aparatos de medición no servían para otro observador que se moviera con respecto al anterior, es decir, para medir el tiempo y la distancia entre dos eventos cada observador utilizaba sus propias reglas y relojes.

Simultáneamente se presentaron algunos fenómenos que no se podían explicar con base a la Mecánica Newtoniana ni a las leyes del electromagnetismo, como eran: la energía radiada por un cuerpo negro, algunos espectros de emisión, los experimentos de dispersión de partículas a realizados por E. Rutherford etc.

Muchos de estos nuevos resultados experimentales se pudieron entender a partir de 1926 cuando E. Schrödinger propuso la ecuación que permitía conocer la evolución temporal de un sistema cuántico o describir la física del átomo donde la mecánica Newtoniana ya no es válida. Una característica de esta ecuación es que la descripción del mundo cuántico se hace con una función ψ la cual se interpreta como la amplitud de probabilidad de que ocurra un evento, perdiéndose el ideal laplaciano y de la Física Clásica de tener un mundo completamente determinista.

Dicha ecuación no era consistente con los postulados de la relatividad especial, es decir, no era la ecuación adecuada para describir el mundo independientemente del observador. P.M. Dirac, en 1928, encontró una ecuación que describía el mundo cuántico y además respetaba los postulados de la nueva teoría propuesta por Albert Einstein. La teoría propuesta por

Dirac trajo consigo muchas sorpresas. Predecía la existencia de estados de energía negativa los cuales no tenían interpretación física en la época y tampoco se podían desechar estas soluciones físicas si se quería que dicha ecuación describiera los eventos cuánticos consistentemente con la teoría de la Relatividad Especial, lo cual fué un reto para Dirac el tratar de entender desde el punto de vista físico estas soluciones.

Un electrón tiene energía positiva, carga electromagnética negativa y un número cuántico adicional llamado espín. La ecuación de Dirac predice la existencia de un estado físico de energía negativa, carga electromagnética positiva y espín en sentido contrario al del correspondiente electrón. A este estado cuántico Dirac le llamó positrón y se conoce como la antipartícula asociada al electrón.

Para garantizar la estabilidad de la materia, la cual supuestamente se encuentra en los estados de energía positiva, y como un sistema siempre tiende a los estados de menor energía, Dirac propuso que todos los estados de energía negativa estaban ocupados por electrones y cuando un electrón en el átomo de Hidrógeno está en el estado fundamental o el estado de menor energía positiva, no puede caer en uno de energía negativa porque este ya está ocupado y el principio de exclusión de Pauli, una de las nuevas leyes cuánticas, prohíbe que haya más de dos electrones en el mismo estado de energía.

Cuando todos los estados de energía negativa están ocupados, se dice que el átomo se encuentra en el estado vacío, es decir, nosotros no podemos observar los estados de energía negativa y es como si en los niveles de energía no existieran partículas. Al sacar un electrón del estado vacío o de uno de los estados de energía negativa suministrando energía al sistema o al átomo en cuestión queda un "agujero" el cual se comporta como la antipartícula asociada al electrón, el positrón.

Empezando la década de los años treinta ya se había estudiado el problema de la radiación y desintegración de los átomos, entre ellos estaba la desintegración β . Del espectro de energía de la desintegración β parecía concluirse que la energía total no se conservaba, lo cual ponía en duda el principio de conservación de la energía que parecía inamovible. Físicos que llegaron a hacer grandes aportes dudaron de dicho principio de conservación; en cambio otros investigadores más "conservadores", como Wolfgang Pauli, sugirieron que en la desintegración β debería existir una

partícula que se llevaría la energía faltante .

En la desintegración β un neutrón decae en un protón, un electrón y la misteriosa partícula necesaria para balancear la ecuación de la conservación de la energía: el neutrino, como lo llamo Enrico Fermi, físico italiano, para decir que era como un neutrón muy liviano.

Sólo en 1955, F. Reines y C. Cowan en los Alamos, lograron detectar el neutrino; su masa era tan pequeña que incluso se podía considerar igual a cero.

En el desarrollo de las ideas hay un hecho que destacar. En 1956 los físicos chinos Chen Ning Yang y Tsung Dao Lee propusieron, sobre la base de consideraciones teóricas, que la paridad debería ser una simetría rota. Dicha hipótesis reñía con las teorías clásicas. Que ésta sea una simetría rota significa que cuando ocurre un fenómeno en la naturaleza, el fenómeno equivalente a reflejar el anterior en un espejo, no puede ocurrir. Podemos creer que una persona respeta la simetría de paridad, porque anatómicamente la parte izquierda al reflejarla en el espejo "coincide" con la parte derecha; sin embargo, orgánicamente ésta se viola porque el corazón está localizado en el lado izquierdo.

En 1957 la Señora Wu montó un experimento con cobalto radiactivo y mostró que efectivamente en la desintegración β , mediada por la interacción o fuerza débil, se viola la paridad. Dicha interacción fue postulada por Fermi en 1932 para poder entender la desintegración β la cual no se pudo explicar con las fuerzas existentes en la década de los años 30. Las interacciones nucleares y electromagnéticas eran demasiado fuertes para entender dicha desintegración, fue entonces necesario postular la existencia de una fuerza mucho más débil.

El átomo de cobalto se coloca en un campo magnético y al ocurrir el decaimiento β , se desintegra un neutrón del núcleo en protón, electrón y neutrino. Si la paridad fuera una buena simetría se esperaría que saliera igual número de neutrinos en dirección del campo magnético como en sentido contrario, sin embargo en los resultados experimentales la gran mayoría de los neutrinos salen en la dirección del campo magnético.

Como podemos observar, para los años cincuenta existe otra fuerza que tiene un carácter muy diferente a las fuerzas conocidas, viola la paridad, es decir, para la fuerza débil la izquierda y la derecha son completamente diferentes.

Otro hecho importante en la década de los años 50 fue la dispersión o choque de electrón-protón. A bajas energías el choque es similar al de dos bolas de billar, pero cuando se aumenta la energía, el electrón puede vencer cualquier barrera de fuerzas y penetrar en el interior del protón. Los resultados experimentales indicaron que el choque se parecía al de una partícula con muchas otras, similar al que ocurre en un juego de billar-pool, como si el protón se desintegrara.

Los anteriores experimentos llevaron a pensar a los físicos que el protón tenía estructura interna.

Siguiendo este orden de ideas, M. Gell-Mann y G. Zweig , lograron construir todas las partículas que se conocían en la época a partir solamente de tres partículas fundamentales llamadas, por Gell-Mann, el quark de arriba, el quark de abajo y el quark extraño.

De otra parte en los años sesenta Glashow, Weinberg y Salam desarrollaron un modelo donde unificaban las interacciones débiles y electromagnéticas, conocido como el Modelo Estándar de las interacciones electrodébiles.

El propósito de la física moderna es encontrar un principio universal que permita explicar todos los fenómenos de la naturaleza a partir de una superley.

Albert Einstein fue el primer físico en plantear esta inquietud y podría pensarse que es una generalización de las teorías que el propuso, la teoría de la Relatividad Especial y teoría de la Relatividad General donde Einstein siempre buscó principios estéticos y expresiones simples para las leyes de la naturaleza.

En esta dirección Einstein postuló su teoría de Campo Unificado en la cual estuvo trabajando durante más de treinta años sin éxito alguno. Podría decirse que las dificultades de Albert Einstein para lograr su ambicioso objetivo obedecían al poco desarrollo de las teorías matemáticas existentes en su época. Recien muerto Albert Einstein, los físicos Yang y Mills desarrollaron los métodos matemáticos que dieron luz en la década de los años 60 para llevar parcialmente esta gran empresa del pensamiento humano, la búsqueda de las superleyes que permitan de una manera más simple y elegante desentrañar la naturaleza.

Historicamente, la evolución de las ideas o las teorías científicas están muy relacionadas con el pensamiento Einsteiniano. Desde Newton hasta Maxwell observamos en esta breve reseña histórica de la física la unificación de conceptos que aparentemente no tenían relación alguna.

Como anoté anteriormente, en los años 60 se pudo establecer una teoría que permitió unificar dos fuerzas de la naturaleza, la fuerza débil y la fuerza electromagnética.

Recientemente, se ha descubierto que a cada fuerza se le puede asociar una simetría de la naturaleza, la cual implica que en los fenómenos, debidos a dicha interacción, siempre se va a mantener constante una propiedad relacionada con ésta. En la fuerza electromagnética la carga permanece constante, es decir, cuando ocurre una reacción donde actúa ésta fuerza la carga ni se crea ni se destruye.

El concepto de simetría en las nuevas teorías científicas es similar al concepto geométrico que tenemos de ella.

Cuando rotamos un cuadrado un ángulo de noventa grados, la nueva figura geométrica o la nueva posición del cuadrado es indiscernible de la que teníamos antes de la operación de rotar noventa grados. El concepto de simetría se puede trasladar de forma similar para entender las nuevas formulaciones científicas del Universo, sin embargo es necesario ser un poco cauto debido a que el lenguaje de las leyes naturales es un lenguaje que está expresado matemáticamente. La simetría se puede comprender como el conjunto de transformaciones que dejan invariante o intactas las ecuaciones matemáticas que expresan el efecto de una interacción o una fuerza fundamental. Anotábamos anteriormente, que la fuerza débil no respetaba la simetría de paridad, es decir, en los procesos físicos dedidos a ésta fuerza es posible diferenciar la izquierda de la derecha, como por ejemplo, ciertas partículas tienen privilegios para salir en direcciones determinadas cuando ocurre una desintegración.

Si quisieramos decirle a un colega que se encuentra a millones de años luz de la tierra cual es nuestra mano izquierda, podríamos indicarle que tome la desintegración β , descrita anteriormente, y el sentido en la cual salen los neutrinos corresponde a nuestra mano izquierda. Vale la pena resaltar que hasta 1956 no se conocía un fenómeno que violara esta simetría del Universo.

Con cada conjunto de transformaciones que dejan invariantes

nuestras ecuaciones de movimiento o simetrías siempre es posible encontrar cantidades que se conservan o que permanecen inmutables en los procesos físicos.

Justamente esta es la tarea o metodología de la ciencia moderna. Encontrar la superley o la gran simetría de la naturaleza la cual contenga las simetrías asociadas a las distintas fuerzas encontradas en los procesos físicos. En lugar de pensar en una simetría para la fuerza débil, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear y la fuerza gravitacional porque no buscar teorías físicas que dependan únicamente de un gran principio o simetría universal.

En esta dirección metodológica, los físicos han obtenido grandes éxitos como es la unificación de las fuerzas débiles y electromagnéticas. También se han propuesto teorías para introducir la fuerza nuclear, pero hasta la fecha no se han podido encontrar experimentos que permitan decidir sobre la validez de estos nuevos intentos.

Para alcanzar esta difícil tarea de unificación parcial de dos fuerzas fue necesario introducir nuevas partículas elementales y romper con paradigmas pasados. El protón y el neutrón eran partículas elementales en el sentido del atomismo griego, indivisibles, pero en la nueva teoría las partículas elementales son los quarks y los leptones.

Hasta la fecha se ha postulado la existencia de seis quarks de los cuales se tiene evidencia de cinco de ellos a través de los experimentos en los grandes aceleradores de partículas.

A estos quarks se les ha llamado: el quark de arriba, abajo, encanto, extraño y del fondo. Los nombres aparentemente son un poco inapropiados, pero están muy relacionados al momento de su descubrimiento y las sorpresas que se llevaron los físicos experimentales.

Inicialmente, las teorías empezaron con dos quarks: el quark de arriba y el quark de abajo, pero fue necesario introducir otro quark para explicar las propiedades de algunas partículas que se descubrieron posteriormente, y se le llamó el quark extraño porque nadie lo esperaba. En este sentido los nombres de los quarks son completamente arbitrarios, como los nombres de los átomos: uranio, helio, oxígeno, carbono.

Los experimentos han mostrado que el protón está compuesto por dos quarks de arriba y un quark de abajo y el neutrón está formado por dos quarks de abajo y uno de arriba.

Los leptones corresponden a los electrones, muones, taunes y neutrinos.

Sin embargo, a pesar de todas las evidencias experimentales y exitos en el alcance predictivo de la teoría, existen dos partículas de las cuales no hay evidencia experimental.

Estas partículas son el quark de la cúspide y el Higgs. Esta última partícula se introdujo en el modelo para que tuviera consistencia desde el punto de vista matemático. A pesar de todos los intentos fallidos para encontrarlas nadie duda de su existencia porque implicaría abandonar la teoría propuesta que hasta la fecha ha soportado todas pruebas experimentales.

Actualmente se han propuesto varios experimentos y se construyen aceleradores de partículas, que implican altos costos, para encontrarlas.

Como podemos apreciar, en la física moderna, se propone un modelo teórico o una ley universal y posteriormente un experimento. Como decía H. Fritzsche, las cosas no han cambiado sustancialmente desde Galileo Galilei.