

Teoría de las perturbaciones espontáneas

Sobre la teoría de Kaluza-Klein

César José Alcalde Blanco

En esta teoría, Kaluza generalizaba las ecuaciones de la relatividad general a cuatro dimensiones espaciales (en vez de las tres que conocemos), obteniendo como resultado que la simetría asociada a la libertad de movimiento que permitía la nueva dimensión provocaba la existencia de un campo de fuerza igual al electromagnético, consiguiendo así la unificación de los campos gravitatorio y electromagnético.

Índice

Introducción	2
¿Tiene nuestro universo sólo 3 dimensiones?	2
Un modelo más elaborado (Teoría de las Fluctuaciones Espontáneas)	4
Concepto de fuerza y movimiento en el nuevo modelo de Universo	7
Conceptos de carga eléctrica, masa, tiempo y aceleración	12
Fuerza Gravitatoria	13

Introducción

Este artículo trata sobre la teoría formulada por el físico polaco Theodor Kaluza en el año 1919.

En dicha teoría, Kaluza generalizaba las ecuaciones de la relatividad general a cuatro dimensiones espaciales (en vez de las tres que conocemos), obteniendo como resultado que la simetría asociada a la libertad de movimiento que permitía la nueva dimensión provocaba la existencia de un campo de fuerza igual al electromagnético, consiguiendo así la unificación de los campos gravitatorio y electromagnético.

Esta teoría, después mejorada por el matemático sueco Oskar Klein, tenía un grave defecto que a la postre fue la causa de que cayera en el olvido, y era que carecía de una explicación sobre el origen de esa dimensión adicional, así como del hecho de que no podamos verla ni sentirla.

En este artículo, mediante la formulación de la **Teoría de las Perturbaciones Espontáneas**, intentaré dar una explicación sobre la génesis de dicha dimensión, y veremos como esta nueva dimensión, hasta ahora olvidada, resulta imprescindible para unificar y comprender conceptos como: el origen de la masa, la carga eléctrica, la aceleración, la expansión del Universo, etc.

¿Tiene nuestro universo sólo 3 dimensiones?

Históricamente se ha considerado que vivimos en un universo de 3 dimensiones: largo, alto y ancho. La teoría de la relatividad unificó estas tres dimensiones junto con el tiempo para dar lugar a un espacio-tiempo de 4 dimensiones; y este espacio-tiempo contiene todo el universo, ES el universo. Gracias a la teoría de la relatividad, se puede explicar la fuerza gravitatoria como la consecuencia de deformaciones en este espacio-tiempo, deformaciones causadas por la presencia de materia.

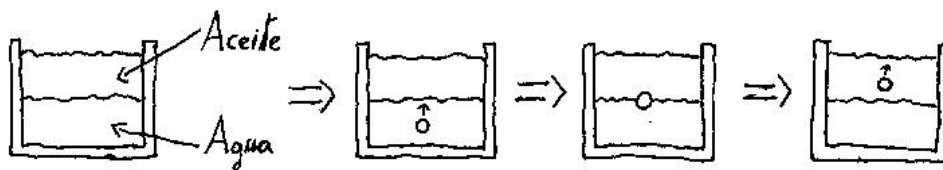
Ahora bien, un espacio-tiempo de 4 dimensiones, ¿Puede realmente ser suficiente para explicar todos los procesos físicos y estructuras que podemos observar? Pensemos por ejemplo en la materia, mucho sabemos sobre sus efectos en el espacio-tiempo, pero ¿Qué es en última instancia la materia? ¿Cómo puede explicarse que un espacio de n dimensiones espaciales (3 en nuestro caso) tenga una especie de singularidades puntuales e impenetrables en su interior? Para intentar dar una explicación a esto, vamos a partir del hecho de que cualquier espacio de n dimensiones puede representarse como una intersección de dos espacios de $n+1$ dimensiones.

Para poder visualizar esto de una manera más intuitiva, imaginemos un recipiente en el cual depositamos una cierta cantidad de aceite y agua. El aceite, al ser menos denso, se queda arriba, y el agua quedará por debajo del aceite. La separación entre los dos volúmenes es una superficie de 2 dimensiones infinitamente delgada, no existe por sí misma, dicha superficie tiene sentido en la medida en que existen los volúmenes de agua y aceite que la dan forma. Esta capa de separación entre el aceite y el agua es un espacio ideal de 2 dimensiones: tiene ancho y largo, pero el espesor es estrictamente cero. Si pensamos en la posibilidad de que este universo bidimensional pudiera tener sus propias formas de materia embebidas en su interior ("partículas" en forma de círculos puntuales e impenetrables) vemos que no es posible que este universo pudiera producir ese tipo de estructuras por sí solo, puesto que el propio universo no existe por sí mismo: Cualquier manifestación de "pseudo-partículas" en este

universo de 2 dimensiones, debería ser parte de un proceso desencadenado en cualquiera de los volúmenes cuya unión dan vida a nuestro modelo de universo.

Con este ejemplo simplificado podemos ver que las cosas parecen mucho más sencillas cuando analizamos un universo con un número de dimensiones inferior al nuestro. Ahora, podemos plantear la hipótesis de que nuestro universo tridimensional podría no ser más que la capa de separación entre dos espacios de cuatro dimensiones, y visto desde cualquiera de esos espacios superiores, no tendría sentido que nuestro universo pudiera albergar por sí solo ningún tipo de estructuras complejas (como partículas de materia).

Volvamos a nuestro mundo bidimensional. Imaginemos ahora que, por alguna razón (agitación, calentamiento, etc.), se producen movimientos en alguno de los fluidos (agua o aceite). Por ejemplo, se puede producir una burbuja gaseosa que, desde el fondo del recipiente, va subiendo hasta llegar a la capa de separación entre agua y aceite, la sobrepasa, y sigue subiendo hasta llegar a la atmósfera.



Vemos que nuestro espacio de 2 dimensiones se ve sometido, durante un cierto período de tiempo (el que tarda la burbuja en atravesarlo), a una deformación en una dimensión adicional. La intersección entre nuestro mundo bidimensional plano y esta burbuja corresponde a un círculo, que podría asemejarse a una partícula de materia en un mundo de 2 dimensiones. Efectivamente, vemos que estas deformaciones (suponiéndolas estables) podrían en principio moverse con libertad por este mundo bidimensional, y si se encontraran en su camino con otras deformaciones, "chocarían" de alguna manera entre ellas. Estas burbujas deforman nuestro universo en una tercera dimensión adicional, y por tanto rompen localmente la bidimensionalidad de dicho universo. Es por eso que, vistas esas deformaciones locales desde dentro del universo bidimensional, aparecerán como singularidades impenetrables.

Supongamos que este mundo estuviera habitado por seres conscientes formados por agrupaciones complejas (átomos y moléculas) de estas burbujas. Cuando uno de estos seres observara con el instrumental apropiado una de estas burbujas, llegaría a la conclusión de que su mundo bidimensional presenta una especie de singularidades pequeñísimas e impenetrables con simetría de círculo, a las que posiblemente llamaría "partículas elementales".

Generalizando, podríamos formular la teoría de que nuestro universo de 3 dimensiones espaciales no es más que la "capa" de separación de dos espacios de 4 dimensiones. Además, estos espacios de nivel superior son espacios dinámicos en los que continuamente se están produciendo fluctuaciones que provocan la aparición de deformaciones en dicha "capa" de separación. Es decir, las partículas de materia de nuestro universo no son más que fluctuaciones del espacio tridimensional en una cuarta dimensión espacial adicional. Esa cuarta dimensión nosotros no podemos verla, está fuera de nuestro alcance. Esto es así por definición, si pudiéramos ver esa cuarta dimensión, movernos en ella, simplemente nuestro universo tendría cuatro dimensiones en vez de tres; es gracias a que está fuera de nuestro alcance que cualquier fluctuación en esa dimensión la vemos como una singularidad impenetrable.

Cualquier fluctuación de nuestro espacio tridimensional en esa nueva dimensión dará lugar a una nueva partícula de materia. Esas fluctuaciones deberían ser isotrópicas, es decir, iguales

en cualquier dirección; de ese modo la intersección entre una fluctuación y el espacio tridimensional será una esfera. El diámetro de esa "esfera" podríamos quizá asemejarlo a lo que llamamos "masa" de la partícula.

Un modelo más elaborado (Teoría de las Fluctuaciones Espontáneas)

Para intentar describir los procesos físicos que tienen lugar en nuestro universo hace falta un modelo un poco más elaborado.

Actualmente, se considera que nuestro Universo tridimensional tuvo su origen en el Big-Bang. Esa teoría supone que hubo un momento inicial en el cual el espacio-tiempo estaba comprimido en un punto infinitamente pequeño y denso, el Big-Bang consiste en la explosión de ese punto y la consiguiente expansión del espacio-tiempo. Dicha expansión conlleva una disminución de la densidad que a su vez produce un enfriamiento, gracias al cual se condensa parte de la energía en forma de partículas de materia.

Vamos a suponer que el Big-Bang no fue algo tan espectacular, sino simplemente la aparición espontánea de una "irregularidad" puntual, sin entrar en más detalles de momento sobre la naturaleza de esa irregularidad. No se trata de ninguna explosión, sino simplemente de un "cambio de estado" espontáneo de una porción mínima del vacío inicial; lo importante es que esa irregularidad puntual introduce una inestabilidad en el sistema: A partir de ese momento podríamos asignar a cada punto del vacío inicial que está en contacto con esa irregularidad inicial una probabilidad mayor que cero de transformarse así mismo, y cambiar también de manera espontánea.

Nota importante: Hemos dicho "...porción mínima de vacío inicial..." y "...podemos asignar a cada punto del vacío inicial...". Al decir esto, estamos suponiendo una estructura interna al vacío inicial, pero el vacío inicial por definición no contiene nada, ni siquiera tiene sentido hablar de dimensiones espaciales en él. Es la irregularidad puntual que aparece espontáneamente en el vacío inicial la que lleva información sobre las dimensiones que tendrá el futuro espacio que se formará a partir de ella; en otras palabras, dicha irregularidad no es más que la semilla de un futuro espacio-tiempo, y al igual que la semilla de una planta, contiene toda la información para la construcción de ese espacio-tiempo. Ahora podemos precisar más el párrafo anterior sin tener que suponer ninguna estructura interna al vacío inicial: Con la aparición de una de estas irregularidades, se crea también un cierto número de dimensiones espaciales, y ESTO estimula la propagación de dicha irregularidad en todas las direcciones definidas por dichas dimensiones espaciales.

No tiene por qué haber un número privilegiado de dimensiones espaciales, de hecho, no tiene por qué haber una única semilla que de lugar a un único universo. Dado que estas irregularidades (o semillas) de las que estamos hablando aparecen en el vacío inicial de manera espontánea, en principio puede aparecer un número indeterminado de ellas, y cada una daría lugar a un nuevo universo en expansión n-dimensional.

Estas "semillas de universos", están caracterizadas por varios parámetros que a su vez modelarán las características del universo creado:

- Número de dimensiones asociadas. Define el número de dimensiones que tendrá el futuro universo.
- Desde el momento en que aparece un ente con dimensiones espaciales, cobra sentido el concepto de "distancia", y por tanto es necesaria una constante que de idea del "tamaño" de dicha semilla y que pueda ser utilizado como base para medir distancias en nuestro universo. Este parámetro es lo que en Mecánica Cuántica se

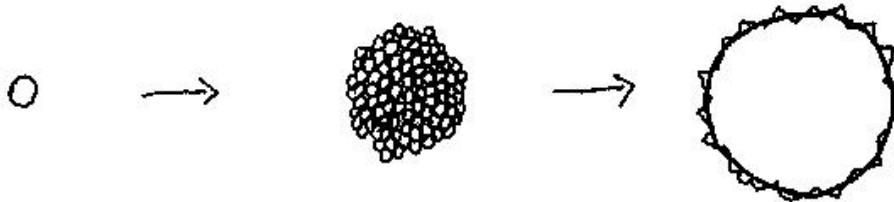
conoce como Constante de Planck (h). Dado que las partículas no son más que deformaciones del espacio, esta constante marca también una base para las magnitudes masa y energía. Su significado viene a ser algo así como "valor mínimo de distancia, masa o energía posibles en este universo".

- Probabilidad media de aparición espontánea de un punto espacial en el vacío inicial. Define la dimensión temporal del universo, la cantidad mínima de tiempo en que puede ocurrir algo mensurable. También veremos esto con mucho más detalle más adelante.

Imaginemos por un momento que aparece en el vacío inicial una de estas semillas con un número de dimensiones asociado $n=3$. Inmediatamente, las capas del vacío inicial en contacto con la semilla se tornan inestables, y acaban apareciendo espontáneamente puntos espaciales con $n=3$; un comportamiento colectivo y ordenado, inducido por una singularidad inicial. Esta cadena de transformaciones puntuales se expande en todas direcciones con una simetría de esfera.

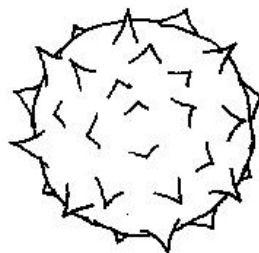
Bien, el universo creado por la semilla de nuestro ejemplo, NO se correspondería con el volumen tridimensional de la esfera en expansión, sino con la superficie bidimensional que forma la cáscara de dicha esfera, es allí donde tienen lugar los procesos dinámicos que permiten la aparición de estructuras complejas (como por ejemplo, partículas materiales); el volumen de la esfera no es más que el contenedor del universo. La expansión de dicha esfera no se produce de una manera completamente homogénea, la superficie de separación entre esfera y vacío inicial (la cáscara de la esfera que se expande, nuestro modelo de universo bidimensional) es un hervidero, está en todo momento salpicada de multitud de pequeñísimas fluctuaciones que aparecen, y desaparecen casi inmediatamente al ser absorbidas por la propia expansión. Esto es así por que el motor de la expansión es un proceso aleatorio, generado por la aparición espontánea de puntos dimensionales a partir de un punto inicial.

Secuencia gráfica para una semilla espacial con $n=2$ (genera un universo unidimensional que se corresponde con la circunferencia que hace de frontera entre el vacío inicial y el nuevo espacio bidimensional formado a partir de la semilla inicial):



En el primer paso vemos la semilla inicial; después vemos una fase en la que, alrededor de dicha semilla, han ido apareciendo espontáneamente más puntos espaciales; y por último, en una fase más avanzada, podemos ver que el proceso expansivo ha generado en la frontera multitud de fluctuaciones de diversos tamaños que continuamente aparecen y desaparecen.

Con $n=3$ (universo bidimensional con forma de esfera):



Estas fluctuaciones son deformaciones de una superficie bidimensional en una tercera dimensión adicional, y si recordamos lo propuesto en la primera parte del artículo, podríamos hacerlas corresponder con "partículas" materiales en un universo bidimensional (eso sí, un universo bidimensional curvado, ya que en vez de ser un plano como en el ejemplo del agua y el aceite, ahora es la cáscara de una esfera). De hecho, estas efímeras fluctuaciones no son más que la energía de vacío (formación y desintegración continua y espontánea de partículas) predicha por la mecánica cuántica.

Es decir, la creación y destrucción espontánea de partículas según el principio de Heisenberg, es en realidad las factorías donde se crea el espacio-tiempo de nuestro universo en expansión: **Cada creación y desintegración de una partícula deja como residuo un pedazo de espacio nuevo.**

El mecanismo que regula esta creación y destrucción espontánea de partículas viene dado por la relación de Heisenberg $E \cdot t = h$ según la cual cuanto mayor energía tenga una partícula, menos tiempo podrá existir. Bien, supongamos que el tamaño (volumen) de una de estas fluctuaciones está relacionado con la magnitud que conocemos como "Energía" de una partícula; y supongamos también que la distribución de probabilidad que gobierna la aparición espontánea de puntos espaciales, es tal que la probabilidad de transformación de un punto del vacío inicial es directamente proporcional al número de puntos espaciales ya transformados que lo rodean. De esta manera, la probabilidad de transformación de nuevos puntos espaciales es menor en la cima de las fluctuaciones que en su base, y por lo tanto dichas fluctuaciones serán básicamente inestables, tendiendo a desaparecer bajo el empuje de la expansión. Con esta primera aproximación, vemos que se cumple el principio de Heisenberg de que cuanto mayor sea una fluctuación (es decir, mayor energía), más inestable será (es decir, durará menos tiempo).

Uno de los conceptos clave para la correcta descripción de este universo es la distribución de probabilidad que gobierna la aparición espontánea de puntos espaciales. La posibilidad enunciada en el párrafo anterior es sólo una primera aproximación, puesto que no explica la formación de fluctuaciones estables (y resulta evidente que en nuestro universo abunda la materia estable). De todos modos, también podría ser que las fluctuaciones estables apareciesen en una fase temprana del universo en la cual se diesen ciertas condiciones especiales y que actualmente ya no se den (al menos de una forma relevante) estos procesos de creación de fluctuaciones estables. No obstante, dado el carácter aleatorio del proceso por el cual se crean todas las fluctuaciones, no tiene sentido (rigurosamente hablando) el concepto de "fluctuación estable", todas ellas, antes o después, acabarán sucumbiendo ante el empuje de la expansión.

Nótese que estamos postulando que una partícula material es en sí misma una deformación del espacio. La forma matemática de esta deformación podríamos asemejarla con la ecuación de onda de la Mecánica Cuántica. Esta deformación puede tratarse intuitivamente tanto como una onda (puesto que la partícula representada no tiene una localización inequívoca en el espacio, al estar extendida por la porción del espacio ocupada por la deformación) o como una partícula (puede suponerse que el centro de dicha deformación espacial representa con una alta probabilidad la localización de la partícula, puesto que ese punto es con diferencia el de mayor deformación espacial de todo el área ocupada por la partícula).

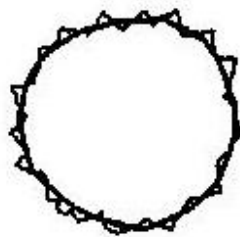
Una vez que ya tenemos más o menos claro el concepto de materia en nuestro modelo de universo, vamos a profundizar en los procesos dinámicos en que se pueden ver envueltas estas partículas.

Concepto de fuerza y movimiento en el nuevo modelo de Universo

Como hemos visto, tenemos un universo bidimensional con forma de cáscara esférica en continua expansión. En este proceso expansivo, que consiste en un "cambio de estado" espontáneo de los puntos del vacío inicial adyacentes a nuestro universo, se están generando constantemente fluctuaciones que tienden a desaparecer al poco tiempo.

Para hacer más sencillas las explicaciones que vienen, vamos a simplificar un poco más nuestro modelo de universo. Vamos a suponer que la semilla inicial tiene $n=2$, con lo cual el proceso expansivo tendrá una simetría de círculo, y nuestro universo será la circunferencia que forma el perímetro de dicho círculo.

Tomemos una imagen de este universo en un momento dado:



Bien, aislemos una de esas fluctuaciones e imaginemos que fuera estable. En la siguiente figura, cada "x" simboliza un punto espacial generado espontáneamente.

```

x
xxx
xxxxx
xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

```

Se puede considerar que, debido a la expansión, aparecerán nuevos puntos espaciales "O". Para simplificar, vamos a suponer que la distribución de la probabilidad de generación de dichos puntos es homogénea.

```

      O
     OxO
    OxxxO
  OOOOxxxxxOOOO
  xxxxxxxxxxxxxxxx

      O
     OxO
    OxxxO
  OOOOxxxxxOOOO
  xxxxxxxxxxxxxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx

      O
     OxO
    OxxxO
  OOOOxxxxxOOOO
  xxxxxxxxxxxxxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx

```

Si esto se repite sucesivamente, vemos que nuestro universo se expande continuamente y la fluctuación se mantiene completamente invariable. Ahora ¿Qué pasaría si la probabilidad de generación espontánea de los puntos "x" de la mitad derecha de la fluctuación fuera mayor que la de los puntos de la mitad izquierda? Veámoslo:

```

      x
     xxx
    xxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx

      O
     xOO
    xxxOO
  OOOOOxxxxxOOOO
  xxxxxxxxxxxxxxxx

      O
     xOO
    xxxOO
  OOOOOOxxxxxOOOO
  xxxxxxxxxxxxxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx
  xxxxxxxxxxxxxxxx

```

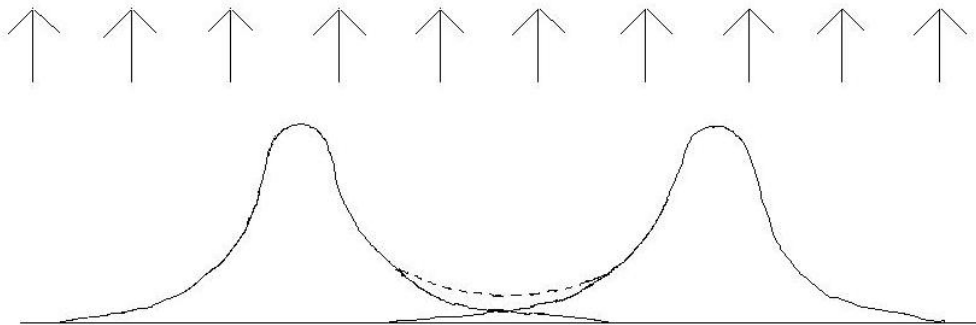
Vemos que, al igual que antes, la fluctuación se mantiene invariable con la expansión del universo, pero ahora además, se ha producido una traslación de dicha fluctuación hacia la derecha.

Esta es la manera en que las fluctuaciones (o partículas) pueden moverse por el Universo. Es decir, **la expansión del universo no sólo es la fuerza creadora de las fluctuaciones, sino que además, modificando en determinadas circunstancias su distribución de probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales, es también la responsable de que puedan moverse en una dirección determinada.** Esto es perfectamente generalizable al caso de una semilla con $n=3$ y un universo bidimensional asociado con forma de cáscara esférica.

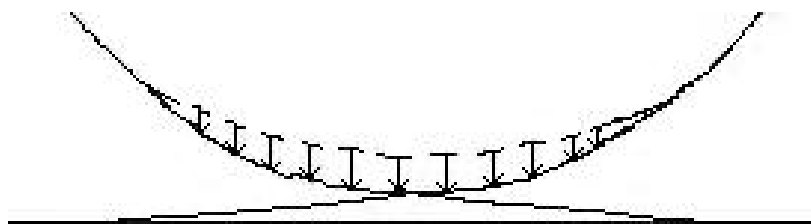
Profundicemos ahora en las posibles interacciones entre dos o más fluctuaciones. Para ello, vamos a establecer una simetría: Las fluctuaciones tienen una forma dada que es la más estable posible, y cuando cualquier fluctuación sufra una deformación, el sistema actuará modificando la distribución de probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales para contrarrestar dicha deformación, para de esta manera devolver a la fluctuación su forma inicial mediante el avance de la expansión del universo.

Vamos a aplicar este principio:

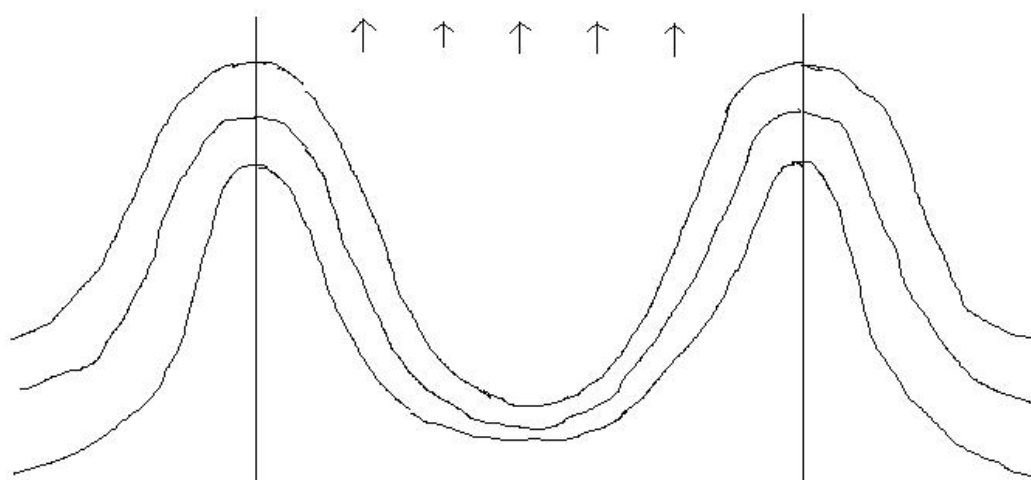
Hemos visto que una partícula material no es más que una fluctuación del tejido del Universo en expansión, además también sabemos que una partícula no está localizada puntualmente en el espacio, sino que ocupa un área más o menos extensa. Bien, ¿Qué sucederá si, en un determinado momento, coinciden dos fluctuaciones estables en posiciones cercanas? Habrá una zona del espacio donde se superpondrán las deformaciones espaciales causadas por las dos fluctuaciones. Podemos ver un ejemplo de esto en la siguiente figura. Las flechas indican la dirección de expansión del universo. Con línea continua dibujamos la forma inicial de las fluctuaciones y con línea discontinua la superposición de dichas fluctuaciones.



Como podemos ver, la superposición de las dos fluctuaciones causa una asimetría en su forma de onda. Podemos suponer que el sistema, de alguna manera, debería actuar para contrarrestar dicha asimetría, según el principio enunciado anteriormente, y volver a recuperar la forma simétrica estable. El sistema tendería a actuar de forma que las dos fluctuaciones recuperaran su forma inicial. Una forma sencilla de contrarrestar esta asimetría sería que en los puntos donde hay una desviación de la forma de onda estable, la probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales disminuyese. Cuanto mayor fuese la desviación respecto a la forma de onda estable, menor sería dicha probabilidad de generación. Esto lo hemos representado en la siguiente figura, que es una ampliación de la zona de superposición de las dos fluctuaciones anteriores, dibujando unas flechitas en la zona afectada: Cuanto mayor es el tamaño de las flechitas, mayor es la disminución de la probabilidad de generación.



Conforme el universo sigue expandiéndose, la evolución del sistema formado por las dos fluctuaciones es como sigue:

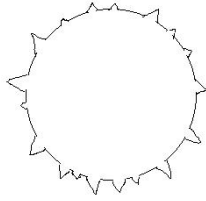


En esta figura, vemos en 3 pasos la evolución de la interacción de dos fluctuaciones. La situación inicial corresponde a las dos fluctuaciones dibujadas en la parte inferior de la figura, justo sobre el eje X. Encima de estas fluctuaciones aparece dibujada su evolución transcurrido un cierto tiempo. Y a su vez, encima de estas últimas aparecen las mismas fluctuaciones después de transcurrir otro intervalo de tiempo. En el tramo central, donde se superponen ambas fluctuaciones, podemos ver que, con el transcurrir del tiempo y debido a la disminución de la probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales, se produce un hundimiento de esa zona, lo cual a su vez produce otra asimetría en cada una de las fluctuaciones: Si trazamos un eje que divida a cada una de ellas por la mitad, como en la secuencia de figuras anterior, vemos que las fluctuaciones tienden a estrecharse por sus mitades interiores. Nuevamente, el sistema reacciona a esta asimetría, y lo hace de manera que los puntos de los lados exteriores de las dos fluctuaciones aumenten su probabilidad de generación.

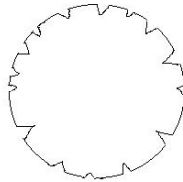
El resultado de que, en una fluctuación cualquiera, disminuya la probabilidad de generación en uno de sus lados y simultáneamente aumente en el lado opuesto, es que, como hemos visto antes, debido a la expansión del universo se genera un movimiento de traslación en la dirección en la que ha aumentado la probabilidad de generación. En conclusión, **cuando se superponen en un universo en expansión dos fluctuaciones, la manera en que el sistema actúa para recobrar la simetría perdida es produciendo una fuerza repulsiva entre ellas.**

Vamos a reparar ahora en un hecho importante. Nuestro estudio se ha basado hasta ahora en la dinámica de una serie de perturbaciones que se producen en el tejido de nuestro modelo de

universo bidimensional debido a la aleatoriedad del proceso de expansión de dicho universo. Estas perturbaciones son del tipo que muestra el siguiente dibujo, en un universo monodimensional en forma de circunferencia:

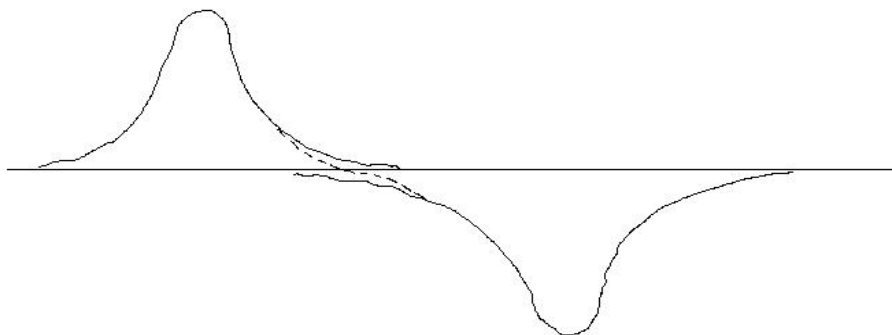


Pero en principio, dada la aleatoriedad de dicho proceso de expansión, nada impide que puedan formarse también perturbaciones de este otro tipo:



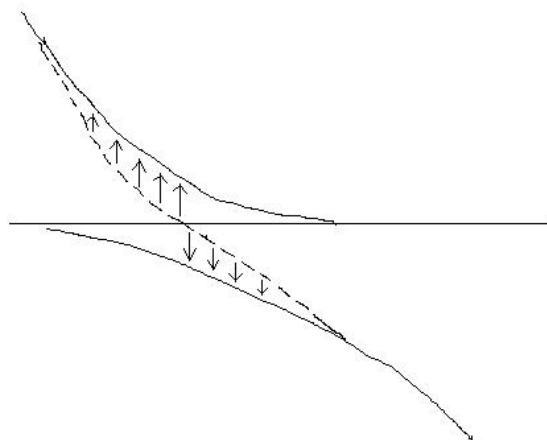
Podemos diferenciarlas llamando a las primeras "fluctuaciones positivas" (puesto que se producen en la dirección de la expansión), y a las segundas "fluctuaciones negativas". Todo el proceso que hemos explicado antes sobre la generación de movimientos de traslación en fluctuaciones positivas, son perfectamente aplicables también a las fluctuaciones negativas.

Estudiemos ahora el caso de superposición de una fluctuación positiva con otra negativa, tal y como se indica en la siguiente figura. Al igual que antes, se indica con línea continua la forma inicial de las fluctuaciones y con línea discontinua la superposición de dichas fluctuaciones.



Como podemos ver, al igual que el caso anterior, la superposición de las dos fluctuaciones causa una asimetría en la forma de la onda de las fluctuaciones. Si suponemos de nuevo que el sistema actuará intentando recobrar la simetría perdida, debería producirse un cambio de la probabilidad de generación. En la siguiente figura, podemos ver ampliada la zona de

superposición de ambas fluctuaciones. Empleando la convención de flechitas usada en las figuras anteriores, podemos ver cómo en la fluctuación positiva se produce un aumento de la probabilidad de generación, y en la negativa una disminución.



Este cambio en la distribución de probabilidad, que inicialmente está localizado sólo en la zona de superposición de las fluctuaciones, conforme avanza la expansión, acaba por generar otra asimetría, que es un ensanchamiento de los lados interiores de las fluctuaciones, lo cual es corregido por el sistema con una disminución de la probabilidad de generación en la cara externa de la fluctuación positiva, y un aumento en la cara externa de la fluctuación negativa.

Como podemos ver, nos encontramos con un caso similar al anterior, es decir, en ambas fluctuaciones aparece como respuesta del sistema un aumento de la probabilidad de generación en un lado y una disminución en el lado opuesto, lo cual como ya hemos visto da lugar a un movimiento de traslación en las fluctuaciones. Podemos concluir por tanto, que **la superposición de una fluctuación negativa con otra positiva genera una fuerza atractiva entre ellas**. Si planteamos el caso de superposición de dos fluctuaciones negativas, veremos que es prácticamente idéntico al que hemos analizado antes de dos fluctuaciones positivas. El resultado es igualmente una fuerza repulsiva.

Después de este análisis, podemos asemejar el concepto de fluctuaciones positivas o negativas con el de carga eléctrica de la Teoría Electromagnética. La misma Fuerza Electromagnética no es más que la respuesta del sistema a una deformación de la forma de onda de una o más fluctuaciones.

No obstante, hay una pequeña diferencia entre el proceso de interacción de dos partículas de igual signo y el de interacción de dos partículas de signo contrario. Es una pequeña diferencia, pero que, como veremos más tarde, tendrá importantes consecuencias cuando se estudie este campo de fuerza a gran escala.

En la interacción entre dos partículas de signo contrario, automáticamente se produce un aumento de la probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales en la cara interior de la fluctuación positiva, lo cual se traduce de forma instantánea en un movimiento de traslación atractivo en ambas fluctuaciones.

En la interacción entre dos partículas del mismo signo, en cambio, primero se produce un descenso de dicha probabilidad en las caras interiores de las dos fluctuaciones, el cual se propaga por la fluctuación y acaba causando un aumento de la probabilidad de generación en la cara opuesta; y es entonces cuando aparece el movimiento de traslación repulsivo en ambas fluctuaciones.

Es decir, que la interacción entre fluctuaciones de signo contrario es intrínsecamente mayor que la producida entre fluctuaciones del mismo signo (para el mismo valor absoluto de carga). Esta diferencia, en la práctica, debe de ser muy pequeña, pero como veremos más adelante tiene importantes efectos macroscópicos.

Conceptos de carga eléctrica, masa, tiempo y aceleración

En cualquiera de los casos estudiados anteriormente, la superposición de dos fluctuaciones causa una asimetría en la forma de dichas fluctuaciones. Nótese que la respuesta del sistema (y la consecuente generación de la fuerza repulsiva o atractiva) no es inmediata: Conforme avanza la expansión del universo, la asimetría se tiene que propagar desde el punto de "choque" de ambas fluctuaciones hasta el extremo opuesto de dichas fluctuaciones. Es por ello que la respuesta del sistema será más rápida cuanto más "estrechas" sean las fluctuaciones. Si suponemos que la "anchura" de una fluctuación es lo que llamamos "masa" de una partícula, de aquí se deduce que la respuesta del sistema a una asimetría (la aceleración) es inversamente proporcional a la masa de la partícula que sufre dicha asimetría. Dicho de otro modo, para poder imprimir una velocidad a una fluctuación, el sistema tiene que propagar (mediante la expansión del Universo) dicho efecto a toda la fluctuación, y eso le llevará más tiempo cuanto más masiva (es decir, más ancha) sea la fluctuación.

Nótese que los conceptos de masa y carga eléctrica están muy relacionados en este modelo de Universo: La carga da una idea de cuánto penetra una fluctuación en la tercera dimensión adicional, ya sea en la dirección de expansión del Universo (carga positiva) o en la contraria (carga negativa). En cambio, la masa da una idea de la superficie que ocupa dicha fluctuación en el Universo bidimensional. Ambos conceptos definen el volumen de la fluctuación que da lugar a una partícula material.

Como hemos visto también antes, la expansión del Universo es un proceso totalmente aleatorio, con lo cual en principio pueden aparecer tanto fluctuaciones positivas como negativas; pero estadísticamente se puede comprobar que, por término medio, las negativas serán más estrechas (es decir, con menos masa) debido a que se producen en dirección contraria a la expansión del Universo. Esto podría explicar la razón de que, en la materia estable conocida, las partículas de carga positiva sean más masivas que las de carga negativa.

Vamos a completar el principio de simetría enunciado anteriormente: "La distribución de probabilidad de generación de nuevos puntos espaciales, SÓLO se modificará ante una deformación en la forma de una fluctuación que suponga una desviación de la forma de onda estable". Para ver las posibles implicaciones de esto, supongamos que una fluctuación sufre una deformación debido a la proximidad de otra fluctuación del mismo signo. Como hemos visto antes, esto provoca la aparición de una fuerza que hace que ambas fluctuaciones se trasladen en direcciones opuestas con un movimiento acelerado. Bien, ¿Y que pasaría si en un momento dado desaparece de escena una de las fluctuaciones? ¿Qué pasará con la otra? Al desaparecer una de las fluctuaciones, la otra recuperaría automáticamente su forma original estable, y por tanto a partir de ese momento la distribución de probabilidad no volvería a cambiar, manteniéndose constante a como estaba justo antes de desaparecer la otra fluctuación. Por tanto, la fluctuación que queda dejará de aumentar constantemente su velocidad, puesto que ya no tiene que contrarrestar la deformación de su forma de onda causada por la otra perturbación; pero eso sí, seguirá moviéndose en la misma dirección con velocidad constante

Nótese que en nuestro modelo de Universo, la escala mínima de tiempo viene dada por la probabilidad de generación de un punto espacial. Nada puede ser más rápido que esto. Esto delimita por tanto una velocidad máxima de traslación en nuestro Universo. La velocidad de una partícula puede ser tan pequeña como se quiera (la probabilidad de generación de puntos

espaciales en uno de los lados de la fluctuación puede ser tan solo un poco mayor que en el otro lado), pero no puede ser ilimitadamente grande.

Vamos a ver esto con más detalle. Para que se produzca una traslación, la probabilidad en un lado de la fluctuación disminuye respecto del valor normal de expansión del universo, y en el lado opuesto justo lo contrario, aumenta respecto del valor normal. Para que la fluctuación pueda trasladarse sin sufrir deformaciones en su forma original, el aumento de la probabilidad en la dirección de movimiento debe estar acorde con la disminución de probabilidad en el lado contrario. El problema viene para velocidades grandes. Como hemos visto antes, cuando estudiábamos el movimiento acelerado que se produce en una fluctuación cuando sufre una deformación en su forma de onda, la adquisición de una velocidad por parte de la fluctuación no es algo instantáneo (razón por la cual existe la aceleración), empieza con una disminución de la probabilidad de generación de nuevos puntos en un lado de la fluctuación, y esto se propaga (gracias a la expansión del universo) al lado opuesto de la fluctuación, donde se produce un aumento de dicha probabilidad. Pues bien, para velocidades muy grandes, la diferencia entre las probabilidades de generación en ambos lados de la fluctuación es muy grande, y para poder propagarse adecuadamente de un lado a otro de dicha fluctuación es necesario que la fluctuación tenga una anchura mínima, razón por la cual se produce un "ensanchamiento" de la fluctuación. Este ensanchamiento se corresponde intuitivamente con el efecto de aumento de la masa predicho por la Teoría Especial de la Relatividad cuando la velocidad de una partícula material se aproxima a la velocidad de la luz.

Existe un caso especial en el que es posible alcanzar la máxima velocidad teórica sin el efecto de "deformación de la fluctuación". Imaginemos que tenemos una fluctuación con una cierta altura, pero anchura nula. Una fluctuación de este tipo no tiene aparentemente mucho sentido, puesto que su masa asociada sería cero, excepto si se está moviendo a la máxima velocidad posible. A esa velocidad, el efecto de "deformación de la fluctuación" que hemos visto antes dotaría a nuestra fluctuación de una cierta anchura (es decir, masa). Este es el caso de las partículas con masa en reposo nula, cuya existencia sólo tiene sentido mientras se muevan a la máxima velocidad teórica.

Vamos a hacer también unas reflexiones sobre las consecuencias que esta teoría introduce en el concepto de tiempo. Hasta la llegada de la Relatividad Espacial de Einstein, se había supuesto que nuestro Universo tenía tres dimensiones espaciales que configuraban el espacio donde existían los campos y las partículas materiales, y a parte, estaba el tiempo, concepto un tanto esquivo que no se sabía muy bien cómo tratar. Einstein, en su teoría de la Relatividad Espacial, trató al tiempo como una dimensión más a través de la cual podían trasladarse los cuerpos, introduciendo el concepto de un espacio-tiempo de cuatro dimensiones.

Nótese que, con este nuevo modelo de Universo, hemos cambiado la definición del concepto "tiempo". Ahora el "tiempo" es como una dimensión espacial más. El paso del tiempo viene dado por la generación espontánea de nuevos puntos espaciales en la dimensión adicional. El concepto introducido por Einstein de que el tiempo no era algo absoluto, sino que podía encogerse o estirarse según las circunstancias, se ve ahora de manera intuitiva mucho más claro: El paso del tiempo viene dado como hemos dicho por la generación de nuevos puntos espaciales, es el mecanismo que permite la expansión de nuestro Universo, que le da vida al permitir y modular el movimiento de las partículas.

Fuerza Gravitatoria

Hagamos un poco de historia: Actualmente se han identificado cuatro fuerzas fundamentales: Gravitatoria, Electromagnética, Nuclear Fuerte y Nuclear Débil. Con las teorías de unificación actuales, se ha postulado que en un principio, cuando el Universo era muy denso y caliente, sólo había una super-fuerza, y que fue debido al progresivo enfriamiento del Universo que

esta fuerza se fue dividiendo en otras hasta llegar a las cuatro actuales. Hasta ahora se han logrado unificar, utilizando la técnica de la búsqueda de simetrías, las tres últimas; e incluso hay varias teorías (la más prometedora de ellas, quizá sea la teoría de cuerdas) que introducen la Gravitación en esta gran unificación.

Históricamente, la unificación entre la Mecánica Cuántica (que explica el Campo Electromagnético) y la Relatividad General (que da cuenta del campo Gravitatorio) siempre se ha mostrado como algo extraordinariamente difícil ¿Por qué? Pues debido a que los conceptos de masa y carga eléctrica (los "entes" responsables de ambas fuerzas) siempre se han tratado como cosas diferentes, cuando en realidad son parte de una misma cosa: la forma de onda de una fluctuación. Siempre se ha supuesto que la masa de una partícula es la "carga" que crea el campo gravitatorio, y al mismo tiempo, resulta que la masa de una partícula modula la respuesta de esa partícula a un campo de fuerza (sea cual sea la naturaleza de ese campo, ya sea de origen Gravitatorio o no) mediante la generación en la partícula de una aceleración (Ya hemos visto antes con detalle el proceso por el cual se genera una aceleración en una partícula ante la presencia de un campo de fuerza).

Con estos datos, Einstein se dio cuenta de que, postulando que esas dos masas asociadas a una partícula (la "gravitatoria" que crea el campo y la "inercial" que es la responsable de la respuesta de la partícula a cualquier campo) son iguales (principio de equivalencia de la relatividad general) se podría tratar el campo Gravitatorio como un problema de geometría, suponiendo que cualquier cuerpo con una determinada masa, inducía una deformación en el espacio-tiempo, y cualquier otra partícula expuesta a esa deformación, sufrirá una aceleración que la obligará a moverse a través de una trayectoria geodésica en ese espacio deformado.

La relatividad general de Einstein explica muy bien el campo Gravitatorio, pero conceptualmente resulta muy complicada de unificar con la teoría de campo Electromagnético, ya que ésta última no puede reducirse a un problema geométrico, puesto que el campo electromagnético es producido por la carga eléctrica de una partícula, pero la característica de la partícula que modula su respuesta a ese campo es la masa, y no sólo la carga.

El cambio conceptual más importante que vamos a introducir (realmente ya lo hemos hecho anteriormente, al explicar el origen de dichas magnitudes) es que los conceptos de carga eléctrica y masa están íntimamente relacionados, ambos definen la forma de onda de una fluctuación, que es el concepto clave en este modelo de Universo. Hemos visto que las fluctuaciones que pueblan nuestro Universo, tienden a conservar su forma ante la proximidad de otras fluctuaciones, lo cual ocasiona la aparición de un campo de fuerza similar al de la Teoría de Campo Electromagnético.

Hay una simetría básica, que es la que asegura la estabilidad de dicha forma de onda ante la presencia de otras fluctuaciones, y hay una única fuerza, que aparece como consecuencia de rupturas de dicha simetría. Sólo una visión sesgada de la realidad crea la apariencia de que haya más fuerzas. Ahora bien, si como hemos visto anteriormente, esta Super-Fuerza parece corresponderse con la Fuerza Electromagnética, ¿Cómo se explica la Fuerza Gravitatoria? Pues bien, **la Fuerza Gravitatoria no es más que un residuo de esta fuerza principal**. Esto es debido, fundamentalmente, a dos cosas:

1.- En el Universo las partículas estables de carga positiva tienden a ser más masivas (es decir, su forma de onda es más ancha) que las de carga negativa. Esto, como ya se explicó antes, es debido a que las partículas positivas se generan en la misma dirección que la expansión del universo.

2.- La fuerza que se genera entre partículas de carga de signo opuesto es ligerísimamente mayor que la que se genera entre cargas de igual signo (para el mismo valor absoluto de carga). Esto también lo vimos antes con más detalle.

Las partículas positivas son más masivas que las negativas (por la expansión del Universo), por lo tanto, en un cuerpo neutro (como lo son la mayoría en el Universo) formado por igual número de partículas positivas y negativas, no se produce una anulación total de las formas de onda, sino que queda una muy pequeña componente total positiva. Nótese que esta componente final es totalmente independiente de la carga de las partículas que forman el cuerpo neutro, ya que al ser neutro hay igual número de partículas positivas que negativas. La componente resultante sí que dependerá en cambio del número de partículas que formen el cuerpo, más exactamente, dependerá del número de pares positivo-negativo. Cada par formado por una partícula positiva y otra negativa, contribuye con una pequeña componente positiva, resultante de la casi anulación de sus respectivas formas de onda, y esta pequeña componente depende de la anchura de sus formas de onda, o sea, de la masa de las partículas. Si multiplicamos esta componente por el número total de pares positivo-negativo, tendremos la componente total resultante de este cuerpo, que como hemos visto no depende en absoluto de la carga de las partículas que forman el cuerpo, pero sí de su masa.

Si ahora suponemos que tenemos dos cuerpos neutros separados por una cierta distancia, podemos suponer que uno de los cuerpos se ve influido por la componente positiva proveniente del otro cuerpo ¿Cómo se verá afectado por esta perturbación? Si nos fijamos en uno cualquiera de los pares positivo-negativo que forman este cuerpo neutro, veremos que la fluctuación positiva experimentará una fuerza repulsiva, y la negativa una fuerza atractiva. Si aplicamos el segundo postulado, según el cual la interacción positivo-negativo es intrínsecamente más intensa, vemos que el par positivo-negativo experimenta en su conjunto una pequeñísima fuerza atractiva hacia el otro cuerpo.

Una conclusión importante, es que el hecho de que la fuerza gravitatoria resulte ser atractiva, depende finalmente del balance de fuerzas entre la componente positiva del cuerpo que origina el campo y las formas de onda de las partículas que forman cada par positivo-negativo del segundo cuerpo. Gracias a que la interacción entre la componente positiva y la forma de onda de la partícula negativa resulta ser ligeramente mayor que la interacción con la forma de onda de la partícula positiva, la resultante total es una fuerza muy débil pero atractiva.

Si mediante algún mecanismo se pudiese modular la forma de onda de las partículas de cada par positivo-negativo del cuerpo que siente la componente positiva proveniente del otro cuerpo, por ejemplo haciendo que esas formas de onda fuesen más altas (más positivas), se podría influir en el balance total de la interacción entre la componente positiva y las formas de onda de cada partícula del par positivo-negativo, haciendo que la resultante total fuese nula (el cuerpo no siente la fuerza gravitatoria) o incluso que resultase una fuerza gravitatoria repulsiva.

Pero para poder hacer más positivas las partículas que forman el cuerpo, haría falta que ese mismo cuerpo tuviera más partículas positivas, con lo cual ya no sería un cuerpo neutro. La solución podría ser quizá mediante un campo magnético, una corriente de partículas que provocan una modificación de la altura de la forma de onda de todas aquellas partículas que se encuentren dentro de su zona de influencia, y que causa un cambio en la intensidad de la fuerza gravitatoria que siente el cuerpo.

César José Alcalde Blanco
cesar.alcalde@tecsidel.es