

DEPARTAMENTO DE FISICA

CICLO DE CONFERENCIAS

'REPORTE DEL 2DO. SIMPOSIO LATINOAMERICANO
DE RELATIVIDAD Y GRAVITACION''

Celebrado en Venezuela, Universidad Simón Bolívar, Caracas.

Por: Rafael Bautista



UNQUE este simposio tuvo un carácter eminentemente teórico en el campo de la Relatividad General, es interesante hacer algunas anotaciones, que por fuerza serán muy generales, en torno al tema tratado y sobre los conferencistas del mismo.

Los conferenciantes regulares durante las sesiones de charla fueron: A. Papapetrou, L. Witten, Kip S. Thorne, Tulio Regge, Bruno Zumino, K. Kaku, L. Parker, y Plebansky. Todos ellos investigadores notorios en el área de Física Teórica y alguno de ellos, como en el caso de Regge, ha sido propuesto para el premio Nobel. Uno en particular, Kip. S. Thorne, es más bien físico experimentalista.

Los temas centrales tratados en el simposio fueron la *cuantificación de la gravedad y la teoría y detección de ondas gravitacionales*, temas estos que están acaparando la atención de muchos físicos teóricos debido a sus implicaciones a largo plazo.

Empecemos explicando en qué consiste la cuantificación de la gravedad. Para ello será imprescindible hacer un poco de historia e introducir algunos conceptos poco familiares.

El hombre de principios de siglo, de los años veinte, conocía tres partículas estables a las que calificaba de elementales: el protón, el electrón, y el fotón. En base a estas tres partículas y sus propiedades se pretendía describir los fenómenos observados en la materia y la interacción de ésta con la radiación electromagnética. Las propiedades básicas de toda partícula son: la masa en reposo, la carga eléctrica y el llamado "spin" o momento angular intrínseco. Al final listamos las propiedades de estas y otras partículas elementales. De momento diremos que el protón y el electrón tienen cargas de $+1$ y -1 unidades (+), respectivamente y que ambos tienen spin de $1/2$ unidad ($++$). El fotón, en cambio, tiene carga nula y así mismo su masa en reposo; el spin de fotón es de 1 unidad.

(+) La unidad de carga es -1 carga electrónica

(++) La unidad de spin es $-h/2\pi$ (h es la constante de Planck)

El electrón y el protón son dos de las unidades básicas de la materia. Mientras que con el fotón se explica la naturaleza discontinua que presenta el campo electromagnético. A esta descripción del campo electromagnético en términos de partículas llamadas fotones es lo que se llama la cuantificación del campo electromagnético.

Veamos cómo trabajaban estos conceptos para explicar, por ejemplo, la interacción coulombiana entre dos electrones.

La figura I muestra el proceso que se describe a continuación:

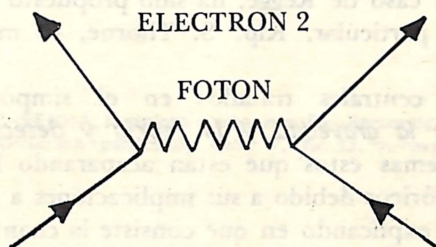


Fig. No.1

el electrón 1 se aproxima al electrón 2. En un momento dado intercambian un fotón y así interactúan electromagnéticamente, es decir, uno le informa al otro de su presencia a través de un “mensajero” o “portador” del campo que llamamos fotón. Hasta que el fotón no va de uno a otro electrón, ninguno “se entera” de la existencia del otro.

La idea arriba expuesta, explotada al máximo de sus posibilidades y aplicada a los fenómenos conocidos de interacción de radiación y materia es lo que se denomina *Electrodinámica Cuántica*, que dicho sea de paso, es una de las teorías más exitosas que haya tenido el hombre.

Pronto los investigadores comprendieron que este mecanismo de interacción propio de los procesos electromagnéticos no sólo era aplicable a estos últimos sino que parecía *evidente* que todas las otras interacciones conocidas por el hombre debían comportarse de igual forma. Si el lector se pregunta cuántos tipos de interacción se conocen, le diremos que existen, básicamente, cuatro tipos de interacciones conocidas hasta hoy; el cuadro abajo las clasifica.

INTERACCION	INTENSIDAD RELATIVA
Fuerte	10^{32}
Electromagnética	10^{30}
Débil	10^{20}
Gravitacional	1

La interacción fuerte es la responsable de mantener juntos los protones y los neutrones en el núcleo atómico. Si usamos la gravitacional como unidad de medida, la interacción fuerte es 1032 veces más poderosa!

La electromagnética queda reservada a cuerpos con carga eléctrica. Es 100 veces más débil que la fuerte.

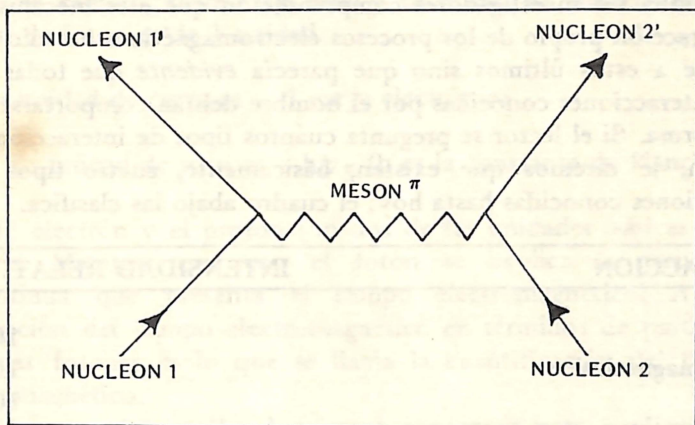
La interacción débil es responsable de procesos tales como la desintegración radiactiva en cuerpos radiactivos.

La Gravitacional es una de las más familiares aunque quizás la menos explicada y misteriosa y es la más débil de todas las interacciones conocidas hasta hoy.

Todas las interacciones arriba listadas tienen un rasgo común es que obedecen al mismo mecanismo. Expliquemos:

Partiremos del caso ya visto de la interacción electromagnética. En este caso dos partículas con *cierta cualidad* llamada *carga eléctrica* y con *spín 1/2* intercambiaron otra partícula *cuyo spín era 1* para interactuar mutuamente.

De modo análogo, dos partículas nucleares o *nucleones* (ya sean protones o neutrones), para atraerse mutuamente y mantener unido el núcleo necesitan formar un campo de interacción fuerte mediante el intercambio de alguna partícula *que represente* a la interacción fuerte de forma análoga a como lo hace el fotón con la electromagnética. Esta partícula se llama *Mesón*, y la gráfica representativa de este proceso está ilustrada en la figura 2.



El mesón π presenta una característica importante y es que su masa en reposo es diferente de cero (al contrario que el fotón) y su spín es 0. Los nucleones tienen spín 1/2.

Obsérvese que hasta el momento todas las partículas que han aparecido tienen spín 1/2 ó entero, es decir, o el spín es semientero o es un número entero exacto. Este hecho permite clasificar a las partículas en dos grupos:

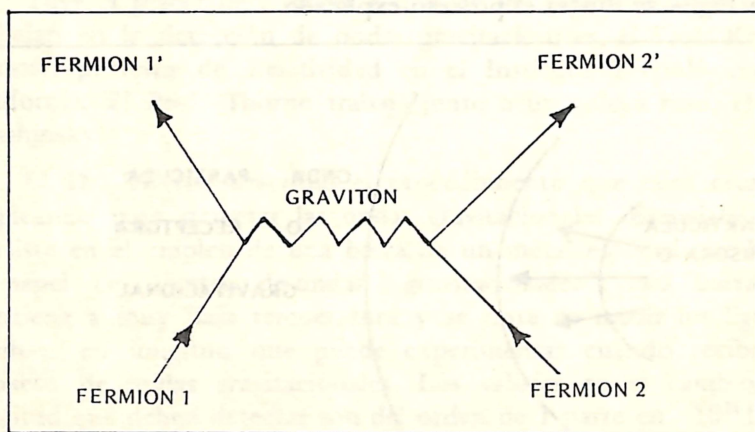
Fermiones aquellas de spín 1/2, 3/2...

Bosones aquellas de spín 0, 1, 2...

Nótese una cosa interesante: hasta este momento las partículas que interactúan son fermiones, mientras que las partículas que hacen el papel de "mensajero" de la interacción son

siempre basones. Algo es ahora claro, los fermiones son las fuentes que originan el campo de interacción, mientras que los basones son el campo mismo en cada caso.

Esta misma imagen de interacción que aparece en los dos ejemplos ya mencionados se podría repetir para el caso de la gravitación, esto es, suponer el caso de dos partículas con una cualidad específica llamada masa que interactúan mediante el intercambio de alguna otra partícula que actúe como mensajero. Es evidente que de continuar la analogía con el caso electromagnético y de la interacción fuerte, las dos partículas interactuantes deberían ser dos fermiones: a este basón que serviría para propagar la interacción gravitacional se lo ha denominado GRAVITON. La existencia del gravitón no ha pasado hasta el momento de la mera hipótesis puesto que, aunque las propiedades que debe tener han sido predichas teóricamente, los esfuerzos para detectarlo apenas comenzaron en años recientes y es de esperarse que la búsqueda dure largo tiempo. El gravitón, de existir, debe tener masa en reposo nula, carga eléctrica cero y $spín$ 2. La hipotética interacción gravitacional queda ilustrada en la figura 3.



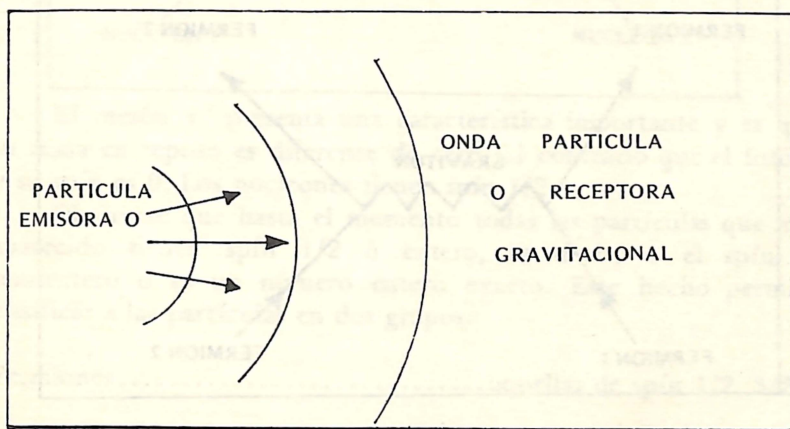
De esta forma la gravedad ha quedado cuantificada; sin embargo, hay que señalar algunos hechos que rodean al caso específico del campo gravitacional. La circunstancia de que el gravitón sea hasta el momento una partícula indetectable plantea la incertidumbre de si en realidad no se está siguiendo la ruta

equivocada. Además, por razones de orden muy técnico, los cálculos hasta ahora hechos conducen a valores *infinitos* de la energía de interacción gravitatoria, y esto sin alternativa posible, lo que indica que hay algo que marcha muy mal en la aplicación de la teoría cuántica al caso gravitatorio; según los teóricos la teoría resulta “irrenormalizable”.

ONDAS GRAVITACIONALES

En todos los fenómenos de naturaleza tal como la ya explicada, se presenta lo que en la física moderna se conoce como dualidad onda-partícula. Hasta el momento hemos enfocado el tema de la gravitación adoptando un punto de vista cuántico, es decir, considerando que las interacciones son propagadas por partículas.

Pero existe el punto de partida optativo de analizar la gravedad como un fenómeno ondulatorio. En esta concepción se considera que la interacción gravitacional se propaga a través del vacío en forma de ondas parecidas, por ejemplo, a las ondas de radio que van de una estación de radio a alguna antena receptora. En la Fig. 4 se ilustra el proceso explicado.



Por supuesto, en el caso de la gravitación ambas partículas son emisores y receptores a la vez de ondas gravitacionales. Con la teoría de las ondas gravitacionales se pretende lograr tres objetivos:

a) Establece una óptica geométrica de las ondas gravitacionales.

b) Predecir teóricamente cuáles deben ser los emisores importantes, esto es, las fuentes principales, que producen ondas gravitacionales intensas.

c) En base a los dos primeros puntos, ensayar la detección de ondas gravitacionales mediante experimentos adecuados.

Sobre el primer punto puedo decir que se trabaja activamente en varios lugares del planeta, específicamente el Prof. Papapetrou hizo una exposición muy completa sobre el estado actual de las investigaciones. El estudio de ondas gravitacionales desde el punto de vista óptico—geométrico implica el análisis de temas como la estructura del espacio—tiempo en presencia de la materia a través de ciertos coeficientes métricos fundamentales.

En cuanto a las posibles fuentes de ondas gravitacionales se pueden contar las llamadas estrellas neutrónicas y los misteriosos “black holes”, hoyos negros. Sin embargo, estas afirmaciones son hasta el momento puras hipótesis.

En lo referente a la detección de ondas gravitacionales se puede decir que los trabajos, que apenas ahora comienzan, están siendo canalizados por diferentes arreglos experimentales en varios lugares del mundo.

Tuve el placer de conocer a uno de los experimentalistas que trabajan en la detección de ondas gravitacionales, el Prof. Kip S. Thorne, profesor de Relatividad en el Instituto Tecnológico de California. El Prof. Thorne trabaja junto a un colega ruso, el Dr. Vrashinsky.

El Dr. Thorne describió el procedimiento que ellos estaban empleando para detectar las ondas gravitacionales. Esencialmente consiste en el empleo de una barra de un metal especial que hace el papel de “antena de ondas gravitacionales”; esta barra se mantiene a muy baja temperatura y se trata de medir los ligeros cambios en longitud que puede experimentar cuando recibe el impacto de ondas gravitacionales. Los valores en el cambio de longitud que deben detectar son del orden de 1 parte en 10^{21} !

El prof. Thorne dijo que, en realidad, ellos estaban venciendo el problema que les producía el llamado “ruido térmico”, que era lo más que podía detectar por el momento y que son variaciones en la longitud de la barra producidas por ligeros cambios en la temperatura; estas variaciones son del orden de 1 parte en 10^{17} .

Podemos concluir que en lo que concierne a la Relatividad general y teoría cuántica, los problemas por resolver son extremadamente escabrosos y que su chequeo experimental es aún una labor más ardua. Parece ser que, como lo sugiriera el desaparecido L. D. Landau, "la física requiere de la aparición de un nuevo concepto muy distinto de los hasta hoy vistos" y que creo requerirá el esfuerzo de mentes aún no "contaminizadas" por los actuales conceptos de las teorías cuántica y Relativista.

RAFAEL BAUTISTA. Profesor del Departamento de Física de la UNPHU. Se encuentra actualmente en el extranjero, ampliando estudios.