LA GRAVEDAD, LA RAÍZ DE TODOS NUESTROS PROBLEMAS.

Por Robinson Mancilla.

Introducción:

En este ensayo hablare sobre las unificaciones que se han producido en la historia de la física, culminando con los problemas que existen para unificar la Relatividad General (RG) y la Mecánica Cuántica (MC), la gran unificación que en los tiempos actuales se espera lograr. Quiero destacar, que entiendo por unificación la capacidad de las personas de poder explicar una diversidad de fenómenos a través de la mínima cantidad de ideas entrelazadas entre sí, en particular en física, un marco teórico matemático que sea consistente internamente, pero que además posea las razones fundamentales del porqué de un fenómeno, su explicación conceptual completa, no bastando solo un conjuntos de leyes matemáticas descriptiva de dicho fenómeno.

He elegido esta idea, pues es ella, junto con la gravedad, la que en última instancia me ha motivado cursar la carrera de física. Mi atracción ante este tema nace del hecho de que siempre dude, o no comprendí la explicación, o falta de ella, de lo que era gravedad que leía en algunos libros divulgativos, en particular la idea de que todos los cuerpos cayeran con la misma aceleración con independencia de sus masas.

Cada vez que tenía la oportunidad, consulte la duda ante algún profesor, para mi sorpresa, para todos era demasiado evidente lo que era la gravedad, o su defecto, jamás se habían preguntado sobre el tema. A priori pensé que tan solo era un problema conceptual de mi parte, de no comprender las leyes de Newton. Luego tuve la oportunidad de preguntarle directamente a un físico, el cual me dio una respuesta distinta a lo que estaba acostumbrado, dijo “Es difícil, no entenderás nada si es que explico”. ¡Estupendo! Para mi satisfacción mi duda era algo real concreto, no exclusivamente un reflejo de mi ignorancia personal.

En los libros de física que estaban a mi acceso en aquella época ni rastro del problema existía, ¡menos aún la respuesta al asunto! Si un físico no me quiso responder, ni en los libros estaba la respuesta, a esta altura pensaba que la comprensión de que es la gravedad, era el mejor secreto guardado por parte de los físicos en el mundo. En fin seguí escrudiñando por ahí el asunto, hasta que descubrí el libro indicado el cual me permitió comprender por lo menos a nivel cualitativo y de manera superficial que la gravedad era un efecto geométrico del tejido espacio temporal al interactuar con los cuerpos o la energía, inclusive consigo mismo.

Para comprender a esta altura, mi caprichosa duda, pase por Newton, Galileo, Maxwell entre muchos otros grandes científicos hasta llegar a Einstein. En este proceso, en algún momento no dudaba en nombrar a Newton como el hombre más importante de la Historia de la humanidad, para posteriormente darme cuenta que Einstein derrumbo, sin consideración alguna, la mecánica Newtoniana que era un ejemplo representativo del paradigma de como pensar en aquella época.

Una duda y un par años para poder resolverla, ¡Einstein era la respuesta! Por lo mismo, no es de extrañar que me causará gran asombro saber que ni el físico más celebre del siglo XX haya podido aceptar la mecánica cuántica, menos lograr una unificación de las fuerzas conocidas hasta ese entonces, Gravitacional y electromagnéticas. (Notar que la revista New york Time, eligió a Einstein como el personaje más importante del siglo XX, superando al presidente de los Estados Unidos Roosevelt, Mohandas Gandhi y al Papa de aquella época)

Por la complejidad del tema, el detalle técnico se escapa de mis capacidades actuales, algo que un futuro no muy lejano espero enmendar, por este motivo gran parte de este texto se basará en libros de difusión científicos y mi propio conocimiento adquirido durante el tiempo del tema, además del paper divulgativo de C.J.Isham catedrático de Imperial College London. Todos los textos están en la bibliografía pertinente.

Algunas unificaciones históricas:

Tal vez sea una simetría del campo gravitatorio, pero sin duda cuando Galileo fue capaz de formular la ley de caída de los cuerpo, logro en una sola expresión poder describir la caída de sin número de objetos, o con su ley de superposición el cual nos permite describir, sin importar el objeto, la trayectoria parabólica que seguirá sí se lo lanza con cierto Angulo en un campo gravitatorio. Luego tenemos a Newton, una manzana y la luna, los fenómenos de la bóveda celeste tenían los mismos principios que los que sucedían en la tierra.

Juntando las observaciones de Oersted y Faraday, que afirmaban que la variación del campo eléctrico produce un campo magnético y viceversa, muchos empezaron a comprender la relación que existía entre la electricidad y el magnetismo. Maxwell con sus leyes, no solo unifico estos dos fenómenos sino también incluyo los fenómenos ópticos, además de esto se percató de la constancia de la luz y más aún que la constante de campo eléctrica y de campo magnética juntas de la forma adecuada dan exactamente las constante de la luz.

Luego Einstein postula su teoría de relatividad especial, que logra unificar el principio de relatividad de Galileo con la constancia de la luz, un problema que por mucho tiempo afecto a los físicos, aplicando nuevas transformaciones entre sistemas de referencias llamadas “transformaciones de Lorentz”, produciendo fenómenos tan maravillosos como la dilatación temporal y la aparente contracción de los cuerpos en su eje de movimientos a altas

velocidades. Además de esto, esta teoría unificada con el electromagnetismo permitía explicar de forma clara las observaciones Oersted y Faraday. Sin ir más lejos, hoy podemos entender el campo magnético como un efecto relativista de un campo eléctrico que varía en el tiempo.

Luego de esto, Einstein postula su teoría general de la relatividad (RG), que engloba a la relatividad especial y la mecánica newtoniana, pero que no pudo ser unificada junto con el electromagnetismo. En un intento de reunir ambas RG y electromagnetismo, Kaluza y Klein postulan una teoría que extendía a la RG de sus 4 dimensiones a 5. Una de las primeras teorías en hablar de dimensión extras a las ya conocidas del tiempo y las 3 espaciales. La nueva dimensión apareció al expandir el tensor de 4x4 usado en la relatividad general a una de 5x5 para incluir las fuerzas electromagnéticas. ¿Un mero capricho matemático, o el reflejo de dimensiones ocultas?

Por su parte Einstein también intento unificar la Relatividad General y Electromagnetismo en una única teoría, pero su muerte llego primero. En esa época, la mecánica cuántica ya era la teoría de moda, los intentos posteriores han consistido en cuantizar las teorías clásicas que no incluyen en sus formulaciones la constante de Planck, lo cual hasta ahora ha sido todo un éxito, exceptuando la cuantización de la gravedad. Como dijo una amada amiga, "la gravedad es la raíz de todos nuestros problemas". Notar que cuantizar, hacer referencia de pasar de algo continuo, a algo discreto.

La primera formulación de la Mecánica Cuántica (MC) se debe a Heisenberg con MC matricial, luego MC ondulatoria por parte de Schrodinger, a posteriori con una modificación de Pauli para poder solventar el problema de los números o estados cuánticos repetidos agregando el concepto spin y su matemática pertinente a la función de onda de Schoridinger.

Estas teorías en un principio no incluían la relatividad especial, lo cual se logró gracias a Dirac quien formulo la MC de onda relativista, la primera teoría cuántica de campo (TCC) como tal que implico la existencia de la antimateria.

El área de la física cuántica se había vuelto una teoría muy fructífera, y esto siguió con Feynman quien cuantifico el electromagnetismo en lo que se conoce como la electrodinámica cuántica. También se logró la formulación de la cromática cuántica (referente a la fuerza fuerte) y la unificación de la fuerza electromagnéticas con la f. débil en la teoría cuántica electro débil.

En la actualidad se ha logrado cuantifizar 3 de las 4 fuerzas fundamentales, y 2 de ellas se han unificado en las ya mencionadas teorías. Como ya se han cuantifizado el electromagnetismo, fuerza nuclear fuerte y débil, estas conviven en el modelo estándar de la física de partículas. El proceso de cuantifizar ha sido completamente exitoso, pero cuando se trata de la gravedad en todo ha sido un gran fracaso, a pesar de las propuestas de las súper cuerdas, y la gravedad cuántica de lazos, donde la primera no ha logrado reunir los datos experimentales necesarios

para su contraste teórico experimental y la segunda teoría, tiene limitaciones en su construcción.

Considerando todo lo previo ¿Por qué la gravedad se resiste a su cuatización como las otras fuerzas? ¿Qué la hace ser tan disidente a la física actual, considerando que fue la primera fuerza en ser comprendida? ¿Cuáles son las problemáticas que nacen de intentar reunir la mecánica cuántica con la relatividad general? ¿Son en sus principios y en esencia incompatibles? ¿Cuál es la realidad que subyace a todo está problemática?

Los problemas de la unificación:

La relatividad General es una teoría de campo, donde el campo se representa por líneas que parten en un punto y se alejan desde un centro en común, en la teoría cuántica de campo ya no existen estas líneas sino una serie de partículas que la constituyen. El campo electromagnético está constituido por fotones, el campo de la fuerza nuclear débil por los bosones Z y W y el de la fuerza nuclear fuerte por los gluones. Si pudiésemos cuantifizar el campo gravitatorio diríamos que está constituido por los gravitones, partículas que aún no ha sido descubierta experimentalmente. En particular, las partículas nombradas aparte de ser constituyen de sus respectivos campos son también las partículas mediadores de las interacciones que suceden en dicho campo. Todo esto implica que la tendencia evidente es que un campo clásico debe ser cuantifizado en un campo de partículas algo que hasta ahora no se logrado hacer con la gravedad.

La necesidad de hacer discreto los campos clásico, nace de la cuantificación de la energía por parte Planck, no pudiendo a niveles microscópicos, por ejemplo un electrón estar en cualquier lugar, sino donde su energía potencial cuantificada respecto al núcleo le permita estar. Esto se traduce a nivel atómico que el electrón para pasar de un lugar a otro, donde le sea permitido estar según los estados de energía, no pasa por el camino que existe entre los dos lugares sino simplemente salto de un lugar al otro. El fenómeno en ejemplo de electrón, también se traspasa a los campos clásicos, no pudiendo seguir siendo continuos, sino al parecer inherentemente discretos. Todo este razonamiento aplicado a la RG, implica que para poder unificar con la MC es esencialmente necesario que el tejido espaciotemporal a niveles microscópico este constituido por alguna unidad básica.

Por otro lado tenemos un principio fundamental de la MC el principio de Heisenberg, que en cierto sentido da cuenta del carácter probabilístico de esta teoría. Cabe destacar que a pesar de este rasgo aparentemente azaroso la MC, en particular las teoría cuánticas de campo han demostrado ser sumamente precisas entre la comparación de la teoría con lo experimental, tan así que cierto físico afirmo que la electrodinámica cuántica es inhumanamente precisa.

El principio de Heisenberg se compone de 2 desigualdades impuestas por la naturaleza de los fenómenos cuánticos y no por nuestras limitaciones como personas. Estas expresiones son una correlación estadística entre la incertidumbre en la medida del momentum lineal y la posición de una partícula, además de la incertidumbre entre la energía y el tiempo en un sistema dado. La primera desigualdad, contradice el carácter determinista de la física clásica, impone que escalas pequeñas el comportamiento de las partículas sea turbulento algo impreciso de determinar. La segunda desigualdad nos permite violar por un brevísimo tiempo la conservación de la energía, permitiendo la creación y aniquilación de partículas y antipartículas de manera casi instantáneas lo cual conlleva un cambio de la comprensión de lo que entendemos por vacío.

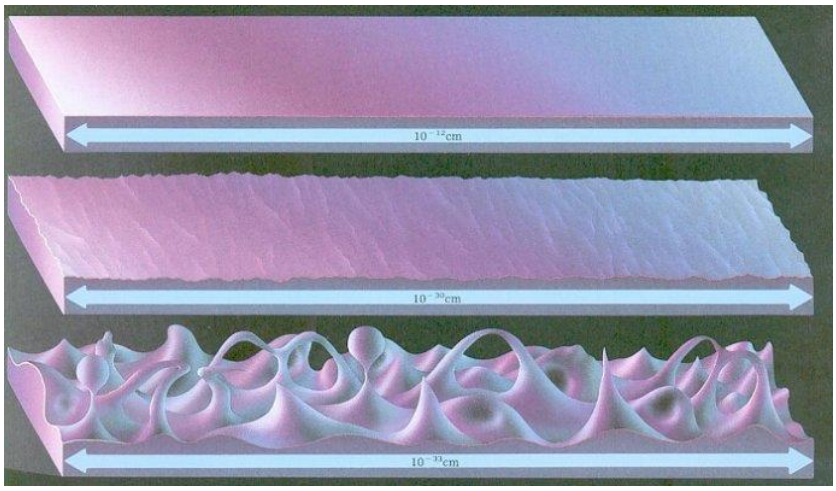
En la RG y en el régimen clásico de la física, el vacío es carente de cualquier actividad y más aun de la presencia de materia (o energía). El principio de Heisenberg impone que el vacío en realidad es solamente "un *vacío en promedio*", pero que verdaderamente existe una danza de aniquilación y creación de partículas llamadas fluctuaciones cuánticas del vacío, que tienden a anularse a nivel macroscópico algo fundamental para comprender por qué la teoría de la gravedad cuántica ha sido de tan difícil formulación.

Otro punto a tomar en cuenta es que la RG predice que si en punto dado existe una gran concentración energía, eventualmente podría producirse un agujero negro. En la actualidad, para entender la naturaleza intrínseca de la materia se necesita energía a niveles muy altos en pequeñas áreas de espacio implicando según la RG la posibilidad de agujeros negros que nos limitarían en el estudio de la esencia ultima de la materia. En un agujero negro la física de hoy en día muere, no es capaz de extraer información de él, un límite del conocimiento humano en la actualidad. Como dijo Hawking, "Dios no solo juega a los Dados, sino también los tira donde no los podamos ver", esto en respuesta a la famosa afirmación hecha por Einstein, "Dios no juega a los dados" haciendo referencia a la negación que mantuvo por vida al carácter probabilístico de la Mecánica cuántica y a la indefinición de algo tan elemental como la posición de algún objeto que nos permite localizarlo en el tejido espacio-temporal en el cual vivimos.

El problema fundamental que existe entre estas teorías radica como se describiría el tejido espaciotemporal a los niveles microscópicos, cercanos a la longitud de planck (10^-35 mts). El caos aparente del vacío dado por las fluctuaciones cuánticas; y la armoniosa y tranquila apariencia de la liza curvatura que describe las ecuaciones de campo de Einstein se contraponen en sus niveles más esenciales. En términos matemáticos, esto implica que al unir estás dos teorías aparecen infinito al querer describir el tejidos espaciotemporal a nivel ultra microscópicos, en cierto sentido a estos niveles la geometría de espacio y tiempo se pierde. Lo lizo y suave de la curvatura es esencial en la descripción matemática de la RG, el principio de

Heisenberg y sus implicancia de fluctuaciones cuántica en el vacío y a niveles ultra microscópicos son también esenciales para la MC.

Al existir estas fluctuaciones cuánticas a pequeñas escalas, en particular por la energía instantánea disponible (que debe ser devuelta en lapso de tiempo corto) se traduce en una excesiva curvatura a estos niveles lo que algunos llaman espuma cuántica que se observa en la siguiente imagen:



Quizás la imagen previa resuma de buena manera, la contraposición que existe entre el régimen clásico y cuántico de la física, como también la contraposición que existe entre la teoría que describen lo pequeño, tan pequeño como una partícula sub atómica y la teoría que describe lo grande, tan grande como el mismo universo.

Apreciaciones finales.

En la actualidad existen distintos enfoques en como solventar esta problemática. Tales como cuantizar la Relatividad General; relativizar en el sentido de la Relatividad General la Mecánica Cuántica; preservar aspecto de la MC en unión con la RG pero sin necesariamente a cuantizacion directa; Por último, simplemente crear nuevos conceptos, redefinir lo que entendemos por tiempo, espacio, por partícula y crear una nueva teoría mucho más general que las ya mencionadas.

El primero de los enfoques, en la actualidad es casi obsoleto puesto que en la década del 70-80 se demostró que no se puede renormalizar (Hacer convergente sumatorias divergentes con métodos matemáticos) la gravedad cuántica así como se hizo, por ejemplo, con la electrodinámica cuántica, el segundo enfoque es muy poco estudiado, existiendo aquí la gravedad cuántica de lazos, el tercer enfoque es el más exitoso y estudiado, pero que lleva

bastante tiempo sin avanzar por la falta de evidencia experimental. El último enfoque es de difícil comienzo, es refundar prácticamente toda la física que hoy en día conocemos.

Antes de este ensayo, no dimensionaba los éxitos de la Mecánica Cuántica (MC), en el proceso de buscar nueva información o corroborar ideas que tenía en mente, he comprendido y aceptado a regañadientes que la MC es una teoría muy exitosa y fructífera, realmente robusta, casi imposible de derribar. En el camino hacia la teoría de gravedad cuántica, probablemente la primera teoría en caer será la RG, puesto que parece ser el pilar más débil que hoy en día sustenta la física contemporánea, en contra parte de la MC.

Desde un tiempo a esta parte he seguido la historia de la gravedad y su renuencia a la unificación y a ser cuantizado, como cual persona sigue su historia o novela favorita, tomando estima, en el proceso, a los distintos personajes que se desarrollan en la historia ¡Como no tomar estima a Einstein! Un persona bastante singular, y por sobre todo a su elegante teoría de Relatividad General en contra parte de los 19 parámetros que deben ser ajustando para que el modelo estándar de partículas pueda funcionar, ("Que poco elegante"). Cada novela tiene su autor, esta novela el autor es la naturaleza y es ella quien decide, en última instancia, cual es la verdadera esencia de los fenómenos que pretendemos entender y la realidad que subyace a todo lo que observamos. Al parecer, la naturaleza se ha expresado. La realidad ¡Es cuántica!

Bibliografía:

1) C.J. Isham . (1994). Prima facie questions in quantum gravity .Lect.NotesPhys, 434, 20 pp.

2) Brian Greene. (2001). La necesidad de una nueva teoría: Relatividad General vs MecánicaCuántica. En El universo elegante (89-98). New York: Critica.

3) Stephen Hawking, Leonard Moldinow. (2010). El gran diseño. Reino Unido: Bantam Books.

4) Einstein. (1986). La evolución de la física. Barcelona: Biblioteca científica Salvat.