

EN BÚSQUEDA DEL GRAVITÓN: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE LA HIPOTÉTICA PARTÍCULA ELEMENTAL

IN SEARCH OF THE GRAVITON: LITERATURE ANALYSIS OF THE HYPOTHETICAL ELEMENTARY PARTICLE

BUSCA DO GRÁVITON: ANÁLISE DA LITERATURA DA PARTÍCULA ELEMENTAR HIPOTÉTICA

Resumen

La gravedad es una fuerza fundamental que ha sido estudiada por los físicos durante siglos. En la física clásica, la gravedad se describe mediante la ley de gravitación de Newton, mientras que, en la relatividad general de Einstein, la gravedad se interpreta como la curvatura del espacio-tiempo causada por la presencia de materia y energía. No obstante, la descripción de la gravedad en el marco de la mecánica cuántica ha sido un desafío para los físicos teóricos. La teoría cuántica de campos predice la existencia de partículas elementales llamadas gravitones, que son los portadores de la fuerza gravitatoria. Los hipotéticos gravitones serían partículas bosónicas de spin-2, lo que significa que tienen dos unidades de momento angular intrínseco. Sin embargo, a diferencia de los fotones, que son bosones de spin-1 y mediadores de la fuerza electromagnética, los gravitones nunca han sido detectados directamente. La presente investigación tiene como objetivo examinar los fundamentos que dieron origen al concepto de gravitón, así como las características de esta partícula, los experimentos llevados a cabo en su búsqueda y las posibles alternativas teóricas a su existencia. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de las fuentes que originaron la idea del gravitón, seguida de una síntesis de los postulados, sin profundizar en las nociones matemáticas que sustentan dichos principios. Finalmente se concluye que la detección de los gravitones tendría importantes implicaciones para la física teórica y la comprensión del universo, lo cual, podría proporcionar un entendimiento más profundo de la naturaleza de la gravedad y la forma en que interactúa con otras fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Ing. Marcel Méndez Mantuano

marcelxc6768@hotmail.com

Instituto Superior Tecnológico

Juan Bautista Aguirre

Orcid: [0000-0001-7451-8994](https://orcid.org/0000-0001-7451-8994)

REVISTA TSE'DE

Instituto Superior Tecnológico

Tsa'chila

ISSN: 2600-5557

Palabras claves: cuántica, física, gravedad, gravitón, partículas mediadoras.



Abstract

Periodicidad Semestral

Vol. 6, núm. 2

revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 17 de marzo - 2023

Aprobación: 26 de mayo - 2023

Publicación: 30 de junio - 2023

URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



Gravity is a fundamental force that has been studied by physicists for centuries. In classical physics, gravity is described by Newton's law of gravitation, while in Einstein's general relativity, gravity is interpreted as the curvature of space-time caused by the presence of matter and energy. However, the description of gravity in the framework of quantum mechanics has been a challenge for theoretical physicists. Quantum field theory predicts the existence of elementary particles called gravitons, which are the carriers of the gravitational force. The hypothetical gravitons would be spin-2 bosonic particles, which means they have two units of intrinsic angular momentum. However, unlike photons, which are spin-1 bosons and mediators of the electromagnetic force, gravitons have never been directly detected. This research aims to examine the foundations that gave rise to the concept of graviton, as well as the characteristics of this particle, the experiments carried out in its search and possible theoretical alternatives to its existence. An exhaustive bibliographic review of the sources that originated the idea of the graviton was carried out, followed by a synthesis of the postulates, without delving into the mathematical notions that support these principles. Finally, it is concluded that the detection of gravitons would have important implications for theoretical physics and the understanding of the universe, which could provide a deeper understanding of the nature of gravity and the way it interacts with other fundamental forces of nature.

Keywords: quantum, physics, gravity, graviton, mediating particles.

Resumo

A gravidade é uma força fundamental que tem sido estudada pelos físicos há séculos. Na física clássica, a gravidade é descrita pela lei da gravitação de Newton, enquanto na relatividade geral de Einstein, a gravidade é interpretada como a curvatura do espaço-tempo causada pela presença de matéria e energia. No entanto, a descrição da gravidade na estrutura da mecânica quântica tem sido um desafio para os físicos teóricos. A teoria quântica de campos prevê a existência de partículas elementares chamadas grávitons, que são os portadores da força gravitacional. Os grávitons hipotéticos seriam partículas bosônicas de spin 2, o que significa que eles têm duas unidades de momento angular intrínseco. No entanto, ao contrário dos fótons, que são bósons de spin-1 e mediadores da força eletromagnética, os grávitons nunca foram detectados diretamente. Esta pesquisa visa examinar os fundamentos que deram origem ao conceito de gráviton, bem como as características dessa partícula, os experimentos realizados em sua busca e possíveis alternativas teóricas para sua existência. Foi realizada uma exaustiva revisão bibliográfica das fontes que originaram a ideia do gráviton, seguida de uma síntese dos postulados, sem se aprofundar nas noções matemáticas que sustentam esses princípios. Por fim, conclui-se que a detecção de grávitons teria implicações importantes para a física teórica e para a compreensão do universo, o que poderia proporcionar uma compreensão mais profunda da natureza da gravidade e da forma como ela interage com outras forças fundamentais da natureza.

Palavras-chave: quântica, física, gravidade, gráviton, partículas mediadoras.

Introducción

Newton fue uno de los primeros en realizar las iniciales aproximaciones teóricas con mucha exactitud sobre la gravedad, denotándola como un resultado natural que ejercían los cuerpos para atraerse entre sí, cuyos efectos eran mejor observables entre los cuerpos celestes como los planetas o las galaxias. En el siglo XX y XXI, este concepto fue ampliamente investigado por los físicos del mundo, de tal manera que en la actualidad es considerada como una de las cuatro fuerzas fundamentales que rigen nuestro universo. La gravedad es la responsable del origen de las estrellas, las galaxias y de todos los sistemas planetarios.

El concepto newtoniano menciona que la gravedad siempre posee efectos atractivos sobre otros cuerpos, donde la fuerza resultante se calcula con respecto a los centros de gravedad de estos, cuyos efectos eran directamente proporcionales a las distancias entre los objetos. Esto representaba que la gravedad poseía alcances teóricos infinitos, donde las fuerzas ejercidas entre dos masas, “*es directamente proporcional al producto de sus masas (m_1 y m_2), e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa los centros de masa*”, y esto se simplifica en la conocida fórmula:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Esta hermosa expresión nació de la suposición que la aceleración centrípeta experimentada por la Luna alrededor de la Tierra ($2,72 \times \frac{10^{-3}m}{s^2}$), es del mismo tipo que la aceleración de los cuerpos cuando caen sobre la superficie terrestre ($9,8 m/s^2$), ya que ambas están dirigidas hacia el centro del planeta. Por otro lado, la razón entre los cuadrados de la distancia entre la Luna y Tierra equivalente a $384.400 km$ y la distancia aproximada entre un punto de la superficie terrestre y su centro de $6.378 km$, es similar a

la razón entre las aceleraciones antes mencionadas. Newton supuso que existía una igualdad entre ambas razones, y que las diferencias numéricas correspondían a fallas en las mediciones, por lo tanto $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, lo que significa que las aceleraciones son inversamente proporcionales al cuadrado de sus distancias y la proporcionalidad entre la aceleración y la fuerza, determina la existencia de una relación directa entre ambas (Sotelo, 2012).

Newton estableció que debería existir una constante (G) que determine la intensidad de la fuerza. No fue sino hasta el año de 1798, que con los experimentos derivados de Henry Cavendish de la desviación que generaban dos masas de plomo en una balanza de torsión, se pudo determinar que este valor correspondía a:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}^2}$$

Este valor es considerado como el valor de la constante de gravitación universal.

Con esto, este gran científico había unificado dos concepciones hasta ese entonces distantes, sin embargo, los mecanismos específicos del funcionamiento de la gravedad eran desconocidos. Pasaron varios siglos para que desvelasen de la mano de otro gran científico, el alemán Albert Einstein, quien en medio de las reflexiones acerca de la luz, permitieron entender a la gravedad desde un punto de vista diferente.

Einstein con tan solo 26 años de edad, descubrió que la velocidad de la luz es un límite cósmico que nada en el universo es capaz de superar, esto representó un serio problema, ya que contradecía lo que había establecido Newton, dado que este último científico interpretaba que la gravedad era una fuerza que actuaba de manera instantánea (a velocidad infinita, sin importar la distancia), mientras que Einstein afirmaba que la

gravedad se trasladaba a través de ondas (no consideraba que sea una fuerza) que viajan a la velocidad de la luz.

La teoría de la Relatividad General de Einstein (1915), trajo una de las principales predicciones de la física, “las ondas gravitacionales”. Esta teoría explica la relación existente entre el espacio y el tiempo, y menciona que la *“presencia de cuerpos, representados por sus masas, altera la geometría del espacio-tiempo a su alrededor”* (Sotelo, 2012).

La Teoría Especial de la Relatividad (TER) enunciada por Einstein, se aplica para sistemas que se encuentran en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme (MRU), donde se establece el principio de la imposibilidad de comprobar por medio de experimentos mecánicos si un determinado sistema se encuentra estático o en MRU. Años después el mismo científico realizó la generalización de la teoría para sistemas que se encuentran en movimiento variado. En la Teoría General de la Relatividad (TGR), las variaciones que se producen por la aceleración de un sistema son indistinguibles de las ocurridas por la acción de la masa o de la energía (González, 2005).

La ecuación que fundamenta este evento es la siguiente:

$$R_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R = k T_{ab}$$

Donde es R_{ab} representa al tensor de Ricci, g_{ab} simboliza el tensor métrico, mientras que R es la curvatura escalar, k es una constante y c es la velocidad de la luz en el vacío.

La evidencia que la masa y la energía curvan el espacio-tiempo, se la obtiene al establecer la relación deducida de las fundamentadas por la TGR, donde $R_{ab} = (1/c^2) \Delta \Phi$ y estableciendo la analogía con la ecuación de Poisson que indica que $\Delta \Phi = \text{const.} \mu$, donde

Φ es el potencial gravitatorio, μ representa a la masa unitaria y R_{ab} es el tensor de curvatura de Ricci, por lo tanto, se obtendrá que:

$$R_{ab} = \text{const.} \cdot \mu$$

Se infiere la existencia de una correspondencia de dependencia entre la curvatura con la respectiva masa. En otras palabras, una masa dentro del espacio-tiempo provoca de manera indiscutible una curvatura dentro de esta dimensionalidad. También se deduce que, si dos masas se encuentran cerca entre sí, la de menor masa se “deslizará” por las laderas de honda de curvatura hasta colapsarse entre ellas (González, 2005). Tal como lo afirmaba el físico John Archibald Wheeler: *“la materia le dice al espacio como curvarse y el espacio le dice a la materia como moverse, y podríamos añadir, y juntos espacio-tiempo y materia vibran en ondas gravitacionales generando la música del Universo”* (Castañeda, 2018).

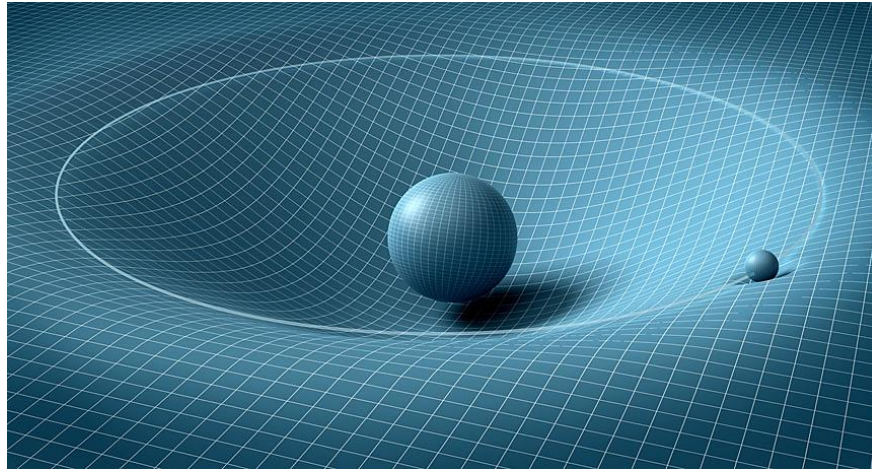


Ilustración 1. Geometrización del deslizamiento entre dos cuerpos con diferente masa. Fuente: Conover (2017)

La ecuación de campo de Einstein es la ecuación fundamental que describe cómo la materia y la energía curvan el espacio-tiempo. En la misma se establece que la curvatura del espacio-tiempo está directamente relacionada con la distribución de masa y energía

Revista TSE'DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
en ese espacio-tiempo. En otras palabras, la curvatura es la respuesta de la geometría del espacio-tiempo a la presencia de masa y energía (Einstein, 1916).

La curvatura del espacio-tiempo se puede visualizar como una especie de “colchón” en el que los objetos masivos crean depresiones o curvas. Cualquier objeto que se mueve en este espacio-tiempo curvo seguirá una trayectoria que se verá afectada por la curvatura. Por ejemplo, la Luna órbita alrededor de la Tierra porque la masa de la Tierra curva el espacio-tiempo y la Luna sigue la curvatura resultante.

La gravedad, por tanto, no es una fuerza mágica o misteriosa que actúa a distancia entre dos objetos, sino que es una consecuencia natural de la geometría del espacio-tiempo. La teoría de la relatividad general ha sido confirmada por numerosas observaciones y experimentos, y ha sido una de las teorías más exitosas en la historia de la física.

En otro aspecto, el gravitón es una partícula hipotética que se propuso por primera vez en 1930 por el físico Paul Dirac. La teoría del gravitón se basa en la idea de que todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza se transmiten a través de partículas mediadoras, llamadas bosones. Por ejemplo, la fuerza electromagnética se transmite a través de fotones, y la fuerza nuclear débil se transmite a través de bosones W y Z (Rincón Córcoles, 2011).

La teoría del gravitón propone que la fuerza gravitatoria, que es la fuerza que mantiene a los cuerpos celestes en órbita y que da forma a la geometría del espacio-tiempo, también se transmite a través de una partícula mediadora llamada gravitón. Según esta teoría, cuando un objeto masivo se mueve en el espacio-tiempo, crea ondulaciones en la curvatura del espacio-tiempo, y estas ondulaciones se propagan a través del espacio-tiempo como ondas gravitatorias, que son detectables y transmitidas por gravitones.

La teoría anteriormente indicada es parte de los esfuerzos por reconciliar la relatividad general de Einstein con la mecánica cuántica. La relatividad general describe la gravedad como una curvatura en el espacio-tiempo, mientras que la mecánica cuántica describe las partículas subatómicas como ondas y partículas que interactúan a través de la emisión y absorción de partículas llamadas bosones.

La hipótesis del gravitón es una teoría especulativa, ya que el gravitón no ha sido detectado directamente en experimentos. La detección directa del gravitón es muy difícil debido a que la fuerza gravitatoria es extremadamente débil en comparación con otras fuerzas, y se espera que los gravitones sean difíciles de detectar debido a su falta de carga eléctrica y su ausencia de masa.

Con base en las referencias citadas anteriormente, el propósito de esta investigación es analizar los principales postulados vigentes sobre las propiedades figuradas al gravitón, en relación con la teoría cuántica de campos. Luego, se identificarán las potenciales propiedades que poseería dicha partícula, así como los intentos experimentales para encontrarla. Esta investigación no busca presentar un nuevo postulado en el área de la física teórica, sino más bien presentar los conocimientos estructurales que permitieron la concepción del gravitón a través de un lenguaje simplificado para facilitar la comprensión de estos conceptos por parte de un público entusiasta en asimilar estos interesantes temas.

Materiales y Métodos

Para el análisis bibliográfico sobre la teoría del gravitón como partícula elemental, se utilizó la metodología de investigación bibliográfica. Esta metodología consistió en buscar

Revista TSE'DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
y analizar fuentes de información relevantes y confiables sobre el tema, como libros, artículos científicos, ensayos y otras publicaciones.

A continuación, se indica la metodología aplicada para el análisis bibliográfico sobre la hipotética partícula elemental:

- **Identificación de fuentes:** En primer lugar, fue importante identificar las fuentes relevantes sobre el tema. Esto incluyó libros, revistas científicas, artículos de prensa y páginas web de instituciones científicas y académicas. Principalmente se utilizaron herramientas de búsqueda académicas como Google Scholar, Web of Science o Scopus para identificar las fuentes más relevantes y actualizadas.
- **Selección de fuentes:** Una vez que se han identificaron las fuentes relevantes, se seleccionaron las más pertinentes para el análisis bibliográfico. Donde se consideró que las fuentes seleccionadas sean de calidad y estén respaldadas por investigadores de renombre. Inicialmente se leyeron los resúmenes ejecutivos de los artículos para determinar su relevancia.
- **Análisis de las fuentes:** Una vez que se seleccionaron las fuentes, se realizó un análisis detallado de cada una de ellas. Se crearon tablas y matrices para organizar la información relevante, como el autor, el título, la fecha de publicación, el resumen, la metodología utilizada y las principales conclusiones. También se evaluó críticamente la calidad y confiabilidad de la información presentada en cada fuente.
- **Síntesis de la información:** Después de analizar todas las fuentes, se sintetizó la información para desarrollar una comprensión más completa del tema. Así mismo, se identificaron los temas comunes y las discrepancias entre las fuentes, así como las posibles limitaciones o sesgos.

Siguiendo esta metodología, se pudo realizar un análisis bibliográfico riguroso sobre la búsqueda del gravitón y su relevancia para la física moderna.

Resultados y Discusión

Entre la teoría de relatividad y teoría cuántica de campos

Como ya se mencionó anteriormente, la teoría de la relatividad general, propuesta por Albert Einstein en 1915, describe la gravedad como la curvatura del espacio-tiempo causada por la presencia de la masa y la energía. La teoría ha sido probada en numerosas ocasiones y se ha demostrado que es una descripción precisa de la gravedad en escalas macroscópicas. Sin embargo, cuando se aplica a escalas cuánticas, la relatividad general entra en conflicto con la física cuántica.

El estudio de la física teórica ha llevado a la búsqueda de partículas y teorías que expliquen la naturaleza del universo en el que vivimos. Entre estas teorías se encuentran la teoría cuántica de campos, la teoría de la relatividad general y la teoría de cuerdas. Una de las partículas más buscadas por los físicos teóricos es el gravitón, la partícula que se cree es responsable de la fuerza de la gravedad.

La teoría cuántica de campos es una teoría que combina la mecánica cuántica con la relatividad especial. Esta teoría describe la naturaleza de las partículas subatómicas, como los electrones y los fotones, y cómo interactúan entre sí a través de campos cuánticos. La teoría cuántica de campos ha sido muy exitosa en predecir el comportamiento de estas partículas y ha llevado al desarrollo de la física de partículas y la comprensión de las fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Por su parte, la teoría de la relatividad general es la teoría que describe la gravedad como una curvatura del espacio-tiempo. Esta teoría ha sido muy exitosa en predecir el

comportamiento de los objetos en el universo, desde la órbita de los planetas hasta la expansión del universo. Sin embargo, la relatividad general no es compatible con la teoría cuántica de campos, lo que ha llevado a la búsqueda de una teoría de la gravedad cuántica.

Así mismo, la teoría de cuerdas es una teoría que propone que todas las partículas subatómicas son en realidad cuerdas vibrantes en un espacio-tiempo de más de cuatro dimensiones. Esta teoría ofrece una forma de unificar la relatividad general con la teoría cuántica de campos, lo que podría llevar a la creación de una teoría de la gravedad cuántica. La teoría de cuerdas ha llevado a nuevas predicciones en la física de partículas y ha sido un tema de investigación activo en la física teórica durante las últimas décadas (Greene, 2010).

En la teoría de cuerdas, el gravitón se describe como una vibración de la cuerda, y se postula que la fuerza gravitatoria surge del intercambio de gravitones entre las partículas. Esta teoría predice que el gravitón es una partícula de espín-2, lo que significa que tiene un comportamiento muy diferente al de otras partículas, como el fotón, que tiene un espín de 1. La teoría de cuerdas también sugiere que el gravitón es una partícula sin masa (Kaku, 1999).

Aunque la teoría de cuerdas ha sido objeto de controversia y críticas, ha sido uno de los intentos más prometedores de unificar la física cuántica y la relatividad general. La existencia del gravitón como predicción de esta teoría ha llevado a muchos experimentos para detectar esta partícula. Sin embargo, hasta la fecha, la detección directa del gravitón sigue siendo un desafío tecnológico importante (Polchinski, 2011).

Propiedades del gravitón

Una de las propiedades más destacadas del gravitón es su espín. Se cree que el gravitón tendría un espín igual a 2, lo que significa que es una partícula bosónica. Esta propiedad se deriva de la teoría cuántica de campos, que describe cómo las partículas elementales interactúan entre sí.

El spin es una propiedad fundamental de las partículas subatómicas que describe la cantidad de momento angular intrínseco que poseen. En la teoría cuántica de campos, el spin de una partícula se puede obtener a partir de su función de onda, que describe su comportamiento en términos de probabilidades. Esto se debe a que la teoría de la relatividad general describe la gravedad como una curvatura del espacio-tiempo, y esta curvatura se describe matemáticamente por un tensor de segundo orden llamado tensor de curvatura de Riemann. En la teoría cuántica de campos, el gravitón se describe como una fluctuación en este tensor de curvatura, y se ha demostrado que estas fluctuaciones solo pueden tener un spin de 2 (Carney, 2022).

Esta relación entre el spin del gravitón y el tensor de curvatura de Riemann fue demostrada por primera vez por Wolfgang Pauli en 1939 (Pauli, 1939). Desde entonces, la relación ha sido confirmada y ampliada por numerosos trabajos teóricos, como los de Freeman Dyson en la década de 1950 (Dyson, 1949), y los de Steven Weinberg (Weinberg, 1965) y Abdus Salam (Salam, 1967) en la década de 1960.

Otra propiedad importante del gravitón es su masa, o más bien, la falta de ella. Se postula que el gravitón sería una partícula sin masa, lo que significa que se movería a la velocidad de la luz. Esta propiedad está en línea con la teoría de la relatividad general, que describe la gravedad como una propiedad inherente del espacio-tiempo curvo.

Es importante señalar que la teoría cuántica de campos describe el comportamiento del gravitón en términos de ondas, y no de partículas. En esta teoría, las partículas

elementales se describen como excitaciones en un campo cuántico. El gravitón es una de estas excitaciones y se propaga a través del espacio como una onda (Griffiths, 2008).

Según la teoría cuántica de campos, las partículas que tienen masa interactúan con un campo cuántico diferente al del gravitón. Este campo es conocido como el campo de Higgs, y se cree que es responsable de dar masa a las partículas elementales que interactúan con él. Sin embargo, el gravitón no interactúa con el campo de Higgs, lo que significa que no puede adquirir masa de esta manera (Weinberg, 2013).

Además, la teoría de la relatividad general de Einstein también sugiere que el gravitón no tiene masa. Esto se debe a que una partícula con masa tendría una trayectoria curva en un campo gravitatorio, mientras que el gravitón se propaga en línea recta a través del espacio-tiempo (Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, 2013).

También, se cree que el gravitón tendría una interacción extremadamente débil con otras partículas. Esto se debe a que la fuerza gravitatoria es mucho más débil que otras fuerzas fundamentales, como la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear. Aunque esta propiedad hace que la detección del gravitón sea un desafío técnico, también hace que el gravitón sea una partícula interesante para estudiar en la teoría de la gravedad cuántica (Griffiths, 2008).

En la teoría cuántica de campos, las partículas elementales se describen como excitaciones en un campo cuántico. El gravitón es una de estas excitaciones, y se propaga a través del espacio como una onda. Por ello, el gravitón interactuaría con otras partículas elementales a través de su campo gravitatorio (Griffiths, 2008).

La interacción más importante del gravitón es con las partículas que tienen masa. Lo que significaría que esta partícula interactúa con la masa de las otras partículas, lo que

significa que los cuerpos masivos afectan la propagación de los gravitones en el espacio-tiempo (Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, 2013).

Además de las partículas masivas, el gravitón también puede interactuar con partículas con carga eléctrica, como los electrones. Se cree que esta interacción es extremadamente débil en comparación con la fuerza electromagnética, ya que el gravitón no tiene carga eléctrica y solo interactúa a través de su campo gravitatorio (Griffiths, 2008).

Otra posible interacción del gravitón es con las partículas que componen la materia oscura, una forma de materia que no interactúa con la luz y es invisible para los telescopios. La naturaleza de la materia oscura sigue siendo desconocida, pero se cree que es una fuente importante de gravedad en el universo. Se ha propuesto que el gravitón pudiera ser una herramienta útil para estudiar la materia oscura, ya que su interacción con ella podría proporcionar información sobre su naturaleza.

Por último, el gravitón también tendría propiedades cuánticas, como la superposición de estados y el entrelazamiento cuántico. Estas propiedades se derivan de la teoría de la mecánica cuántica y pueden tener implicaciones interesantes para la teoría de la gravedad cuántica.

La superposición de estados es una propiedad fundamental de la mecánica cuántica que permite que una partícula exista en múltiples estados al mismo tiempo. Se considera que el gravitón también puede existir en una superposición de estados. Según la teoría cuántica de campos, el gravitón se describe como una onda que se propaga a través del espacio-tiempo, y esta onda puede estar en múltiples estados al mismo tiempo. Esta propiedad se ha estudiado en el marco de la teoría cuántica de la relatividad, que combina la mecánica cuántica con la teoría de la relatividad general de Einstein (Carlip, 1998).

También se ha propuesto como otra propiedad para el gravitón el entrelazamiento cuántico, lo cual, permitiría que dos partículas cuánticas están conectadas de tal manera que la medición de una de las partículas afecta el estado de la otra, independientemente de la distancia entre ellas. Por lo tanto, el gravitón puede estar entrelazado con otras partículas cuánticas, lo que podría tener implicaciones importantes para la comprensión de la gravedad y la naturaleza fundamental del universo (Guillén, 2018).

Si bien estas propiedades cuánticas del gravitón son fascinantes y tienen implicaciones interesantes para la física teórica, aún no se ha encontrado evidencia experimental que las respalde. Sin embargo, los físicos continúan estudiando la teoría cuántica de campos y la teoría cuántica de la relatividad en un esfuerzo por comprender mejor la naturaleza fundamental del universo.

Los intentos por encontrar el gravitón

Los intentos de detectar gravitones directamente han sido infructuosos, pero se han realizado esfuerzos para detectar la huella de su existencia en la interacción de las ondas gravitacionales. La detección de gravitones sería un hito importante en la física y la cosmología, y proporcionaría una comprensión más profunda de la gravedad y de cómo funciona el universo.

El descubrimiento del gravitón también tendría implicaciones en la comprensión de la materia y la energía oscuras. La materia oscura es una forma de materia que no emite ni absorbe luz, pero se detecta indirectamente a través de su efecto gravitatorio en la materia visible. Si el gravitón se descubre, esto podría ayudar a comprender mejor la naturaleza de la materia oscura y cómo interactúa con la materia visible. La energía oscura, por otro lado, es una fuerza misteriosa que se postula como la causa del aumento

Revista TSE´DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
de la expansión del universo. Si el gravitón se descubre, podría proporcionar información sobre la naturaleza de la energía oscura y cómo funciona.

Los experimentos modernos para encontrar el gravitón se basan en la detección de ondas gravitacionales, que son ondas en el tejido del espacio-tiempo que se producen cuando objetos masivos acelerados colisionan o se mueven rápidamente. La primera detección directa de ondas gravitacionales se realizó en 2015 por el Observatorio de Ondas Gravitatorias por Interferometría Láser (LIGO, por sus siglas en inglés) en Estados Unidos, lo que llevó a un Premio Nobel de Física en 2017 (LIGO, 2016).

Desde entonces, se han realizado numerosas detecciones de ondas gravitatorias por LIGO y otros detectores similares, como el Virgo en Europa. Estas detecciones han permitido a los científicos estudiar eventos cósmicos como fusiones de estrellas de neutrones y agujeros negros, y han proporcionado evidencia indirecta de la existencia del gravitón.

Además de la detección de ondas gravitatorias, también se están llevando a cabo experimentos en laboratorios para buscar evidencia directa del gravitón. Uno de estos experimentos es el detector de ondas gravitatorias de resonancia (RWD, por sus siglas en inglés), que se está construyendo en el Instituto Max Planck de Física en Alemania. El RWD utiliza un cristal masivo suspendido para buscar pequeñas fluctuaciones en el espacio-tiempo que puedan ser causadas por la interacción de los gravitones con la materia.

Otro experimento es el Observatorio Espacial de Interferometría Láser (LISA, por sus siglas en inglés), un detector de ondas gravitatorias que se lanzará al espacio en la década de 2030. El LISA utilizará un conjunto de tres naves espaciales separadas por millones de kilómetros para detectar ondas gravitatorias de frecuencias más bajas que

las que se pueden detectar con los detectores terrestres actuales. Se espera que el LISA proporcione datos más precisos y directos sobre la existencia del gravitón (LISA, 2003).

Por lo tanto, los experimentos modernos para encontrar el gravitón se basan en la detección de ondas gravitatorias y en la búsqueda de evidencia directa en laboratorios. Aunque aún no se ha detectado el gravitón forma directa, las detecciones de ondas gravitatorias han proporcionado evidencia indirecta de su existencia. Se espera que los experimentos en curso y futuros, como el RWD y el LISA, proporcionen más información sobre esta hipotética partícula.

La gravedad sin gravitones

A pesar de su precisión en la descripción de la gravedad, la teoría de la relatividad general no puede explicar la gravedad a nivel cuántico. La teoría cuántica describe el universo en términos de partículas subatómicas y sus interacciones, y la gravedad parece ser una fuerza que no encaja en el marco de la teoría cuántica. Esto llevó a la teoría de la gravitación cuántica y a la idea del gravitón.

Una de las principales razones por las que algunos físicos argumentan que no es necesaria la cuantización de la gravedad es porque la gravedad no es una fuerza fundamental, como la electromagnética o la nuclear fuerte y débil. En la relatividad general, la gravedad se describe como una consecuencia de la geometría del espacio-tiempo, y no como una fuerza que actúa sobre las partículas como en otras interacciones fundamentales (Weinberg, 1965).

Algunos físicos teóricos argumentan que es posible describir la gravedad en términos de geometría y campos cuánticos en el espacio-tiempo. La geometría cuántica es una teoría que combina la mecánica cuántica con la teoría de la relatividad general, y describe el

espacio-tiempo como un objeto cuántico en lugar de un objeto clásico. Además, la teoría de cuerdas, que es una teoría que intenta unificar todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza en una sola teoría coherente, describe la gravedad en términos de vibraciones de cuerdas cuánticas en un espacio-tiempo curvado (Keifer, 2012).

Según la teoría de la geometría cuántica, el espacio-tiempo no es un continuo suave, sino que está compuesto por pequeños bloques o “lazos” cuánticos de espacio-tiempo. Estos lazos se entrelazan para formar una estructura tridimensional que se llama “espuma cuántica”. La geometría de esta espuma cuántica determina cómo se curva el espacio-tiempo, lo que a su vez causa la gravedad. La teoría también sugiere que el tiempo y el espacio son conceptos interrelacionados y que no pueden separarse completamente. Además, propone que los campos de energía y materia interactúan con el espacio-tiempo de forma cuántica, lo que lleva a una comprensión más completa de cómo la gravedad afecta a los objetos en movimiento (Rovelli, 2010).

Para cierto grupo de físicos, la gravedad podría ser una fuerza emergente que surge de las interacciones entre partículas subatómicas. En este sentido, la teoría de la relatividad general y la teoría cuántica podrían unificarse sin la necesidad de postular la existencia del gravitón.

Es importante destacar que las otras tres fuerzas fundamentales de la naturaleza (fuerza nuclear fuerte, fuerza nuclear débil y fuerza electromagnética) han sido descritas satisfactoriamente a nivel subatómico mediante las teorías cuánticas. Por lo tanto, es razonable suponer que la gravedad también podría ser descrita mediante una teoría cuántica, pero esta aún no ha sido desarrollada. Sin embargo, hay varias teorías propuestas que sugieren que la gravedad podría ser una fuerza emergente. Una de estas teorías es la teoría de gravedad cuántica en bucles, que sugiere que la gravedad emerge

Revista TSE'DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
de la interacción entre bucles cuánticos. En esta teoría, el espacio-tiempo es un tejido continuo y discreto al mismo tiempo, compuesto de bucles cuánticos que interactúan entre sí para crear la gravedad (Rovelli, 2010).

Otra teoría es la teoría de la relatividad emergente, que sugiere que la gravedad surge como una consecuencia de la geometría del espacio-tiempo, que a su vez emerge de la interacción de partículas subatómicas. Esta teoría propone que la gravedad no es una fuerza fundamental, sino una propiedad emergente del universo. Además, hay evidencia experimental que sugiere que la gravedad podría ser una fuerza emergente. Por ejemplo, se ha observado que la gravedad es extremadamente débil a nivel subatómico, y que su fuerza es comparable a la de la fuerza electromagnética. Esto sugiere que la gravedad podría ser una propiedad emergente que se manifiesta a grandes escalas (Verlinde, 2011).

En resumen, aunque todavía no se ha desarrollado una teoría cuántica de la gravedad, hay varias teorías que sugieren que la gravedad podría ser una fuerza emergente que surge de las interacciones entre partículas subatómicas. Además, hay evidencia experimental que apoya esta idea. El desarrollo de una teoría cuántica de la gravedad permitiría una mejor comprensión del universo a nivel subatómico y podría tener importantes implicaciones para la física y la tecnología.

Conclusiones

El análisis realizado trata sobre la relación entre la teoría de la relatividad y la física cuántica, y cómo ambas teorías entran en conflicto cuando se aplican a escalas cuánticas. La teoría de la relatividad general de Einstein describe la gravedad como la curvatura del espacio-tiempo causada por la presencia de masa y energía, y ha sido probada en numerosas ocasiones como una descripción precisa de la gravedad a escalas

macroscópicas. Por otro lado, la física cuántica se enfoca en la naturaleza de las partículas subatómicas y cómo interactúan entre sí a través de campos cuánticos. La teoría cuántica de campos combina la mecánica cuántica con la relatividad especial, y ha sido exitosa en predecir el comportamiento de estas partículas.

Sin embargo, la teoría de la relatividad general no es compatible con la teoría cuántica de campos, lo que ha llevado a la búsqueda de una teoría de la gravedad cuántica. Una de las teorías que busca unificar ambas teorías es la teoría de cuerdas, que propone que todas las partículas subatómicas son cuerdas vibrantes en un espacio-tiempo de más de cuatro dimensiones. En esta teoría, el gravitón se describe como una vibración de la cuerda y se postula que la fuerza gravitatoria surge del intercambio de gravitones entre las partículas.

Los intentos para encontrar el gravitón se han centrado en la detección de ondas gravitatorias y en la búsqueda de evidencia directa en laboratorios. Aunque aún no se ha detectado el gravitón de manera directa, las detecciones de ondas gravitatorias han proporcionado evidencia indirecta de su existencia. Los experimentos en curso y futuros, como el RWD y el LISA, pueden proporcionar más información sobre esta partícula hipotética.

Algunos físicos argumentan que no es necesaria la cuantización de la gravedad, ya que la gravedad no es una fuerza fundamental como la electromagnética o la nuclear fuerte y débil, sino una consecuencia de la geometría del espacio-tiempo, que a su vez emerge de la interacción de partículas subatómicas.

El descubrimiento del gravitón sería un logro importante en la física y la cosmología, proporcionando una mejor comprensión de la gravedad, la materia y la energía oscuras.

Se cree que la existencia de los gravitones es necesaria para una teoría cuántica de la

Revista TSE'DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
 gravedad, que unifique la relatividad general de Einstein con la mecánica cuántica.
 Actualmente, se están llevando a cabo varios experimentos para detectar los gravitones
 y así confirmar o descartar su existencia.

Referencias

- Carlip, S. (1998). *Quantum gravity in 2+1 dimensions*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511564192>
- Carney, D. (2022). Newton, entanglement, and the graviton. *Physical Review*, 105(2), 024029. <https://doi.org/https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.024029>
- Castañeda, L. (2018). Ondas Gravitacionales: de su predicción a los premios Nobel. *Momento*(56), 1-6.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-44702018000100001#:~:text=Parafraseando%20al%20f%C3%ADsico%20John%20Archibald,generando%20la%20m%C3%BAsica%20del%20Universo.%22
- Conover, E. (28 de abril de 2017). *Key Einstein principle survives quantum test*.
<https://www.sciencenews.org/article/key-einstein-principle-survives-quantum-test?mode=topic&context=43>
- Dyson, F. (1949). The radiation theories of Tomonaga, Schwinger, and Feynman. *Physical Review*, 75(3), 486-502. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.75.486>
- Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 354(7), 769-822. <https://doi.org/10.1002/andp.19163540702>
- González, J. (2005). *Curvatura del espacio-tiempo y unificación de los campos*.
<http://casanchi.org/fis/curvaturaespacio01.pdf>
- Greene, B. (2010). *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. W. W. Norton & Company.
- Griffiths, D. (2008). *Introduction to Elementary Particles*. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9783527618460>

- Revista TSE'DE, 2023. 6 (2), enero-junio/pp. 37-59 ISSN: 2600-5557
- Guillén, A. (2018). *La Gravedad si es una fuerza*.
https://www.researchgate.net/profile/Alfonso-Guillen-Gomez/publication/200123141_La_Gravedad_si_es_una_fuerza/links/5c647ad145851582c3e6ddfd/La-Gravedad-si-es-una-fuerza.pdf
- Kaku, M. (1999). *Introduction to Superstrings and M-Theory*. Springer Science & Business Media.
- Keifer, C. (2012). Quantum gravity: general introduction and recent developments. *Annalen der Physik*, 524(7-8), 393-424.
- LIGO. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, 116(6), 061102.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
- LISA. (2003). LISA: laser interferometer space antenna for gravitational wave measurements. *Classical and Quantum Gravity*, 13(11A).
<https://doi.org/10.1088/0264-9381/13/11A/033>
- Pauli, W. (1939). On the spin of particles in quantum mechanics. *Physical Review*, 58(8), 716.
- Polchinski, J. (2011). *String Theory*. Cambridge University Press.
- Rincón Córcoles, A. (2011). *El Origen del Universo*. Madrid: Creaciones.
- Rovelli, C. (2010). *Quantum gravity*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511755804>
- Salam, A. (1967). Weak and electromagnetic interactions. *Proceedings of the Nobel Symposium*, 8, 367-377. https://doi.org/10.1142/9789812795915_0034
- Sotelo, J. (2012). El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Verlinde, E. (2011). On the origin of gravity and the laws of Newton. *Journal of High Energy Physics*(4), 1-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1001.0785>

Weinberg, S. (1965). Infrared Photons and Gravitons. *Physics Physical Review*, 140(4B), B516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.B516>

Weinberg, S. (2013). *The Quantum Theory of Fields*. Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9781139644167>