

La Naturaleza del Vacío en física

*Traducido del artículo: **La Frontera Final**
Sten Odenwald*

Resumen

Los físicos que estudian la naturaleza del vacío pueden estar persiguiendo un objetivo espectacular. Si Ud. lo piensa bien, el cielo nocturno es una de las visiones más extrañas imaginables. Los puntos luminosos o estrellas que capturan su ojo son todo excepto lo tragado por la oscura nada del espacio – una entidad con billones de años luz de profundidad con la cual nosotros que estamos aquí en la tierra no tenemos ninguna experiencia directa.

Sinceramente, ¿qué es el espacio vacío? Esta pregunta parece tonta a primera vista. Es la nada misma, ¡pero mire de nuevo a la luz de lo que la física moderna conoce y sospecha, y la naturaleza del espacio que emerge es uno de los puntos dormidos más importantes que han crecido en los últimos 50 años. “La naturaleza aborrece el vacío”, proclamaba Aristóteles más de 2300 años atrás. Hoy día los físicos están descubriendo que esto es verdad de una manera que los antiguos griegos nunca siquiera pudieron imaginar. Más aún, el cosmos consiste en una forma abrumadora de vacío. Sin embargo el vacío mismo es capaz de dar señales que no está despojado de todo, que no es la nada misma. De hecho es mucho más complejo que lo que la mayoría de la gente puede siquiera adivinar.

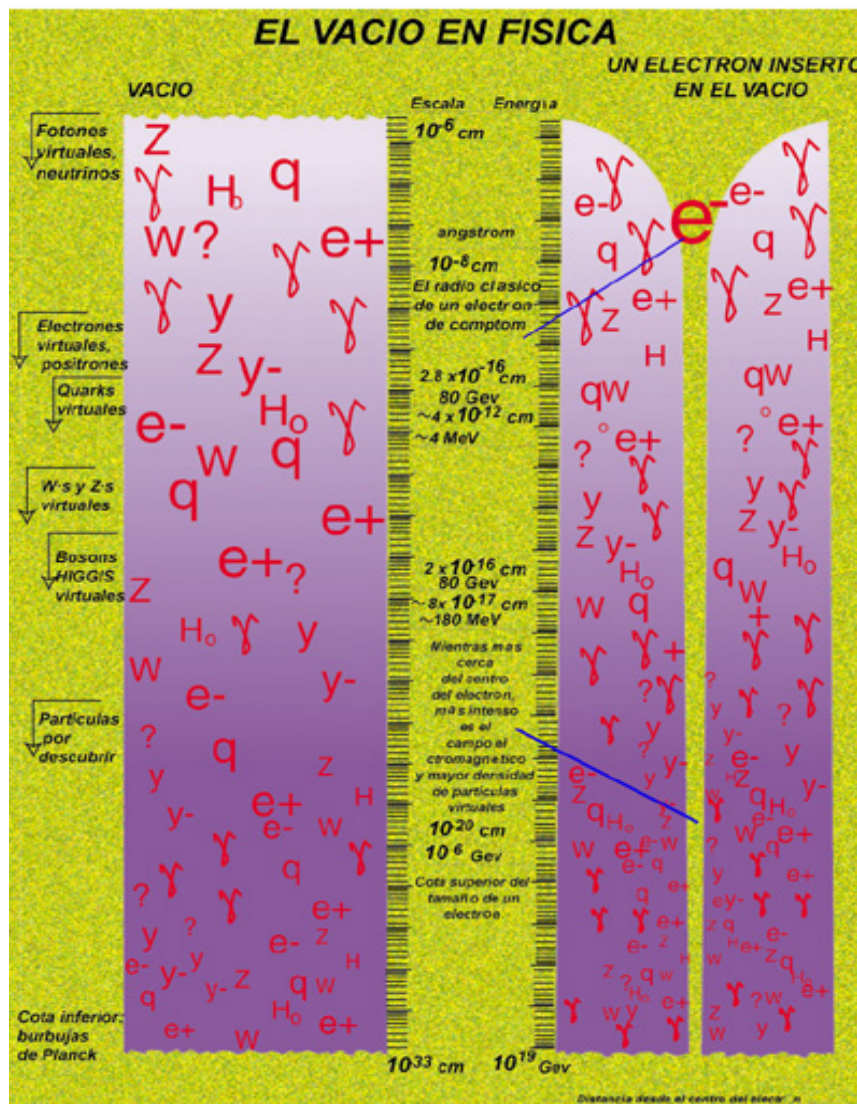
Pero seguramente usted se preguntará: si uno toma un recipiente, lo tapa y procede a sacar absolutamente todo de su interior, cada átomo, cada fotón ¿queda entonces la nada misma en su interior? La respuesta es no y, más aún, está lejos de ser así. Desde los años 20 los físicos han reconocido que en escala microscópica, el vacío está vivo y lleno de actividad. Además, esta red de actividad se puede extender hasta incluir la estructura misma del espacio tiempo. A escalas muy pequeñas, el vacío puede últimamente esconder el secreto de algunas de las preguntas más profundas que enfrenta la física – desde por qué las partículas elementales tienen las propiedades que ellas tienen, hasta la causa o el origen de la gran explosión y la probabilidad de existencia de otros universos distintos al nuestro.

Dando tumbos en la oscuridad

La frontera del conocimiento en física – nuestro entendimiento actual más profundo de lo que es el mundo – está comprendido en lo que se denomina modelo estándar, en el cual toda la materia y las fuerzas con que interactúan entre ellas están regidas por un grupo de partículas. Seis quarks y seis leptones constituyen la base de todas las formas posibles de materia. En la práctica sólo dos de los quarks (el up y el down) y un leptón (el electrón) dan cuenta de todas las componentes del mundo de cada día excepto por unas pequeñas explosiones exóticas de interés exclusivo para los físicos de altas energías.

Las doce partículas fundamentales (y sus correspondientes doce partículas de antimateria o antipartículas) son activadas por unas “partículas mensajeras” que llevan todas las fuerzas conocidas. Un fotón actúa de mediador en las interacciones electromagnéticas, que incluye todas las fuerzas químicas y aquellas que forman estructuras alrededor nuestro en la tierra. Los miembros de la familia gluónica llevan o acarrear o transmiten las interacciones fuertes, aquellas que mantiene unido a los neutrones y los protones juntos en el núcleo atómico. Las partículas W^+ , W^- , y Z^0 son los mediadores de las fuerzas nucleares débiles, y los aún no descubiertos gravitones que se cree son los mediadores de la fuerza de gravedad. Cada posible evento involucrando las 12 partículas materiales puede ser explicado completamente mediante un intercambio de partículas mensajeras. Sin embargo entre algunos de estos eventos, por ejemplo, cuando los electrones que habitan una antena de radio son sometidos a una aceleración, las partículas mediadores de la fuerza (en este caso los fotones) se materializan y viajan a través del espacio. En otras ocasiones, sin embargo, las partículas mensajeras permanecen casi

enteramente escondidas dentro del sistema que está interactuando. Cuando los mensajeros existen en esta forma oculta, ellos son denominados “partículas virtuales”.



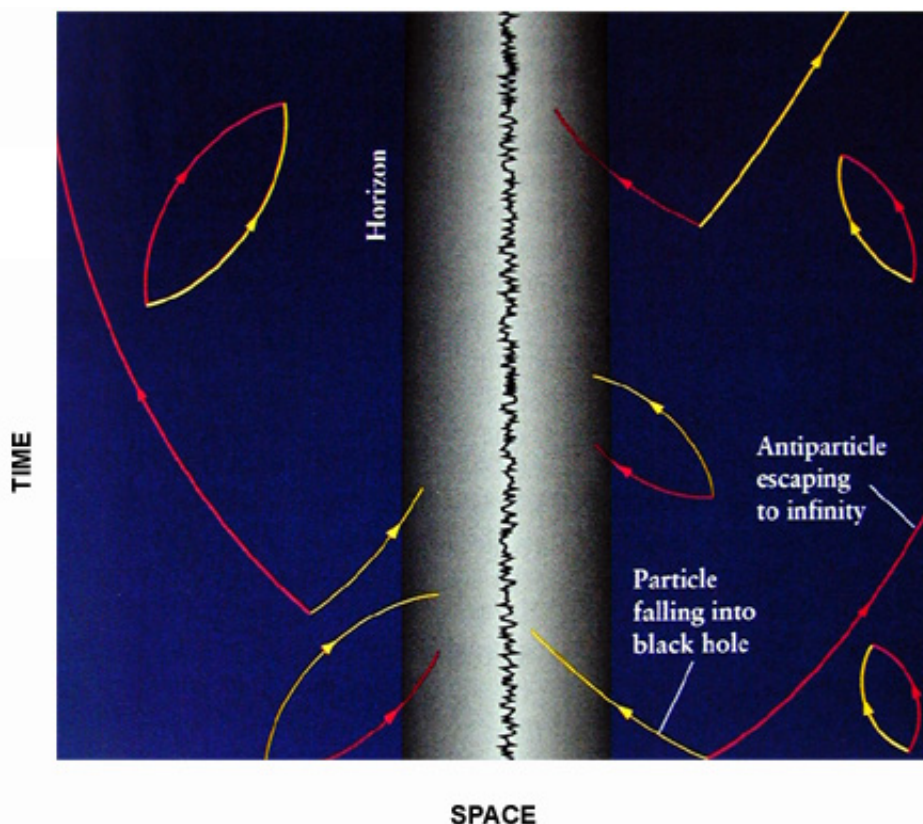
Las partículas virtuales pueden parecer fantasmagóricas y poco realistas para cualquier estándar de la vida diaria. Pero ellas son reales. Aún más, ellas no están limitadas a su rol de mediadores de interacciones. Las partículas virtuales pueden aparecer y desaparecer en el vacío sin necesidad de recurrir a la presencia de una interacción externa.

La mecánica cuántica, el reglamento establecido para el modelo estándar, impone un principio que es fundamental en este comportamiento; establece que Ud., necesita un cierto intervalo para medir la energía o la masa de una partícula con un cierto grado de precisión. Mientras más corto sea el tiempo de observación, más incierto o menos preciso es la medida. Si el tiempo es muy breve, la incertidumbre llega a ser mayor que la masa de la partícula misma, y usted no puede decir si la partícula está allí o no.

Mientras más liviana sea la partícula, más largo es el tiempo asociado a la incertidumbre. En el caso de un par electrón - positrón, la escala de incerteza en el tiempo es alrededor de 10^{-21}

segundos. En escalas de tiempo más cortas que ésta, los electrones virtuales y los positrones pueden y de hecho lo hacen aparecer y desaparecer desde la nada misma. Podemos expresarlo de otra forma: si usted no puede asegurar que una partícula no existe debido a que Ud. estuvo observando por un tiempo muy corto, entonces en un cierto sentido ella existe.

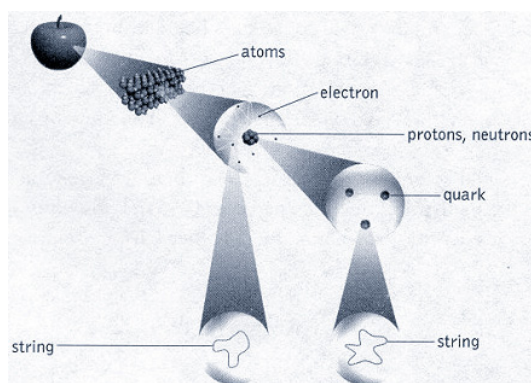
Esto no es una mera teoría. En 1958 en un laboratorio se midió lo que se denomina el “efecto Casimir”, que es una fuerza de atracción que ocurre entre dos placas metálicas paralelas ubicadas muy cerca una de la otra y cuyo origen son las partículas virtuales que aparecen y desaparecen en el espacio entre las placas. Si el vacío fuera realmente un medio inerte, las placas no sufrirían ninguna atracción, pero el baile incesante de las partículas virtuales en el espacio vacío entre ellas producen un efecto que se puede medir. Esto es lo que los físicos llaman “el vacío físico”.



Cuando llega el punto de preguntarse cuánto afecta esto al mundo ordinario, al mundo de todos los días cotidiano, sin embargo, las partículas virtuales pueden hacer mucho más que ser mediadoras entre las fuerzas. Algunas, de hecho, pueden asociarle a la materia una propiedad que nosotros llamamos la masa.

El electrón es la partícula más simple entre las que nosotros denominamos partículas materiales. Nuestro conocimiento del mundo físico descansa sobre un sólido entendimiento de sus propiedades. Aún a pesar de su abundancia en el mundo que nos rodea el electrón alberga un enigma. El hecho que él tiene masa no puede ser explicado a través del modelo estándar, al menos la parte de él que ha sido experimentalmente verificadas. Más de 30 años atrás el físico de partículas Peter Higgs sugirió que la existencia de masa estaba relacionada con un nuevo ingrediente de la materia que hoy día se conoce con el nombre de campo de Higgs, el cual proporciona un nuevo tipo de partícula mensajera que interactúa con el electrón y lo hace “pesar”.

El campo de Higgs aún está por descubrirse, pero muchos físicos esperan que exista en cualquier parte del vacío físico, asegurando a través de sus interacciones con electrones y otras partículas que ellas desplegarán masa. Aún hoy los aceleradores de partículas en el CERN en Suiza y en el laboratorio FERMILAB cerca de Chicago, están afanosamente ocupando sus máximas capacidades para lograr que solo un “bosón de Higgs” el que se presume el mensajero de la partícula para este campo se libere del vacío y deje una traza detectable en los detectores. El éxito de este experimento señalaría un éxito completo del modelo estándar. Así llegamos al final para responder nuestra pregunta acerca si una región del espacio donde se ha hecho el vacío es realmente inerte, vacía. La mejor respuesta que uno puede dar es que al mover todas las partículas normales que nosotros conocemos quedan las partículas virtuales que nunca pueden ser evacuadas. Y además podría, eventualmente, existir un campo de Higgs omnipresente.



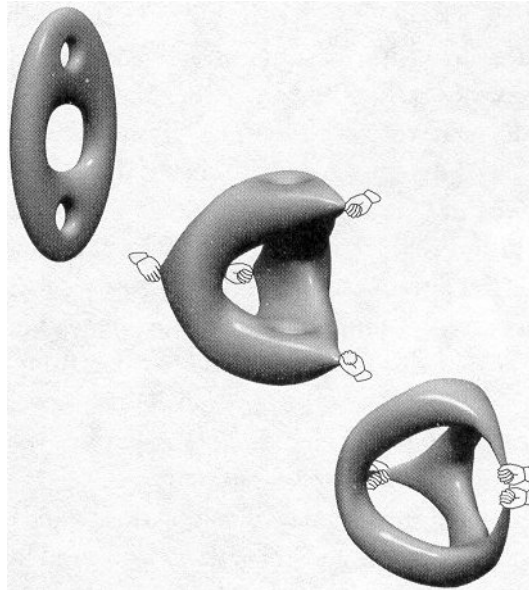
Gravedad Cuántica

Durante casi todo este siglo los físicos han luchado para incluir la gravitación en el esquema de fuerzas que son medidas por partículas virtuales mensajeras. Para poner este asunto de otra forma, la teoría de la relatividad general, la cual señala que la fuerza de gravedad es la curvatura del espacio tiempo, necesita ser integrada con mecánica cuántica, la cual muestra que las fuerzas son intercambios de partículas virtuales.

Trabajando sobre la hipótesis que tal unión es posible, los físicos denominaron a la partícula mensajera de la gravedad el gravitón. Pero la relatividad general requiere que los gravitones sean más que el cuanto de la gravedad. En esencia los gravitones definen la estructura del espacio mismo. La reconciliación de la mecánica cuántica y la relatividad general puede llevarnos dramáticamente a nuevas nociones de la naturaleza del espacio y del tiempo. Algunos teóricos han sugerido que los puntos en el espacio tiempo estarán definidos sólo cuando una partícula (tal como un gravitón o un fotón) interactúa con otras partículas. Desde este punto de vista, lo que ellos están haciendo entre interacciones es una pregunta sin sentido físico, ya que sólo una interacción define un lugar y un tiempo medible.

Las fuerzas gravitacionales (y de esta forma los gravitones) ejercen una influencia a distancia mucho mayores que el dominio de las partículas subatómicas, como cualquiera que haya caído de una escalera lo puede asegurar. Pero sólo a una escala extremadamente pequeña – la escala de Planck de 10^{-33} cm – la naturaleza cuántica de la gravedad llega a ser relevante. Suponga que Ud. pudiera mágicamente mirar a través de un microscopio que aumentara un núcleo atómico de tal forma que llegara a ser de 10 años luz de diámetro. Bajo este poder de ampliación el más pequeño de los gravitones – esto es, el más energético y masivo – tendría alrededor de un milímetro de tamaño. Aquí nosotros podríamos eventualmente ver un mundo extraño en el cual el espacio tiempo en sí mismo fuera definido por gravitones intersectándose y formando espiras uno alrededor de otro.

Otro punto de vista de la estructura espacio tiempo aparece en la teoría de “super cuerdas”. La teoría de cuerdas establece que los objetos fundamentales de la naturaleza son líneas unidimensionales más bien que puntos; las partículas “elementales” que nosotros medimos son solo oscilaciones de estas cuerdas. La teoría de super cuerdas sólo parece trabajar, sin embargo, si el espacio tiempo tiene más de cuatro dimensiones (tres dimensiones espaciales y una temporal), esto es si alcanza a las 11 dimensiones. Esto difícilmente parece ser el mundo en que nosotros vivimos. Para esconder las siete dimensiones adicionales, los matemáticos las enrollan en unos aparatos conceptuales que ellos denomina con nombres crípticos como (Calabí - Yau y “espacios de orbifold”).



Un libro de texto reciente relacionado con este tópico concluye en una nota llena de esperanza que dice “si la teoría de cuerdas es correcta, quizás nosotros capturemos más que un destello de toda la complejidad que tiene la realidad”.

¿Es éste el tejido que conforma lo que el mundo realmente es en su nivel más fundamental, o simplemente los matemáticos se han despegado de la realidad? La teoría de supercuerdas ha cautivado la imaginación de los físicos por más de una década porque proporciona indicaciones acerca de una super unificación de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. Permanece, eso sí, frustradora y difícil de anclar con los otros castillos del mundo real de la observación y el experimento. Una frase famosa ha expresado que la teoría de supercuerdas es “un pedazo de la física del siglo XXI que accidentalmente cayó en el siglo XX” captura simultáneamente la excitación y frustración con que los trabajadores del siglo XX han visto frustrados sus anhelos de progresar en esta materia.

La conexión cósmica

El espacio tiempo podría ser extraño desde otra perspectiva también. John A. Wheeler (teórico del Instituto de estudios avanzados) por largo tiempo ha abogado que en la escala de Planck, el espacio tiempo tiene una forma compleja que cambia de instante a instante. Wheeler denomina este cuadro la “espuma del espacio tiempo” – un mar de agujeros negros cuánticos y agujeros de gusanos que aparecen y desaparecen en una escala de tiempo de alrededor de 10^{-44} segundos. Este es el tiempo de Planck, el tiempo que toma la luz cruzar un largo equivalente a la dimensión fundamental de Planck. En períodos más cortos, tanto el tiempo como el espacio presumiblemente no pueden existir – o, al menos, nuestras nociones habituales de ellos cesan de ser válidas.

La idea de la espuma del espacio tiempo de Wheeler es la extrapolación natural de la idea de las partículas virtuales. De acuerdo a la Mecánica Cuántica, a mayor energía y masa de una partícula, más pequeña debe aparecer. Una partícula virtual tan pequeña como 10^{-33} cm., dura sólo 10^{-44} seg., tiene una masa tan grande como (10^{-5} gramos) en un volumen tan pequeño que su propia superficie de gravedad le daría una velocidad de escape mayor que la velocidad de la luz. En otras palabras este tenue agujerón en otras palabras en un mini agujero negro. Pero un agujero negro no es un objeto ordinario sentándose en el espacio tiempo como una partícula; es una estructura distorsionada y amarrada del espacio mismo. Aunque las consecuencias de tales fenómenos no son entendidas, es razonable asumir que estas partículas virtuales dramáticamente distorsionan todo el espacio tiempo en la escala de Planck.

Si nosotros tomamos este razonamiento tal como esta, y consideramos los experimentos que ya tienen decenas de años y que han demostrado que el fenómeno de las partículas virtuales en el vacío es real, es difícil creer que el espacio tiempo sea suave a la escala de Planck o a escalas menores que ella. El espacio debe estar quebrado y cuantizado. La única pregunta que permanece es cómo. La idea original de Wheeler de las burbujas espacio tiempo es especialmente potente porque de acuerdo a recientes propuestas de Sidney Coleman (Harvard) y Stephen Hawking (Cambridge University), la estructura de agujeros de gusanos no solamente conecta puntos diferentes muy juntos entre ellos dentro de nuestro espacio tiempo, también conecta nuestro espacio tiempo a otros universos que, hasta donde a nosotros nos concierne existen solo en probabilidades fantasmagóricas. Esta conexión a otros universos origina la constante llamada cosmológica o la letra lambda en el alfabeto griego – una cuña desconcertante que se introduce en las ecuaciones de cosmología desde los tiempos de Einstein.

Las burbujas del espacio tiempo han sido relacionadas como la estructura básica para la formación de universos pequeños. En muchas teorías la explicación de la gran explosión y que ocurre después la gran explosión puede haber partido de un espacio tiempo existente en forma previa, quebrado completamente a nivel microscópico, e inflado con materia para llegar a ser un nuevo universo como el nuestro, completamente desconectado de su espacio tiempo original. Este proceso sugerido por Alan Guth (MIT) y otros, da una mano a lo que muchos esperaban fuera el otro tema fundamental de la física siglo XXI : ¿Fue nuestra gran explosión única o fue solo producto de una rutina de procesos naturales que suceden todo el tiempo en una realidad externa mucho más grande que la nuestra?.

De todas formas hay problemas. La cantidad de energía latente las fluctuaciones cuánticas del espacio tiempo de burbujas es increíble: 10^{105} ergs/cm² esto equivale a 10 billones de billones de veces la masa de todas las galaxias en el universo observado – empacado en 1 cm² ! afortunadamente, la madre naturaleza parece haber inventado algunos mecanismos que cancelan exactamente este fenómeno con una exactitud de alrededor de 120 decimales. Hasta el momento

no tenemos la menor idea o pista de cómo esto puede ocurrir. Es increíble pensar que en los 35 cm. separando esta página de nuestros ojos, nuevas grandes explosiones están quizás brotando y desapareciendo lejos de nuestro tranquilo espacio tiempo en cada instante. Al contrario parece simplemente aburrido que los fotones por los cuales usted ve en esta página podrían estar jugando a saltar para evitar los vacíos donde el espacio tiempo no existe.

La realidad presente

Algunos físicos han comenzado a aguar estas ideas fantásticas. Ellos han concluido que lo que Wheeler llamaba las burbujas del espacio tiempo pueden ser algo completamente diferente.

Entre los problemas que enfrentan los teóricos y que no han podido resolver, está la naturaleza del tiempo, la cual ha sido reconocida como imposible de desprender del espacio tiempo desde que Einstein estableció a la luz como una constante de la naturaleza. En relatividad general no es siempre obvio como definir que es lo que nosotros definimos como tiempo especialmente en la escala de Planck donde el tiempo parece perder su significado convencional. El punto central en cualquier teoría cuántica es la idea de medición, pero ¿qué implica para la física en la escala de Planck la cual establece un límite inferior a la posibilidad de medición?.

Cómo estas ideas podrían afectar la naturaleza actual del espacio tiempo es desconocido. Algunos físicos creen que estas ideas no tienen significados físico alguno. Es conveniente recordar que las matemáticas algunas veces introducen conceptos que son sólo un medio para alcanzar un fin y que no tiene una realidad independiente. En el mundo del simbolismo matemático no es claro que es real o que no lo es. Son las partículas virtuales comprimidas en variedades de 7 dimensiones meros artefactos de cómo nosotros los humanos hacemos o operamos con nuestras matemáticas? Los físicos de partículas ha menudo han tenido que luchar con “campos fantasmas” que son simplemente un andamiaje temporal usado para los cálculos y que desaparecen cuando los cálculos se completan. Aparatos sin significados físicos como probabilidades negativas y partículas que viajan a velocidades mayores que la luz son toleradas en forma relucante siempre que ellas desaparezcan al final en las respuestas.

Queque celestial

Así ¿cómo podríamos nosotros pensar del oscuro vacío que se nos presenta en la noche? Todas las pistas nos llevan a pensar que el espacio tiempo es una especie de queque con un gran número de capas, cada capa lleva un fenómeno en la escala submicroscópica. La capa superior contiene los quarks y electrones que componen la materia ordinaria distribuida aquí y allá como las pasas en la crema. Estas pasas pueden ser separadas para formar una región de espacio que aparezca vacío. La crema en sí misma consiste de partículas virtuales, primariamente aquellas que llevan campo electromagnético, débil de interacciones fuertes, llenando el vacío con incesante actividad que nunca puede ser apagada. Sus idas y venidas cuánticas pueden llenar completamente el espacio tiempo de manera que no hay puntos que están realmente faltando. Esta capa del queque o “espacio vacío” parece estar bien establecida mediante experimentos en el laboratorio.

Más allá de esta capa tenemos el dominio de los campos de Higgs. No importa donde el electrón y el quark considerado como “pasas” vayan, en esta visión siempre hay un pedazo del campo de Higgs cerca para afectarlos y darles masa. Más abajo de la capa de Higgs probablemente existen otras capas, representando campos que aún nosotros no descubrimos. Pero eventualmente nosotros deberíamos llegar a una capa inferior límite, aquella del campo gravitacional. Hay más de este campo donde quiera que la masa esté presente en las capas superiores, pero no hay lugar donde él esté absolutamente ausente. Esta capa nos recuerda la gran tortuga de Babilonia que acarrea el universo sobre su espalda. Sin ella, todas las otras capas se desploman y desaparecen en la nada.

Nosotros sabemos que el espacio tiempo es bastante suave por lo menos hasta escalas del electrón 10^{-20} cm. – 10 millones de veces más pequeño que el núcleo atómico. Este es el tamaño límite para cualquier componente interna del electrón, basado en cuidadosas comparaciones entre experimentos y predicciones de electrodinámica cuántica. Pero cerca del horizonte de Planck de 10^{-33} cm., el espacio tiempo debe cambiar su estructura en forma drástica. Quizás sea un mundo en el cual las nociones convencionales de dimensionalidad, tiempo, y espacio necesitan ser redefinidas y posiblemente todas eliminadas.

El postulado de la unicidad de nuestro universo podría desaparecer, con grandes explosiones siendo ahora consideradas como un evento en un dominio mucho mayor y externo a nosotros y con constantes físicas que pueden ser atribuidas a causas en el espacio tiempo totalmente más allá de nuestra experiencia humana.

Hay mucho más que resulta espinudo acerca del vacío físico. Esta agudeza puede estar enraizada en la forma con que nuestros cerebros funcionan más que en algún aspecto objetivo de la naturaleza. Einstein destacaba “ el espacio y el tiempo no son condiciones las cuales nosotros vivimos, pero modos con los cuales pensamos”.

Nuestro entendimiento del espacio permanece aún en su infancia. Con Aristóteles sonriéndonos a través de los siglos, nosotros vemos el vacío como algo mucho más que una falta de algo. Tomará un montón de décadas si no son siglos, antes que podamos entender completamente su manera de operar en el intertanto debemos disfrutar de una vista nocturna del cielo.