

Capítulo 1. Indicios.

1.1. Introducción. La teoría de Kaluza-Klein.

La teoría de Kaluza-Klein pretende unificar las 2 fuerzas fundamentales de la gravedad y el electromagnetismo mediante la introducción de una cuarta dimensión espacial. Fue enunciada por primera vez por el matemático polaco Kaluza, el cual extendió la relatividad general a un espacio-tiempo de 5 dimensiones. Las ecuaciones resultantes pueden dividirse en varios grupos de ecuaciones, uno de ellos se corresponde con las ecuaciones de campo de Einstein (gravedad), otro con las ecuaciones de Maxwell (electromagnetismo) y finalmente un campo escalar de significado físico poco claro.

Es decir, el mero hecho de que cada partícula tenga libertad para moverse a través de una dimensión adicional permite la unificación de la gravedad con el electromagnetismo. A pesar de este resultado espectacular la teoría adolecía de un grave problema, y es que, ¿donde se encuentra esta 4ª dimensión?. Si el mundo poseyese 4 dimensiones espaciales la gravedad disminuiría con el cubo de la distancia, circunstancia que contradice la experiencia diaria, ya que disminuye con el cuadrado de la distancia.

Con el fin de intentar explicar porque la dimensión extra no afecta a las leyes físicas Oscar Klein en 1926 propuso que la 4ª dimensión espacial se encuentra curvada sobre sí misma en un círculo de radio extremadamente pequeño (por debajo de 10^{-18} m) de tal manera que una partícula que se mueva una pequeña distancia en la dirección de esta dimensión debería retornar al punto de inicio. La distancia que una partícula debe viajar antes de retornar a su punto de inicio se define como el tamaño de esa dimensión y esta dimensión extra se dice que esta compactada.

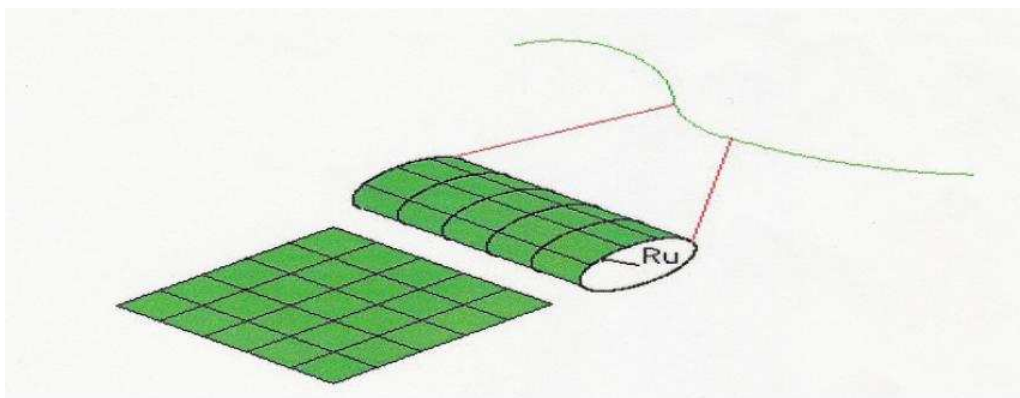


Figura 1.1. Proceso de compactación de una dimensión y ejemplo de como un cilindro tridimensional aparenta un hilo unidimensional cuando el radio de compactación es suficientemente pequeño.

Por tanto a partir de ahora deberíamos representamos el espacio-tiempo como si en cada

punto existiese un pequeño círculo en el cual las partículas se pueden mover libremente. En la teoría de Kaluza-Klein la pura geometría de un espacio-tiempo de 5 dimensiones vacío (sin masa) conduce a las ecuaciones de un mundo tetradimensional con masa. Lamentablemente la aplicación de dicha teoría al estudio del electrón proporciona una relación masa-carga que difiere de la experimental unos 20 ordenes de magnitud, razón por la cual fue abandonada en gran parte durante varias décadas.

1.2. Consideraciones a la teoría de Kaluza-Klein

Aunque el *theorem egregium* de Gauss indique que es posible definir la curvatura de una superficie desde dentro, es decir, sin hacer referencia a la manera en que esa superficie se inserta en el espacio euclídeo 3D, se postula que físicamente la curvatura de una dimensión exige la existencia de otra sobre la que curvarse. Si nos centramos en la hipotética 4ª dimensión espacial de topología cerrada de la teoría de Kaluza-Klein tenemos 2 opciones:

1. La 4ª dimensión espacial se curva sobre alguna de las dimensiones espaciales conocidas, lo que provocaría que el espacio no fuese isótropo (las leyes de la Física cambiarían según las direcciones espaciales), circunstancia que contradice la experiencia.

2. La 4ª dimensión espacial se curva sobre otra dimensión espacial extra también compactada, como por ejemplo en el caso de un toroide. En este caso, e independientemente de su numero, podemos separar las dimensiones en 2 grandes grupos, las extendidas y las compactadas.

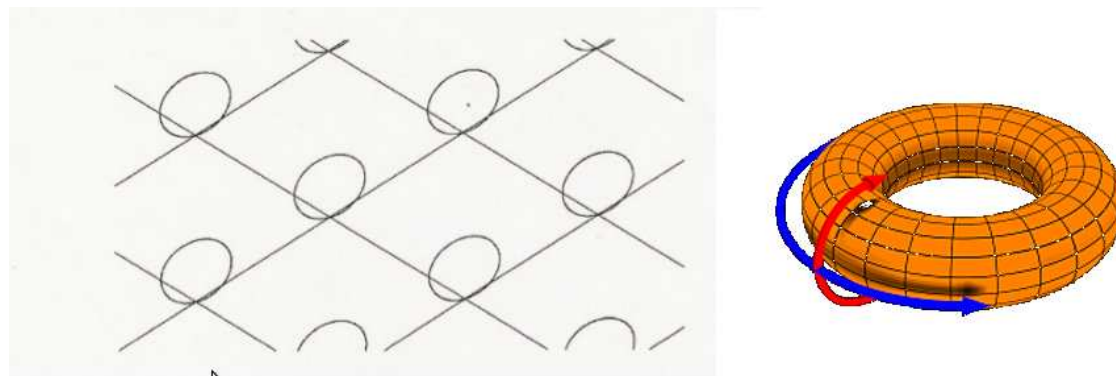


Figura 1.2. Representación de una hipotética cuarta dimensión espacial arrollada sobre una dimensión extendida o sobre otra dimensión compactada.

1.3. Significado físico de las 2 dimensiones espaciales adicionales

1.3.1. La fórmula relativista de la energía.

La fórmula relativista de la energía de un cuerpo en movimiento es:

$$E^2 = (m_0 c^2)^2 + (pc)^2 \text{ donde:}$$

- E = Energía de un cuerpo en movimiento
- m_0 = masa en reposo del cuerpo

- c = velocidad de la luz
- p = momento lineal del cuerpo, igual al producto de la masa por la velocidad.

Si escribimos la energía en función de las componentes de la velocidad V_x, V_y y V_z tendremos:

$$E^2 = (m_0 \cdot c \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c \cdot V_x)^2 + (m_0 \cdot c \cdot V_y)^2 + (m_0 \cdot c \cdot V_z)^2$$

ecuación que sugiere que todos los cuerpos se mueven a la velocidad de la luz en una dirección perpendicular a V_x, V_y y V_z . Desde este punto de vista el término $m_0 c^2$ se puede identificar con la energía debida a un movimiento en el plano de las dimensiones adicionales. Este movimiento a la velocidad de la luz de las partículas elementales sería en la dirección τ .

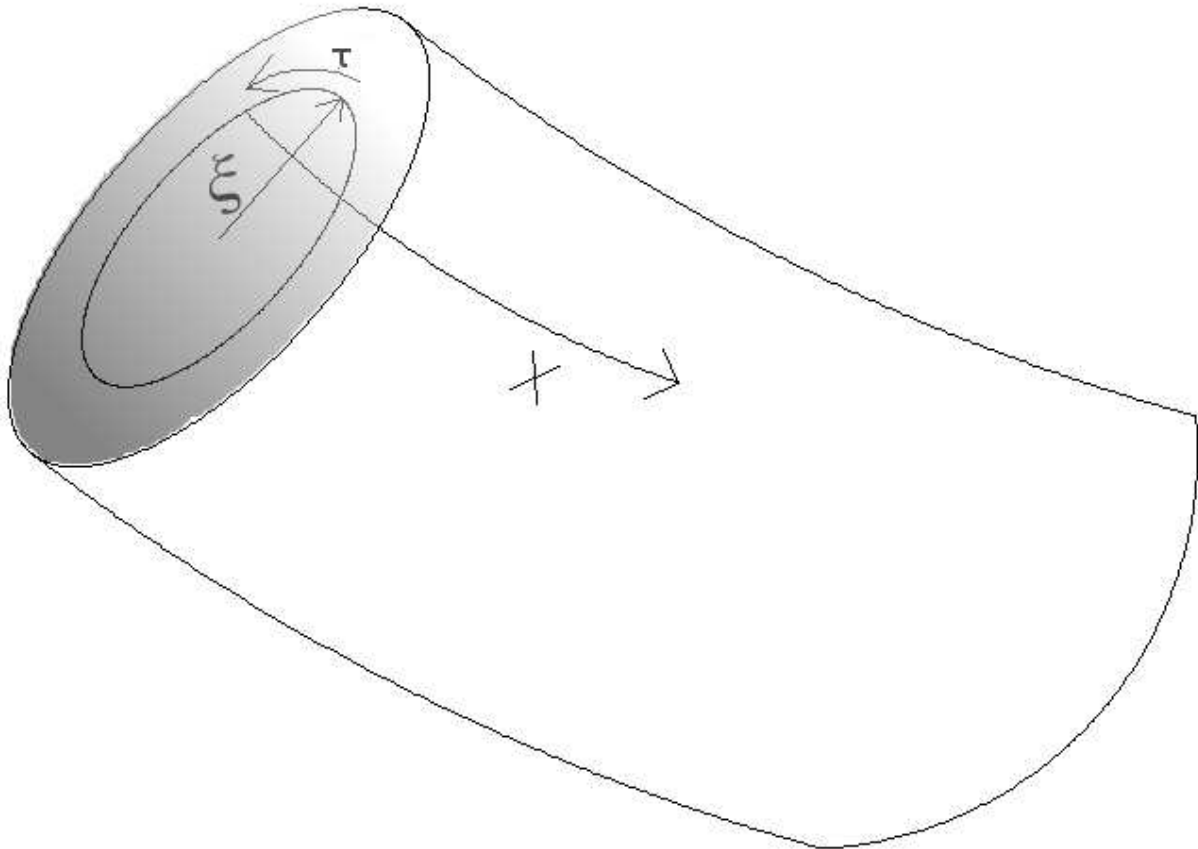


Figura 1.3. Sistema de coordenadas compactadas.

Ahora bien, debido a la topología circular de la dimensión adicional dicho movimiento visto perpendicularmente desde las otras dimensiones expandidas debería percibirse como una vibración.

Considerando la modificación propuesta en 1913 por Albert Einstein y Otto Stern de la formula deducida en 1900 por Max Plank para un radiador de energía aislada tenemos:

$$E = \frac{h \cdot \nu}{e^{\frac{h \cdot \nu}{K \cdot T}} - 1} + \frac{h \cdot \nu}{2}$$

donde:

h = constante de Planck , K = constante de Boltzman ,

ν = frecuencia T = temperatura absoluta

se puede observar que incluso a la temperatura del cero absoluto cualquier partícula posee una energía residual de vibración igual a:

$$E_r = h \cdot \frac{\nu}{2}$$

Que es igual a la energía residual de vibración de un oscilador cuántico

Podemos igualar las 2 energías $E = m_0 c^2$ y $E_r = h \cdot \frac{\nu}{2}$. Resultando entonces:

$$m_0 c^2 = h \cdot \frac{\nu}{2} \text{ y por tanto } \nu = \frac{2 \cdot m_0 c^2}{h}.$$

Ligando la masa de las partículas elementales a una frecuencia, que sorprendentemente, coincide con el Zitterbewegung. [23]

Si la trayectoria fuese circular y suponiendo que todas las partículas viajan a la velocidad de la luz se puede deducir el radio de dicho movimiento circular:

$$\nu = \frac{c}{2\pi\xi_0} \text{ y } \nu = \frac{2m_0 c^2}{h}, \text{ por tanto:}$$

$$\xi_0 = \frac{h}{4\pi m_0 c} = \frac{\hbar}{2m_0 c}$$

Para el caso del electrón tendríamos

$$\xi_e = \frac{\hbar}{2m_e c} = 1,93079616 \cdot 10^{-13} m$$

donde $\hbar$ representa la constante reducida de Planck y ξ el radio de la trayectoria circular a través de las dos dimensiones compactadas. El perímetro sería:

$$p_e = \frac{h}{2m_0 c}$$

lo que representa una semilongitud de onda de D'Broglie para una partícula de masa m que se desplazase hipotéticamente a la velocidad de la luz.

1.3.2. Interpretación de la masa como la inversa de una longitud.

La relación anterior proporcionaría una interpretación física de la masa en reposo como la inversa de una longitud. en unidades del S.I.

$$\xi_0 = \frac{\hbar}{2m_0c} = \frac{1,7588 \cdot 10^{-43}}{m_0}$$

Esta interpretación permite un nuevo punto de vista de fenómenos ya conocidos, por ejemplo si analizamos dimensionalmente la energía tendremos:

$$\text{Energía} = \text{Fuerza} \cdot \text{desplazamiento} = [MLT^{-2} \cdot L] = [L^{-1} \cdot L^2 T^{-2}] = [LT^{-2}]$$

es decir, proporciona para la energía unidades de aceleración, que coincide con el fenómeno que se manifiesta físicamente en el caso de las interacciones gravitatorias.

Si analizamos dimensionalmente la densidad tenemos:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = [L^{-4}]$$

es decir, unidades de curvatura, coincidiendo con la teoría de la relatividad general que relacionaba directamente la densidad de materia-energía con la curvatura del espacio-tiempo.

Por otro lado si consideramos la ecuación que relaciona la curvatura escalar R con el tensor de materia-impulso T tenemos:

$$-R = \frac{8\pi G}{c^4} \cdot T$$

donde el factor $\frac{8\pi G}{c^4} = 2,0766 \cdot 10^{-43}$ es del mismo orden de magnitud

que el factor $\frac{\hbar}{2c} = 1,7588 \cdot 10^{-43}$.

De hecho están relacionados por el mismo factor que relaciona el espín total de protones, neutrones y electrones con la proyección de éste en un eje, es decir:

$$\sqrt{s(s+1)} \cdot \frac{8\pi G}{c^4} = 0,866 \cdot 2,0766 \cdot 10^{-43} = 1,7983 \cdot 10^{-43}$$

donde $s = 1/2$

1.3.3. La longitud de onda de D'Broglie.

El siguiente razonamiento ha sido tomado de [1]. Puede consultar en la página 54 la deducción de la longitud de onda de D'Broglie según la hipótesis aquí desarrollada.

La composición del movimiento circular en el plano de las dimensiones compactadas con cualquier desplazamiento en el resto de dimensiones conformaría trayectorias helicoidales

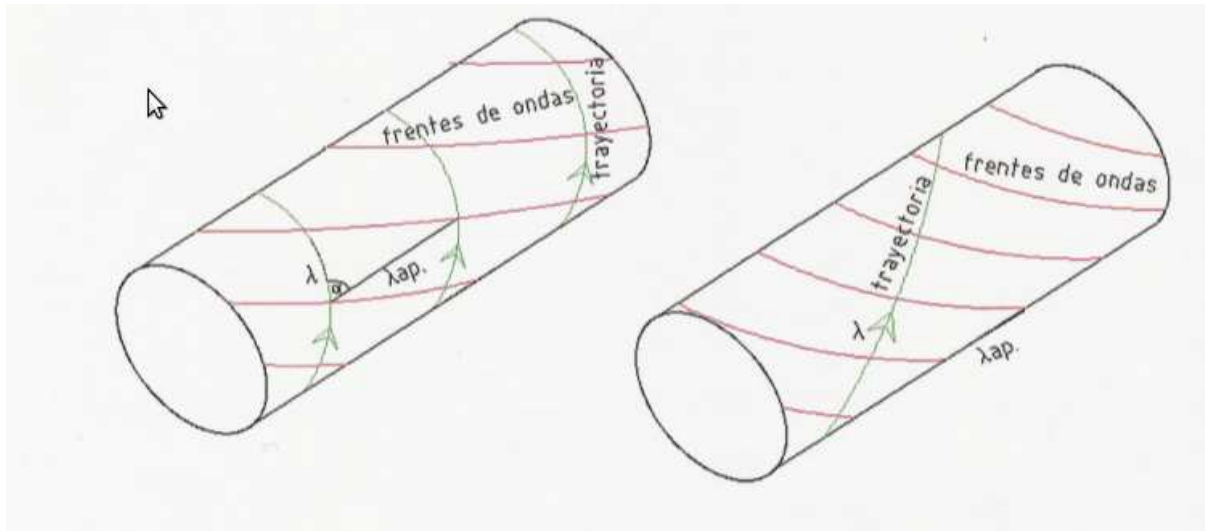


Figura 1.4. Trayectorias reales de las partículas en el espacio.

La onda transversal asociada a una partícula material que se moviese hipotéticamente a la velocidad de la luz tendría una longitud de onda igual a $\lambda_0 = \frac{h}{m_0 \cdot c}$.

Sin embargo, para un observador tetradimensional que estudiase este fenómeno le parecería

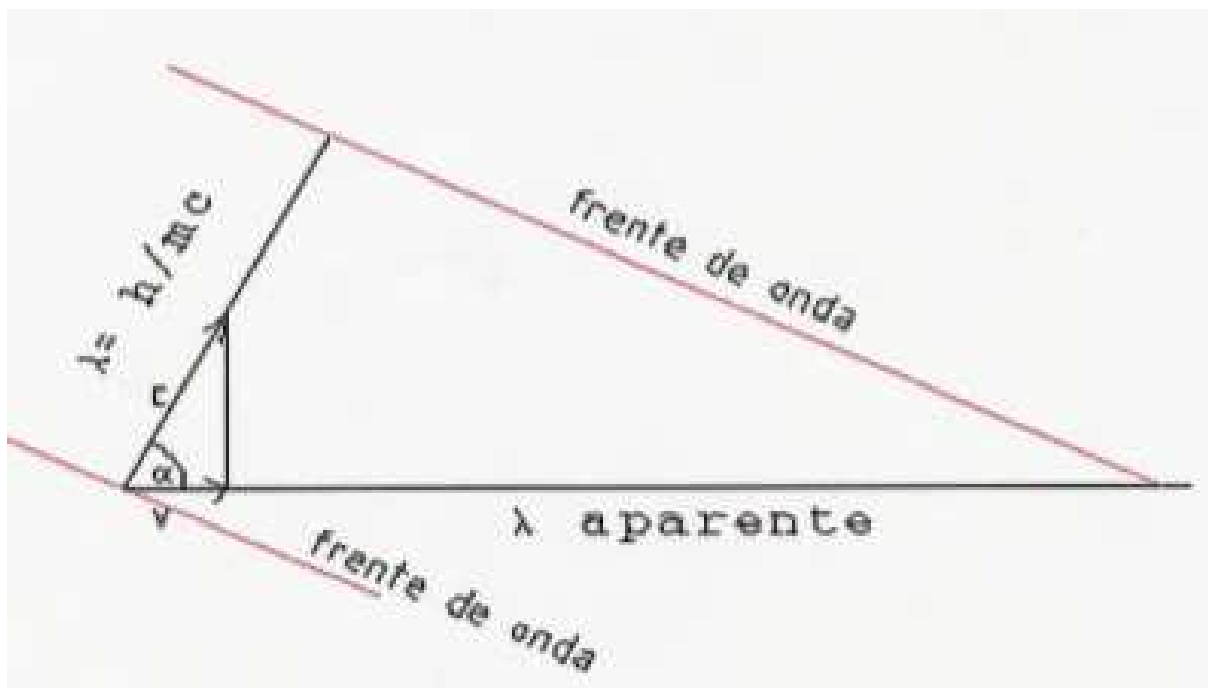


Figura 1.5. Triángulo de velocidades.

que a la partícula material tiene asociada una onda de longitud de onda λ aparente igual a la

proyección sobre las dimensiones no compactadas. De la figura: $\cos\alpha = \frac{v}{c}$ y $\cos\alpha = \frac{\lambda_0}{\lambda_{apa}} = \frac{\frac{h}{m_0 \cdot c}}{\lambda_{apa}}$, luego $\frac{v}{c} = \frac{\frac{h}{m_0 \cdot c}}{\lambda_{apa}}$ y finalmente:

$$\lambda_{apa} = \frac{h}{m_0 \cdot v}$$

Como la longitud de onda aparente es una dimensión en la dirección del movimiento aparecerá contraído por el efecto relativista $\lambda_{apa} = \frac{h}{m_0 \cdot v} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$, que coincide con la longitud de onda de D'Broglie para las partículas materiales.

1.3.4. Interpretación del principio de incertidumbre.

El principio de incertidumbre para la posición y el momento afirma que

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

por tanto la incertidumbre del momento debe satisfacer $\Delta p \geq \frac{\hbar}{2\Delta x}$. Si usamos la ecuación relativista que liga la energía con el momento $p = \gamma m_0 v$ cuando la incertidumbre del momento supera el valor de $m_0 c$ entonces la incertidumbre de la energía superaría el valor de $m_0 c^2$, suficiente para generar otra partícula del mismo tipo. Por tanto debe existir una limitación fundamental en la incertidumbre de la posición

$$\Delta x \geq \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\hbar}{m_0 c} \right)$$

o lo que es lo mismo $\Delta x \geq \xi_0$.

Se infiere por tanto que el principio de incertidumbre deriva del hecho de estudiar fenómenos que suceden en 5 dimensiones espaciales como si se tratase de fenómenos con 3 dimensiones espaciales. No es de extrañar por tanto que la longitud de onda Compton represente la longitud que define el límite entre el comportamiento como partícula o como onda.

1.3.5. Influencia cualitativa de la curvatura del espacio en fenómenos que suceden a escalas muy superiores a la de las dimensiones compactadas.

En el análisis tradicional de la teorías del tipo Kaluza-Klein las constantes de las leyes físicas, ($\mu_0, G, \epsilon_0 \dots$) deben variar según el número de dimensiones en los que se expresen. Este convencimiento se ha basado en consideraciones similares a las que se exponen a continuación.

Si tomamos el equivalente a la ley de Gauss para el campo gravitatorio en su forma integral tenemos:

$\oint_s E_g \cdot dS = 4\pi G \cdot m$ El flujo gravitatorio a través de una superficie cerrada es igual a la masa encerrada en dicha superficie multiplicada por $4\pi G$. Si suponemos una masa puntual y consideramos una esfera que la contiene tendremos:

$$4\pi r^2 \cdot E_{g5D} = 4\pi G \cdot m_0$$

Nótese que la ecuación resultante es una ecuación tetradimensional, ya que $m_0 = \frac{\hbar}{2\xi_0 c}$, y por tanto

$$E = E(L_x, L_y, L_z, \xi_0)$$

Realizando un ejercicio de imaginación podemos suponer un mundo de 5D en el cual una de las dimensiones espaciales extendidas se compactase linealmente hasta una extensión a tal y como se muestra en la figura. Veamos que ocurriría cuando los físicos de ese mundo analizaran la ley de Gauss en 4 D.

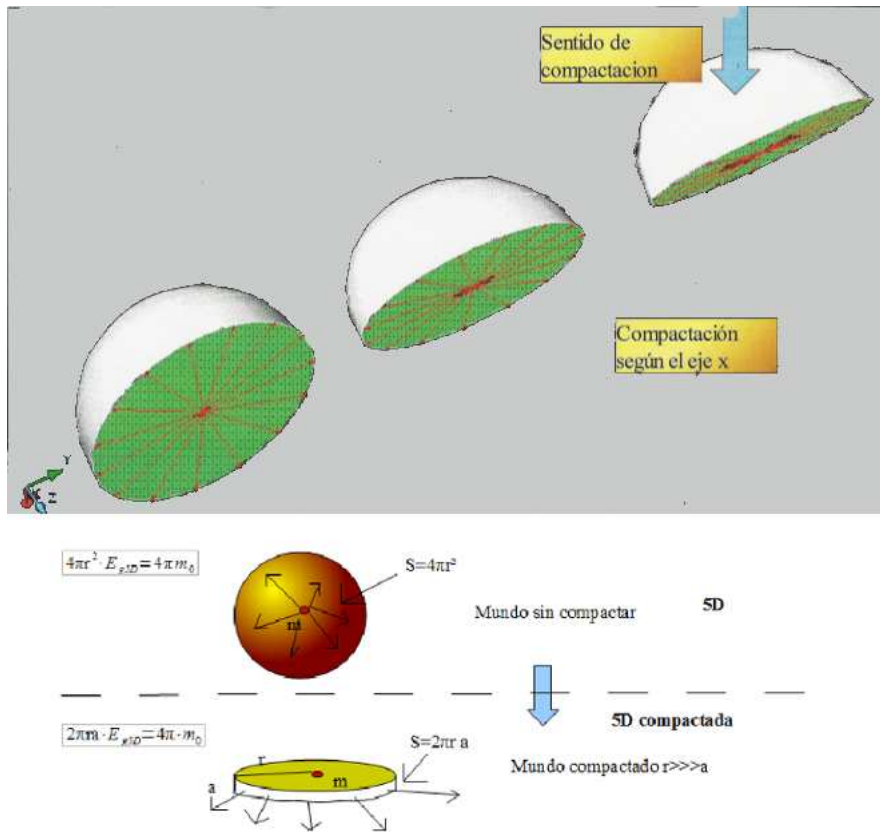


Figura 1.6. Efecto sobre la ley de Gauss al compactar linealmente una dimensión espacial.

Los científicos de este mundo plano de 4D medirían un campo E_g y le intentarían aplicar la ley de Gauss obteniendo el siguiente resultado:

$$2\pi r \cdot E_{g4D} = 4\pi \cdot m_0$$

Igualando las ecuaciones en 5 y 4 dimensiones tendremos:

$2\pi r \cdot E_{g4D} = 2\pi r a \cdot E_{g5D}$ luego $E_{g4D} = a \cdot E_{g5D}$ Como E_{g4D} tiene que ser igual a E_{g5D} habría que añadir una constante para que la formula en 4D proporcionase un resultado correcto:

$$2\pi r \cdot E_{g4D} = 4\pi a \cdot m_0$$

, es decir aparece una constante de gravitación $G = a$. Como a es muy pequeño el campo medido al compactar una dimensión es mucho menor. En el caso de dos dimensiones que se compactan en un círculo de radio a tendríamos:

$$4\pi a^2 \cdot E_{g3D} = m_0 \text{ y } 2E_{g1D} = m_0 \rightarrow E_{g1D} = 2\pi a^2 \cdot E_{g2D}$$

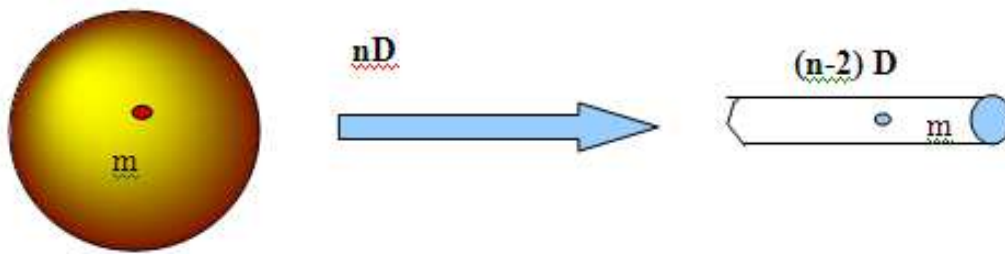


Figura 1.7. Compactación de dos dimensiones.

Nota: La superficie 0D de una esfera unidimensional es igual a 2.

Es decir al compactar circularmente una dimensión el campo quedaría alterado en un factor igual a $2\pi a^2$, lo que nos permitiría estimar el radio de las dimensiones compactadas de la relación:

$G \approx 2\pi \cdot R_u^2 \rightarrow R_u \approx \sqrt{\frac{G}{2\pi}} \approx 3 \cdot 10^{-6} m$ Resulta evidente que dado que se ha utilizado la aproximación para espacio plano del campo gravitatorio la estimación del radio de las dimensiones compactadas no puede ser muy exacta, pero permitiría conocer el orden de magnitud de éstas.

Por otro lado, los fenómenos que suceden a escalas inferiores siguen la ley de la inversa del cubo, por lo que aparentan tener mayor intensidad. En definitiva, la curvatura actuaría como una lente convergente, disminuyendo la intensidad de los fenómenos lejanos e incrementando la intensidad aparente de los que suceden a escalas muy pequeñas, lo que al menos de manera cualitativa podría justificar la diferencia de escalas entre las 4 fuerzas fundamentales de la Naturaleza.

Si tenemos en cuenta que según los postulados de este trabajo las dimensiones de la masa son los de la inversa de una longitud nos quedaría $[G] = L^3 M^{-1} T^{-2} = L^4 T^{-2}$ e interpretando el tiempo como una longitud: $[G] = L^2$.

En consecuencia la curvatura del espacio-tiempo hexadimensional justifica la relación entre la masa inercial y la masa gravitatoria cuando hablamos de fenómenos que suceden a escalas muy superiores al tamaño de las dimensiones espaciales compactadas. Por tanto la mayor parte de las

constantes deberían desaparecer cuando efectuamos los cálculos en 6D. ($\hat{\mu}_{0g} = 1, \hat{G} = 1, \dots$).

1.4. Origen del campo eléctrico.

Nota: Aunque el verdadero origen del campo eléctrico no es este, los conceptos aquí mostrados son fundamentales para la comprensión de la hipótesis en su conjunto, por lo que se desarrollan aquí.

1.4.1. Sobre el gravitomagnetismo.

Si escribimos las ecuaciones del gravitomagnetismo comparándolas con las ecuaciones de Maxwell.

GRAVITOMAGNETISMO	ELECTROMAGNETISMO
$\vec{\nabla} \cdot \vec{E}_g = -4\pi G \rho$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
$\vec{\nabla} \times \vec{B}_g = 0$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0$
$\vec{\nabla} \times \vec{E}_g = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{B}_g}{\partial t}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
$\nabla \times \vec{B}_g = -\frac{4\pi G}{c} \cdot \vec{j}_m + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}_g}{\partial t}$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

A pesar de las evidentes similitudes las ecuaciones del gravitomagnetismo se diferencian en dos signos de las ecuaciones de Maxwell, el primero indica que solo pueden existir fuerzas atractivas entre las masas, la segunda indica que *dos corrientes de masa que circulan en el mismo sentido se repelen* al contrario de lo que sucede en el electromagnetismo en el que se atraen.

1.4.2. Campo gravitomagnético producido por las partículas elementales.

Las partículas elementales girando en trayectorias muy pequeñas a la velocidad de la luz deben producir un campo de inducción B_g considerable provocando un campo de fuerzas que cualitativamente es similar al campo eléctrico, tal como se muestra en la figura.

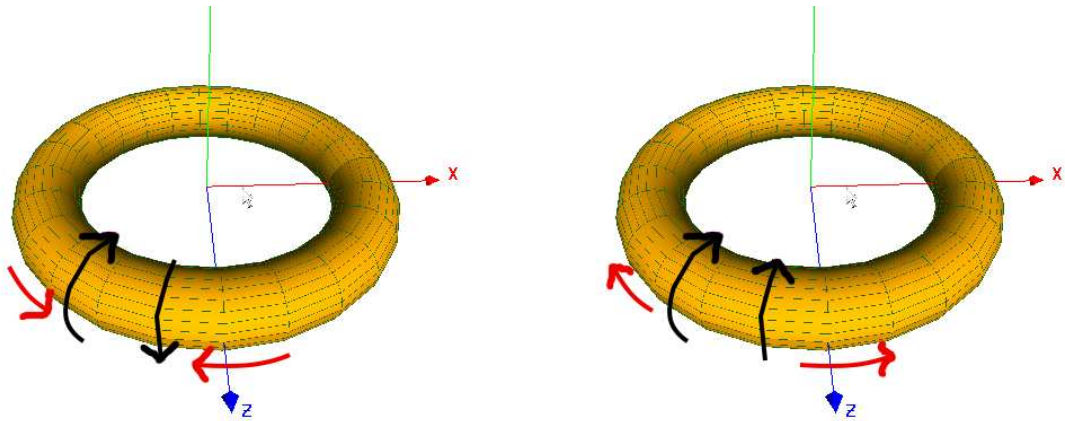


Figura 1.8. Ejemplo en 3 dimensiones de como un movimiento circular de una masa puede provocar la ilusión de la existencia de una carga eléctrica.

Distinto sentido → Atracción. Mismo sentido → Repulsión.

Como habíamos visto en la sección anterior las leyes del gravitomagnetismo expresados en seis dimensiones no deben necesitar de ninguna constante, o, lo que es lo mismo la constante gravitatoria en 6D debe ser $\hat{G} = 1$.

Para calcular el campo de inducción generado por las partículas elementales se puede asimilar al campo generado por una espira circular.

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \quad \text{ELECTROMAGNETISMO 5D} \quad \boxed{B = B(L_x, L_y, L_z, M, T)} *$$

$$B_g = \frac{-4\pi \hat{G}}{c} \cdot \frac{i_g}{2R^2} \quad \text{GRAVITOMAGNETISMO 6D} \quad \boxed{B = B(L_x, L_y, L_z, \xi, \eta, T)}$$

* Nota: Si consideramos la masa como la inversa de una longitud cualquier ecuación que contenga la dimensión masa (ó carga eléctrica, ya que la relación *carga/masa* es constante para las partículas elementales) se debe considerar como una ecuación en 5 dimensiones, 4 espaciales más una temporal.

Si el campo eléctrico es la expresión en 5D del campo gravitomagnético en 6D entonces $B=B_g$

$$\frac{B}{B_g} = \frac{\mu_0 2cR^2}{-4\pi \hat{G} \cdot 2R} \cdot \frac{i}{i_g} = 1$$

la relación entre la intensidad eléctrica y la intensidad gravitatoria es la misma que la relación entre la carga y la masa de una partícula elemental. Por tanto se puede escribir:

$$\frac{\mu_0 cR}{-4\pi \hat{G}} \cdot \frac{q}{m_0} = 1$$

Teniendo en cuenta que hemos postulado que $\hat{G} = 1$ y que $R = \xi_e = \frac{\hbar}{2m_e c} = 1,93079616 \cdot 10^{-13}$

$$\frac{\mu_0 c \xi_e}{-4\pi} \cdot \frac{q_e}{m_e} = 1 \text{ y por tanto}$$

$$\frac{q_e}{m_e} = 1,72759870 \cdot 10^{11}$$

en unidades del S.I.

Si comprobamos la relación experimental carga-masa del electrón tendremos:

$$\frac{q}{m_0} = \frac{e}{m_{e0}} = \frac{1,602176 \cdot 10^{-19}}{9,10938291 \cdot 10^{-31}} = 1,75881946 \cdot 10^{11}$$

que difiere en un 1,8% del valor estimado.

Por tanto, al considerar la masa como la inversa de una longitud es posible salvar la principal dificultad que presentaba la teoría de Kaluza-Klein.

Es de observar que simplemente considerando un valor de $\hat{G} = 1,01807176$ se puede obtener un valor de la relación carga-masa del electrón correcta.

1.4.3. Topología elíptica de las dimensiones compactadas.

La forma más sencilla de incrementar la inducción magnética manteniendo el perímetro recorrido consiste en deformar la trayectoria circular a una elipse.

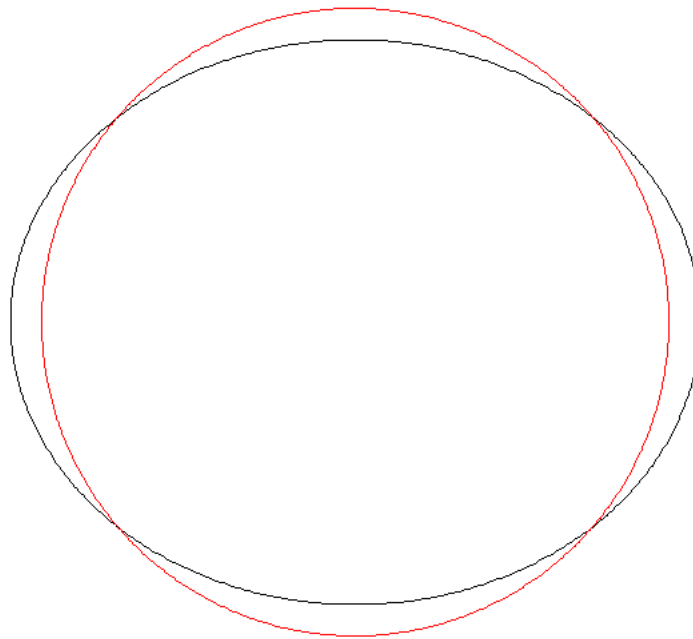


Figura 1.9. Trayectoria elíptica

En efecto, si observamos la expresión que permite calcular la inducción magnética en el centro de una espira de corriente elíptica tendremos:

$$B_z = \mu_0 I \frac{l}{4S}$$

donde l = perímetro, S = superficie, I = Intensidad eléctrica.

Para estimar la longitud se ha utilizado la siguiente formula aproximada:

$$L \sim \pi(3(a+b) - \sqrt{(3a+b)(a+3b)})$$

Si elegimos una espira circular de radio unidad y la deformamos manteniendo el perímetro constante **basta con elegir una espira de semiejes $a=1,10576$ y $b=0,8883$ para incrementar la relación longitud-superficie y por tanto el campo de inducción magnética B por un factor de 1,018068**, lo que proporcionaría el valor correcto de relación masa-carga para el electrón.

Se ha estimado la longitud de la elipse obtenida anteriormente mediante la relación:

$$L = 4a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta} d\theta$$

donde e representa la excentricidad de la la elipse. Se ha encontrado que el error cometido al utilizar la formula aproximada es de $3,42 \cdot 10^{-6}$ por uno.

No obstante es posible seguir utilizando la hipótesis circular en muchos casos simplemente manteniendo la constante $\hat{G} = 1,01807176$, que ahora se considera un factor de forma.

Si utilizamos esta corrección veremos que:

$$\sqrt{s(s+1)} \cdot \frac{8\pi G}{c^4} / 1,01807176 = 1,7664 \cdot 10^{-43},$$

prácticamente igual al factor $\frac{\hbar}{2c} = 1,7598 \cdot 10^{-43}$

1.4.4. Ejemplo de aplicación. Momento magnético intrínseco del electrón.

Veamos como se pueden convertir las formulas electromagnéticas 5D a gravitomagnéticas 6D.

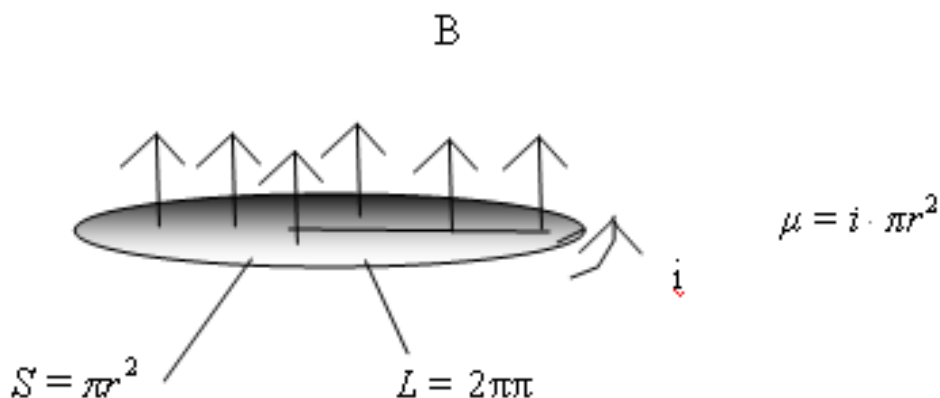


Figura 1.10. Momento magnético intrínseco.

La expresión del momento gravitomagnético debería ser análogamente el producto de la intensidad másica por la superficie abrazada por la espira. Sin embargo como las distancias involucradas son inferiores a G debemos utilizar formulas referidas a 6 dimensiones. Para convertir la formula a 6D partimos de la definición de momento magnético.

$$\mu = \frac{1}{2} \int r \times i dl$$

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Eliminar constantes(salvo aquellas que provengan de las leyes de Maxwell).

$$\mu = \int r \times i dl$$

2. Dividir por r para pasar de 5D a 6D. (De manera análoga a como lo hemos hecho anteriormente)

$$\mu = \frac{1}{r} \int r \times i dl = i \int dl = i \cdot 2\pi R$$

3. Utilizar la intensidad másica en vez de la intensidad eléctrica.

$$\mu = i_m \cdot 2\pi R$$

4. Eliminar la constante electromagnética y sustituirla por la gravitomagnética, es decir, multiplicar por el factor $\frac{-4\pi\hat{G}/c}{\mu_0}$.

$$\mu_g = \frac{-4\pi\hat{G}/c}{\mu_0} \cdot i_m \cdot 2\pi R$$

El flujo másico será $i_m = m_0 \cdot v$ donde $v = \frac{n^\circ \text{vuelatas}}{\text{segundo}} = \frac{c}{2\pi R}$ ya que habíamos postulado que el electrón viaja a la velocidad de la luz en las dimensiones compactadas.

$$\text{Luego } \mu_g = \frac{-4\pi\hat{G}}{\mu_0 c} \cdot \frac{m_0 c}{2\pi R} \cdot 2\pi R = \frac{-4\pi\hat{G}m_0}{\mu_0}$$

sustituyendo para el caso del electrón y como $\hat{G} = 1,01807176$ tendremos

$$\mu_g = \frac{-4\pi \cdot 9,10910^{-31} \cdot 1,01807176}{4\pi 10^{-7}} = -9,274005510^{-24}$$

en unidades del SI.

La estimación produce un valor muy similar al magnetón de Bohr , que es de $9,274\ 00915\ 10^{-24}$ en el mismo sistema de unidades.

Nota: La formula anterior puede también obtenerse fácilmente a partir de la expresión tradicional del momento magnético en función del espín $\mu = \frac{q}{2m} S = \frac{q}{2m} \frac{\hbar}{2}$

y sustituyendo $\frac{q}{m} = \frac{-4\pi\hat{G}}{\mu_0 c} \cdot \frac{2mc}{\hbar}$

Sin embargo, de momento no puede explicarse el valor anómalo del momento magnético del electrón, lo que se hará más adelante en este trabajo en la página 37 .

1.4.5. Interpretación de los indicios.

Aunque es cierto que las interpretaciones de los indicios anteriores son discutibles, en conjunto parecen apuntar a un espacio-tiempo con tres dimensiones espaciales expandidas, dos dimensiones espaciales compactadas de topología elíptica relacionadas una de ellas con la inversa de las partículas realmente elementales (ξ) y la otra, a la que hemos llamado τ , íntimamente relacionada con la coordenada imaginaria del espacio-tiempo de Minkowsky. Dichas dimensiones compactadas se encuentran en el orden de magnitud de micrómetros. Las constantes G, μ, ϵ , etc son debidas a la formulación en 3 dimensiones espaciales planas de un espacio de 5 dimensiones espaciales y por tanto, desaparecen o se simplifican enormemente cuando se efectúan los cálculos en 6 dimensiones (5 espaciales + tiempo) .

En este espacio las partículas elementales se mueven a la velocidad de la luz en trayectorias elípticas en el plano de las dimensiones compactadas con un perímetro igual al de media longitud de onda compton, lo que origina un campo gravitomagnético que es interpretado por nosotros como el campo electromagnético. Además, este giro en dimensiones extras permite explicar adecuadamente la longitud de onda de D'Broglie y el principio de incertidumbre.

Finalmente el hecho de que las partículas se desplacen a la velocidad de la luz nos llama a postular que lo que a nosotros nos parecen partículas en 3 dimensiones, no son sino ondas en un espacio de cinco dimensiones con una topología muy especial. Dichas ondas no pueden ser de otra naturaleza más que gravitatorias, ya que las corrientes de masa originan un campo de fuerzas similar al electromagnético. Esta interpretación ha sido conocida como Matter as gravitational waves .