Las ecuaciones de Evans de la teoría del campo unificado

Laurence G. Felker

Capítulo 5

Responsable de la traducción al castellano:

Ing. Alex Hill
ET3M
México

Favor de enviar críticas, sugerencias y comentarios a alexhill@et3m.net

o visitando la página www.et3m.net y dejando allí su comentario.

Gracias.

Capítulo 5 Ecuaciones conocidas

> Estas necesariamente retienen su significado en todos los tiempos para todas las civilizaciones, aún aquellas extraterrestres o no humanas, y por lo tanto pueden ser designadas como unidades naturales.
>
> Max Planck, 1899

Introducción

De la misma manera en que las unidades que Planck han sido definidas como básicas en la física y poseen significado especial, hay ecuaciones en la física que son necesarias para explicar conceptos. Este capítulo presenta y explica algunas de estas ecuaciones esenciales. Globalmente, no es necesario adquirir la capacidad para manipular matemáticamente cada una de ellas con destreza, pero es necesario adquirir cierto conocimiento respecto de su significado.

Las explicaciones incluidas aquí tienen como propósito ayudar al lector no especialista en física a comprender los resultados de las ecuaciones relevantes. Estas explicaciones no son estrictamente rigurosas en todos los aspectos y debieran considerarse sólo como un repaso, o una lección de vocabulario.

Las leyes de movimiento de Newton

1. Primera ley de movimiento de Newton - Inercia

Todo objeto en un estado de reposo o de movimiento uniforme tiende a permanecer en reposo o en dicho estado de movimiento a menos de que una fuerza externa se aplique sobre el mismo.

Aún cuando Newton se refería sólo a la masa, Einstein demostró que tanto la masa como la energía poseen inercia. m_i es la masa inercial, como contraposición a m_g, que es la masa gravitacional. La igualdad entre m_i y m_g se conoce como el principio de equivalencia débil.

2. Segunda ley del movimiento de Newton - Fuerza

La relación entre la masa m de un cuerpo, su aceleración ***a*** *y la fuerza externa neta aplicada* ***F****, es* ***F*** *= m****a****.*

Esta es una de las ecuaciones más utilizadas en la física. **F** y **a** son vectores. La rapidez es una cantidad escalar, o simplemente un escalar, el cual es una cantidad que posee magnitud, pero no dirección; la velocidad es una cantidad vectorial que posee tanto magnitud como dirección; la aceleración es el cambio en velocidad, de manera que también es un vector.

La forma más general de la segunda ley de Newton es $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$, la cual establece que la fuerza es igual al cambio en el momento por unidad de cambio en el tiempo. La fuerza neta aplicada sobre un objeto es igual al ritmo de cambio del momento en función del tiempo. El 4- vector que expresa esto, es $\mathbf{F}^{\mu} = d\mathbf{p}^{\mu}/d\tau$. Tau, τ, aquí es el tiempo propio - es decir, el tiempo medido en el marco de referencia del vector. Al utilizar el 4-vector, la ecuación conserva la misma forma aún si se la somete a una transformación en el marco de referencia. Es covariante. La segunda ley de Newton aplica a la velocidad cuando es pequeña comparada con la velocidad de la luz ($v << c$) y para aquellas regiones en el espaciotiempo carentes de fuertes campos gravitacionales. En las regiones de alta energía, la necesidad de exactitud requiere del empleo de la relatividad general covariante. La relatividad restringida aplica para altas velocidades, en tanto que la relatividad general lo hace para altos valores de gravitación.

3. Tercera ley de movimiento de Newton - Conservación

Para cada acción existe una reacción igual y opuesta.

Esta es la ley de conservación de la masa y de la energía. En la física, nada se crea y nada se destruye.

Ecuaciones eléctricas

Existen varias definiciones básicas que son necesarias si uno ha de internarse dentro de los sectores electromagnéticos de las ecuaciones de Evans. El comprender los diferentes términos y sus interrelaciones toma algún tiempo y mucho estudio. Aquí las mencionamos sólo brevemente.

V = IR. Un circuito consiste en un círculo completo de cable o su equivalente. En un circuito, el voltaje V es igual a [la corriente que fluye, medida en amperios] multiplicada por [la resistencia ha dicho flujo, medida en ohmios]. Véase la Figura 5-1.

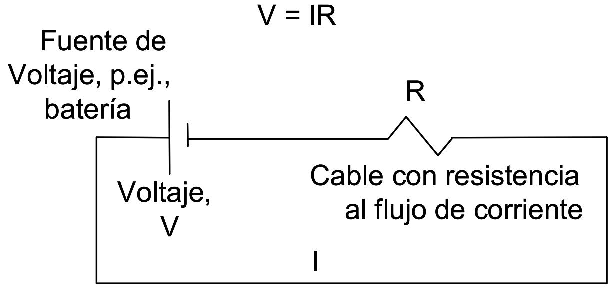
El voltaje V es la fuerza que empuja a los electrones. Un voltio, o el voltaje, es una medida de la diferencia de potencial. Una batería posee un polo positivo y uno negativo. El polo negativo posee un exceso de electrones (carga negativa) comparado con el polo positivo (donde los electrones se han quitado). Cuando ambos polos se conectan, la carga fluye desde el polo negativo hacia el positivo.

La diferencia de potencial puede existir sin la presencia de los cables interconectados, como es el caso a través de condensadores, las nubes y la tierra, o desde cualquier región del espaciotiempo a otra región.

La corriente (I) es el flujo de electrones u otra carga.

La resistencia (R) es una propiedad del material - un cable de cobre, el vacío, etc. Un ohmio es una medida de la resistencia al flujo de corriente.

Figura 5-1 Flujo Básico de Corriente
V = IR



En espaciotiempo, veremos que se utiliza A para el voltaje.
Es la cantidad esencial que nos permite pasar de las matemáticas a la física con el campo electromagnético.

La cantidad de corriente que fluye es igual a V/R.

I = dQ/dt. La corriente es el flujo de carga. Q se mide en culombios, Q, por unidad de tiempo; un culombio es aproximadamente igual a 10^{19} electrones. De manera que la corriente es el flujo de electrones (o positrones).

J es la densidad de corriente, es decir el flujo de corriente I por unidad de área, o amperio por metro cuadrado, A/m2. Una analogía podría ser el número de automóviles que pasan a través de una amplia intersección vial. En algunos momentos, son cuatro los automóviles que atraviesan, mientras que en otros momentos sólo es un automóvil el que atraviesa.

La fuerza del campo eléctrico se mide en voltios por metro cuadrado, o V/m^2.

La densidad de carga eléctrica es el número de electrones (o positrones o protones) en un volumen dado. Se mide en culombios por metro cúbico, o C/m^3.

El flujo equivale a las líneas de fuerza. Imaginemos que la fuerza eléctrica es proporcional al número de líneas de fuerza que pasan a través de una superficie cerrada. Un campo fuerte podría tener 1000 líneas por cm^2, en tanto que un campo débil podría tener una línea por cm^2.

La densidad de flujo eléctrico se mide en culombios por metro cuadrado, o C/m^2.

En general, la densidad de energía se mide en julios por metro cúbico, o J/m^3. Un julio es que es un Nm.

La fuerza electromotriz (FEM) con frecuencia se representa como la letra griega epsilon, ε. Los ingenieros y los electricistas tienden a utilizar E ó V, de manera que hay cierta confusión en los términos cuando uno cambia de una disciplina a otra. La FEM se denomina con frecuencia "potencial eléctrico" o voltaje.

Los circuitos de corriente alterna poseen fórmulas más complicadas, pero los conceptos esenciales son los mismos.

$A^{(0)}$

La letra "A" se utiliza para representar el campo de potencial electromagnético. $A^{(0)}$ se conoce como un coeficiente C negativo. Esto implica que posee simetría de carga y e^- es el electrón negativo. $A^{(0)}$ es el potencial fundamental, y se expresa en voltios-s/m; es decir, $A^{(0)}$ es fuerza de potencial x tiempo y por distancia.

Un culombio es aproximadamente igual a 6 x 10^{18} cargas de electrón, y un amperio es equivalente a un flujo de 6 x 10^{18} cargas elementales en un segundo.

El voltio es el empuje que existe detrás del flujo de corriente. Cuando la corriente no fluye y existe una diferencia en fuerza, el voltio mide la diferencia de potencial del campo eléctrico. Una fuerza de 1 Nm por culombio de electrones equivale a 1 voltio.

El campo eléctrico se escribe como E. E es la fuerza del campo eléctrico en voltios/ metro. Esto, en algunas ocasiones, se ve como cB.

"A" es igual a un metro multiplicado por B = V-s/m.

La definición oficial de campo magnético es una fuerza que "atraviesa" el espaciotiempo y afecta las cargas y otros campos magnéticos.

La fuerza de un campo magnético es una medida de amperios por metro, o A/m. Se expresa como B.

La unidad en el SI (Sistema Internacional) para el campo magnético es el tesla.

B es la densidad del flujo magnético en tesla. Un tesla = 1 N/A-m = kg/(A-s^2) = Wb/m^2 = J-s/C/m^2. (Esto equivale a fuerza por cantidad de corriente - tiempo al cuadrado).

ϕ es el flujo magnético, expresado en webers. Un weber (Wb) mide líneas de flujo magnético. Un weber = un voltio - segundo = 1 T-m^2 = J/C/m. A es un metro multiplicado por B = V-s/m.

Se requiere de algún tiempo para aprender las definiciones exactas de fuerza y electricidad. Baste decir, que $A^{(0)}$ es el campo de potencial electromagnético. $A^{(0)}$ es voltios-segundo/metro. Encontraremos con frecuencia este parámetro para pasar de la geometría a la física electromagnética, de la misma manera en que la ecuación R = kT de Einstein se utiliza para convertir de curvatura a física.

Para más información véase unidades SI en el Glosario.

Ecuaciones de Maxwell

Cuatro ecuaciones resumen todo el electromagnetismo clásico. Se les presenta aquí en su forma básica, y en una forma más completa en el Glosario bajo Ecuaciones de Maxwell.

1. Ley de Gauss para la carga eléctrica

Las líneas de campo eléctrico netas, o el flujo que pasa a través de una región cerrada es proporcional a la carga eléctrica neta Q contenidas dentro de dicha región.

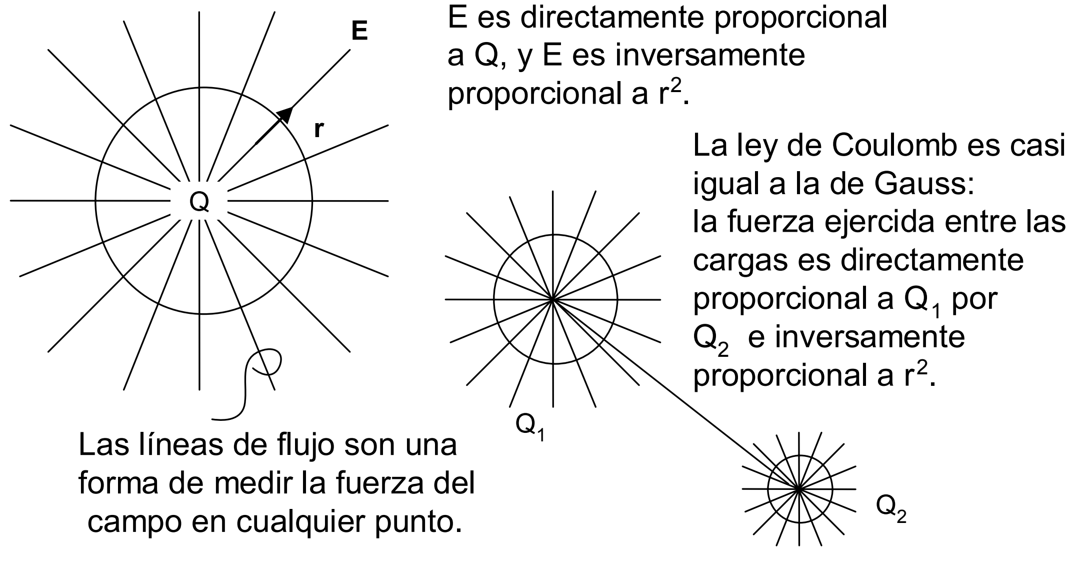
$$\nabla \bullet \mathbf{D} = \rho \qquad \text{Equivalente a la ley de Coulomb (} E = kQq/r^2 \text{)}$$

Esta ley probablemente se comprenda más fácilmente como la ley de Coulomb, $E = kQq/r^2$. La cantidad de flujo o líneas de fuerza en un punto es proporcional a una constante multiplicada por la cantidad de carga y es inversamente proporcional a la distancia desde el centro. Ésta es la regla de la inversa del cuadrado para la carga eléctrica. k es una constante de proporcionalidad. La ley de Coulomb es derivable a partir de la ley de Gauss. Véase la Figura 5-2.

La carga eléctrica es una propiedad asociada con los electrones, protones y sus antipartículas.

Dos cargas eléctricas ejercen una fuerza la una sobre la otra. Si ambas cargas poseen la misma polaridad (positiva o negativa) se repelerán entre sí. Si su polaridad es contraria, se traerán entre sí.

Figura 5-2 Ley de Gauss's para la Carga Eléctrica



Las líneas de campo de una carga eléctrica en un campo electrostático siempre terminan sobre otra carga. (O se van al infinito). La ley de Gauss de la electrostática establece que las líneas de flujo eléctrico comienzan sobre una carga positiva y terminan sobre una carga negativa. El espaciotiempo dentro del cual las cargas ejercen su fuerza es el campo electrostático.

2. Ley de magnetismo de Gauss

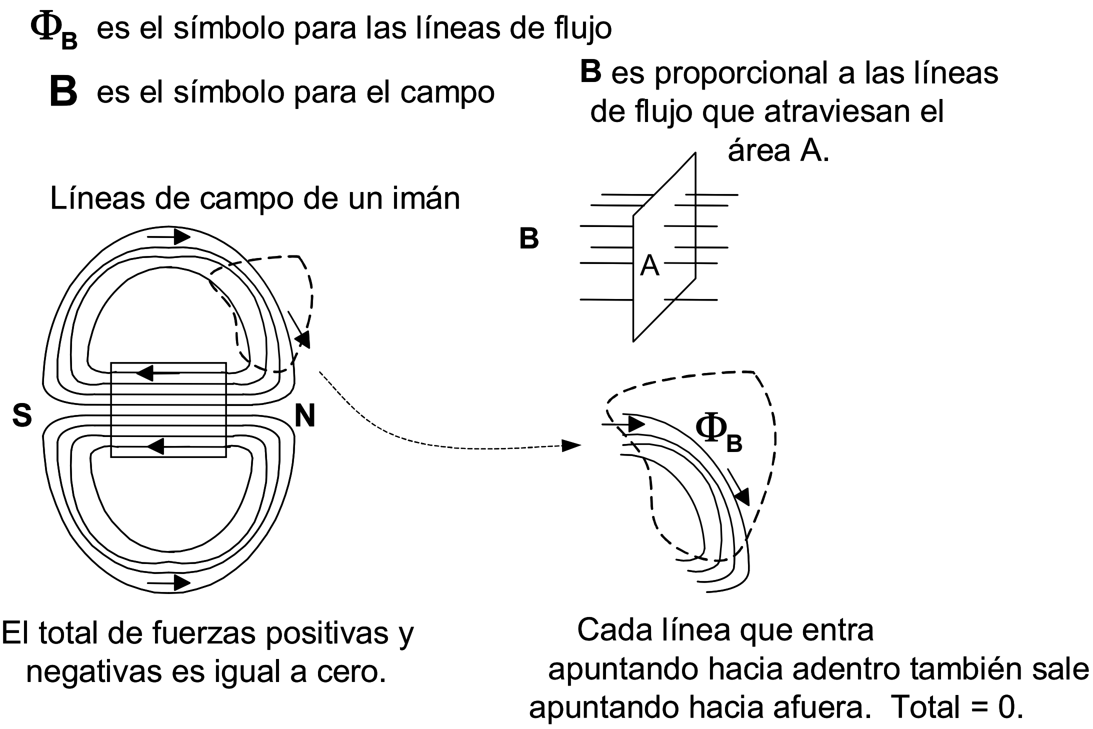
El flujo neto magnético que atraviesa una región cerrada es igual a cero. El número total de líneas de fuerza positivas y negativas son iguales.

$$\nabla \bullet \mathbf{B} := 0 \qquad \text{Ley de Gauss}$$

Otra forma de establecer esto es afirmando que las líneas de campo magnético, o el flujo magnético, forman ya sea círculos cerrados o terminan en el infinito, pero no tienen origen ni destino. Son líneas de campo magnético igualmente "positivas" y "negativas" que entran y salen de una región cerrada. Los términos "positiva" y "negativa" para las líneas de campo magnéticas sólo se refieren a la dirección de las líneas a través de una superficie cerrada.

Las líneas de flujo magnético nunca terminan.

Figura 5-3 Ley de Gauss para el Magnetismo



Esto significa que no existen los monopolos magnéticos - los imanes siempre tienen dos polos. Tampoco existen cargas magnéticas similares a las cargas eléctricas. El campo magnético que atraviesa una sección transversal A nos da el flujo magnético.

B se mide colocando un cable en un campo magnético y midiendo la fuerza ejercida sobre el cable **F** = I l x **B**, donde F es un Vector fuerza debido a la fuerza del campo magnético B, I es la corriente medida en amperios, l es la longitud del cable y **B** es el campo magnético.

El flujo magnético es proporcional al número de líneas de flujo que atraviesa el área bajo revisión. Véase la Figura 5-3.

3. Ley de Ampère

Un campo eléctrico cambiante genera un campo magnético

. $$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D}/\partial t$$ Ley de Ampère Maxwell

donde D es el desplazamiento eléctrico, J es la densidad de corriente y H es la fuerza del campo magnético.

Una fuente de voltaje empuja a la corriente a través del cable. Podría ser una corriente directa, que aumenta o disminuye su velocidad, o una corriente alterna que cambia su polaridad. En cualquier caso, el cambio en el campo eléctrico provoca que aparezca un campo magnético.

4. Ley de Inducción de Faraday

Un campo magnético cambiante genera un campo eléctrico. La fem[1] inducida en un circuito es proporcional al ritmo de cambio del flujo magnético en el circuito.

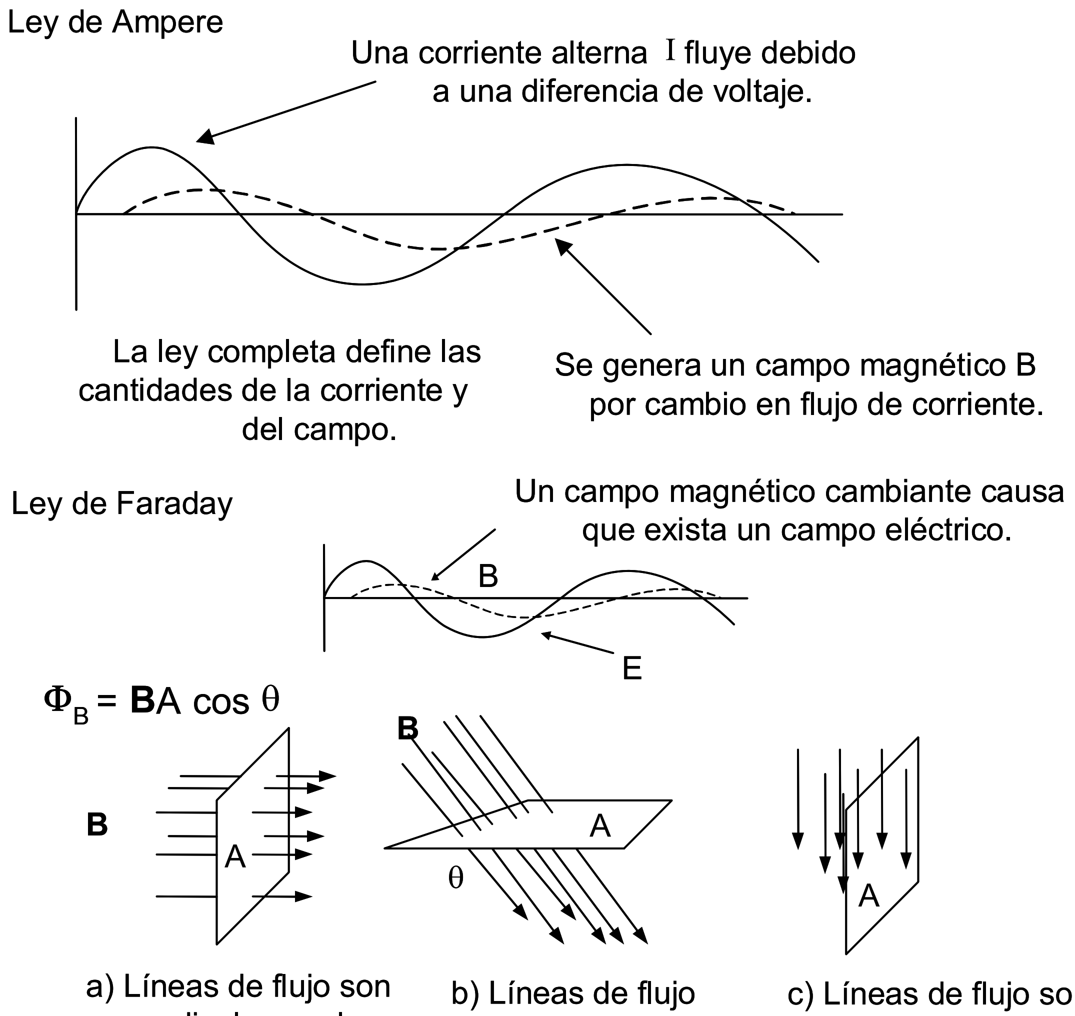
$$\nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B}/\partial t := 0$$ Ley de Faraday

en la Figura 5-4, la Ley de Ampère, los papeles desempeñados por los campos magnético y eléctrico pueden invertirse. Si un campo magnético cambia y las líneas de flujo tocan a los electrones en el cable, fluye corriente. La ley de Faraday nos da la

[1] C. del T.: fem significa "fuerza electromotriz".

fuerza de los resultados; sin embargo lo que aquí deseamos establecer es la implicación de que un cambio en el campo magnético provoca un campo eléctrico.

Figura 5-4 Leyes de Ampere y de Faraday



a) Líneas de flujo son perpendiculares a la superficie - máximo flujo a través de la superficie.

b) Líneas de flujo oblícuas a la superficie - menor flujo a través de la superficie.

c) Líneas de flujo son paralelas a la superficie. Mínimo flujo atraviesa la superficie.

Existen varias ecuaciones que permiten calcular valores reales para estos parámetros.

$\oint \mathbf{E} \cdot dl = -d\Phi_B /dt$, o expresado en términos de **B**,

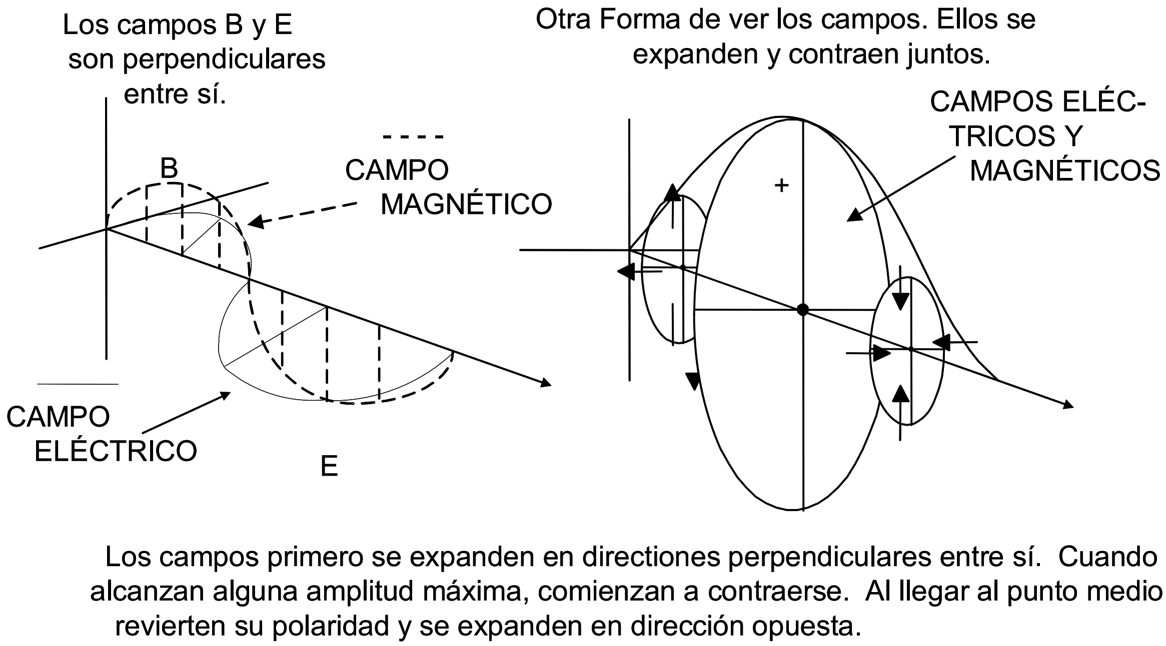
$$\oint \mathbf{B} \cdot dl = \mu_0 \, I_{cerrado} \mu_0 \, \varepsilon_0 \, d\Phi_E/dt.$$

No estaremos utilizando ecuaciones para la realización de cálculos.

La carga produce el campo eléctrico. La diferencia de potencial entre dos regiones se representará mediante la letra A - la cual no debe confundirse con la misma letra utilizada para representar el área. El campo magnético es B.

Una onda electromagnética del movimiento en el espacio se produce cuando se mantienen los campos B y E. el campo magnético provoca un campo eléctrico, la cual las urbes causa el campo magnético. El movimiento es perpendicular a ambos campos. Véase la Figura 5-5.

Figura 5-5 Campos Eléctricos (E) o Magnéticos (B) o Fotones en Traslación.



Los campos primero se expanden en directiones perpendiculares entre sí. Cuando alcanzan alguna amplitud máxima, comienzan a contraerse. Al llegar al punto medio revierten su polaridad y se expanden en dirección opuesta.

El concepto prevaleciente es que los campos magnético y eléctrico son entes sobreimpuestos al espaciotiempo.

las leyes son:

$\nabla \bullet \mathbf{D} = \rho$	Eléctrica de Gauss, Ley de Coulomb ($E = kQ/r^2$)
$\nabla \bullet \mathbf{B} := 0$	Ley Magnética de Gauss
$\nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B}/\partial t := 0$	Ley de Faraday
$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D}/\partial t$	Ley de Ampère Maxwell

Donde ∇ indica que el campo de potencial disminuye gradualmente a medida que nos movemos alejándonos del centro, **D** es el desplazamiento eléctrico, ρ es la densidad de carga, **B** la densidad de flujo magnético, **E** la fuerza de campo eléctrico, t es el tiempo, **H** es la fuerza del campo magnético, y **J** es la densidad de corriente. Véanse los campos en la Figura 5-6.

Ley de Newton de la gravitación

Una masa provoca una atracción que puede definirse como:

$$\mathbf{g} = \mathbf{F}/m \qquad (1)$$

g es la aceleración gravitacional, expresada en metros por segundo por segundo, o m/s^2. **g** y **F** son vectores, ya que tienen una componente direccional tanto como una magnitud. m es la masa expresada en kg.

La aceleración gravitacional, **g**, se define como la fuerza por unidad de masa experimentada por una masa, cuando la misma se encuentra dentro de un campo gravitacional

Esto puede expresarse como un gradiente del potencial gravitacional:

$$\mathbf{g} = -\nabla\Phi_g \qquad (2)$$

Donde Φ es el potencial gravitacional. Contiene todo la información acerca de campo gravitacional. La ecuación de campo es:

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G\rho \tag{3}$$

que es la ecuación de Poisson para los campos gravitacionales. Φ es el potencial gravitacional, G es la constante gravitacional de Newton, y ρ es la densidad de masa. ∇ nos dice que la fuerza disminuye con la distancia.

La fuerza puede expresarse como:

$$F = \frac{GMm}{r^2} \tag{4}$$

donde G = 6.67 x 10-11 Nm^2kg^{-2}. M y m son masas en kg, y r es la distancia expresada en metros entre los centros de gravedad, también conocidos como el centro de masa de las dos masas. G es simplemente un factor de conversión por las unidades utilizadas.

Un campo gravitacional es un campo de fuerzas alrededor de una masa que atrae a otras masas y es a su vez atraído por otras masas. Para fines prácticos, a bajos valores de masa y energía, esto resulta válido. Einstein demostró que la gravitación es de hecho curvatura; a altos valores de densidad de masa y energía, las reglas cambian. El concepto de campo permite que analicemos estas atracciones.

Esto puede expresarse como $\mathbf{g} = -\nabla\Phi_g$, como un gradiente de potencial. Una ilustración del campo gravitacional se incluye en la Figura 5-6. Cerca de la masa, en el centro, el campo es muy denso. A medida que uno se aleja, el campo se vuelve más tenue. La cantidad de atracción depende de la distancia r elevada al cuadrado. El campo es siempre negativo, lo cual significa que atrae o se dirige radialmente hacia adentro, hacia el centro de masa.

Los campos eléctrico y gravitacional utilizan una fórmula similar. Esto se explicará en las ecuaciones de Evans como provenientes del mismo proceso - el espaciotiempo simétrico. Evans nos muestra que las leyes de la inversa del cuadrado para la gravitación de Newton y para la electricidad de Coulomb se combinan dentro de una ley unificada de la inversa del cuadrado, que se origina a partir de la identidad de Bianchi de la geometría diferencial. Las dos leyes son, respectivamente:

$$\mathbf{F} = \frac{GMm}{r^2} \quad \text{ó} \quad \mathbf{F} = \frac{kQq}{r^2} \quad \text{(Ley de Coulomb)} \tag{5}$$

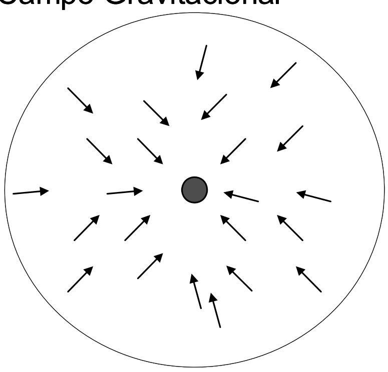
donde G y k son constantes de proporcionalidad, designadas con la letra griega fi, Φ en las ecuaciones de Poisson.

La Ecuación 5 establece que la atracción entre dos masas (*cargas*) es proporcional al producto de sus masas (*cargas*) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, r, que las separa. Esta identidad entre la gravitación y el electromagnetismo se explica a través de las ecuaciones de Evans como una curvatura simétrica y una torsión simétrica. La Figura 5-6 compara los campos eléctrico y gravitacional y el gradiente.

Figura 5-6 Campos

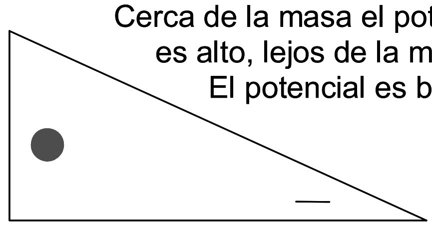
El campo gravitacional siempre atrae a todos los objetos. El campo Eléctrico puede atraer o repeler. Las similitudes indican que están relacionados.

Campo Gravitacional

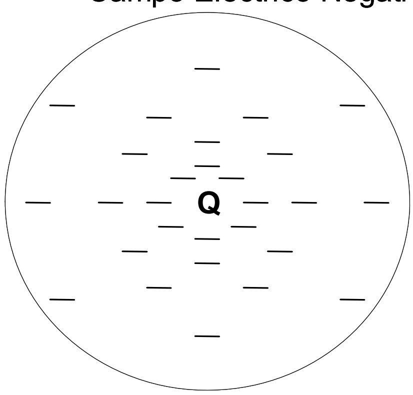


∇ Gradiente

Cerca de la masa el potencial es alto, lejos de la masa El potencial es bajo.

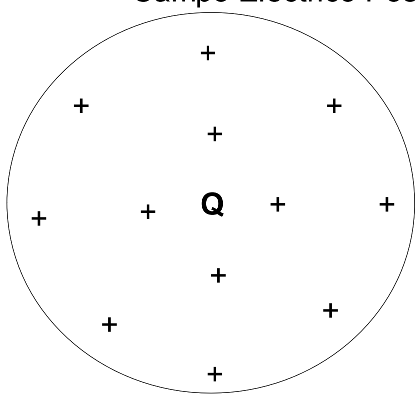


Campo Eléctrico Negativo



Atrae objetos positivos y rechaza objetos negativos.

Campo Eléctrico Positivo



Rechaza objetos positivos y atrae objetos negativos.

El laplaciano

∇^2 es una medida de la diferencia en el ritmo de cambio en el gradiente del campo eléctrico o de masa, comparado con el cambio en una pequeña región alrededor del mismo. Esta es una medida tridimensional. La forma ∇ nos da una idea de un cambio gradual en potencial, de un valor grande hacia uno pequeño, a medida que uno se aleja del valor tope.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial \mathbf{x}^2} + \frac{\partial^2}{\partial \mathbf{y}^2} + \frac{\partial^2}{\partial \mathbf{z}^2}$$

Véase la Ecuación (14).

Esta es una ecuación tridimensional y resulta incompleta tal como se la utiliza en relatividad especial, dado que no es covariante generalizada.

Ecuaciones de Poisson

La ecuación de Poisson parada los campos eléctricos es

$$\nabla^2\Phi = -4\pi\rho \qquad (6)$$

para campos eléctricos, Φ es el potencial eléctrico, ρ es la densidad de carga y la ecuación se expresa como: $\Phi = - \int \mathbf{E}\, ds$ o como $\nabla^2\Phi = - \rho_e / \varepsilon_0$, donde ε_0 es la permitividad del vacío, igual a 8.854 x 10-12 C^2/J-m. En el sistema cgs, Φ es el potencial eléctrico en voltios (o julios por culombio) y ρ es la densidad de carga en culombios. Los voltios son una medida de diferencia de potencial.

Para campos gravitacionales, la ecuación de Poisson es:

$$\nabla^2\Phi = 4\pi G\rho \qquad (7)$$

donde ϕ es el potencial gravitacional, G es la constante gravitacional y ρ es la densidad de masa.

∇^2 indica que el gradiente como tal se aleja de la masa central o la carga central y disminuye como el cuadrado de la distancia. Esto puede expresarse como que la intensidad de la fuerza de campo = Q / distancia elevada al cuadrado para campos eléctricos y m/r^2 para campos gravitacionales. Si a una distancia de un radio el campo es igual a 4 voltios, a dos radios de distancia será igual a 1 voltio.

La densidad de masa genera el potencial. Este es el punto de vista de la física de Newton. Las ecuaciones de Evans deben obtener este resultado cuando se aplica el límite débil – o sea una baja energía y una condición no relativista.

Nótese que $\nabla^2\Phi$ es la notación para un campo de potencial. Tanto la gravitación como el electromagnetismo se describen utilizando la misma notación.

La ecuación electrogravítica resulta a partir de la ecuación de onda de Evans. Evans nos muestra que $\mathbf{E} = \Phi^{(0)}\, g/c^2$ donde $\Phi^{(0)}$ es el potencial de Evans medido en voltios.

El problema con las ecuaciones de Poisson y de Newton es que se propagan en forma instantánea. Sólo son tridimensionales. Cuando se utiliza el operador de d'Alembert de cuatro dimensiones, los campos se propagan a la velocidad de la luz.

El operador de d'Alembert $\Box$

$$\partial^\mu \partial_\mu = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial^2 t} - \nabla^2$$

El operador de d'Alembert $\Box$ ó $\Box^2$ es el laplaciano, ∇^2, pero en cuatro dimensiones. Los signos son reversibles. (Existe una tendencia segunda cual los físicos utilizan el símbolo $\Box$, en tanto que los matemáticos prefieren utilizar el símbolo $\Box^2$).

Este es un operador diferencial utilizado típicamente en electromagnetismo - opera sobre otras ecuaciones sin destruirlas. Véanse las ecuaciones (11) y (12) en el capítulo previo.

Es un invariante de Lorentz y puede expresarse como $\partial_\mu \, \partial_\nu \, \eta^{\mu\nu}$. Es una versión en cuatro dimensiones del gradiente.

Sus componentes existen en el universo real, la variedad base o el marco de referencia real. Los tensores y vectores que utilizamos para transferir componentes desde un marco de referencia a otro son objetos geométricos covariantes.

Por ejemplo, si tuviésemos un cubo con caras iguales y que pesa 10,000 kg y que descansa sobre la superficie terrestre. Si lo movemos a un sitio cercano al horizonte de evento[2] de un agujero negro, cambiará su forma y su peso y su valor hipotecario. ¿Cómo puede ser que el peso y la forma y el costo resulten básicos si cambian en función del espaciotiempo? Esto no puede ser así.

Utilizando las matemáticas podemos hallar las cualidades reales inherentes al "cubo". Se describe mejor como un objeto geométrico. Utilizando vectores base, establecemos las dimensiones en los objetos. Entonces, utilizando cálculo tensorial, podemos hallar las nuevas dimensiones cuando se le mueve. Estas son múltiplos de los vectores base, pero las componentes que medimos desde afuera del horizonte de evento de alta gravitación resultan diferentes de aquellas medidas desde dentro del mismo.

Dependiendo de la densidad de energía del marco de referencia, es probable que nuestra casa de cubo se habrá de estirar en aquella dimensión que apunte hacia el agujero negro. También habrá cierta compresión lateral. Como resultado, acabamos con un objeto cuya forma se asemeja más a un alto pastel, con dimensiones más pequeñas cerca del horizonte si comparamos éstas con aquellas en el extremo más alejado del mismo. Esta es la imagen desde afuera - "desde el infinito". Sin embargo, desde dentro del cubo, las dimensiones vistas por un observador que se mueve junto al cubo siguen siendo aquellas de un cubo. Sus instrumentos de medición también han cambiado.

El peso es arbitrario, dependiendo del campo de gravitación. Por lo tanto, no lo utilizamos. En vez, utilizamos la masa. La masa no cambia. Se trata de un objeto geométrico físico invariante, básico, real. Ambos observadores verán la misma cantidad de masa - energía - dentro del cubo.

Estamos buscando descripciones de eventos físicos independientes de los marcos de referencia. Esos son "irreductibles". Son la realidad en la física. Las componentes son la descripción que experimentamos, y éstas pueden variar.

---

[2] C. del T.: Se denomina como horizonte de evento a aquella distancia desde un agujero negro a partir de la cual ya no es posible alejarse del mismo.

Ecuaciones de Einstein

Einstein nos dio esta ecuación básica de campo:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \tfrac{1}{2} g_{\mu\nu}R = 8\pi T_{\mu\nu} \qquad (8)$$

donde $G_{\mu\nu}$ es el tensor de Einstein, $R_{\mu\nu}$ es el tensor de Ricci, derivado a partir del tensor de Riemann; R es la curvatura escalar, también derivada a partir de Riemann; $g_{\mu\nu}$ es el tensor métrico y $T_{\mu\nu}$ es el tensor de momento de energía de tensión. $g_{\mu\nu}$ ocupa el sitio de Φ en relatividad general. La densidad de masa es p y es parte de la ecuación que da como resultado T. La densidad energía es $T_{00} = mc^2$ /volumen en el límite de campo débil - es decir potencial gravitacional muy bajo o velocidad baja.

$G_{\mu\nu}$ nos da la curvatura promedio de Riemann en un punto. Es difícil de resolver, con sus 10 ecuaciones independientes simultáneas y sus seis incógnitas, para el caso de la gravitación.

Sin la presencia de masa-energía (o en forma equivalente, con una velocidad cercana a cero), o sea en el límite débil, las ecuaciones se reducen a las ecuaciones de Newton. Excepto para los casos cercanos a estrellas o cerca o dentro de partículas, las leyes de Newton funcionan bien. Las ecuaciones de la relatividad general se reducen a las ecuaciones de relatividad restringida cuando sólo se considera la velocidad - energía de momento. Las ecuaciones de Evans nos muestran que R = -kT aplica para todos los campos de materia y radiación, no sólo para la gravitación. Esta fue la meta no alcanzada por Einstein.

La R es la forma del espaciotiempo. La T es materia o la densidad energía.

$$R = -kT$$

R *es geometría* T *es física*

k *es un factor de conversión*

$G = 8\pi T$ es la ecuación básica. Hay varias formas para expresar esto. $R = -kT$ es el postulado básico a partir del cual se deriva. $G = 8\pi T$ nos dice que estamos tratando con un volumen circular o curvatura.

El punto importante aquí es que la curvatura del espaciotiempo resulta a partir de la presencia de masa, energía, presión o de la gravitación misma. El espaciotiempo curvo es energía. En términos más mecánicos, la curvatura es compresión en las cuatro dimensiones. Energía es compresión; fuerza es la expansión de la compresión.

Todo esto resulta un poco vago en virtud de que no podemos definir el espaciotiempo en términos mecánicos que nos resulten más familiares a partir de nuestras observaciones cotidianas. Es curvatura, pura y simple. En relatividad general, el tiempo se trata como una cuarta dimensión espacial. En algunos cálculos, en particular dentro de un horizonte de un agujero negro, el tiempo y el espacio pueden intercambiar sus papeles. El tiempo, X_0 , en nuestras ecuaciones, deviene una dimensión espacial definida, mientras que X_1, una distancia, deviene temporal.

Aún no contamos con un agujero negro de prueba para verificar nuestros cálculos, pero la relatividad general ha demostrado ser capaz de predecir correctamente muchas observaciones, de manera que confiamos en nuestras ecuaciones. Algo extraño sucede con el espaciotiempo dentro de los agujeros negros reales.

Todas las multiplicaciones en la ecuación de Einstein son productos punto - externos. Los productos punto y externos producen relaciones simétricas. Estos productos describen fuerzas centrales, distancias y gravitación tal como se describe en la Figura 5-6.

Los productos cruz en tres dimensiones y el producto cuña en cuatro dimensiones producen relaciones antisimétricas. Estos productos describen giros, porciones y fuerza de palanca de las cantidades utilizadas.

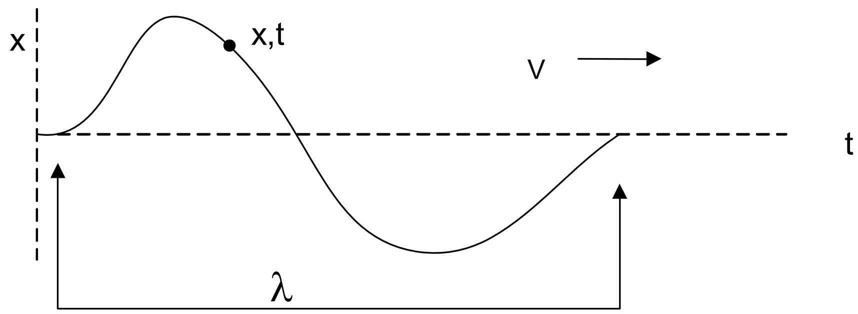
Ecuaciones de onda

La letra romana “y” es la letra griega psi, Ψ. Ψ se utiliza típicamente para indicar una función de onda de las variables x y t - posición y tiempo. $\Psi(x,t)$ = una onda en movimiento. Tendrá una función coseno junto con la velocidad y el tiempo, así como longitud de onda y posición. Esto se representa como v, t y λ , x. La onda se parece a la ilustrada en la Figura 5-7.

Esto se debe a que la posición (Ψ) es una función de la velocidad y de la aceleración, $\partial^2\psi / \partial t^2$.

Permite el cálculo de la posición de x y t. Una vez conocida la ecuación que produce la curva, introducimos los números, efectuamos algunos cálculos y brotan las respuestas.

Figura 5-7 Función de onda



Una senoidal mostrando x, v, λ y t.

La ecuación de onda unidimensional es una ecuación diferencial parcial:

$$\nabla^2\psi = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} \qquad (9)$$

Longitudes de onda de Compton y de de Broglie

La longitud de onda de de Broglie se define como aquella perteneciente a una partícula, y la longitud de onda correspondiente de Compton es la de un fotón.

La *longitud de onda de Compton* se obtiene haciendo rebotar un fotón contra una partícula, y al efectuar cálculos utilizando el ángulo de dispersión obtenemos la longitud de onda. Esta longitud de onda es fundamental para la masa de la partícula y puede definir su valor. Véase la Figura 5-8.

La longitud de onda de Compton es:

$$\lambda_c = h / m_e c \qquad (10)$$

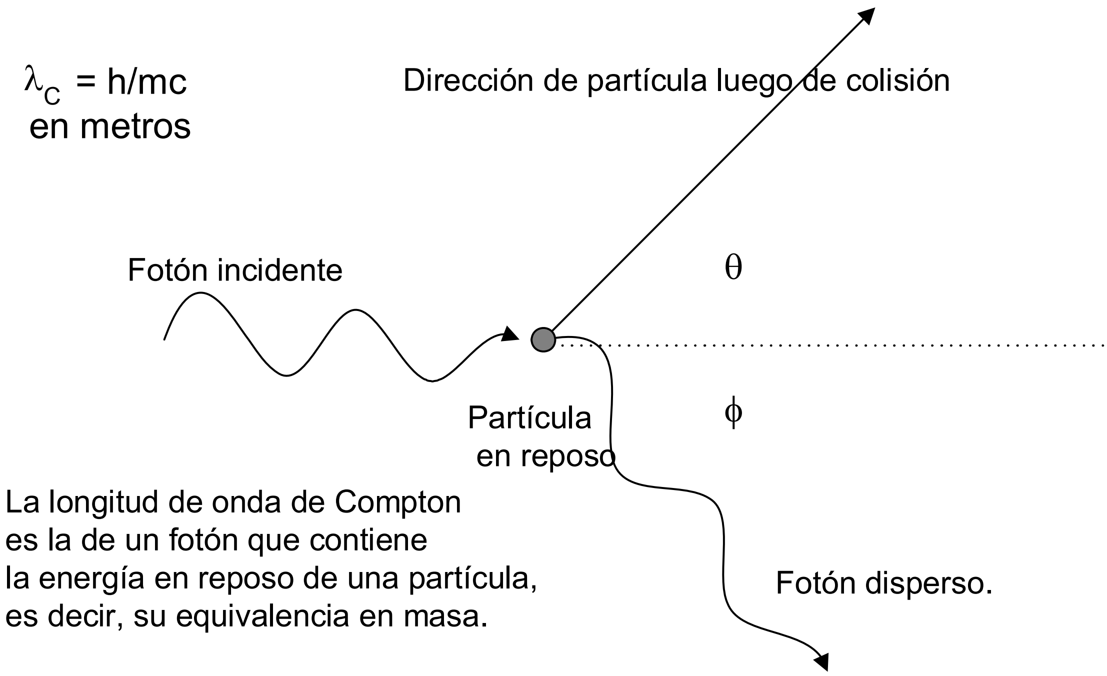
donde h es la constante de Planck, la masa m_e es la del electrón (podría ser también una partícula diferente), y c es la velocidad de la luz.

Cuando la longitud de onda de Compton es la de un fotón, la *longitud de onda de de Broglie* es aquella de una partícula. En lugar de $\lambda_c = h / m_e c$,la longitud de onda de de Broglie es:

$$\lambda_{de\ B} = \lambda = h/p = h/mv \qquad (11)$$

donde h es la constante de Planck, m es la masa de cualquier partícula y v es la velocidad. La longitud de onda $\lambda_{de\ B}$ se relaciona con su momento p = mv en exactamente la misma forma como para un fotón. Establece la dualidad esencial onda-partícula y las relaciona.

Figura 5-8 Longitud de onda de Compton



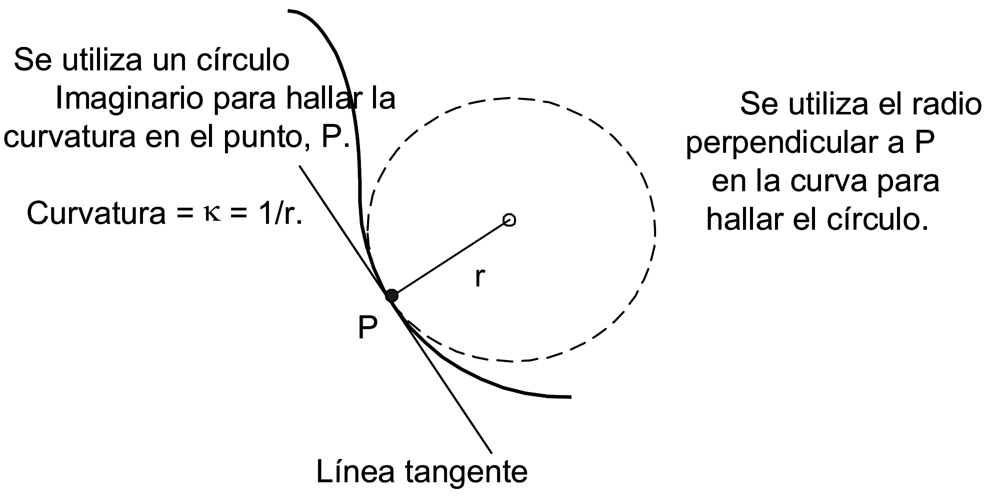
Nótese que la partícula posee una muy alta frecuencia y, en consecuencia, una longitud de onda muy corta. Según la teoría una partícula se supone que podría ser una onda estacionaría con una energía de frecuencia altamente comprimida, no una pequeña esfera sólida. La frecuencia es invariante. Es el concepto dominante y la longitud de onda resulta a partir de la frecuencia.

La longitud de onda de Compton se relaciona directamente con la curvatura de la partícula mediante la ecuación:

$$\lambda_c = 1/\,\kappa_0 \tag{12}$$

definimos a λ_c también como el número de onda; véase el Glosario. $\kappa = 1/r$ entonces la curvatura es $R = \kappa^2 = 1/r^2$. La curvatura R se mide entonces en unidades de $1/m^2$ o m^{-2}. Esto se utiliza con frecuencia en la obra de Evans. Véase la Figura 5-9.

Figura 5-9



Ecuación de Schrödinger

Hay varias formas en las que esto puede expresarse.

$$\frac{\hbar^2}{2\,m}\nabla^2\,\phi = -\,i\,\hbar\,\frac{\partial\,\phi}{\partial\,t} \tag{13}$$

Aquí, $\hbar = h / 2\pi =$ constante de Planck/ $2\pi = 1.05 \times 10^{34}$ julio-segundo; $\hbar$ es también conocida como la constante de Dirac. m es la masa de una partícula, $i = \sqrt{-1}$, ∂ es el símbolo de una diferencial parcial, y su empleo aquí nos dice que se trata esencialmente del ritmo de cambio de ϕ con respecto al cambio del tiempo.

∇^2 es el operador laplaciano en tres dimensiones:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \tag{14}$$

ϕ también se representa con frecuencia como ψ. Es la función de onda. En teoría cuántica, ψ^2 se utiliza para hallar la probabilidad de una energía, una posición, un tiempo, un momento angular. Aún cuando hay mucha matemática más allá del nivel en el que estamos trabajando, el concepto importante aquí es que la mecánica cuántica es, por naturaleza, estadística. No podemos hallar el valor exacto - sólo un promedio. Sin embargo, podemos afirmar que si realizamos un experimento y observamos, digamos, 100 resultados, 40 de ellos serán afirmativos y 60 serán negativos. O podemos afirmar que la ubicación de una partícula se extiende sobre un área y nunca está en una sola ubicación. 1% del tiempo se encuentra en la posición X1, 1% del tiempo se encuentra en la posición X2, 1% del tiempo se encuentra en la posición X3,... y 1% del tiempo se encuentra en la posición X100.

En relatividad general este enfoque estadístico no resulta aceptable. Evans demuestra que la mecánica cuántica emerge a partir de la relatividad general y que la naturaleza estadística resulta inconsistente.

Einstein nunca aceptó las interpretaciones probabilísticas cuánticas, aún cuando ayudó a establecer el concepto del cuanto. Su naturaleza probabilística no se ajustaba con la relatividad.

Las implicaciones de la ecuación de onda de Evans y la interpretación de las probabilidades aún no han sido exploradas al momento de escribir estas líneas. Estas probabilidades han sido muy exactas. La interpretación de la mecánica cuántica ha sido ampliamente discutida a lo largo de los años y resulta un tema interesante en sí mismo, el cual sin duda será interpretado a la luz de la obra de Evans.

∇^2 mide la diferencia entre el valor de un punto escalar y el promedio en la región de ese punto. En la ecuación de Schrödinger, el valor es proporcional al ritmo de cambio de la energía con respecto al tiempo.

Ecuación de Dirac

Esta es una versión relativista de la ecuación que Schrödinger en tres dimensiones espaciales y una temporal ("3+1"). Predice la existencia de antipartículas. Puede expresarse correctamente en varias formas diferentes.

La ecuación de Dirac en su forma original es:

$$(i \gamma^{\mu} \partial_{\mu} - mc/\hbar) \psi = 0 \qquad (15)$$

$i = \sqrt{-1}$, γ^{μ} es la matriz de espino tensores de Dirac, m es la masa, c es la velocidad de la luz, y $\hbar = h / 2\pi$, ψ es la función de onda. Un espino tensor puede imaginarse como una especie de raíz cuadrada de un vector. La matemática proviene de los conceptos de rotaciones[3]. La ecuación de Dirac puede obtenerse a partir de la relatividad general utilizando las ecuaciones de Evans[4].

---

[3] Véase *Chapter 41 Spinors* en Gravitation por Misner, Thorne y Wheeler, así comootras fuentes en Internet.

[4] De un correo electrónico del Profesor Evans: "La derivación de la ecuación de Dirac a partir de la Ecuación de Onda de Evans" (Found. Phys. Lett., presentado, y en www.aias.us)la ecuación de Dirac se presenta como la ec. (91), y la ecuación de Dirac en la forma de Klein Gordon como la ec. (90), la cual se deriva de la ec. (91). Escribiré todos los detalles y colocaré en www.aias.us, porque en un principio son difíciles, aun para un físico profesional. Sin embargo, luego de cierta práctica, la notación se vuelve más fácil de utilizar. La ecuación de Dirac en la forma de Klein Gordon aparece como el límite en un espaciotiempo plano de mi ecuación de onda, cuando el vector de la métrica se representa en forma espinotensorial en SU(2)."

Se ha supuesto en el pasado que aún cuando la ecuación de Dirac es correcta, no puede mostrarse. Esta situación ya no es el caso. La ecuación de Dirac puede derivarse a partir de la relatividad general utilizando las ecuaciones de Evans. Ello significa que la información revelada por medio de la ecuación de Dirac es de hecho un subconjunto de aquello contenido en las ecuaciones de Evans y de la relatividad general. La teoría cuántica emerge a partir de la relatividad.

Matemáticas y física

Hasta cierto punto, la física es matemática. Observamos tanto en Einstein como ahora con Evans que ambos afirman que la geometría diferencial es física. Sin embargo, algunas ecuaciones son más físicas que otras. Es necesario descubrir cuáles ecuaciones son físicas.

Por ejemplo, podemos afirmar que 0 = 0 (16)
y luego que 0 = +1-1 (17)

Estas dos ecuaciones son matemáticamente correctas. Si permitimos que las matemáticas permanezcan del lado izquierdo del signo de igualdad en la ecuación (16) y permitimos que la física permanezca del lado derecho de la misma, podemos afirmar que la suma de la energía en el universo sería cero. Entonces postulamos algún evento o condición que permite que el lado derecho sea +1-1, obteniendo así la ecuación (17).

El universo parece cumplir con 0 = +1-1. Hasta ahora hemos visto que toda la creación es un balance entre positivo y negativo, derecha e izquierda, arriba y abajo, etc.

Sin embargo, se puede necesario un ansatz (postulado o conjetura) para llevarnos desde cero hasta uno menos uno - es decir, desde nada hasta dos sumas que suman nada. Esta conversión de las matemáticas a la física constituye un misterio. Se necesita de alguna definición, evento u otra clase de suceso desconocido para movernos de las matemáticas a la física. La constante K de Einstein, y veremos más adelante que la constante A (0) de Evans, cumplen este propósito.

Aún cuando este autor teme discutir con Einstein o Evans, pareciera más lógico que la matemática procediera a partir de la física. Dada alguna razón inexplicable de la existencia, las matemáticas debieran estar metidas dentro de la misma. Estamos hallando la relación entre ellas. Las barreras matemáticas nos dan herramientas para el descubrimiento, pero es difícil de comprender cómo las matemáticas precedieron a la física - un asunto menor a esta altura de los acontecimientos.

Resumen

Este es otro capítulo difícil, particularmente para el lego en la materia. Sin embargo, para cualquiera que desea comprender la relatividad general y las ecuaciones de Evans, se vuelve necesario al menos familiarizarse con este vocabulario.

Una familiaridad superficial resulta suficiente para una comprensión básica. Si uno observa la ecuación (13) la misma resulta bastante atemorizante a primera vista. Además, para el profesional, requiere de mucho trabajo para resolverse. Sin embargo, uno puede observar las partes y ver que hay muchas constantes y dos números, t y x, dada ψ, la probabilidad.

No es necesario ser capaz de resolverla para darse cuenta de cómo se utiliza.

Las Figuras 8 y 9 son las más importantes para ser comprendidas. La longitud de onda de Compton y la curvatura son conceptos que serán utilizados en algunas importantes ecuaciones de unificación.

Si uno elige el estudiar los documentos de Evans en el sector electromagnético de la física, entonces las referencias en los sitios de la red de Internet, o un buen libro de física a nivel universitario se vuelven necesarios.