

# **Las ecuaciones de Evans de la teoría del campo unificado**

Laurence G. Felker

## **Capítulo 3**

**Responsable de la traducción al castellano:**

**Ing. Alex Hill  
ET3M  
México**

**Favor de enviar críticas, sugerencias y comentarios a [alexhill@et3m.net](mailto:alexhill@et3m.net)**

**o visitando la página [www.et3m.net](http://www.et3m.net) y dejando allí su comentario.**

**Gracias.**

## Capítulo 3 Teoría cuántica

Puedo afirmar con bastante seguridad que nadie comprende la mecánica cuántica... no continúe diciéndose a sí mismo, "¿pero cómo es que puede ser así?" Nadie sabe por qué puede ser así.

Richard Feynman

### Teoría cuántica

La teoría cuántica<sup>1</sup> incluye a la mecánica cuántica que es la fundación, la electrodinámica cuántica que incluye fenómenos electromagnéticos, y la cromodinámica cuántica que agrega la teoría de color del quark. La mecánica cuántica es el estudio de partículas básicas, fotones, electrones, y del vacío a los niveles atómicos más pequeños. Entre aquellas cosas que, hasta el momento, la relatividad ha sido incapaz de describir, a diferencia de la mecánica cuántica, son los paquetes cuánticos de energía, la dualidad de existencia partícula-onda, y el momento angular (espín) de las partículas.

El modelo aceptado sostiene que las partículas están compuestas por quarks y gluones más pequeños, y que a los niveles más pequeños la existencia adquiere una naturaleza probabilística. Esto no ha sido demostrado y el desarrollo de Evans en el campo de la relatividad general indica lo contrario. Evans demuestra que la curvatura y la torsión son las formas matemáticas esenciales y suministra un marco teórico para experimentos que han demostrado que el principio de incertidumbre de Heisenberg no es exacto.

Evans no rechaza la teoría cuántica, simplemente demuestra que la misma emerge a partir de la relatividad general y que, a partir de unos pocos cambios paradigmáticos, se produce la unificación.

De la misma manera en que la relatividad cambió el punto de vista de la física y de la filosofía natural acerca de la naturaleza de la existencia, la teoría cuántica tuvo un impacto aún mayor.

---

<sup>1</sup> Entre aquellos que contribuyeron al desarrollo de la teoría cuántica podemos incluir a Planck y Einstein para su origen, pero especialmente a Bohr, Born, Schrödinger, Heisenberg, Hilbert, Dirac, Compton, Pauli y de Broglie.

La teoría cuántica ha desarrollado la habilidad matemática para realizar las predicciones más precisas, en cuanto a los resultados de experimentos referidos a la interacción mutua entre partículas, electrones, fotones, fuerzas, masas, moléculas, y de la polarización del "vacío".

Cuando se trata con lo muy pequeño, se vuelve necesario visualizar su tema principal mediante abstracciones y matemáticas. Sabemos que los dibujos que hacemos no son reales, pero vivimos en el mundo grande con infinitas partículas amontonadas y mantenidas juntas mediante fuerzas que conforman nuestro ambiente, nuestros cuerpos y nuestras mentes. Resulta imposible efectuar un dibujo de un fotón; para explicarlo sólo podemos utilizar abstracciones. En algunas ocasiones el fotón está viajando, digamos desde esta página al ojo del lector. En otras ocasiones se encuentra "dentro" de un átomo, habiendo chocado contra un electrón, excitándolo y en donde se mantiene convertido en masa de espaciotiempo.

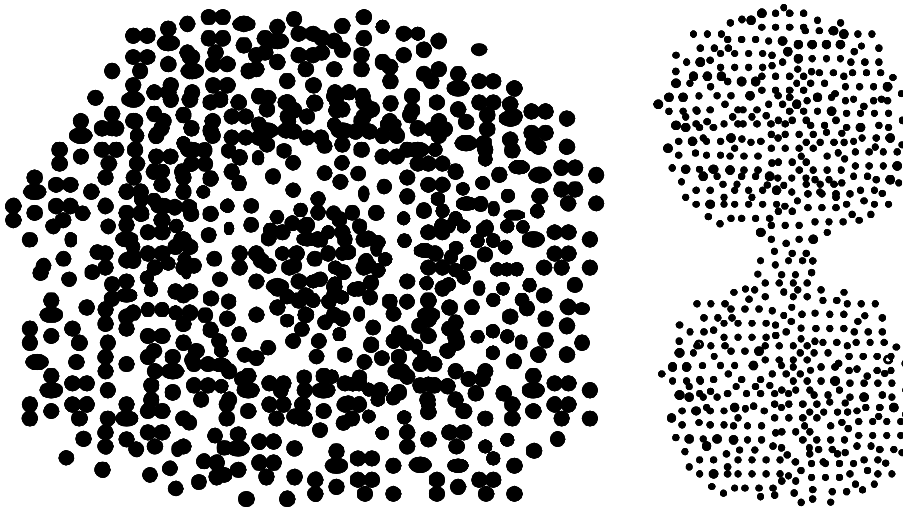
Mientras estudiaba el problema del cuerpo negro, Max Planck descubrió que la energía se encuentra distribuida en paquetes muy pequeños pero discretos,  $h$ . Cuando medimos una temperatura, la vemos como un continuo. La lectura de ésta podría ser  $69.004^{\circ}\text{F}$  ( $20.588^{\circ}\text{C}$ ) ó  $69.005^{\circ}\text{F}$  ( $20.558^{\circ}\text{C}$ ) en un punto del espacio. Nuestras mediciones en gran escala nos muestran que podría producirse un intervalo completamente continuo de temperaturas. Sin embargo, a escala muy pequeña, se descubrió que existe un límite. Al nivel de las estructuras o sistemas individuales en la naturaleza, los cambios sólo pueden producirse mediante incrementos o decrementos discretos de energía. La cantidad de energía que se requiere para que un sistema se modifique constituye una cantidad discreta, la cual varía de un estado del sistema a otro estado y de un sistema a otro sistema. Las cantidades discretas más pequeñas de energía se denominan "cuantos" de energía. Esto se publicó en 1899, pero la nueva constante que inventó Planck,  $h$ , permaneció casi desconocida hasta 1905, cuando Einstein la utilizó para explicar el efecto fotoeléctrico. Los nuevos agregados a la teoría se dieron lentamente hasta la década de los 20s y de los 30s, cuando quedó bien establecida. Aún cuando fue uno de los fundadores de los principios básicos de la teoría cuántica, Einstein nunca aceptó las interpretaciones probabilísticas que luego se desarrollaron.

Existe una cantidad de conceptos básicos que subyacen a la teoría cuántica.

1. El cuanto de energía. La hipótesis cuántica de Planck, en lo referente a que toda la energía viene en paquetes, es bien recibida. El fenómeno se observa en todas las transmisiones de energía. El cuanto es igual a  $h$ . Todos los cambios deben ser múltiplos enteros de  $h$ .
2. La dualidad onda-partícula de los fotones y partículas queda bien establecida. Los fotones y toda la materia poseen propiedades que en el mundo de mayor escala pertenecerían ya sea al mundo de las ondas o de las partículas. Las ondas se esparcen, en tanto que las partículas ocupan un único lugar. (Einstein afirmaba, y ahora Evans y otros muestran, que la dualidad es simultánea. El modelo establecido supone que no son ni onda ni partícula hasta que ocurre una interacción, y a partir de ese instante devienen ya sea una onda o partícula, pero nunca ambos.)
3. Se vuelve necesario simplemente aceptar que, por debajo del nivel atómico, la naturaleza de las cosas se vuelve una dualidad. Es una simplificación extrema, pero en general los fotones viajan como ondas e interactúan como partículas. Véanse las Figuras 3-1 y 3-2.

4. La energía y el momento se relacionan a través de su frecuencia, mediante  $E = nhf$ . Es decir, energía = cualquier número entero multiplicado por  $h$  y multiplicado por la frecuencia.
5. Utilizando la ecuación de Einstein  $E = mc^2$  y la ecuación de Planck  $E = hf$ , uno puede establecer que  $mc^2 = hf$ . (En términos de radianes, lo anterior a menudo se expresa como  $E = h\nu$ ). Entonces  $m = hf/c^2$ . Esta es la dualidad entre masa y energía. La partícula se encuentra del lado izquierdo de la igualdad mientras que a la derecha de la igualdad se expresa como una onda con frecuencia.
6. Un "estado" de una partícula es toda la información necesaria para describirla. La energía (masa), velocidad, espín, y posición se cuentan entre los parámetros que definen dicho estado. La ecuación de Schrödinger se utiliza para predecir estas cosas a nivel atómico. Los teóricos cuánticos aceptan cierto grado de variedad en el estado; lo relativistas, en cambio, creen que es posible una explicación más causal.

Figura 3-1 Probabilidad de Ubicación de Electrones.



Uno suele preguntarse dónde se encuentra un electrón dentro de un átomo. La mecánica cuántica cree que no posee una localización específica. Un electrón es en realidad una nube. Hay distribuciones probabilísticas definidas para un electrón en un átomo. El electrón no está en un lugar, sino que está esparcido; es más probable que se encuentre en algunas regiones que en otras. Las regiones donde es más probable que se encuentre son bastante uniformes, pero el electrón probablemente no sea una pequeña esfera de electricidad; más bien se trata de un potencial difuso, localizado sólo aproximadamente, que posee varios números que pueden asignarse para utilizarlos en la predicción de su comportamiento. Es cuántico, pero no es un objeto discreto como uno podría hallar en el mundo macroscópico que nos muestran nuestros sentidos inmediatos. Véase la Figura 3-1 para observar sólo una de muchas distribuciones probabilísticas electrónicas. ( se muestran  $|\psi_{100}|^2$  y  $|\psi_{210}|^2$  ).

La naturaleza estadística de la teoría cuántica siempre ha preocupado a algunos físicos. Un enfoque es que dadas las áreas tan pequeñas donde opera esta teoría, no debiera sorprendernos que no podamos predecir su localización con precisión. Estamos observando el vacío, los fotones, y los electrones que son de un tamaño de  $10^{-15}$  cm, mediante equipos físicos de medición que son miles de veces más grandes - es por ello que utilizamos las matemáticas, las cuales pueden penetrar más

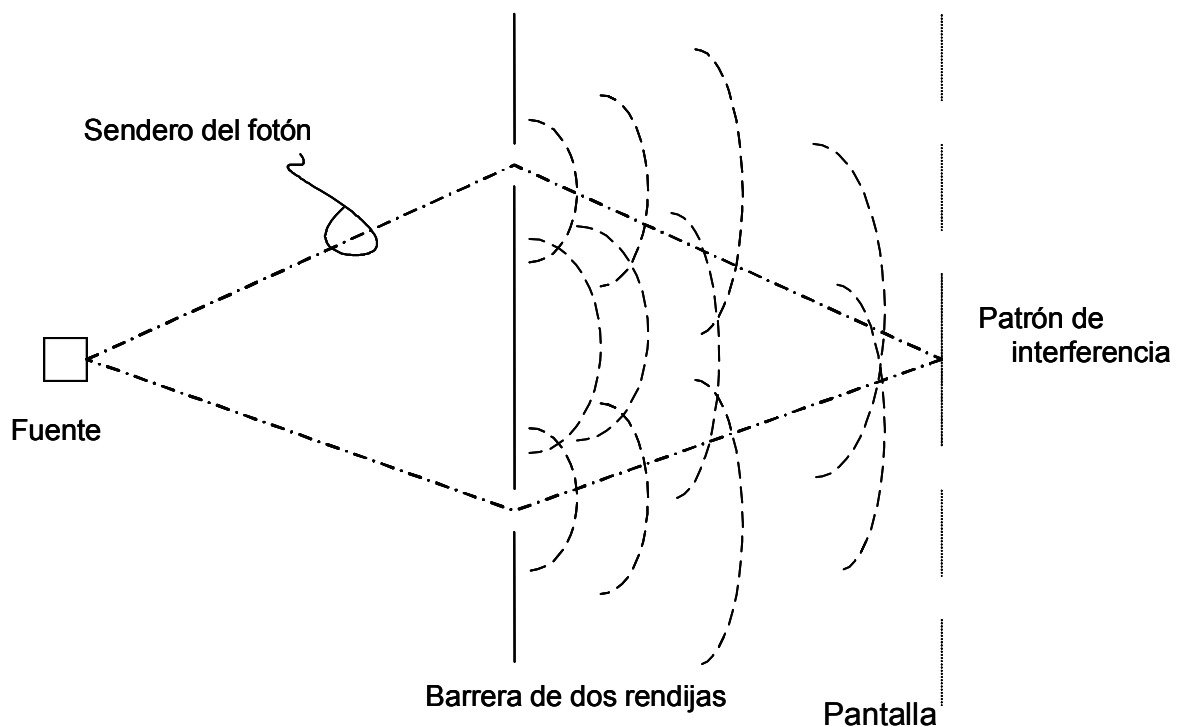
en el detalle. Es como si intentásemos estudiar la masa y trayectoria de una bolita luego de dejarla caer desde un rascacielos, permitiendo que rebotase una vez, y sólo entonces observarla utilizando una lupa. Resulta sorprendente que hayamos alcanzado la exactitud que de hecho hemos logrado.

El significado de la mecánica cuántica se ha discutido a través de los años, siguiendo los esfuerzos de los físicos y de los filósofos en sus intentos para descifrarla. Einstein nunca la aceptó como completa. Las ecuaciones de Evans indican que estaba en lo correcto.

Otro punto de vista es que a los niveles más pequeños, las partículas están saltando un poco y cambian de posición aproximadamente cada  $10^{-44}$  segundos (el tiempo mínimo de Planck). Mientras tanto, nos encontramos aquí arriba, por encima de miles de millones de millones de acciones similares que operan nuestros cerebros e instrumentos, de manera que sólo puede efectuarse una medición estadística.

Figura 3-2 Experimento de la doble rendija.

El fotón viaja como una onda, sufre de interferencia como las ondas, e interactúa con la pantalla en forma discreta, localizada, como una partícula.



Estos dos últimos párrafos no son aquello que en la Escuela de Copenhague se quería significar al utilizar el término "probabilística". La Escuela de Copenhague representa el punto de vista de aquellos teóricos cuánticos que creen que *la naturaleza misma del espaciotiempo es inherentemente probabilística*. Esto resultó la interpretación más común de los experimentos realizados en física básica y en la realidad. Se considera a la luz como formada por partículas y ondas de *probabilidad*. En contraste, la escuela de Einstein-de Broglie consideró a la luz como ondas y partículas simultáneas. Sin embargo, no definieron qué son las ondas y las partículas;

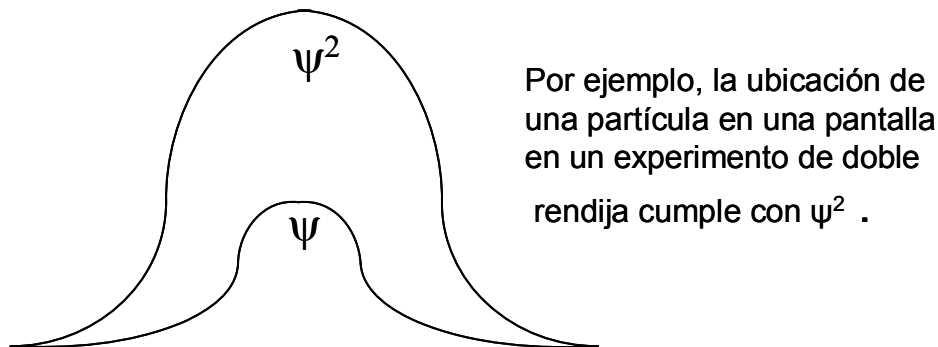
Evans las define como tiempo. Esta interpretación es causal, y por ende opuesta a la probabilística.

## Ecuación de Schrödinger

Una ecuación diseñada por Erwin Schrödinger nos da  $\psi(r, t)$  = función de  $i$ ,  $\hbar$ ,  $r$ ,  $t$ , y  $m$ .  $\psi(r, t)$  es la función de onda de una partícula definida sobre el espacio  $r$  y el tiempo  $t$ . Si esta función se eleva al cuadrado se transforma en una probabilidad. En teoría cuántica, se utiliza  $\psi^2$  para hallar la probabilidad de una energía, una posición, un tiempo o un momento angular.

Esencialmente,  $\psi^2$  = posición probable = una función de la velocidad y del tiempo. Esto se muestra en la Figura 3-3.

Figura 3-3 Distribución de Probabilidad.



## Espacio vectorial

De la misma manera en que la relatividad general utiliza vectores y espacios geométricos para representar curvatura en cuatro dimensiones, así también la mecánica cuántica utiliza espacios vectoriales imaginarios. La formulación está más allá del alcance de este libro, pero esencialmente se han encontrado fórmulas que operan sobre vectores produciendo escalares y vectores que existen en espacios vectoriales. Entonces se utilizan éstos para predecir posición, momento, etc. con gran precisión.

En teoría cuántica, la métrica no se utiliza ya que pertenece a la teoría de la relatividad restringida. Esta teoría no puede manejar la gravitación y las ecuaciones cuánticas son primariamente ecuaciones en un espaciotiempo plano; no se ha conectado la gravitación.

En los cálculos que se llevan a cabo, es necesario utilizar espacios imaginarios para hallar las respuestas. Estos son sólo trucos matemáticos y a los espacios vectoriales no se les asigna significado físico alguno. El espacio de Hilbert es el espacio vectorial de la mecánica cuántica. El espaciotiempo de la relatividad restringida se denomina espaciotiempo de Minkowski. El espaciotiempo de la

relatividad general es el espaciotiempo de Riemann. La formulación de Evans se encuentra en el espaciotiempo de Riemann, pero con el tensor de torsión reconectado, de manera que podríamos afirmar que utiliza espacio diferencial de Cartan. En algunos de sus artículos lo denomina "espaciotiempo no-riemaniano".

Este autor propuso denominarlo el "espaciotiempo de Evans", lo cual fue aceptado por el profesor Evans.

## Ecuaciones de Dirac y de Klein-Gordon

Paul Dirac desarrolló una ecuación relativista para explicar el "espín" o momento angular del electrón. Existe cierta clase de campo magnético y rotación del electrón, algo parecido al comportamiento de un planeta. El electrón posee un espín  $1/2$  (momento dipolar magnético) igual a  $\hbar/2$ . El parámetro de Planck,  $h/2\pi = \hbar$  ( $h$ -barra). Se sugiere imaginar a  $h$  como a la circunferencia de un círculo y a  $\hbar$  como su radio.

Un resultado de la ecuación de Dirac fue la predicción acerca de la existencia de electrones positivos. El positrón fue eventualmente descubierto. Este es un ejemplo excelente de una descripción matemática de un resultado experimental conducente a un mayor conocimiento y a la predicción de otros resultados experimentales. La ecuación de Dirac puede utilizarse para obtener información a velocidades relativistas. No fue compatible con la relatividad general; sólo con la relatividad restringida.

La ecuación de Klein-Gordon también es una ecuación de la relatividad restringida, y que hasta el surgimiento de los trabajos de Evans se consideraba como errónea. Se la interpretaba como una probabilidad y poseía soluciones negativas. Dado que la probabilidad debe hallarse entre los valores de 0 y 1 positivo, se consideraba a la ecuación de Klein-Gordon como incoherente.

Las ecuaciones de Dirac y de Klein-Gordon serán discutidas en el Capítulo 9. Pueden obtenerse a partir de la ecuación de onda de Evans de la relatividad general, y la ecuación de Klein-Gordon ya no se interpreta como una probabilidad.

Una ecuación similar es la ecuación de Proca. Esta reemplaza la ecuación de d'Alembert cuando el fotón tiene masa y establece que  $\square A_\mu = - (m_0c/\hbar)^2 A_\mu$  donde  $A_\mu$  es el 4-vector del potencial electromagnético. Cuando la masa del fotón es igual a 0, las ecuaciones de Klein-Gordon, d'Alembert y Dirac pueden expresarse como  $\square A_\mu = \square \phi_B = \square \psi_B = 0$ . Aquí,  $\phi_B$  es un campo escalar,  $A_\mu$  es el campo vectorial electromagnético de gauge, y  $\psi_B$  es un campo espinotensorial. Léase el Capítulo 5 para una explicación del operador de d'Alembert,  $\square$ .

Veremos nuevas formulaciones de relatividad general de las ecuaciones de Dirac y de Klein-Gordon en el Capítulo 9.

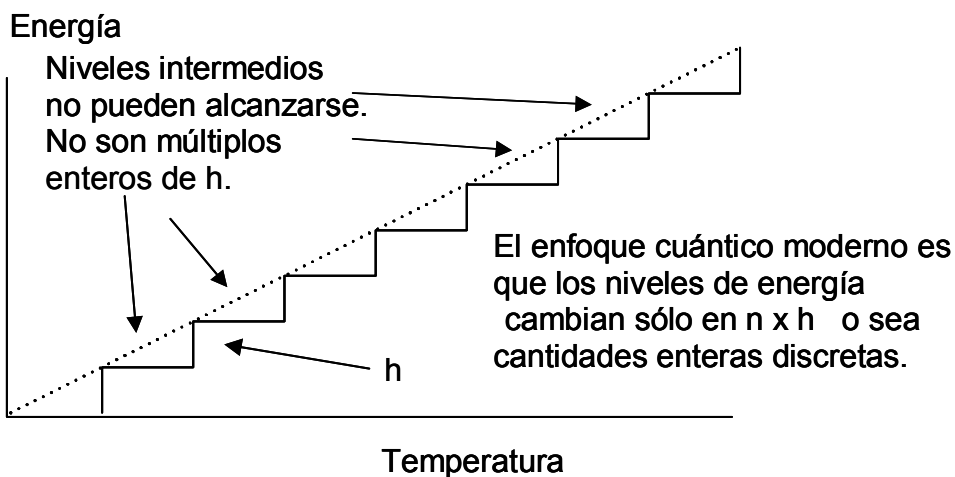
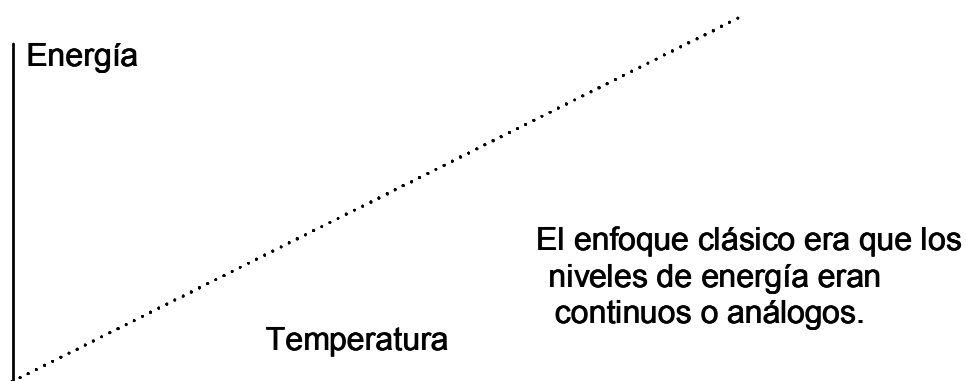
## La hipótesis cuántica

La constante  $h$  de Planck generalmente se establece como el más pequeño cuanto posible de energía. (La constante reducida de Planck, se denomina la unidad de acción. La acción es el tiempo multiplicado por la energía; uno puede imaginarla como la duración mínima de la existencia).

Un número de cantidades físicas pueden definirse en términos de la constante de Planck, la constante gravitacional  $G$ , y la velocidad de la luz  $c$ . Por ejemplo, la longitud de Planck =  $l_p = (G \hbar / c^3)^{1/2} = 10^{-35}$  mts. Esta distancia es alrededor de  $10^{-20}$  veces el tamaño de un protón. Su importancia radica en que podría ser la distancia discreta más pequeña en el espaciotiempo de cualquier marco de referencia.

Nótese la similitud en la Figura 3-4 entre el concepto de múltiplos discretos de  $h$ , las 1-formas como un mapa topográfico, y los eigenvalores. A medida que avancemos esto se volverá más claro.

Figura 3-4 Postulado Cuántico.



La longitud de Planck ha sido considerada como la distancia más corta que posea algún significado físico. Es la escala a la cual las ideas clásicas sobre la gravedad y el espaciotiempo dejan de tener validez, y aún los efectos cuánticos puede que no estén claros. El tiempo de Planck es el tiempo que requeriría un fotón viajando a  $c$  para cruzar una distancia igual a la longitud de Planck. Esto es un cuanto de tiempo, igual a  $10^{-43}$  segundos. Ninguna división más pequeña del tiempo posee significado alguno en la física actual.



## Incertidumbre de Heisenberg

A medida que se realizaron mediciones se descubrió que la exactitud en la medición de una cantidad puede interferir con la exactitud de otra. Estas vienen en pares de relaciones "complementarias". El tiempo de un proceso y su energía no pueden medirse con exactitud:  $\Delta t \times \Delta E$  es aproximadamente igual a  $\hbar$ . Tampoco la posición y el momento pueden medirse arbitrariamente en forma simultánea:  $\Delta x \Delta p_x \leq \hbar$ .

Lo anterior expresa la relación de incertidumbre de Heisenberg. Esta relación ha sido cuestionada recientemente por J.R.Croca<sup>2</sup>, quien ha ofrecido evidencias experimentales que señalan que la incertidumbre de Heisenberg no es válida en todos los casos. Evans obtiene una relación que indica que el principio de incertidumbre es incorrecto. Véase el Capítulo 10.

El concepto de incertidumbre de Heisenberg se ha difundido por toda la mecánica cuántica y, junto con la interpretación estadística de la ecuación de onda de Schrödinger, han dominado el pensamiento desde la década de 1930. La física de Einstein-Cartan-Evans rechaza este concepto.

## Números cuánticos

Con las ecuaciones incluidas a continuación sólo se ha intentado enseñar los conceptos y dar alguna sensación respecto de la mecánica cuántica. Ciertamente, el empleo de tales ecuaciones constituye el dominio del profesional. Pretendemos con este enfoque dar al lector una "sensación" respecto de la abstracción de la teoría cuántica.

La ubicación del electrón en un átomo de hidrógeno se describe mediante:

$$\psi(r) = 1/(\pi r_0^3)^{1/2} e^{-r/r_0} \quad (1)$$

Donde  $r_0 = \hbar^2 \epsilon / \pi m e^2$ ;  $r$  es el radio de localización del electrón con el núcleo en el centro.  $\psi(r)$  es la función de onda de posición y  $|\psi|^2$  es la densidad de la nube electrónica. Nótese que el electrón puede aparecer en cualquier lugar del universo, en virtud de que  $\psi(r) \rightarrow 0$  sólo cuando  $r \rightarrow \infty$ . Esto indica que el vacío podría estar compuesto parcialmente de electrones "potenciales" del universo entero. (Y todo lo potencial proveniente de cualquier parte). Este concepto resulta cuestionable; sin embargo, la ecuación incluida más arriba ofrece muy buenos resultados en la predicción de los resultados de experimentos.

$n$  es el número cuántico principal y asume los valores de 1, 2, 3... y demás números enteros, hasta el infinito. El nivel de energía de un electrón =  $13.6V / n^2$ . Por lo tanto,  $n$  desempeña un papel importante y real en el cálculo de las relaciones atómicas.

---

<sup>2</sup> Towards a Non-Linear Quantum Physics, J. R. Croca, World Scientific Series en Contemporary Chemical Physics - Vol. 20. También "Experimental Violation of Heisenberg's Uncertainty Relations by the Scanning Near-Field Optical Microscope," J.R. Croca, A. Rica de Silva y J.S.Ramos, 1996.

$l$  (es decir, la letra  $l$ ) es el número cuántico orbital, y asume valores desde 0 hasta  $(n-1)$ .

$m_l$  (eme sub  $l$ ) es el número cuántico magnético con respecto al momento angular y sus valores oscilan entre  $-1$  y  $+1$ .

$m$  es el número cuántico de espín y asume los valores de ya sea  $+1/2$  ó  $-1/2$ . El momento angular de espín es:

$$s = (s(s+1) \hbar)^{1/2} = \hbar \sqrt{3/2} \quad (2)$$

Todos los números cuánticos se representan mediante vectores que ocupan el espacio de estado en los cálculos cuánticos. Es éste un espacio matemático donde se realizan los cálculos, y cuando se obtienen los nuevos vectores, se vuelven posibles nuevos experimentos y predicciones exactas. Todavía nadie sabe por qué.

## Electrodinámica y cromodinámica cuánticas

La *electrodinámica cuántica* evolucionó a partir de la mecánica cuántica, desarrollada previamente. Trata acerca de teoría de campo, electromagnetismo e introdujo la renormalización. La renormalización ha sido criticada, pero fue el mejor método disponible para efectuar correcciones en ciertos cálculos. El problema se refería a considerar al tamaño de partícula = 0. Si es 0, entonces la densidad de energía se vuelve infinita. La renormalización establece arbitrariamente un volumen mínimo.

El principio de Evans de mínima curvatura indica que existe un volumen mínimo calculable para cada partícula; el método de renormalización fue necesario debido a que el volumen mínimo no era conocido; ahora, un volumen real puede aplicarse en lugar de uno arbitrario.

Este es un ejemplo excelente de cómo la relatividad general y la electrodinámica cuántica pueden trabajar juntas. Los métodos matemáticos provienen de la teoría cuántica y el volumen mínimo se define en relatividad general. Su empleo conjunto permite lograr una mayor exactitud y comprensión.

Con el descubrimiento de la simetría  $SU(3)$  y la hipótesis acerca de la existencia de quarks como los ladrillos básicos para la construcción de protones y neutrones, se desarrolló la *cromodinámica cuántica*. Agregó la cualidad denominada color a este esquema. El color constituye una cualidad desconocida de los quarks y de los gluones que provoca que aparezcan en nuestras matemáticas en tres colores. Los quarks siempre vienen en tripletes o dobletes de un quark y un anti-quark. Todo quark que esté aislado en el vacío "arrastra" a otro quark hacia afuera surtiendo para ello parte de su propia energía para provocar que otro se forme.

La simetría SU(3) se observó en las relaciones entre las energías de ciertas partículas, lo cual condujo al desarrollo del modelo del quark. Podría parecer que esto es sólo un modelo matemático y que los quarks podrían no existir como partículas, sino más bien como niveles energía.

## Gravedad cuántica y otras teorías

La *teoría electrodébil* ha unificado la fuerza nuclear débil con la fuerza electromagnética. El modelo establecido indica que la fuerza nuclear débil y el electromagnetismo son, a muy altos valores de energía, la misma fuerza. A un valor de energía todavía mayor, se espera demostrar que la gravitación forma parte de la misma fuerza primal. Esta es la gravedad cuántica. Dado que en un agujero negro toda masa y energía se vuelven homogéneos, podemos esperar que todo aquello que adopte varias formas en el universo devendrá, a energías suficientemente altas - alta compresión - una manifestación de la misma causa primordial. Esto habría sido la situación imperante momentos antes de que se produjera la Gran Explosión (Big Bang), suponiendo que de hecho ésta haya ocurrido.

Desde la década de 1990 los físicos han buscado una combinación de teoría cuántica y relatividad general que pudiese explicar más situaciones a los niveles más pequeños y a las densidades de energía más altas. Hasta el momento no lo han logrado. El término Gran Teoría del Campo Unificado (GTCU) describe la combinación de estas teorías.

Las ecuaciones de Evans son ecuaciones de GTCU.

La gravedad cuántica representa una de entre una amplia variedad de áreas de investigación que se han intentado desarrollar, con el objeto de combinar los fenómenos gravitacionales y cuánticos. Esto generalmente implica la suposición de que la gravedad misma constituye un fenómeno cuántico.

Hasta la fecha de desarrollo de las ecuaciones de Evans, se desconocía la forma en que las teorías cuántica y gravitacional podrían combinarse. Hubo cuatro enfoques generales: cuantizar la relatividad general, relativizar en forma general la teoría cuántica, mostrar que la relatividad general proviene de la teoría cuántica, o encontrar una teoría completamente nueva que produjese tanto la teoría cuántica como la relatividad general en los límites adecuados

Este último método ha sido el de aplicación más extensiva. La teoría de cuerdas, la súper simetría, la súper gravedad, la súper teoría de cuerdas, la gravedad cuántica de lazo, y la teoría M han sido intentos por hallar formulaciones matemáticas básicas que condujeran a la mecánica gravitacional y cuántica. Aún cuando todas estas teorías han encontrado algunas formulaciones matemáticas interesantes, no parecen ser lo suficientemente físicas como para conducir ya sea a la relatividad general o a la mecánica cuántica. Hasta el momento no han producido resultados y parecieran resultar superfluas para una teoría unificada.

Las ecuaciones de Evans muestran que la descripción cuántica tridimensional emana a partir de la relatividad general de Einstein. Más aún, se combinan las cuatro fuerzas básicas de la naturaleza y se muestra que provienen del postulado básico de Einstein de la relatividad general,  $R = -kT$ . Sólo se necesitan cuatro dimensiones. Las 9, 10, 11 ó 26 dimensiones utilizadas en sus diversos enfoques por la teoría de cuerdas son matemáticas, pero no se trata de física.

La ecuación de onda de Evans combina matemáticamente las dos teorías en forma rigurosa. Cuánta nueva física provendrá y que nos dará en forma completa una GTCU queda aún por verse. Sin embargo, Evans ya ha encontrado un número significativo de explicaciones para diversos procesos.

En el próximo capítulo discutiremos parte del lenguaje matemático que se necesita para comprender a Evans en el contexto de la teoría cuántica y la relatividad general.

Aún cuando no se espera que el lector resuelva problemas o efectúe cálculos matemáticos, sí es necesario que esté familiarizado con lo anterior en forma suficiente como para poder leer acerca de ello.

## La constante de Planck

La hipótesis cuántica de Planck, y que constituye el fundamento de la teoría cuántica es

$$E = nh\nu \quad \text{ó} \quad E = nhf \quad (3)$$

$$E = n\hbar\omega \quad \text{ya que } \omega = 2\pi\nu \quad (4)$$

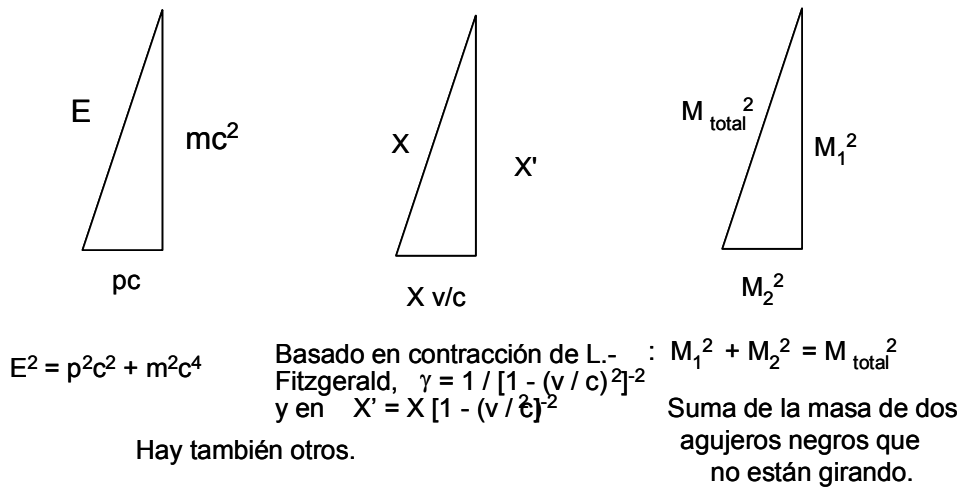
donde E es la energía, n es el número cuántico, h es la constante de Planck,  $\omega$  y f representan la frecuencia,  $\hbar$  es la constante de Planck reducida  $h/2\pi$ , y  $\omega$  es la frecuencia angular. La constante de Planck es la cantidad mínima de acción o momento angular en el universo. Einstein utilizó el parámetro h para explicar el efecto fotoeléctrico. h es el cuanto de acción, el cual es energía x tiempo.  $h = 6.625 \times 10^{-34}$  joule-segundos. El joule se mide en electrón voltios, o N-m. Un joule es un watt-segundo, volviendo así a  $h = \text{watt} \times \text{segundo} \times \text{segundo}$ . La acción puede tener unidades de momento angular x segundo, energía x segundo, o momento x distancia, o momento angular x ángulo. Se mide en joule-segundos, o N-m-seg.

La importancia de la constante de Planck es que se emite, transmite, o absorbe radiación en paquetes discretos de energía - los cuantos. La energía E de cada cuanto equivale a la constante h de Planck multiplicada por la frecuencia de radiación.  $E = hf$  o  $\nu$  (nu en el alfabeto griego). Con frecuencia se utiliza la constante de Dirac,  $\hbar$  (h barra);  $\hbar$  equivale a  $h/2\pi$ .  $\omega$ , que es omega minúscula, la frecuencia del movimiento orbital, se utiliza con frecuencia, y  $1/2\pi$  provee una conversión.  $\hbar$  resulta más fundamental que la misma h.

E es energía, a veces expresado como  $E_n$ . n (cualquier número entero) es el número cuántico principal. f es la frecuencia, expresada en ciclos por segundo.  $\lambda$  es la longitud de onda en metros, p es igual al momento, expresado en kg-metro/segundo,  $\gamma$  es  $\text{gama} = 1 / \sqrt{[1 - (v / c)^2]}$ , el factor de contracción de Lorentz-Fitzgerald basado en

el cociente entre  $v$  y  $c$ , donde  $v$  es la velocidad,  $c$  es la velocidad de la luz, y  $\omega$  es la velocidad angular. Véase la Figura 3-5.

Figura 3-5 Relaciones Pitagóricas.



Generalizando, vemos que el cuadrado de la energía, masa, o distancia totales en El espaciotiempo es la suma del cuadrado de los componentes. Podemos ver un origen de distancia en el espaciotiempo relacionado con la velocidad en  $pc$  y con  $X v/c$ .

A continuación se incluyen algunas de las aplicaciones más frecuentes de  $h$  y las ecuaciones relacionadas con ella.

$$E = nhf \tag{5}$$

Algunas veces expresado como  $E = hf$ , en donde  $n$  se encuentra en forma implícita. La energía de una estructura (átomo, electrón, fotón) es igual a un número  $n$  ( $n=1, 2$ , un número entero) multiplicado por  $h$ , multiplicado por la frecuencia de la onda por la partícula. *Es ésta la hipótesis cuántica básica.*

$$f \lambda = v \tag{6}$$

$f$  es la frecuencia y  $\lambda$  es la longitud de onda, y definimos la frecuencia multiplicada por la longitud de onda como igual a la velocidad. Esto es verdad para cualquier onda, pertenezca ésta a una cuerda, o en la superficie del océano, o a un electrón o a una onda de probabilidad. Para el fotón,  $f \lambda = c$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz. Es decir, la frecuencia (número de ciclos) por la longitud de un ciclo = la velocidad, que para ondas electromagnéticas es igual a  $c$ .

$$E = pc \tag{7}$$

La energía es igual al momento multiplicado por  $c$ . Esta es la energía en un fotón. Puede que no tenga masa mientras esté en movimiento, pero posee momento. Posee energía másica cuando lo captura un átomo. Dado que  $E = pc$  y  $E = hf$ , entonces  $p = h/\lambda$ .

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \quad (8)$$

la definición de Newton de momento para un objeto o partícula.

$$\mathbf{p} = \gamma m\mathbf{v} \quad (9)$$

ésta es la definición relativista de Einstein para el momento. A bajas velocidades, se transforma en la ecuación de Newton,  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ .

$$E = mc^2 \quad (10)$$

esta es la relación de Einstein entre masa y energía. La masa y la energía son, bajo las circunstancias correctas, intercambiables.  $E = mc^2$  puede establecerse, utilizando a  $c^2$  como factor de conversión en joules. Véase la Ecuación (14).

Pueden derivarse también varias relaciones que existen para  $h$ . Según cual sea la necesidad, puede sustituirse un arreglo diferente en cualquier ecuación

$$\lambda = h/p = h / \gamma mv = h / \gamma mc = hc / \gamma mc^2 \quad (11)$$

Aquí la longitud de onda de un fotón es  $h/\gamma mc$ , pero la longitud de onda de una partícula es  $h/\gamma mv$ . La única diferencia es que la velocidad de una partícula puede ser menor que  $c$ .

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} = E/c = hf/c = h/\lambda = mc = (E/c^2) c \quad (12)$$

$$E = pc \quad \text{y} \quad E = \hbar \omega \quad \text{y por lo tanto} \quad pc = \hbar \omega \quad \text{y}$$

$$p = \hbar \omega / c = \hbar (2\pi / \lambda) = \hbar k \quad (13)$$

donde  $k$  es el número de onda. El momento de una partícula aumenta con su velocidad o su masa. El momento de un fotón aumenta sólo con el incremento de su frecuencia, ya que su velocidad está fija. Podemos entonces igualar a la masa con la frecuencia.

Una relación muy importante, el teorema guía de de Broglie, es:

$$E = hv = m_0c^2 \quad (14)$$

aquí, las ecuaciones de Planck (5) y de Einstein (10) se establecen como iguales entre sí. Vemos así que la energía de una partícula es masa, y que la masa es frecuencia. La partícula y la onda son equivalentes. En experimentos de doble rendija, observamos que estos convierten, aparentemente en forma instantánea (o quizás en un tiempo de Planck) de la una a la otra. Es más probable, aunque no absolutamente claro, que la partícula sea una onda estacionaria de espaciotiempo. Las ecuaciones de

Evans indican que la onda electromagnética no es otra cosa que espaciotiempo girando. El siguiente paso sería comprender que la partícula también es espaciotiempo.

En la ecuación (13) establecimos que  $p = \hbar\omega/c$ . Así, el fotón posee momento. En la teoría establecida el fotón tiene masa nula pero, en una forma aparentemente contradictoria, sabemos que tiene momento. Las ecuaciones de  $\mathbf{B}^{(3)}$  de Evans implican que sin duda posee masa y que las ecuaciones incluidas más arriba deben tomarse en forma literal.

En relatividad restringida, la definición de 4-momento es  $p_\mu = m_0 c v_\mu$ , donde  $v_\mu$  es 4-velocidad. Esto no poseería significado alguno si el fotón no tuviese masa.

Los estados cuánticos pueden tener un momento definido cuando están en movimiento. La energía del estado de una partícula en movimiento es  $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$  nuevamente una relación pitagórica que señala la naturaleza geométrica de la física. El momento,  $p$ , puede extraerse y puede hallarse la frecuencia de onda de la partícula mediante  $f = pc/h$ . Con  $p = 0$ , la partícula está en reposo y la ecuación deviene  $E = mc^2$ , o simplemente  $E = m$ , la energía es igual a la masa.

Nótese que la energía no es masa, si no que pueden convertirse la una en la otra. Son diferentes aspectos de una misma cosa.

## Unidades geometrizadas y de Planck

Las unidades geométricas convierten cantidades físicas en longitudes, áreas, curvatura, y cocientes adimensionales. Esto simplifica las fórmulas y brinda otra forma de enfocar la física abstracta. Las unidades geométricas establecen a  $c$  y a  $G=1$ . En virtud de que estos son los factores de escala, ellos simplifican las ecuaciones. Además, la fuerza de Coulomb y la constante de Boltzman se fijan como iguales a la unidad; pero no trataremos con éstas. Las unidades de Planck se establecen también = 1. Los cálculos reales utilizan unidades del SI<sup>3</sup>.

El tiempo se expresa como la distancia que la luz viaja durante el intervalo seleccionado. Están sobre una base equivalente que es consistente con la relatividad.

Las unidades geometrizadas fijan valores en metros de tiempo viajado por la luz.

$c = 2.998 \times 10^8$  metros por segundo. Un segundo puede entonces expresarse como  $2.998 \times 10^8$  metros. Dado que el tiempo es  $x_0$  y es una dimensión espacial en relatividad general, esto pasa a tener perfecto sentido.

Para la masa tendríamos  $G/c^2 = 7.425 \times 10^{-28}$  metros/kg. El sol tendría una masa de 1.5 kilómetros cuando se expresa como una distancia. Ahora bien, el significado de lo anterior merece pensarse un poco.

---

<sup>3</sup> C. del T.: SI se refiere al Sistema Internacional de unidades.

En unidades geométricas:

Tiempo:	$c = 3 \times 10^8$ metros / segundo
Masa:	$G/c^2 = 7.4 \times 10^{-28}$ metros / kilogramo
Temperatura:	$G k/c^4 = 1.1 \times 10^{-67}$ metros / grado Kelvin
Energía:	$G k/c^4 = 1.1 \times 10^{-67}$ metros / grado Kelvin

En términos de la longitud de Planck, los términos utilizados habitualmente son:

Longitud:	$L_p = (\hbar G / c^3)^{1/2} = 1.6 \times 10^{-35}$ metros
Tiempo:	$T_p = (\hbar G / c^5)^{1/2} = 5.4 \times 10^{-44}$ segundos
Masa:	$M_p = (\hbar c / G)^{1/2} = 2.18 \times 10^{-8}$ kilogramos
Temperatura:	$T_p = (c^5 h / G)^{1/2} = 1.4 \times 10^{32}$ Kelvin
Energía:	$E_p = M_p c^2 = 10^{18}$ GeV

Cuando se utilizan las unidades de Planck, se supone que la longitud de Planck es la distancia más corta para la cual la relatividad general tiene sentido, y que la mecánica cuántica toma el control a distancias más pequeñas. Dado que esto es aproximadamente 10-20 veces más pequeño que el tamaño de un protón, creemos que el espaciotiempo posee una estructura muy fina. Mediante la combinación de las teorías de la relatividad y cuántica, el trabajo de Evans indica que podremos comenzar a estudiar estas distancias.

Para más detalles sobre lo anterior, véase [http://en.wikipedia.org/wiki/Planck\\_units](http://en.wikipedia.org/wiki/Planck_units).

Nótese que al discutir este tema y otros como los marcos de referencia, no es posible el observarlos directamente. Aún cuando tengamos algunos agujeros negros y naves espaciales de prueba, que viajen a velocidades cercanas a la de la luz, necesitaremos alguna forma para poder ver tanto a los marcos de referencia de alta como de baja densidad de energía, desde afuera en ambos casos. Para alcanzar este punto de vista, parecido al que tendría Dios, necesitamos de las matemáticas.

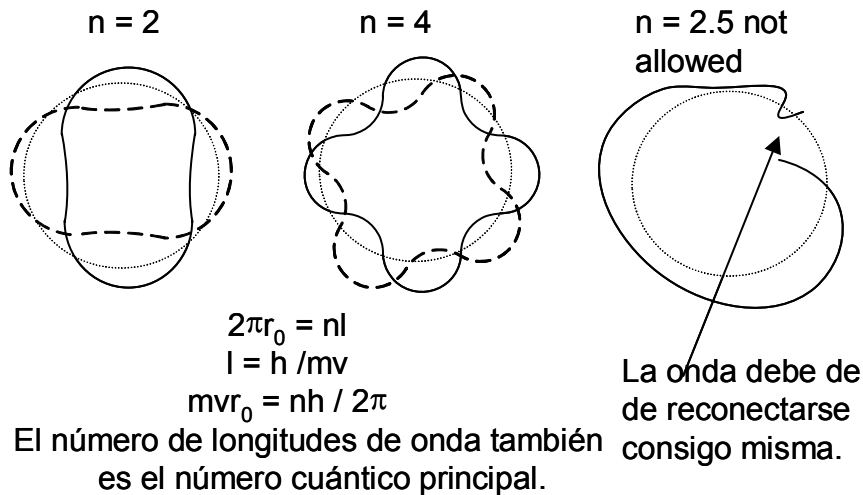
## Mecánica cuántica

La mecánica, la electrodinámica y la cromodinámica cuánticas han desarrollado métodos matemáticos muy precisos para la física de partículas y de energía. Resulta interesante saber que las razones detrás de los métodos utilizados no se conocen en todos los casos. Mucha discusión, a través de los años, no han clarificado el "por qué" detrás de las matemáticas. El "cómo" está muy bien desarrollado. Esas razones de "por qué" son las clásicas descripciones que nosotros, los seres humanos, deseamos expresar.



Existen cinco números cuánticos que describen el estado de una partícula. "n" es el número cuántico principal.  $E = nhf$  es la ecuación cuántica básica. La energía siempre viene en paquetes de cuantos que son el producto de n, el número de Planck, y la frecuencia de una onda o una partícula. n es cualquier número entero positivo - los pasos que deben de tomar los cuantos.

Figura 3-6 Número Cuántico Principal.



Las "órbitas" permitidas para los electrones en un átomo sólo son una función de n. (La ubicación más probable de un electrón es en la región indicada por n; es probable que el electrón sea una onda estacionaria esparcida sobre una gran superficie alrededor del átomo. Cuando se mueve a través del espacio, es como una partícula, en tanto que posee una región discreta en donde existe. La ecuación

$$E_n = 13.6 \text{ eV} / n^2 \quad (15)$$

predice el nivel de energía de un electrón. Como onda, el electrón sólo puede adoptar aquellos senderos en los que la onda está completa y se reconecta consigo misma. Una onda estacionaria esférica debe cerrarse sobre sí misma mediante un número entero contenido en la onda. Véase la Figura 3-6.

"l" es el número cuántico de órbita. Esto se relaciona con el momento angular. Puede tener valores entre 0 y n-1.

M es el número cuántico magnético. Puede tener valores entre -1 y +1. Indica la dirección del momento angular.

L es la magnitud del momento orbital angular.

$$L = \sqrt{l(l+1)} \hbar \quad (16)$$

donde l es el número cuántico orbital. L es la cuantización del espacio y se relaciona típicamente con el eje z. Es la orientación del momento angular

$$L_z = m_l \hbar \quad (17)$$

$m_s$  es el número cuántico de espín. Es un tipo de momento angular que no está claramente definido en forma alguna que podamos describir en forma clásica. No es una medida de movimiento de giro; más bien se refiere a una fuerza o momento de palanca.  $m_s = +1/2$  ó  $-1/2$ . Algunas veces se describe como un espín hacia arriba o un espín hacia abajo. El momento angular de espín  $S$  viene dado por:

$$S = m_s (m_s + 1) \hbar/2 \quad (18)$$

Los varios vectores que describen el estado de una partícula se ubican en el espacio de Hilbert. Este espacio matemático de infinita capacidad puede manipularse para hallar nuevos resultados que expliquen experimentos o que predigan sus resultados.

## Resumen

La teoría cuántica es una descripción matemática de la física que ha tenido gran éxito en la predicción de resultados de reacciones. Opera en espacios vectoriales poco comprendidos y está sujeto a interpretaciones físicas. Durante los últimos 70 años se ha discutido mucho al respecto.

La teoría cuántica es una teoría de relatividad restringida. Puede tratar con las altas velocidades de las interacciones entre partículas, pero no puede tratar con la gravitación. Esta limitación es seria por dos razones:

1. Una de nuestras metas es comprender el origen del universo cuando la gravedad es extrema.
2. Las partículas poseen una alta densidad y por lo tanto la gravitación debe de ser alta a nivel local. Aún cuando todavía se hallaba en el aire al momento de escribir estas líneas, pareciera que la partícula demostrará ser una región del espaciotiempo que posee tanto alta curvatura gravitacional como alta frecuencia productora de torsión.

La teoría del campo unificado combinará las teorías cuántica y gravitacional y dará como producto ecuaciones capaces de explicar más acerca de éstos fenómenos.