



Atenea era la más sabia de todos los dioses del panteón. Diosa de la sabiduría, la estrategia militar y la guerra justa,

Además, Atenea era la diosa de las **matemáticas**, la **fuerza**, la **estrategia**, la **habilidad artística**, el **coraje**, la **valentía**, la **inspiración**, la **ley** y la **justicia**.

Palabras de bienvenida.
 Inicio del curso. **Sección: Ciencia, humanismo y sociedad**

Ciencia

- A. Ciencia básica →
- B. Ciencia aplicada →
- C. Tecnología →

Humanismo

- A. Historia →
- B. Filosofía →
- C. Ética y Moral →

Sociedad

- A. Comportamiento social →
- B. Política →
- C. Comunicaciones →

Dos tertulias (debates) mensuales

↓

CIENCIA

Ciencia básica:

- Lógica (Argumentación, Falacias)
- Matemáticas (Álgebra, Números, Geometría)
- Física (Microcosmos, Macrocosmos)
- Astronomía y Cosmología
- Antropología
- Historia (Natural, Inventos, Material)

Ciencia aplicada:

- Biología (Molecular, Genética, Mutaciones)
- Medicina (Sistema nervioso, Memoria, Patologías)
- Psicología (Individual, Comportamiento, Estupidez)
- Sociología (Muchedumbres, Comportamiento y Estupidez colectiva)

Tecnologías:

- Duras (Informática, Microelectrónica, Láser)
- Blandas (Educación, Administración, Marketing, Estadística, Psicología de las relaciones humanas y del trabajo, Desarrollo de software.)
- Tecnologías de la información y la comunicación
- Tecnologías Industriales (Minera, Agrícola, Ganadera)

HUMANISMO

Historia:

- Historia material (Naturaleza y Cosmos)
- Historia (Ciencia, Filosofía, Creencias)
- Historia de las ideas
- Prehistoria y Arqueología
- Historia individual (Biografías)

Filosofía:

- Antigua (Egipto, Grecia, Oriente)
- Medieval (Gnosis, Patrística, Islamismo)
- Renacimiento (Filosofía política, Humanismo, Filosofía natural)
- Moderna (Antropocentrismo, Cientificismo, Racionalismo, Empirismo, Liberalismo e idealismo, Ilustración, Filosofía laica)
- Contemporánea (Filosofía analítica, Filosofía continental)

Ética y Moral:

- Fundamentos (Diferencias)
- Meta-ética (Ética normativa, Ética Aplicada)
- Moral (Orígenes, Enfoques morales)

SOCIEDAD

Comportamiento social:
 Conducta de las sociedades (Características)
 Cultura y comportamiento social
 Normas y valores del comportamiento social
 Actitudes pro-sociales (Sinergias, Empatía, Estupidez colectiva)

Política:
 Concepto (Definición, Origen, Tipos, Utilidad)
 Sistemas políticos (Teorías, Metodologías y Principios)
 Partidos políticos (Organización, Poder, Principios y corrupción)
 Ideologías (Composición, Aplicación, Descomposición ideológica)
 Historia de la Política

Medios de comunicación:
 Características y tipos (Utilidad, Diversidad, Negatividad)
 Evolución (Primitivos, Fundamentales, Contemporáneos)
 Las redes sociales (Tipos, Efectos perversos)





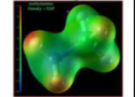















Paradojas de la Microfísica

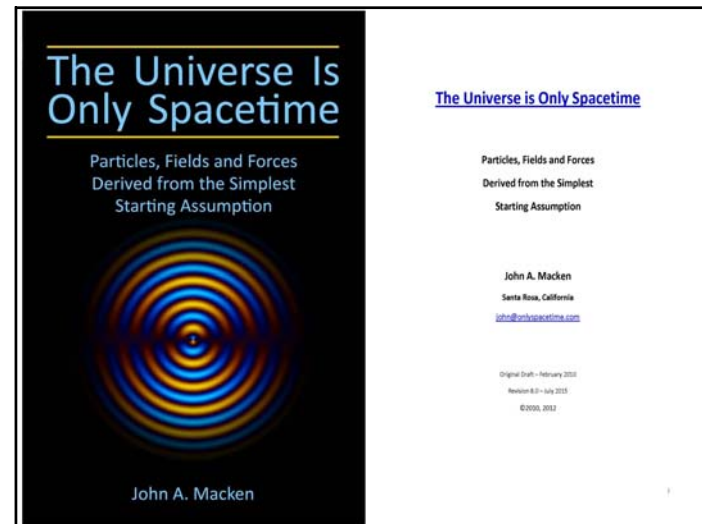
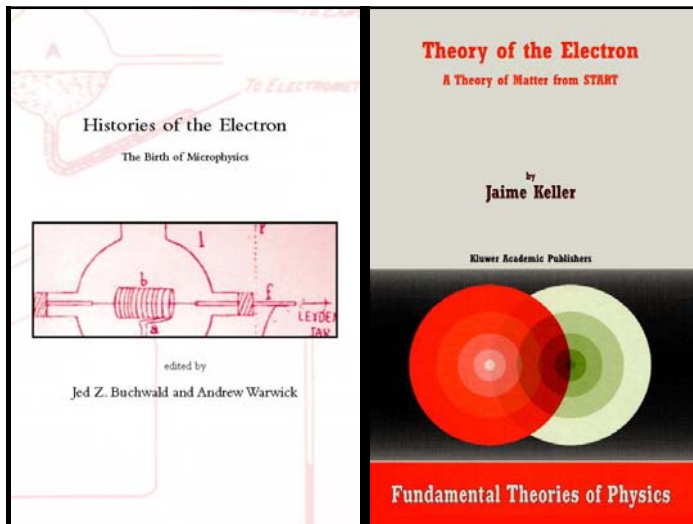
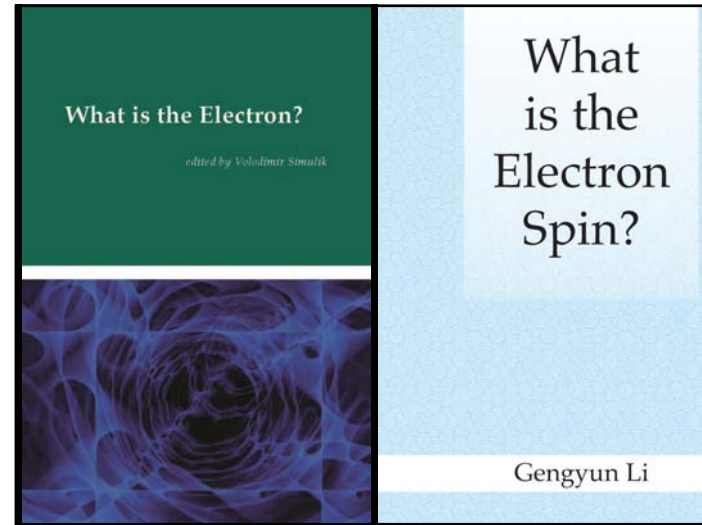
ATENEO de Badajoz

Septiembre, 2020

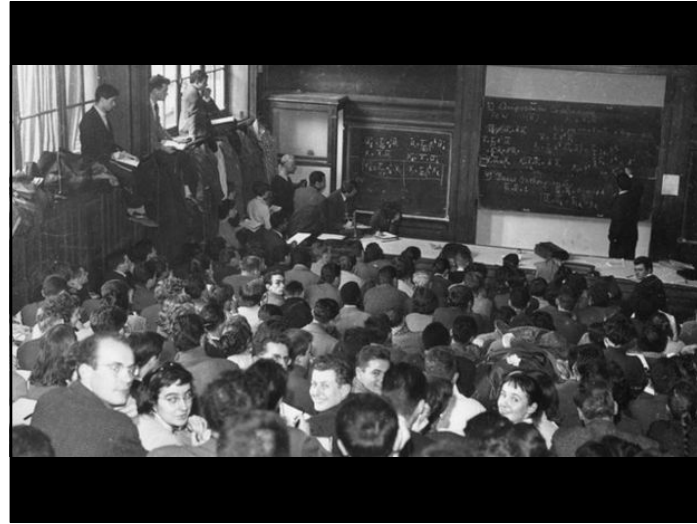
El electrón: un objeto misterioso

Fenómenos Naturales  Aurora Boreal			
Magnetismo  Brújula	Estructura de los materiales  Resorte	Interacciones entre objetos  Fuerza normal	Enlaces químicos  Enlace C-N
Pilas y Baterías  Batería de automóvil	Transporte de energía  Línea eléctrica	Telecomunicaciones  Móviles	Útiles de uso diario  Automóviles, Iluminación

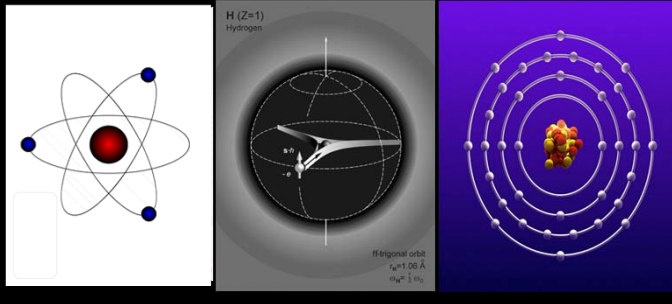
Cuerpo humano y sistema nervioso  Neuronas, médula espinal	Instrumentos médicos  Escáner	Luz  Láser	Espacio - Tiempo  Relatividad General
			
			



INTRODUCCIÓN



En la mayoría de las clases de "Introducción a la Mecánica Cuántica" (MC), el profesor de física comienza explicando a los estudiantes *que van a aprender sobre ciertas propiedades de las partículas subatómicas que en absoluto SON COMPENSIBLES conceptualmente.*



El Átomo está vacío

Diámetro nuclear típico:
 $15 \text{ kilómetros } 6 \times 10^{-15} \text{ metros}$
 $0.000\ 000\ 000\ 000\ 006 \text{ m}$

Diámetro del protón:
 $8 \times 10^{-16} \text{ metros}$
 $0.000\ 000\ 000\ 000\ 008 \text{ m}$

Diámetro de un átomo típico (5 a 10 e⁻):
 $1 \times 10^{-10} \text{ m}$
 $0.000\ 000\ 000\ 06 \text{ m}$

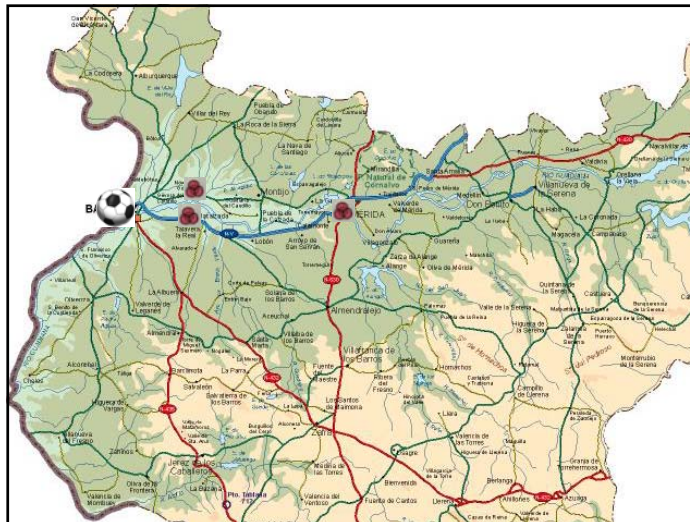
Volumen del protón:
 $2.1 \times 10^{-45} \text{ m}^3$
 $0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 021 \text{ m}^3$

Volumen del núcleo:
 $1 \times 10^{-43} \text{ m}^3$
El núcleo, compuesto por protones y neutrones, está formado por partículas subatómicas.

Volumen del electrón:
 $1.1 \times 10^{-28} \text{ m}^3$

Volumen que ocupa el protón en el núcleo:
1.9 %

Volumen que ocupa el núcleo en el átomo:
 $0.000\ 000\ 000\ 000\ 01 \text{ % } (1 \times 10^{-13} \text{ %})$



Asumiendo el modelo atómico de Bohr como *teoría límite* para explicar la estructura del átomo de hidrógeno y asumiendo el **comportamiento estacionario del electrón** en su primera órbita (de radio $a_0 = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2 = 0.529177 \times 10^{-10} \text{ m}$):

VELOCIDAD DEL ELECTRÓN EN EL ESTADO FUNDAMENTAL:
 $2.2 \times 10^3 \text{ km/s} = 2.2 \times 10^{16} \text{ A/s}$

LONGITUD DE LA ÓRBITA:
 $L = 2\pi r = 2 \times \pi \times 0.529 = 3.324 \text{ A}$

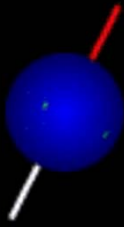
NÚMERO DE VUELTAS EN 1 segundo:
 6.62×10^{15}

(6620 BILLONES de VUELTAS en 1 seg.)

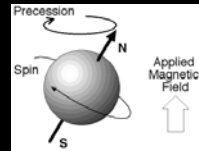
La *enorme velocidad* a la que evoluciona el electrón en ese minúsculo entorno, en las que *intervienen grandes distancias relativas frente al reducido tamaño de los objetos implicados*, hacen que la descripción dinámica de tales sistemas requiera un nuevo tratamiento, diferente al previsto en la Física clásica, más conforme con la talla del observador.

Se precisa una *nueva Física*, capaz de explicar el comportamiento de tales sistemas, en la que intervengan *enunciados de corte estadístico* y que permita trasladar su descripción a un lenguaje asimilable y comprensible para nuestra escala perceptiva de la naturaleza.

Las partículas fundamentales exhiben un “espín” estacionario, *característico* e *invariable* que es una propiedad “*inherente*” o “*propia*”, equiparable a un *momento angular*, que *no puede ser explicada* con el concepto clásico de lo que es una *rotación*.



Además, el eje de rotación (que coincide con la dirección del desplazamiento) posee un movimiento de “*cabeceo*” o “*precesión*” (*Zitterbewegung*)



Una molécula aislada sólo puede *rotar a frecuencias específicas*.

Dos fotones *enredados* pueden comunicarse *más rápido que la velocidad de la luz* a grandes distancias, etc.

Incluso la *Relatividad Especial* y *General* tienen su cuota de *misterios incomprensibles*:

¿*Cómo es posible que los observadores que se mueven a diferentes velocidades observen ambos exactamente la misma velocidad de la luz?*

¿*Cómo hace la materia para curvar un volumen distante del espacio-tiempo?*

Se dice a los estudiantes que *deben aceptar* el hecho de que la *Física Moderna* tiene muchas propiedades que, simplemente, el intelecto humano *no es capaz de comprender*.

La *Física Clásica* dio explicaciones comprensibles conceptualmente, pero ahora los estudiantes *deben asumir* que la *Física Moderna* no puede ser entendida de igual manera.

La *MC* es la teoría científica más exitosa jamás desarrollada, así que “*cállate y calcula*”.

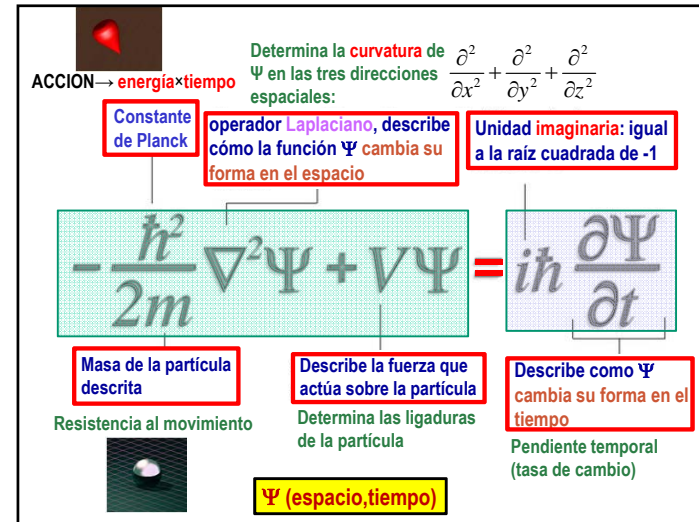
Una cita atribuida popularmente al físico *Richard Feynman* es: “*Si crees que entiendes la MC, entonces no la entiendes*”.

Para ser justos, una aplicación estricta de los principios de la *MC* no se esfuerza en dar una explicación físicamente comprensible de estos fenómenos.

En su lugar, el objetivo de la *MC* es describir las reglas de cada operación de la *MC* y las ecuaciones matemáticas que describen estas operaciones.

Por ejemplo, un electrón se describe como una **partícula puntual ideal** porque esta simplificación matemática es adecuada para obtener ecuaciones útiles.

Como dijo **Paul Dirac**, el objetivo es "**no tanto obtener el modelo de un electrón, sino más bien obtener un simple conjunto de ecuaciones que puedan utilizarse para calcular todos los resultados que pueden obtenerse mediante un experimento**"



Hoy en día, los físicos han renunciado a su deseo innato de **comprensión conceptual**.

La explicación dada de nuestra incapacidad para comprender conceptualmente los fenómenos de la **MC** implica, en última instancia, que el cerebro humano evolucionó para **comprender el mundo macroscópico**.

Por lo tanto, simplemente, no debemos esperar **entender conceptualmente** las propiedades de las **partículas subatómicas** o los **fotones**.

Estos conceptos están demasiado alejados de nuestras raíces de **cazadores-recolectores**.

Con el tiempo aprendemos a regañadientes a aceptar **conceptos abstractos** de **MC** y consideramos el deseo de comprensión conceptual como "un **remanente** de la Física Clásica".

Sin embargo, no se debe **minimizar la importancia de un modelo** que proporcione comprensión conceptual.

Si realmente hay una **simplicidad subyacente** a toda la Física, entonces la comprensión de este modelo tan básico no sólo **simplifica la enseñanza de la Física**, sino que también facilita la ampliación del modelo y la **realización de predicciones** comprobables que hagan **avanzar la ciencia**.

Tal modelo sería una nueva y poderosa herramienta que aceleraría enormemente el ritmo de los **nuevos descubrimientos**.

Hay **pruebas claras** de que los actuales supuestos de partida de los cálculos de la MC son **incompletos** o **contienen** al menos **un error**.

Cuando las ecuaciones y los cálculos se desmoronan y dan una **respuesta imposible** como el **infinito**, por ejemplo, tales ecuaciones están gritando que una extensión rigurosa de los supuestos de partida crea un **sinsentido**.

La **renormalización** puede parecer que arregla el problema, pero ello no es más que un **ajuste artificial de la respuesta**, de modo que ya **no se deriva lógicamente de los supuestos de partida**.

En cambio, **la respuesta irrazonable** debe tomarse como una indicación de que el modelo que se está analizando o bien contiene al menos **un supuesto erróneo** o bien **carece de un supuesto esencial**.

Cada vez que se utiliza una suposición incorrecta o no se utiliza la suposición que falta, el análisis matemático debe dar **una respuesta incorrecta**.

Nuestra incapacidad para entender conceptualmente partes de la **MC** es una indicación más de que **estamos usando un modelo inadecuado**.

Realmente hay una **simplicidad subyacente** bajo la complejidad **contraintuitiva** de la MC.

Esto equivale a decir que aún estamos buscando la legendaria "Teoría del Todo".

Un punto de partida lógico para esta búsqueda debería ser comenzar con la suposición de partida más simple posible que es: **el universo es sólo el espacio-tiempo**.

Otra forma de decir esto es que el **espacio-tiempo** es el único campo energético responsable de todo en el universo.

Obviamente, este modelo de espacio-tiempo va mucho más allá del modelo de Relatividad General del espacio-tiempo.

Este supuesto de partida, **el más simple posible**, implica que sólo hay **una fuerza fundamental**, sólo **un campo fundamental** y sólo **un bloque de construcción** fundamental de todas las partículas.

Además, aunque las **fuerzas**, los **campos** y las **partículas** parecen ser muy diferentes, la hipótesis de partida implica que, en un nivel más profundo, **todos ellos son aspectos diferentes del espacio-tiempo 4-dimensional**.

Si esta suposición de partida es errónea, debería resultar obvia rápidamente porque las propiedades del espacio tiempo 4-dimensional son muy limitantes.

A diferencia del estado actual de la física, que es libre de postular **cualquier número de dimensiones**, **múltiples universos**, **cuerdas vibratorias**, **partículas mensajeras**, etc., esta suposición inicial es muy restrictiva.

Todas las partículas, campos y fuerzas deben derivarse únicamente de las propiedades del espacio-tiempo 4-dimensional.

Antes de la época de **Galileo**, se consideraba que el mundo estaba lleno de **sucesos misteriosos** que no se cuestionaban ni se atribuían a lo sobrenatural.

Con el amanecer de la era de la **ciencia analítica**, se comprendió que muchos de los misterios eran **conocibles v podían explicarse** con leyes de la física.

Por ejemplo, tenemos una multitud de efectos misteriosos que atribuimos a diferentes tipos de "campos".

Podemos escribir ecuaciones que describan los efectos de estos "campos", pero en realidad **no intentamos entender los campos en términos de algo más básico.**

Existe una analogía con la época anterior a Galileo y nuestra actual actitud hacia los campos que son físicamente desconocidos.

Por ejemplo, ¿cómo y por qué la materia causa un campo espacio-tiempo curvo? ¿Cuál es la diferencia física entre el campo producido por una partícula con carga positiva y una partícula con carga negativa? ¿Producen los campos eléctricos y magnéticos una distorsión del espacio tiempo?

La luna, los planetas y las estrellas no estaban sostenidos sobre la tierra por **esferas de cristal**.

La misma **gravedad** que causó la caída de una roca aquí en la tierra también causó que la luna tuviera una **órbita predecible** alrededor de la tierra.

Lo que antes se consideraba un misterio desconocido fue explicado a través del **razonamiento deductivo**, las **matemáticas** y la aplicación del **método científico**.

Hemos recorrido un largo camino desde la época de Galileo, pero **aún hoy tenemos muchos misterios que se consideran más allá de la comprensión humana.**

Si el universo es sólo el **espacio-tiempo**, entonces todos los demás "campos" deberían ser conocibles en términos de efectos sobre el campo más básico: el **espacio-tiempo**.

También el concepto de que el universo es sólo el espacio-tiempo tiene profundas implicaciones para la ciencia.

Hoy se piensa que todas las **partículas**, **campos** y **fuerzas** están hechas del único bloque de construcción del espacio-tiempo de 4-dimensiones.

Sin embargo, éste no es el tranquilo y suave **espacio-tiempo curvado** que imaginó Einstein.

Su modelo de espacio-tiempo sólo describe el espacio-tiempo a escala **macroscópica**.

En la escala de la **MC**, el espacio-tiempo está lleno de actividad.

Si este modelo mecanocuántico del espacio-tiempo se analiza, se descubre que posee las propiedades que le permiten ser el único *bloque de construcción* de todo en el universo.

La **gravedad** se entiende muy bien en un nivel, pero también tiene muchos misterios: *¿Por qué la fuerza de gravedad es mucho más débil que las otras 3 fuerzas fundamentales?* *¿Por qué la gravedad tiene una sola polaridad y es siempre atractiva?* *¿Es la gravedad una fuerza verdadera o simplemente el resultado de la geometría del espacio tiempo?* *¿Puede la gravedad unificarse con las otras fuerzas?*

El **modelo estándar (ME)** de la física de partículas ha pasado muchas pruebas. Sin embargo, todavía quedan muchos misterios.

Los modelos convencionales dicen que las partículas fundamentales son o bien *partículas puntuales* o bien cuerdas vibratorias de la **longitud de Planck** ($1,6162 \times 10^{-35}$ m), que son virtualmente partículas puntuales.

Ninguno de estos modelos explica las numerosas propiedades de la MC de las partículas fundamentales.

Por ejemplo, *¿cómo es que las partículas fundamentales se mueven discontinuamente de un punto a otro sin pasar por el espacio intermedio?* *¿Cómo poseen el momento angular de $\frac{1}{2}\hbar$ cuando son virtualmente puntos?* *¿Cuánta de la energía de un electrón está almacenada en su campo electromagnético?* *¿Cómo exhibe las propiedades tanto de las ondas como de las partículas?* *¿Está una partícula fundamental hecha de algún bloque de construcción aún más fundamental?*

Cuando se supone que las partículas fundamentales están hechas de **espacio-tiempo** entonces estas propiedades **contra-intuitivas** pueden **explicarse** mejor.

Si asumimos que el universo es sólo el espacio tiempo, entonces aportamos una nueva perspectiva para explicar los **misterios de la gravedad**.

Tanto las partículas fundamentales como la fuerza de gravedad pueden derivarse de esta suposición inicial.

No es necesario hacer una analogía con la aceleración para **explicar la fuerza de gravedad**.

Además, este enfoque hace una predicción sobre una relación previamente desconocida entre la **fuerza de gravedad** y la **fuerza electromagnética**.

Esta predicción es fácilmente comprobable como correcta: estas dos fuerzas más la **fuerza fuerte** están **estrechamente relacionadas**.

Se vuelven **conceptualmente comprensibles** y **matemáticamente cuantificables**. Además, este modelo da **predicciones** sobre la gravedad y los campos eléctricos.

Para la mayoría de los científicos, esta suposición inicial de que el universo es sólo el espacio-tiempo parecerá inicialmente imposible.

¿Cómo pueden obtenerse la materia, la luz, las galaxias y las fuerzas de la naturaleza a partir de lo que parece ser el vacío del espacio-tiempo?

El modelo de MC del espacio-tiempo propuesto hoy **está lejos de ser un vacío sin características**.

Además de tener propiedades bien conocidas como la **velocidad de la luz** y una **constante gravitatoria**, también tiene una **impedancia** y un **módulo de masa**.

Lo más importante es que la versión de la MC del espacio tiempo está llena de actividad. La **energía en el cero absoluto** (-273,15 K) implica que **el vacío tiene una gran densidad de energía (masa)**.

Sin embargo, los experimentos y análisis parecen indicar un vacío. La *densidad de energía medible del espacio de la cosmología* es aproximadamente 10^{120} veces menor que la *densidad de energía implícita en el modelo del vacío* de la MC.

La suposición común es que algo debe anular la tremenda densidad de energía implícita del vacío. La alternativa propuesta es que *el vacío realmente tiene esta tremenda densidad de energía*, pero hay una diferencia clave entre la energía que podemos detectar y la que no podemos detectar.

No es necesario asumir la cancelación de energía, sólo es necesario entender la *diferencia entre los dos tipos de energía (bosones/fermiones* versus la energía del vacío).

Los mayores misterios de la MC se hacen conceptualmente comprensibles cuando se adopta el modelo que construye *partículas y fuerzas* a partir de las propiedades de la MC del espacio-tiempo.

Las limitaciones del intelecto humano no tienen nada que ver con nuestra incapacidad para comprender conceptualmente los misterios de la MC y la RG.

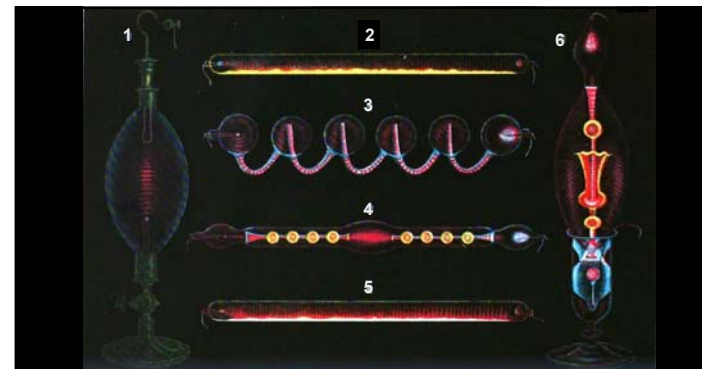
¡Hemos estado usando los modelos equivocados! El intelecto humano puede entender cualquier cosa en la naturaleza siempre que usemos el *modelo correcto*.

El modelo del *universo espacio-tiempo* descrito hoy es compatible con las *leyes y ecuaciones* conocidas de la Física.

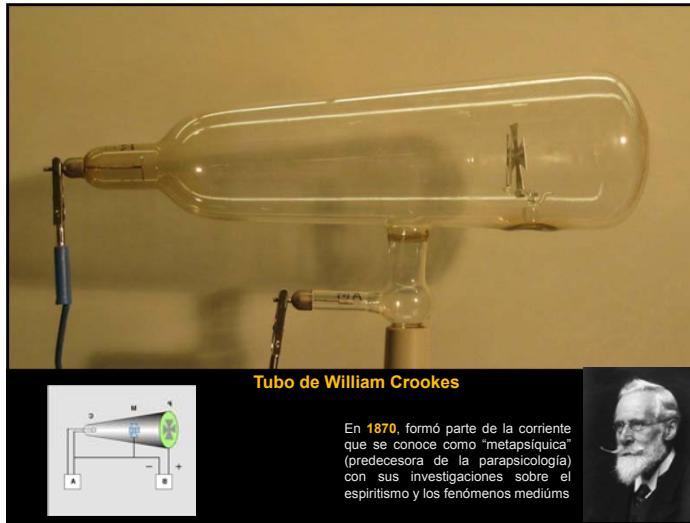
Los conceptos se comprueban para confirmar la plausibilidad mediante numerosos cálculos. La mayoría de ellos son cálculos algebraicos, accesibles a una amplia audiencia científica con conocimientos suficientes, pero no especialistas necesariamente.

Los pocos cálculos que van más allá de este nivel básico se manejan de manera que el lector pueda captar el resultado sin, necesariamente, seguir el desarrollo matemático.

Acontecimientos de época



Dibujo a color de **tubos Geissler** iluminados por su propia luz, de un libro francés de filosofía natural de **1869**, que muestra algunas de las muchas formas y colores extravagantes. Estaban alimentados por *alto voltaje* de una bobina de inducción.
Inventado por el soplador de vidrio alemán **Heinrich Geissler** en **1857**, los tubos Geissler fueron los primeros tubos de descarga de gas y fueron fabricados para el entretenimiento. Alrededor de **1910** se convirtieron en las primeras *luces de neón*.
Pie de foto: "Descarga eléctrica en gases enrarecidos: **1**.Descarga en *vapor de alcohol*. **2**.Muestra la Fluorescencia del *Sulfurato de Calcio*. **4**.Fluorescencia del Vidrio de *Uranio*. **5**.Muestra la Fluorescencia del *Sulfurato de Estroncio*. **6**.Fluorescencia del *Vidrio de Uranio y Sulfato de Quinina*".



Modelos históricos para el electrón
Bergman, David L. - Models of the electron, Foundations of Science, 2 (1999)

Antes de finales del siglo XIX, **J.J. Thomson (1897)** fue capaz de demostrar la existencia de una **pequeña partícula** que se llama **electrón**.

Tiene una **pequeña y definida cantidad de carga eléctrica** y **cantidad de masa inercial**.

Partículas	Símbolo	Masa		Carga		Descubridor
		En Gramos	En UMA	Absoluta	Relativa	
Electron	e-	$9,1 \times 10^{-28}$	0,00055	$-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	-1	Thomson
Proton	p+	$1,6 \times 10^{-24}$	10,073	$+1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	+1	Rutherford
Neutron	n ⁰	$1,6 \times 10^{-24}$	10,087	0	0	Chadwick

- **Descubrimiento** del electrón en la década de **1890**, basado en varios experimentos independientes **se asignaron** al electrón **una carga negativa e** y **una masa m**.

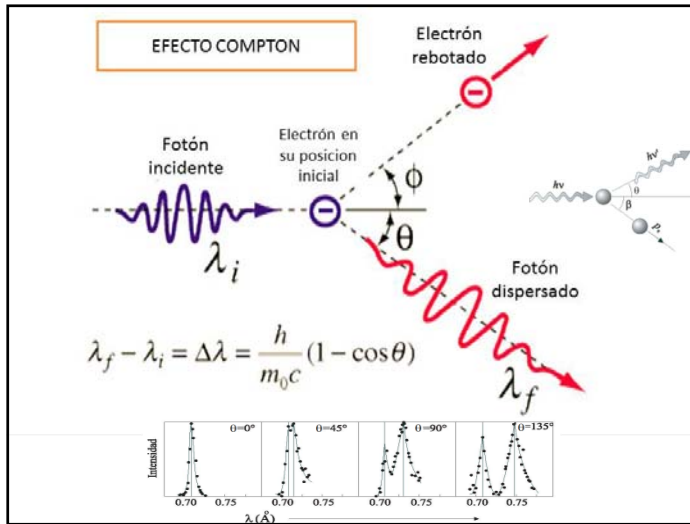
- Reconocimiento y verificación del **aumento de la masa efectiva con la velocidad** en **1905** y **1906**.
- Asignación de la **longitud de onda Compton $\lambda_c = h/(mc)$** al **electrón** a partir de la **dispersión de los rayos X por electrones libres** en **1923**,

$$\frac{h}{m_e c} = \frac{hc}{m_e c^2} = \frac{1240 \text{ eV nm}}{0,511 \text{ MeV}} = 0,00243 \text{ nm}$$

Longitud de onda Compton para el electrón.

Es equivalente a la **longitud de onda de un fotón** cuya energía coincide con la **masa de la partícula**.

- Hipótesis de las **propiedades ondulatorias del electrón** por de Broglie en **1924**, **$\lambda = h/(mv)$** . Fue **verificada** por el experimento de **C.J. Davisson** y **L.H. Germer** de **difracción de electrones por cristales** en **1927**, e independientemente por **G.P. Thomson** en **1928**,

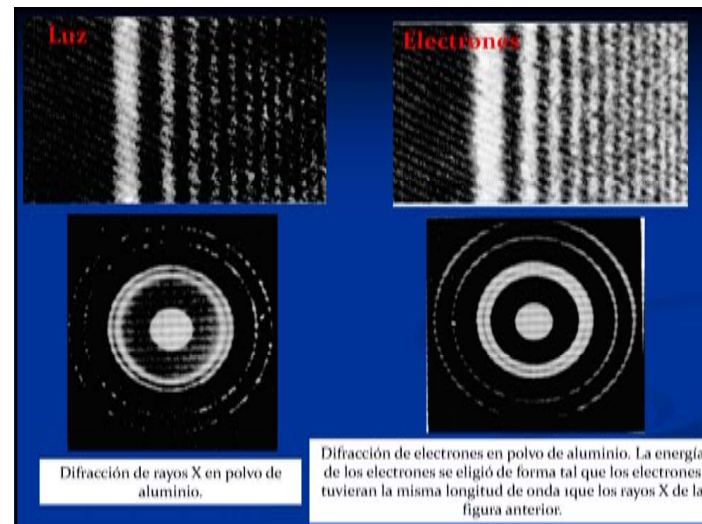
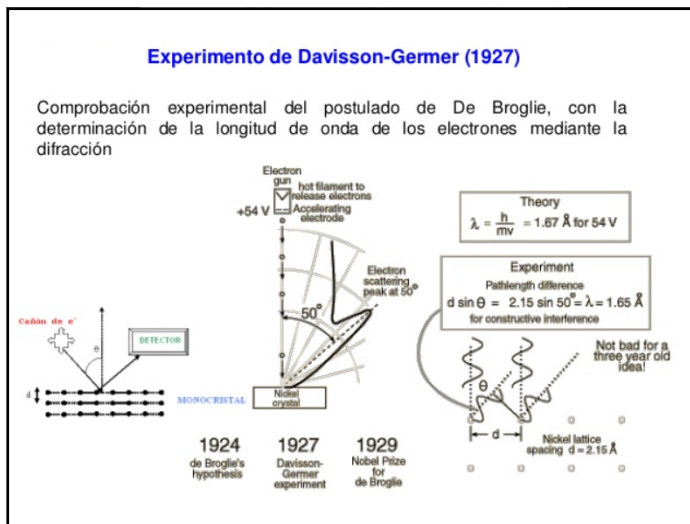


Para mí, la fe comienza al darse cuenta de que una inteligencia suprema creó el universo e hizo al hombre. No me resulta difícil tener esa fe, pues es incontrovertible que todo plan es fruto de una inteligencia.

(Arthur Compton)

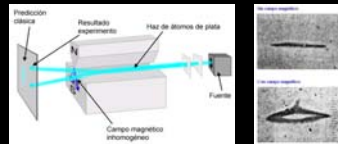
OBRA

1. *Los rayos X y los electrones* (1926)
2. *La libertad del hombre* (1935)
3. *Los rayos X en la teoría y en la práctica experimental* (1935)
4. *El significado humano de la ciencia* (1940)
5. *La búsqueda atómica: un relato personal* (1956)
6. *El cosmos de Arthur Holly Compton* (1967)




- Postulado del **concepto del electrón giratorio** en 1925 y 1926 por **G. Uhlenbeck** y **S. Goudsmit**, en el que el **momento angular de espín** de $\frac{1}{2}\hbar$ y **momento magnético** $\frac{1}{2}(e\hbar/mc)$ fueron asignados al electrón,

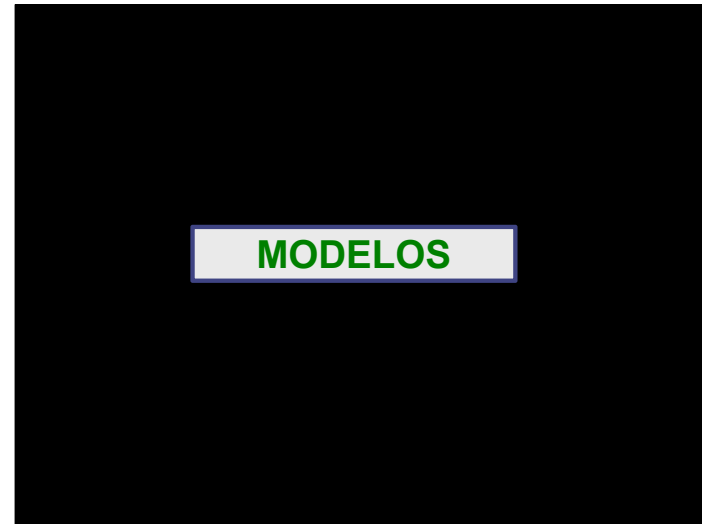
Experimento de Stern y Gerlach 1922



Propuesta de G. Uhlenbeck y S. Goudsmit 1925-1926



- El **descubrimiento** de la **ecuación de Dirac** en 1928,
- La derivación del **Zitterbewegung** del electrón en 1930; mediante el análisis de la ecuación de Dirac en la representación matricial de Heisenberg, **E. Schrödinger** llegó a la conclusión de que **debe de haber un movimiento oscilatorio asociado al electrón libre de Dirac**, al que denominó **Zitterbewegung (zimbra o cabeceo?)**,
- Predicción** del **antielectrón (positrón)** por P. Dirac en 1931, que fue **descubierto** por C. Anderson en 1932,
- Existencia de un **momento magnético anómalo del electrón**, que fue puesto en duda por **G. Breit** en 1947 y **determinado experimentalmente** por **P. Kusch** y **H.M. Foley** en 1948.



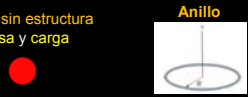
Los principales científicos de la época desarrollaron rápidamente **modelos para el electrón** y realizaron experimentos para validar sus ideas.

Punto ideal

Punto ideal con masa


Esfera sin estructura masa y carga

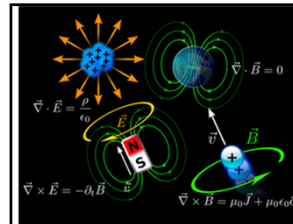
Anillo



Concluyeron que la **partícula eléctrica** que habían descubierto era un **elemento fundamental de la materia** (o **partícula elemental**), y que los **electrones** formaban parte de los objetos ordinarios que observamos y manejamos todos los días.

Se desarrolló el concepto de que **la materia tiene una naturaleza electromagnética**, que explica lo que observamos en la naturaleza, así como que la **electricidad** y el **magnetismo** podían explicar numerosas propiedades físicas de la materia, como la **inercia**, el **color** de los objetos, la **fuerza gravitatoria** entre las masas y la **estructura cristalina** de ciertas moléculas.





Maxwell's Equations in Free Space	
Integral Form	Differential Form
(1) $\oint \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int \rho dV$	← Gauss' Law → $\nabla \cdot \epsilon_0 \mathbf{E} = \rho$
(2) $\oint \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = 0$	← Gauss' Law → $\nabla \cdot \mu_0 \mathbf{H} = 0$
(3) $\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \int \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s}$	← Faraday's Law → $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mu_0 \mathbf{H}}{\partial t}$
(4) $\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} + \frac{\partial}{\partial t} \int \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$	← Ampere's Law → $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \epsilon_0 \mathbf{E}}{\partial t}$

Primera ecuación: Las cargas eléctricas generan campos eléctricos cuyas líneas de fuerzas tienen comienzo y fin.

Segunda ecuación: No es posible aislar los polos magnéticos debido a que las líneas de campo son cerradas sobre sí mismas, sin inicio ni fin.

Tercera ecuación: Un campo magnético variable induce un campo eléctrico variable.

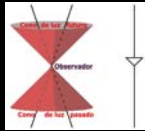
Cuarta ecuación: Un campo magnético puede ser producido por una corriente eléctrica o por un campo eléctrico variable.

Predicciones de maxwell

- hay ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz.
- las ondas electromagnéticas son emitidas por cargas eléctricas aceleradas.

Durante más de **120 años**, los físicos se han dado cuenta de que **la comprensión de los electrones** es importante para el desarrollo de la ciencia.

La mayoría de los físicos han adoptado las **matemáticas relativistas** y las **leyes del azar** como principios rectores para predecir los fenómenos naturales.

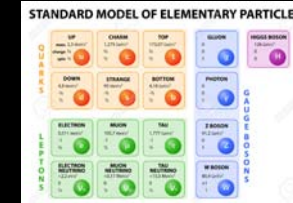


Sin embargo, **una pequeña minoría**, en su mayoría ignorada, siguió buscando el orden en el universo con modelos y teorías basadas en la **causalidad** y la convicción de que se podía descubrir y validar una **descripción determinista** de la materia en **términos físicos**.



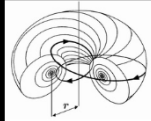
Modelos históricos. Pronto se propusieron varios modelos para el electrón descubierto por J. J. Thomson en **1897**.

La carga eléctrica **comprimida** en forma de esfera o de anillo fue propuesta y evaluada sobre la base de la **electrodinámica clásica**. En los años siguientes, se desarrolló una **nueva teoría cuántica** que integró el electrón puntual y el electrón cuántico en el **Modelo Estándar de Partículas Elementales**.



El primer modelo del **electrón** consistía en una **"carga distribuida sobre la superficie de una pequeña esfera"**. A partir de la masa conocida, que se suponía de origen electromagnético, se calculó un "radio clásico del electrón" de **$2,82 \times 10^{-15}$ m**. Max **Abraham** abogaba por una **esfera perfectamente rígida**, mientras que H. A. **Lorentz** proponía una **esfera deformable** que se contrajera de acuerdo con su velocidad. Ninguno era consciente aún del **espín** del electrón (momento angular) o del **momento magnético**, y por lo tanto sus esferas no era giratorias ni intentaban explicar estas características.

Otro modelo fue propuesto por **Parson** en **1915**. Su modelo consistía en una **carga distribuida sobre la superficie de un anillo giratorio**. Mientras que la esfera tiene sólo un grado de libertad, el radio **R**, el anillo giratorio de Parson tiene **tres grados de libertad**, el radio **R**, la mitad del espesor **r**, y la velocidad de rotación **ω** , lo que proporciona más oportunidades para que las características del modelo de anillo se ajusten a los parámetros medidos del electrón.



Como un propuesto constituyente básico de la materia ordinaria, el modelo de anillo giratorio del electrón prometía explicar muchas de las propiedades medidas en varios materiales.

En **1918**, H. S. **Allen**, presentó "**El caso de un electrón de anillo**", y discutió los argumentos a favor de un electrón en forma de circuito de corriente capaz de producir efectos magnéticos. El electrón, además de ejercer fuerzas electrostáticas, se comporta como un **pequeño imán**. La suposición del electrón de anillo eliminaba muchas dificultades pendientes...

Aunque el electrón anular de Parson tenía características que debían tomarse en serio, y explicaba más fenómenos que cualquier otro modelo, sus defensores se basaban en estimaciones e incluso se equivocaban al enumerar algunas de sus propiedades. Lo más notable fue el valor dado a su espín, un valor igual a **$h/2\pi$** , en lugar del valor empíricamente correcto de la mitad de esta cantidad.

Tal vez por esta razón, o por otras razones no declaradas, la mayoría de los científicos de hoy en día **adoptan el Modelo Estándar**, que considera al electrón como un objeto cuántico con dualidad de onda-partícula.

Como partícula, el modelo puntual de la MC elimina la extensión espacial de los modelos anteriores "por un proceso de omisión directa o sustracción de términos no deseados".

Como afirma P. A. M. Dirac, el objetivo es "no tanto obtener un modelo del electrón como un simple esquema de ecuaciones que pueda utilizarse para calcular todos los resultados que pueden obtenerse de un experimento".

El modelo de punto ideal es, en realidad, un modelo matemático y "no se basa en un modelo que se ajuste a las ideas físicas actuales".

Como los modelos esféricos, el modelo de punto ideal es físicamente inestable. Peor aún, requiere que la densidad de la energía de la masa en reposo de la partícula esté intacta.

Según las leyes de la electrodinámica, una partícula puntual con la carga conocida medida para un electrón tendría que tener espín cero y cero momento magnético e inmediatamente se separaría debido a la fuerza de repulsión de Coulomb.

En lugar de descartar el modelo puntual por sus predicciones erróneas, el modelo está dotado de las propiedades fundamentales empíricamente correctas por aclamación, dando crédito a una visión cínica en la que la ciencia moderna ha logrado más por consenso y por decreto que por lógica.

Bajo la vívida imaginación de los *líderes "científicos"* modernos, el modelo de puntos persiste en la literatura científica actual —incorporado a la teoría cuántica de los electrones— y se ha convertido en la teoría dominante sobre los electrones, en nuestros días.

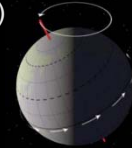
El concepto moderno de un electrón cuántico que exhibe la dualidad onda-partícula ha sido expuesto por **Bohr, Dirac, Heisenberg, Schrödinger, DeBroglie, Born, Feynman** y otros. Según este modelo, "una partícula libre no relativista, de energía $E = mv^2/2$ y momento angular $p = mvR$, se asocia con una onda de $\psi = E/h$ y $\lambda = h/p$ ". Esta onda, o un conjunto de ondas que forman un paquete de ondas, se describe matemáticamente por la función de onda de Schrödinger expresada por $\psi(x,t)$. Una interpretación física de la función de onda de Schrödinger fue formulada por Max Born y "afirma que la cantidad $|\psi|^2 = |\psi|^2$ debe ser interpretada como una densidad de probabilidad para una partícula en el estado ψ ". Esta descripción del electrón cuántico es esencialmente una construcción matemática con sólo un tenue vínculo con una interpretación física o una estructura física. La cuestión de la estabilidad del electrón simplemente se descarta por no ser relevante, ya que la esencia del modelo es *matemática y no física*.

Muchos científicos han llegado a la conclusión de que ninguno de los modelos históricos proporciona una explicación satisfactoria de las características observadas del electrón. La Enciclopedia de Ciencia y Tecnología de McGraw-Hill afirma que "Aún falta una buena teoría de la estructura de los electrones... Todavía no hay una explicación generalmente aceptada de por qué los electrones no explotan bajo las tremendas fuerzas de repulsión de Coulomb en un objeto de pequeño tamaño.

Las estimaciones de la cantidad de energía necesaria para "ensamblar" un electrón son realmente muy grandes. La estructura de los electrones es un misterio sin resolver..." 5

Por qué un electrón **NO** puede ser un punto ideal:

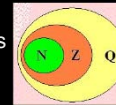
1. Tiene masa ($m_e = 9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$) \rightarrow *resistencia al cambio estado movimiento*
2. Tiene carga ($q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) \rightarrow *comportamiento relacional*
3. Tiene momento angular propio ($\vec{S}_e = 0,5 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
4. Tiene momento magnético ($\vec{\mu}_e = -9,3 \times 10^{-24} \text{ J/T}$)
5. Tiene movimiento de *cabeceo* o *precesión*



Y como consecuencia, precisa tener:

1. Tamaño ($r_e \approx 1,353 \times 10^{-57} \text{ m} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{-24} \text{ m}$)
2. Forma (¿esfera? – ¿elipsoide? – ¿anillo? – ¿otras?)
3. Composición:

1. Elementos o componentes
2. Número de componentes
3. Ligaduras entre componentes
4. La esencia distintiva de los componentes



Por qué un electrón **NO** puede ser una *esfera* o *elipsoide*:

1. Las **fuertes fuerzas** de Coulomb de los elementos de carga concentrados en un área pequeña harían que el electrón explotara.
2. No se ha encontrado ninguna fuerza que equilibre las fuerzas de Coulomb en la superficie (o en la masa interna) de un electrón esférico.
3. Para producir el **momento magnético** observado del electrón, una esfera giratoria necesitaría una velocidad ($2,3 \times 10^{11} \text{ m/s}$) periférica **muy superior a la velocidad de la luz**: ($c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$),
4. La equivalencia masa-energía de la carga eléctrica en una esfera proporciona sólo el 75% de la masa efectiva del electrón: es decir, $E_0 = (3/4) m_0 c^2$.

Se argumenta después que esta violación esta permitida por el **principio de indeterminación** siempre que sea durante **breves periodos de tiempo**:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

Cuanto **mayor es la energía del fotón virtual**, menor es el tiempo de su existencia durante el cual se esta violando la ley de conservación de la energía.

En la subsiguiente **absorción** también se produce una violación de la ley de conservación de la energía pero **de signo contrario** a la producida en la **emisión** del fotón virtual. **Las dos violaciones se compensan** y el proceso total cumple la ley de conservación de la energía.

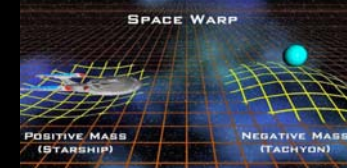


Otra peculiaridad de los **fotones virtuales** es que deben tener una **"masa"** que puede ser **negativa o positiva**.

Ello permite explicar que el intercambio de **fotones virtuales** pueda producir, tal como se observa con las fuerzas eléctricas, **atracciones** o **repulsiones** según se trate de un fotón virtual de masa negativa o positiva, respectivamente.

El mecanismo de intercambio de **fotones virtuales** parece muy razonable para explicar **interacciones de repulsión**, pero resulta algo inapropiado para explicar las interacciones atractivas.

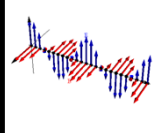
Esto solo es posible admitiendo una **masa negativa** para los **fotones virtuales**, que en los choques producirían un efecto contrario al que estamos acostumbrados (**una masa negativa, a la que se le aplica una fuerza, se acelera hacia el origen de la fuerza**).



Dado que no tenemos experiencias de impactos con objetos de masa negativa se requiere un poco de imaginación para ver lo que pasaría en ellos. El impulso que transmitiría **un objeto de masa negativa** tendría una **dirección contraria a la de su movimiento**.

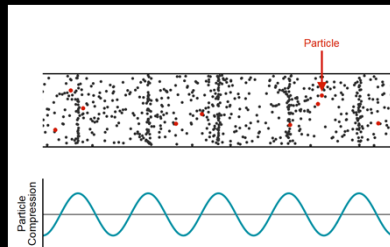
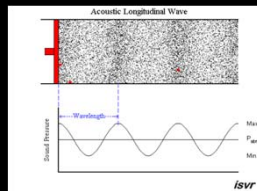
Un impacto frontal de un cuerpo en reposo, con un hipotético objeto de **masa negativa** haría que el cuerpo se moviese **hacia donde proviene el objeto**. Es decir el resultado de este experimento sería el contrario a lo que se observa en las experiencias cotidianas de colisiones entre cuerpos.

Aparte de por su **extraña masa**, los **fotones virtuales** se diferencian de los **fotones reales** por su **polarización**.

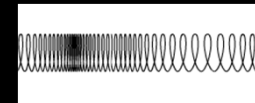


El vector de **Poynting** es un vector cuyo **módulo** representa la **intensidad instantánea de energía electromagnética** que fluye a través de una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y cuyo sentido es el de la propagación.

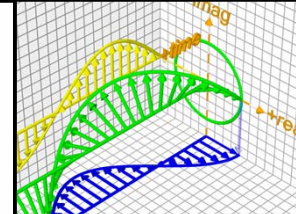
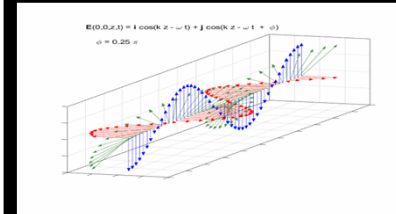
Mientras que la polarización en los **fotones reales** es **transversal** (las ondas electromagnéticas son ondas transversales) la polarización de los **fotones virtuales** es una **mezcla de polarización longitudinal y temporal**.



La **polarización longitudinal** no es difícil de imaginar: los campos eléctrico y magnético tienen la misma dirección que el **vector de propagación**, es decir se trataría de ondas longitudinales como las del sonido o en un muelle:

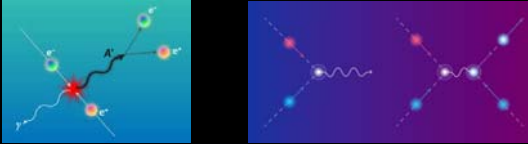


La interpretación de la **polarización temporal** es menos intuitiva.



Los cálculos basados en la simple emisión y absorción de los **fotones virtuales** se **aproximan mucho a los resultados experimentales**, pero no coinciden con ellos de forma totalmente exacta. La teoría que ha conseguido explicar estas discrepancias se denomina **Electrodinámica Cuántica Renormalizada** (1930-1950).

Este refinamiento de la teoría inicial no solo añade complejidad al mecanismo de la interacción sino que sugiere **una estructura supercomplicada para el electrón** (o, en general, para cualquier partícula cargada): en ocasiones alguno de los **fotones virtuales** emitidos por una de las partículas cargadas se transforma en un **par e^-e^+** , que vuelve a transformarse en un **fotón virtual** y es absorbido por la otra partícula cargada.



De este modo, en algunas ocasiones poco frecuentes, la dispersión entre partículas cargadas se producen por **intercambio de un fotón virtual** que pasó algún tiempo siendo un par e^-e^+ .

Esta no es la única situación que puede darse, por tanto, para que exista una aproximación aun mayor entre los cálculos y las medidas, por lo que hay que admitir otras posibilidades, como por ejemplo **a)** que entre el **electrón** y el **positrón** del par creado se intercambie **otro fotón virtual**, o **b)** que durante la vida del fotón virtual tenga lugar dos veces la creación y aniquilación de un par, o **c)** que se haya creado un par $\mu^-\mu^+$, etc.

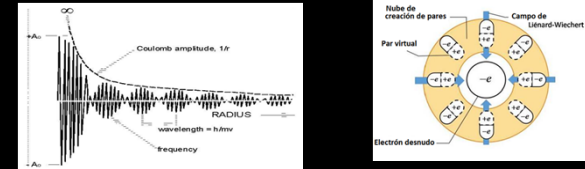
La imagen que la **QED renormalizada** da acerca de la naturaleza de las partículas cargadas es bastante exótica. Por ejemplo, los cálculos **muestran al electrón rodeado de fotones virtuales**, de **pares e^-e^+** y de **otras entidades**, constantemente **apareciendo y desapareciendo**.

Este enjambre, es el llamado **electrón vestido** y el electrón desde donde sale toda esta circunstancialidad es el **electrón desnudo**.

Para que todo coincida entre cálculos y medidas, **la carga eléctrica del electrón desnudo ha de tener un valor infinitamente pequeño**, conocido como **valor "renormalizado"** de la carga.

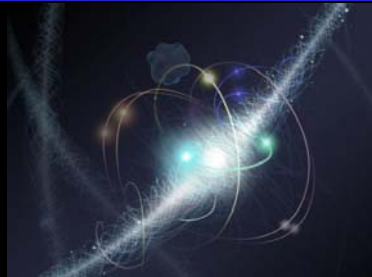
La carga eléctrica que experimentalmente se asigna al electrón, con un valor mucho mayor al de la **carga renormalizada**, sería la carga correspondiente al **electrón vestido**.

Lo mismo ocurre con la **masa del electrón**. Se considera una masa infinitesimal (o renormalizada) para el electrón desnudo y una masa que coincide con la masa experimental para el electrón vestido.



Nuevamente, **nos hacemos la siguiente pregunta:**

Siendo así que una entidad tan elemental como el **electrón** puede existir tanto en la forma **vestida** como **desnuda**, envuelto y acompañado por un **enjambre** con un número **siempre indeterminado** de objetos virtuales que aparecen y desaparecen, **¿puede afirmarse categóricamente que dos electrones son idénticos e indiscernibles?**



Properties of Some Particles

Name	Symbol ^a	Spin I	Charge number z	Rest mass		Magnetic moment μ/μ_B	Meanlife τ/s
				m/u	mc^2/MeV		
Photon	γ	1	0	0	0		
Neutrino ^b	ν_e	1/2	0	0	0		
Electron ^c	e^-	1/2	-1	5.485 799 03 (13) × 10 ⁻⁴	0.510 999 06 (15)	1.001 159 652 193 (10) ^d	
Muon	μ^-	1/2	±1	0.113 428 913 (17)	105.658 389 (34)	1.001 165 923 (8) ^d	2.197 3 (4) × 10 ⁻⁴
Pion	π^\pm	1	±1	0.149 832 3 (8)	139.5679 (7)		2.6030 (24) × 10 ⁻⁸
Pion	π^0	1	0	0.144 9008 (9)	134.9743 (8)		8.4 (6) × 10 ⁻¹⁷
Proton	p	1/2	1	1.007 276 470 (12)	938.272 31 (28)	2.792 847 386 (63)	
Neutron	n	1/2	0	1.008 664 904 (14)	939.565 63 (28)	-1.913 042 75 (45)	889.1 (21)
Deuteron	d	1	1	2.013 553 214 (24)	1875.613 39 (53)	0.857 437 6 (1)	
Triton	t	1/2	1	3.015 500 71 (4)	2808.921 78 (85)	2.978 960 (1)	
Helion	h	1/2	2	3.014 932 23 (4)	2808.392 25 (85)	-2.127 624 (1)	
α -Particle	α	0	2	4.001 506 170 (50)	3727.380 3 (11)	0	

*The Particle Data Group recommends the use of italic symbols for particles and this has been adopted by many physicists.
^aThe electron as β -particle is sometimes denoted by β .
^bThe values is given in Bohr magnetons μ/μ_B , $\mu_B = e\hbar/2m_e$.
^cThe value is given as m/m_e , where $m_e = e\hbar/2m_e$.


Se trata de un cuantón, **el más elemental** de todos, que fue descubierto el primero y del que aún hoy día, pese a que hace ya más de un siglo que fue descubierto (1897), no se conocen todas sus propiedades y naturaleza, existiendo diversas y controvertidas propuestas para explicarlo. Inicialmente se pensó que era un simple cuantón elemental, **sin componentes**, de constitución **homogénea**, **continua** e **isótropa**. Actualmente, **se le considera tan complejo** como el resto de cuantones elementales.

Propiedades y características del cuantón electrón

- No se trata de una **partícula puntual** (ideal)
- Tiene **estructura interna**

Aún no se conocen sus posibles componentes y cómo se organizan. Si se sabe que el electrón posee un **"core"** prácticamente puntual ($r_c \approx 1.353 \times 10^{-57} m$) y una **"corona" esférica** que le proporciona un **radio aparente** de $r \approx 1 \times 10^{-24} m$.
 $10^{-57} \rightarrow 0.001$
 $10^{-24} \rightarrow 0.000000000000000000000001$

Tal **"corona"** está formada por **pares virtuales electrón-positrón** y un **potencial de carga** (coulombiano), con simetría aproximadamente esférica y en **forma de onda**, con **amplitud decreciente**.



El electrón está compuesto de **ondas esféricas de potencial** que convergen en el centro y **retornan** para convertirse en ondas externas. Las dos ondas forman una **onda estacionaria** cuyos picos y nodos son como las capas de una cebolla. La **amplitud** de onda es un número escalar, como una onda cuántica, **no un vector e.m.** El centro es la **ubicación aparente del electrón**.

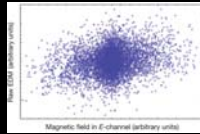
Electrón compuesto de ondas (fotones) **electromagnéticas** IN y OUT. Diagrama de las ondas internas y externas superpuestas de un electrón. La **envoltura** de las ondas electrónicas se observa en el laboratorio como el **potencial de carga**. El **potencial coulombiano** y el **electrón de onda** son los mismos en un radio suficientemente grande, pero cerca del centro sólo **el modelo de onda** coincide con el experimento.



El nuevo modelo del electrón (**QED**). El electrón desnudo viste la fluctuación del vacío **QED** como si fuera una carga. Esta fluctuación proviene de la **dispersión fotón-fotón**, que es el diagrama del bucle 1 de fermión, con dos fotones entrantes y dos fotones salientes. Este **"vestido"** tiene una carga resultante **positiva**.

3. Posee una **acción intrínseca** o propia con dos posibles valores: $\pm \frac{1}{2} \hbar$
 $\frac{1}{2} \hbar = 0,527285909 \times 10^{-34} \rightarrow$ Julios×segundo
4. Aparenta una **momento angular intrínseco** o propio
 Paradójicamente, si asumimos que un modelo que supone que el electrón es una carga puntual girando, **¡la velocidad de giro debería ser mucho mayor que la velocidad de la luz!**, para que el momento angular propio tomara el valor que tiene.
5. Aparenta un **momento magnético: -1.00115965218111 μ_B**
 Actualmente se supone que **la masa** del electrón se origina a partir de la **energía del campo eléctrico** que manifiesta: **$m_e = 0,510998928(11)$ MeV/c²**
 Dentro del electrón parece que existe una distribución continua de carga eléctrica y carga magnética, con **simetría esférica**. Según esta distribución de carga y, en consonancia con las Leyes de Gauss para el campo eléctrico y magnético, se suele calcular **la distribución de los campos eléctrico y magnético dentro del electrón** y, posteriormente, la correspondiente energía del campo electromagnético y el momento angular del electrón.
6. Aparenta una **carga negativa**, uniforme y siempre constante
 $q_e = -1.602 176 565(35) \times 10^{-19} C$

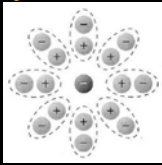
7. Su forma parece **aproximadamente esférica**



Improved measurement of the shape of the electron; J. J. Hudson, D. M. Kara, I. J. Smallman, B. E. Sauer, M. R. Tarbutt & A. Hinds; *Nature*, vol 473, 493-496 (2011)

8. Posee una envoltura que podría calificarse como **dinámica**

Esta envoltura está formada por pares virtuales **electrón-positrón** en constante interacción (creación-aniquilación), siempre en el dominio del Principio de Indeterminación de Heisenberg para la **energía** y el **tiempo**. El resultado, siempre la superficie externa de la "envoltura" **aparece como una carga eléctrica negativa**:



Dado el carácter dinámico de la "envoltura" de **apantallamiento** y el contexto de **indeterminación** en el que se desarrolla (**número** y **tipo** de pares) **¿puede decirse categóricamente que dos electrones son idénticos?**

La carga del electrón que observamos es la carga «desnuda» **apantallada por una nube de pares virtuales electrón-positrón**. Este fenómeno nos dice que la carga observada del electrón no es su carga «real», desnuda.

Recordemos que el electrón se mueve siempre rodeado de una nube de pares **electrón-positrón virtuales**. Debido al campo eléctrico del electrón estos pares los podemos imaginar organizándose de tal manera que los positrones virtuales se colocan más cerca de él y los electrones virtuales más lejos, luego nunca vamos a poder medir cuál es la verdadera carga del electrón —su carga desnuda— porque se encuentra parcialmente apantallada por una nube de positrones virtuales.

La carga efectiva del electrón va a ser su carga desnuda más la corrección QED: $e_{\text{eff}} = e_0 + \delta_e$.

Como en el caso de la masa, se esperaba que δ_e fuera mucho menor que e_0 . Sin embargo, sucedía todo lo contrario. La razón de esta divergencia podemos achacársela al principio de Heisenberg, que permite a las partículas virtuales aparecer con cantidades casi ilimitadas de energía.

Así, en ese bullicioso mar de pares **electrón-positrón** la única regla a seguir es que su tiempo de existencia dependa de la energía con la que aparecen: **cuanta más energía, menos tiempo**.

Por tanto, no hay ningún impedimento para que esos pares de partículas virtuales surjan con energías cada vez mayores si acaban devolviéndola en el instante de tiempo apropiado, siguiendo el principio de Heisenberg.

En consecuencia:

1. Los electrones presentan una serie de **propiedades aparentes** (**carga, masa, espín, momento magnético**) que se mantienen, en general, idénticas para todos ellos (**en toda circunstancia dinámica**).
2. Sin embargo, hay evidencias, de que a niveles más profundos (envoltura de apantallamiento), tienen lugar **múltiples y desconocidos procesos de formación y aniquilación de partículas virtuales** (dinámica interna, $e^+e^- \leftrightarrow \gamma\gamma(\gamma)$), que son imposibles de dilucidar con los conocimientos y experiencias actualmente disponibles: **dos fermiones se transforman en un bosón, y viceversa**.
3. Esta última cuestión nos lleva a **dudar de la posible identidad individual** de estos cuantones que, se supone, **son los más elementales** de los que aparecen en la naturaleza.
4. Así, podría decirse que el término **electrón** sería más bien un **epónimo** que **el nombre de una partícula** concreta.
5. **¿Son totalmente indiscernibles entre sí? ¿El espín es propio del electrón desnudo o de la corona de apantallamiento? ¿Cómo influye el estado de reposo o movimiento en la corona de apantallamiento? ¿Cuál es la composición del "core" interno del electrón? ¿Qué significado tiene que se asimile a un agujero negro de Kerr, con radio de $1,353 \times 10^{-87} \text{m}$?**

