



El electrón: un enigma aún sin descubrir

Modelos de electrón

ATENEO de Badajoz, 21 de noviembre de 2023
Francisco J. Olivares del Valle



La **Física Clásica** es un término que se utiliza para describir las teorías físicas desarrolladas antes del siglo XX.

Las disciplinas principales que conforman la **Física Clásica** incluyen:

1. Mecánica Clásica:

Desarrollada principalmente por **Isaac Newton** en el siglo XVII.

Incluye las leyes del movimiento y la famosa ley de la gravitación universal.

2. Termodinámica:

Se ocupa de los principios relacionados con el **calor, la temperatura y las transformaciones de la energía térmica** en otras formas de energía. Leyes de la termodinámica, ciclos termodinámicos, y conceptos como la entropía son fundamentales.

3. Electromagnetismo Clásico:

Formulado por **James Clerk Maxwell** en el siglo XIX. Describe las interacciones entre cargas eléctricas y campos magnéticos. Ecuaciones de Maxwell.

4. Óptica Clásica:

Se ocupa del estudio de la **luz y su comportamiento**.

Teoría de la propagación de la luz, reflexión, refracción, y formación de imágenes son áreas de enfoque.

5. Mecánica de Ondas:

Estudia la **propagación de ondas en medios materiales**.

Incluye las ondas sonoras y otros fenómenos ondulatorios en medios materiales.

Estas disciplinas, en conjunto, proporcionan un marco conceptual sólido para entender una amplia gama de fenómenos físicos a escala macroscópica.

La **Física Moderna** es el término utilizado para describir las teorías y conceptos desarrollados en el siglo XX y años posteriores.

Las disciplinas principales que conforman la **Física Moderna** son:

1. Teoría de la Relatividad:

1. Relatividad Especial (1905): Proporciona un marco teórico para describir el **movimiento de objetos** a velocidades cercanas a la velocidad de la **luz** y establece la **equivalencia entre masa y energía** ($E = mc^2$).
2. Relatividad General (1915): Proporciona una descripción de la gravedad como una **curvatura del espacio-tiempo** causada por la presencia de masa y energía.

2. Mecánica Cuántica:

1. Desarrollada a principios del siglo XX: N. Bohr, W. Heisenberg, Max Planck y E. Schrödinger.
2. Comportamiento de **partículas subatómicas** y la **naturaleza discreta de la energía a esa escala**.
3. Principios de la **dualidad onda-partícula**, de **indeterminación** y de **superposición**.

3. Teoría Cuántica de Campos:

1. Extensión de la mecánica cuántica que trata las partículas como **excitaciones de campos** cuánticos en lugar de partículas puntuales.
2. **Unifica la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad especial**.

4. Física de Partículas:

1. Estudia las partículas subatómicas y las interacciones fundamentales entre ellas.
2. Utiliza aceleradores de partículas para investigar las partículas elementales y sus propiedades.

5. Cosmología:

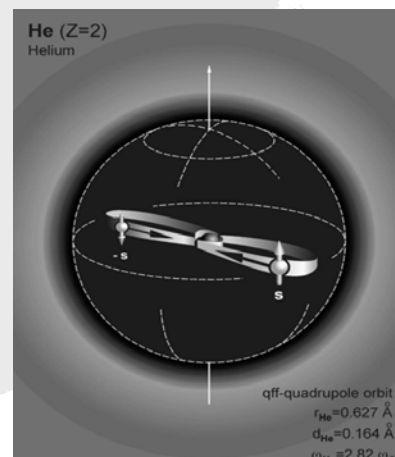
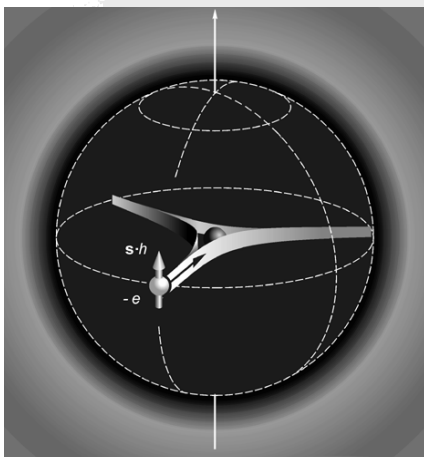
1. Se enfoca en el **estudio del universo en su conjunto**, su origen, estructura a gran escala y su evolución.
2. La **teoría del Big Bang** es una parte fundamental de la cosmología moderna.

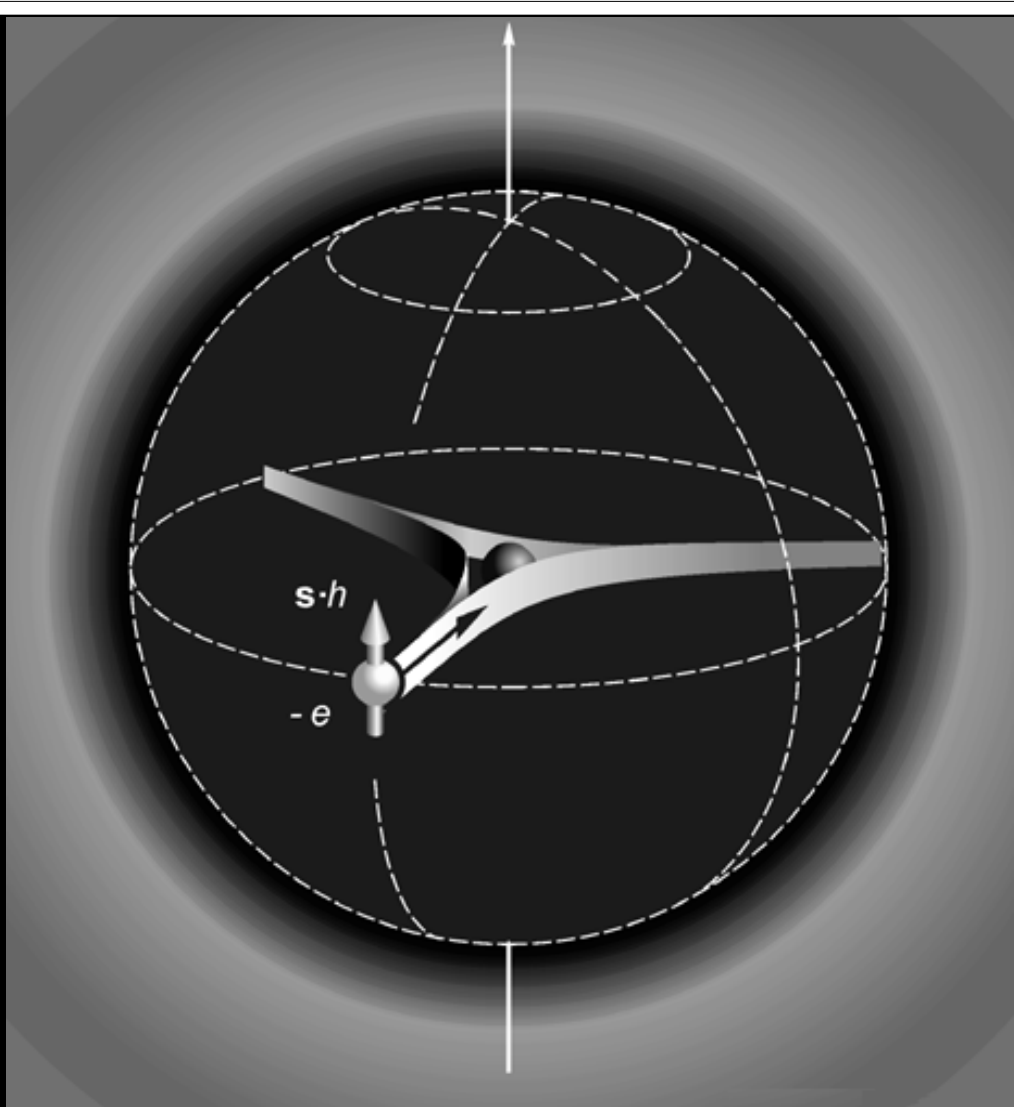
Estas disciplinas han revolucionado nuestra comprensión del universo y han llevado a **desarrollos tecnológicos significativos en campos como la electrónica cuántica, la**

¿Qué importancia tiene el electrón para el conocimiento del Universo en el que vivimos?

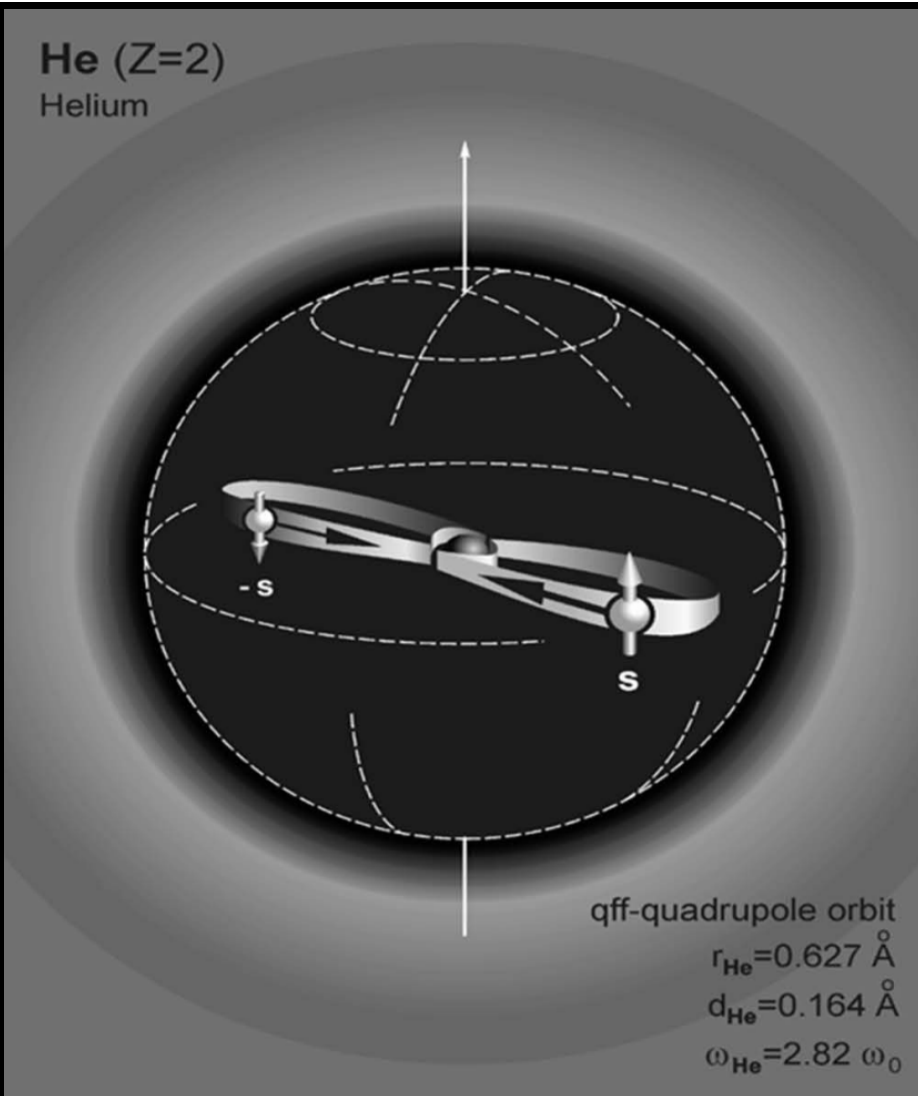
RESPUESTA CONVENCIONAL: El electrón es una partícula fundamental en la física y juega un papel esencial en nuestro entendimiento del universo.

OTRA POSIBLE RESPUESTA: El electrón es un **ente físico, real, con identidad propia y elemental** (no tiene partes), **homogéneo** en sí e **isótropo** (espacial y temporalmente), que desempeña un **papel fundamental en la Física** y, por consiguiente, en nuestro entendimiento del Universo.





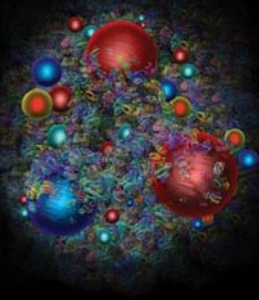
He (Z=2)
Helium



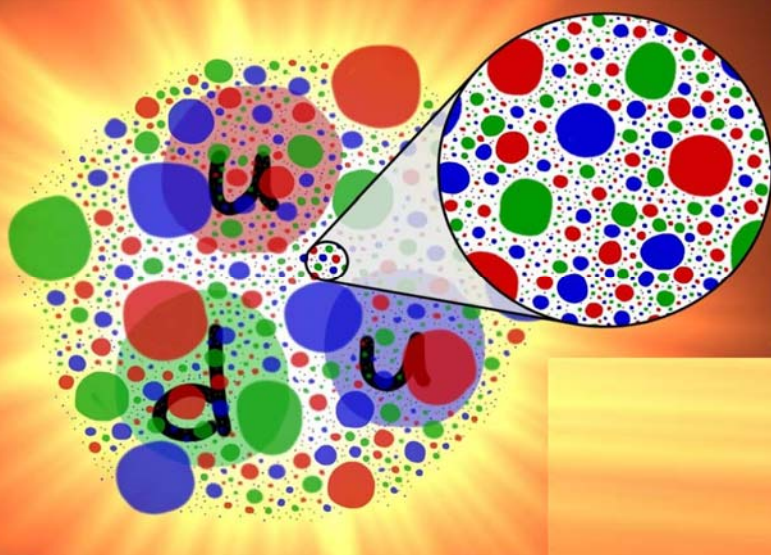
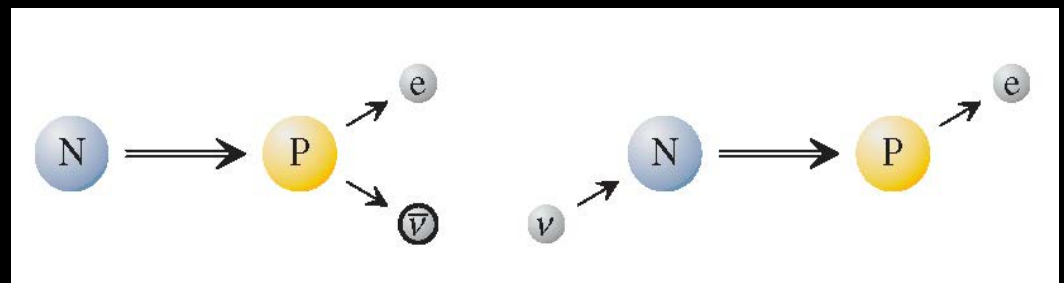
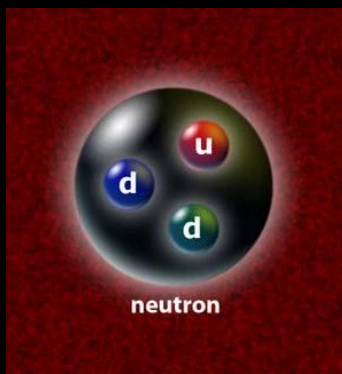
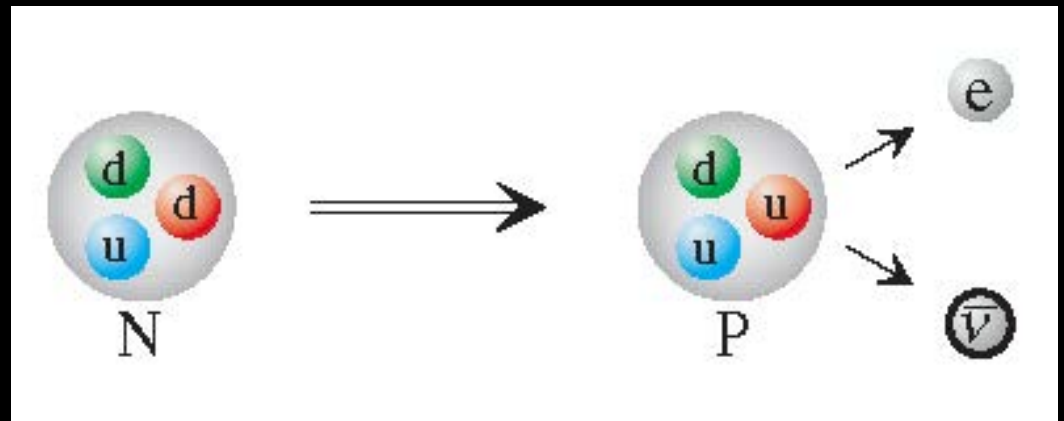
qff-quadrupole orbit
 $r_{\text{He}} = 0.627 \text{ \AA}$
 $d_{\text{He}} = 0.164 \text{ \AA}$
 $\omega_{\text{He}} = 2.82 \omega_0$

¿Y el resto de cuantones? ¿Son idénticos?

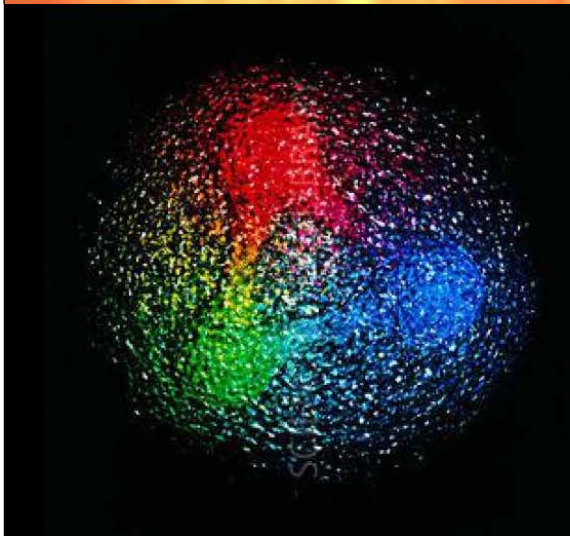
Si ya aparecen dudas en la "identidad" de dos electrones, la cuestión se complica para el resto de cuantones, de los que se tiene constancia de su composición interna, como por ejemplo ocurre con el **protón** y el **neutrón**.



Protón



A menudo se dice que el protón está formado por **dos quarks u** y **un quark d**, pero esto es sólo una aproximación. Debido a la interacción fuerte ahí dentro hay muchos quarks y gluones en continuo movimiento.




Quizá sería más exacto describir el protón como un **remolino de partículas** en el que los quarks **u** aparecen el doble de veces que los d.

Física cuántica: La mecánica cuántica es la parte de la Física que describe el comportamiento de entidades subatómicas, incluidos los electrones. La comprensión de la mecánica cuántica es esencial para explicar fenómenos a escala microscópica y para entender el comportamiento y la naturaleza de las entidades elementales. Como colectivo (ondas) y como individualidades (partículas).

Tecnología moderna: La electrónica y la tecnología moderna se basan en la manipulación y control de electrones. Dispositivos como computadoras, teléfonos móviles, televisores y una amplia gama de dispositivos electrónicos dependen de la capacidad de dirigir el flujo de electrones de manera controlada.


Cosmología: En el ámbito de la astrofísica y la cosmología, el estudio de partículas subatómicas, incluidos los electrones, es crucial para comprender la composición y evolución del universo. La física de partículas también desempeña un papel en la comprensión de fenómenos cósmicos a escalas extremadamente grandes.



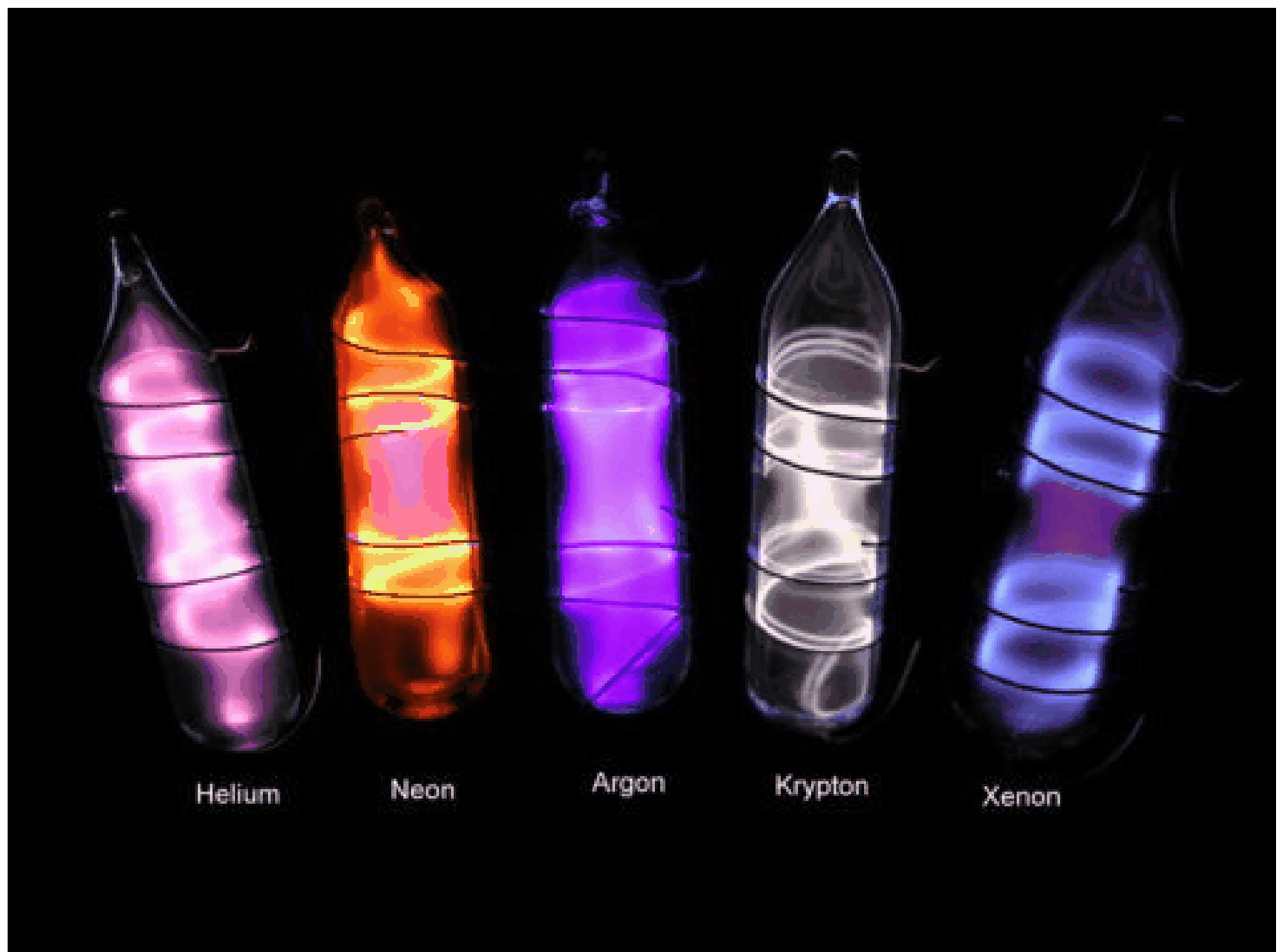
En resumen:

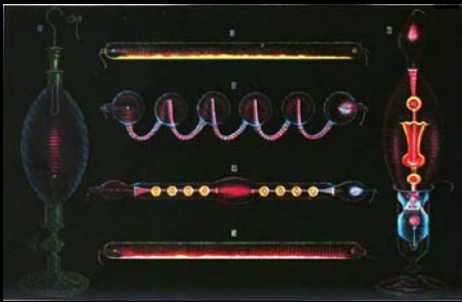
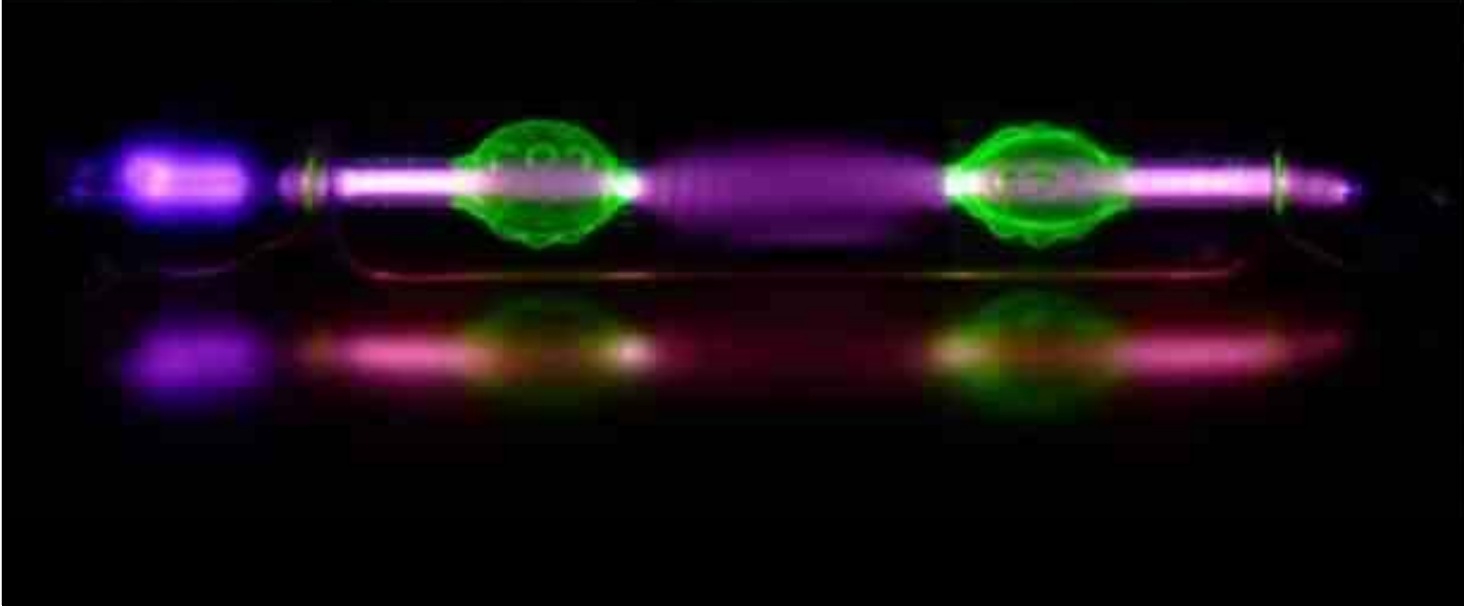
El **electrón** es fundamental para nuestra **comprensión del mundo** que nos rodea, desde la **estructura básica de la materia** hasta la **tecnología moderna** y la **exploración del universo** a escalas tanto subatómicas como cósmicas.

Su **estudio** y **comprensión** han sido esenciales para los avances científicos y tecnológicos que han dado forma a nuestro entendimiento del **universo** y han impulsado el **desarrollo de la sociedad**.



- P** El Electrón - 1 - Un enigma aún sin descubrir
- P** El Electrón - 2 - Los electrones en el conocimiento comun
- P** El Electrón - 3 - Propiedades del electrón
- P** El Electrón - 4 - Modelo de electrón como un fotón girando en un anillo
- P** El Electrón - 5 - Otros posibles modelos de electrón
- P** El Electrón - 6 - Modelos de electrón en rotación
- P** El Electrón - 7 - El electrón como una onda esférica estacionaria
- P** El Electrón - 8 - Modelo helicoidal de las partículas elementales



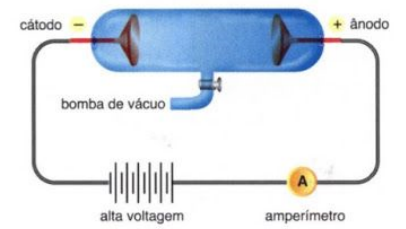


William Crookes (1870):

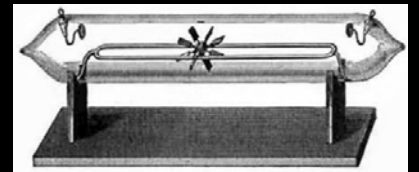


1832-1919

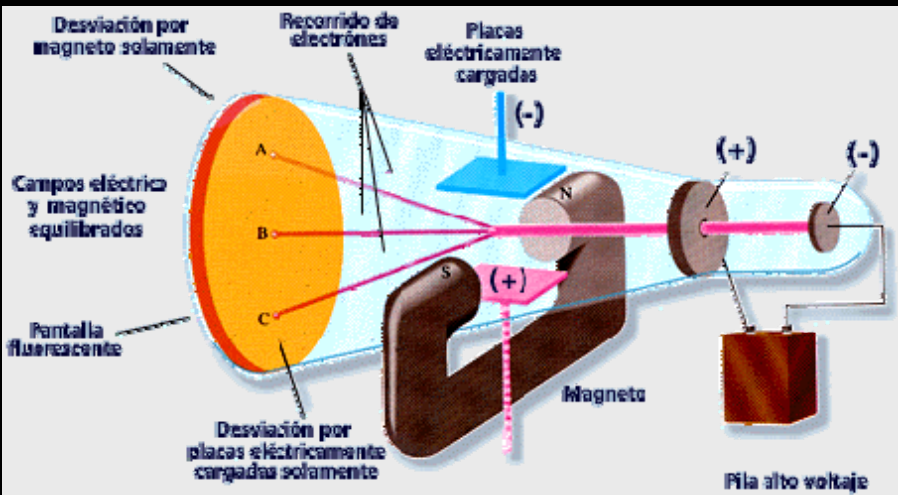
TUBOS DE CROOKES

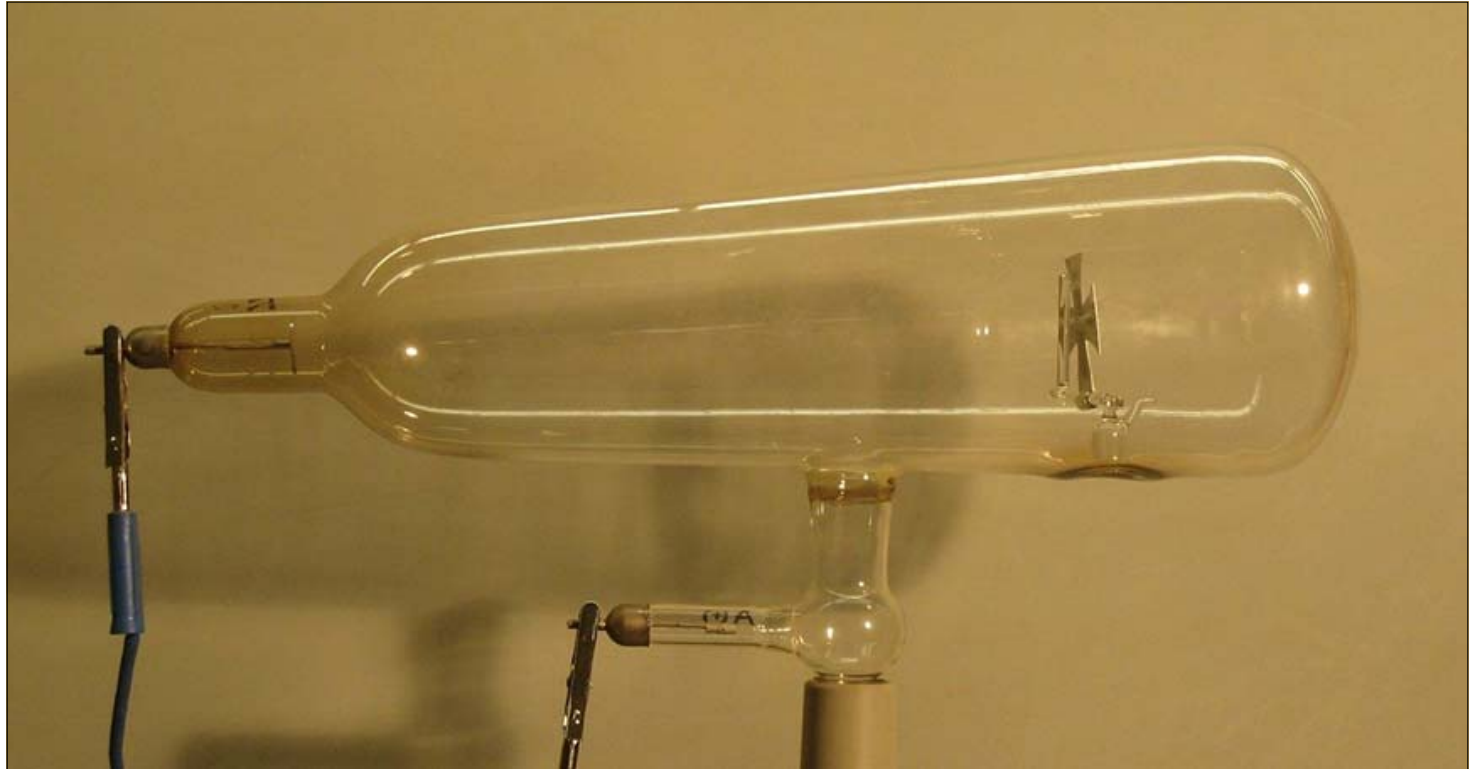


11

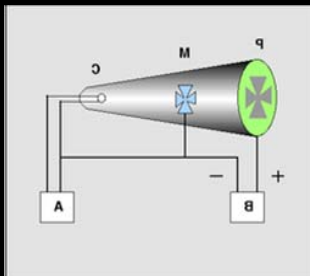


Geisler, 1854

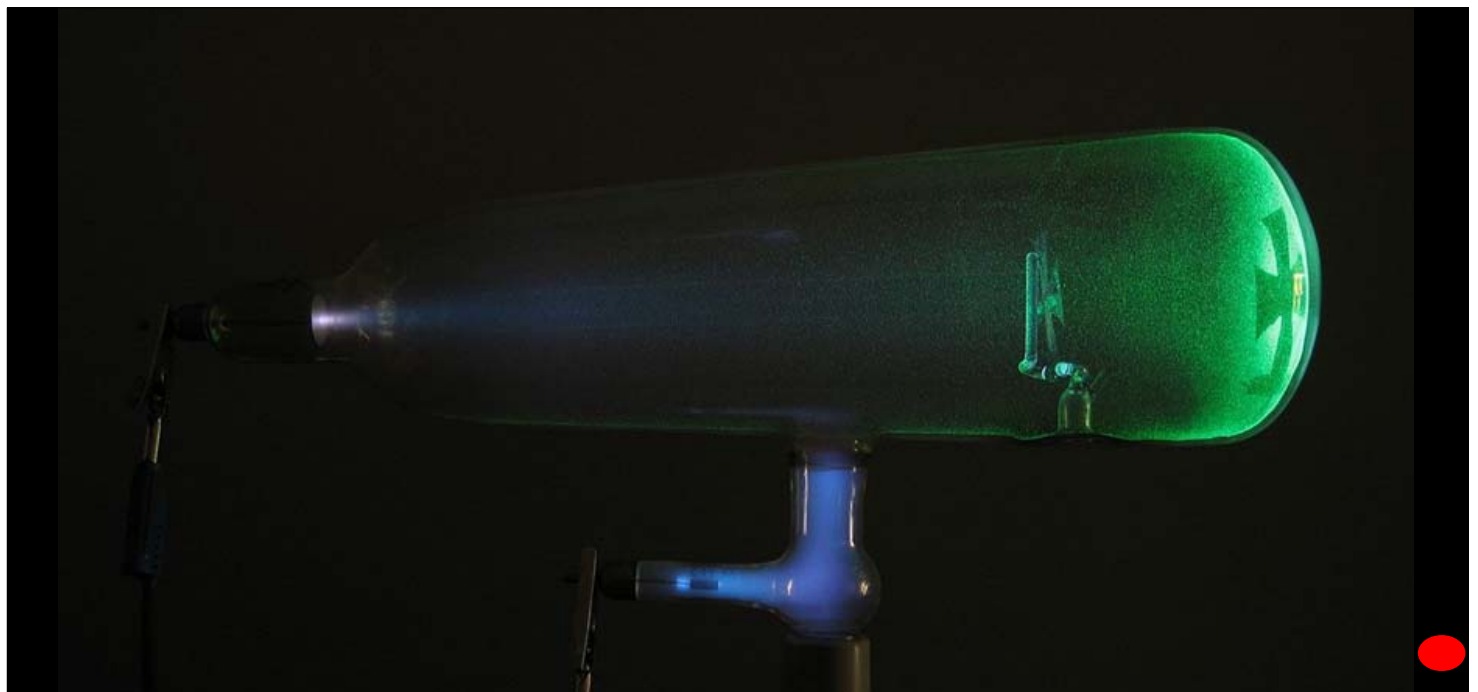
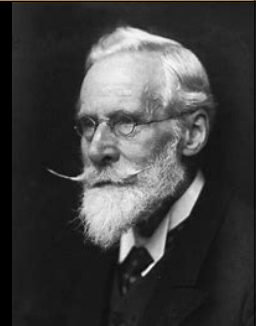




Tubo de William Crookes



En **1870**, formó parte de la corriente que se conoce como "**metapsíquica**" (predecesora de la parapsicología) con sus investigaciones sobre el espiritismo y los fenómenos mediúms

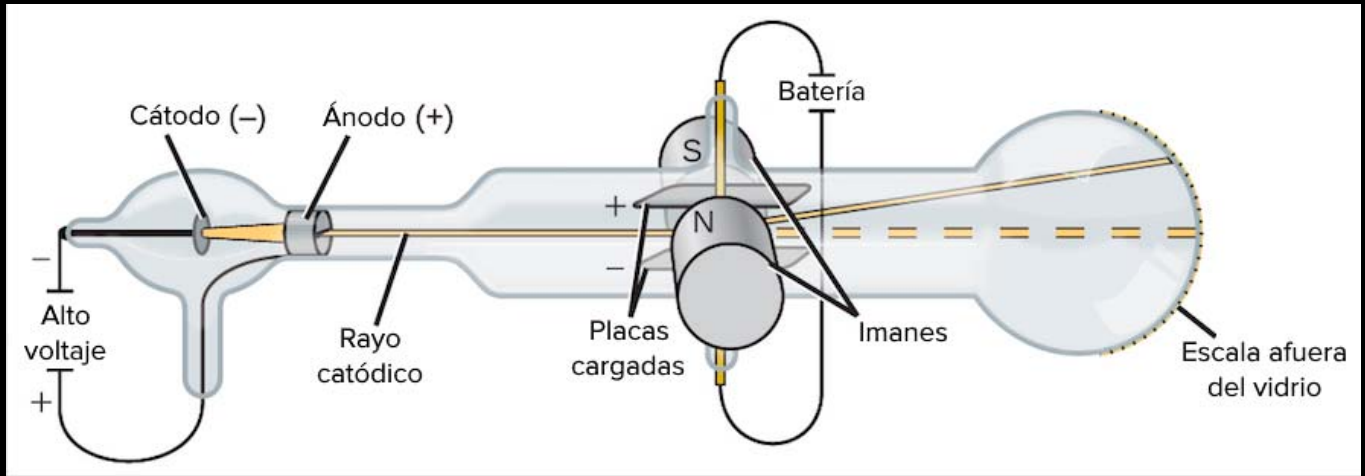


1. Proceden del **cátodo** (electrodo negativo)
2. **Rayos** catódicos
3. Viajan en **línea recta**
4. Tienen **masa**
5. Tienen **carga negativa**
6. Se ven **afectados por los campos magnéticos**, y
7. Son rayos constituidos por **haces de partículas minúsculas**

Modelos históricos para el electrón

Bergman, David L. - Models of the electron, Foundations of Science, 2 (1999)

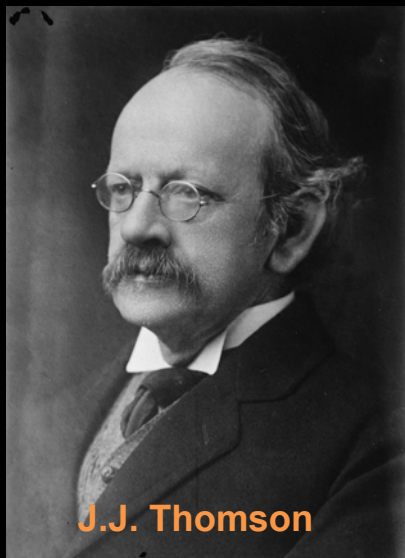
Antes de finales del siglo XIX, **J.J. Thomson** fue capaz de demostrar la existencia de una **pequeña partícula** que hoy se llama **electrón**.



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



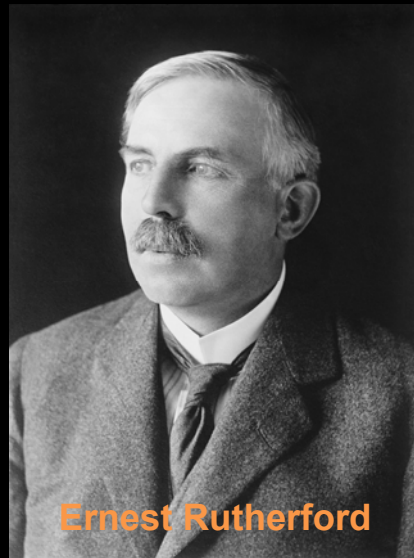
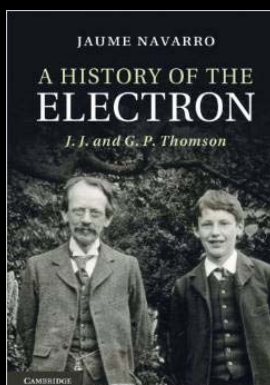
Partículas	Símbolo	Masa		Carga		Descubridor
		En Gramos	En UMA	Absoluta	Relativa	
Electron	e-	$9,1 \times 10^{-28}$	0,00055	$-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	-1	Thomson
Proton	p+	$1,6 \times 10^{-24}$	10,073	$+1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	+1	Rutherford
Neutron	n°	$1,6 \times 10^{-24}$	10,087	0	0	Chadwick



J.J. Thomson

British, 1856 - 1940

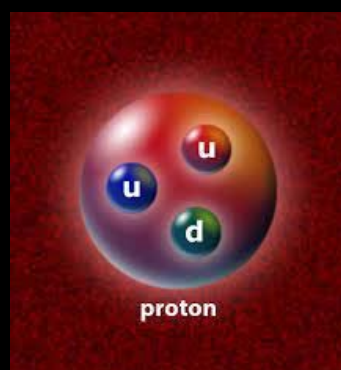
Electrón (1897)



Ernest Rutherford

British, 1871 - 1937

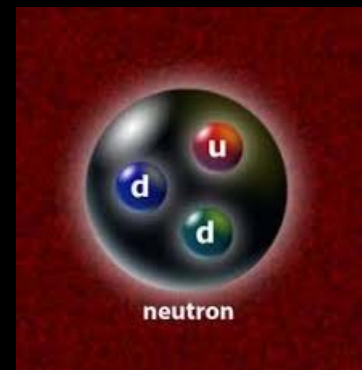
Protón (1918)



James Chadwick

British, 1891 - 1974

Neutrón (1932)



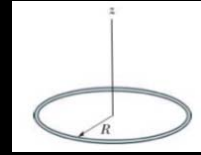
Los principales científicos de la época desarrollaron rápidamente **modelos para el electrón** y realizaron **experimentos** para validar sus ideas.

Punto ideal

Punto ideal con masa

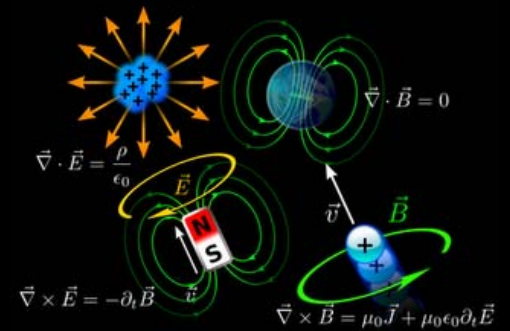
Esfera sin estructura
masa y carga

Anillo



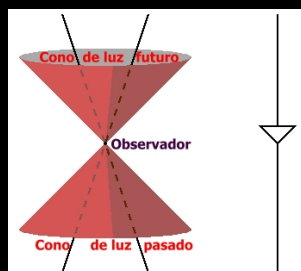
Concluyeron que la **partícula eléctrica** que habían descubierto era un **elemento fundamental de la materia** (o **partícula elemental**), y que los **electrones** formaban parte de los objetos ordinarios que observamos y manejamos todos los días.

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.

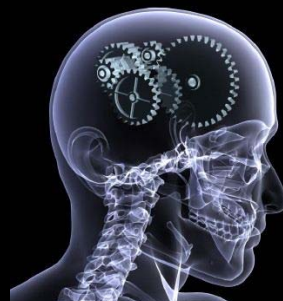


Durante más de **120** años, los físicos se han dado cuenta de que **la comprensión de los electrones** es importante para el desarrollo de la ciencia.

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 gran parte 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.

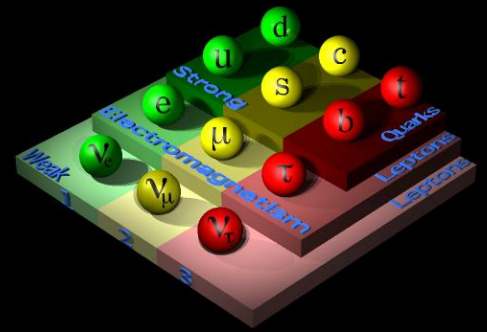
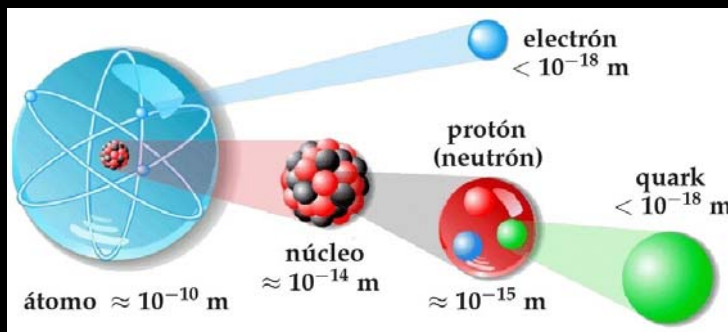


Modelos históricos para el electrón

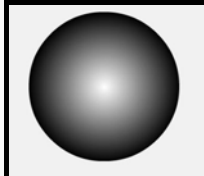
1. Pronto se propusieron varios modelos para el electrón descubierto por J.J. Thomson en **1897**. La **carga eléctrica** comprimida en forma de **esfera** o de **anillo** fue propuesta y evaluada sobre la base de la **electrodinámica clásica**.

Differential	Integral	Differential	Integral
$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_{\epsilon} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \right)$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = q$
$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_{\epsilon} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \right)$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

2. En los años siguientes, se desarrolló una nueva disciplina, la Teoría Cuántica, que integró el electrón como un **punto ideal** (punto matemático) y, después, el **electrón cuántico** en lo que dio en llamarse el **Modelo Estándar (ME)** de Partículas Elementales.



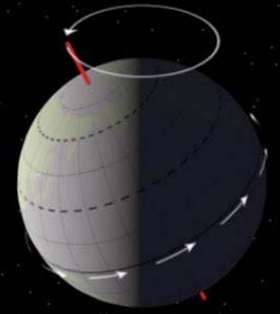
3. El **primer modelo del electrón** consistía en una carga distribuida sobre la superficie de una **pequeña esfera**. A partir de la masa conocida, que se suponía de origen electromagnético, se calculó un "**radio clásico del electrón**" de **$2,82 \times 10^{-15}$ m**.



4. **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 de los dos era consciente aún del **espín** del electrón (momento angular) o del **momento magnético**, y por lo tanto sus esferas no giratorias no intentaban explicar estas características.

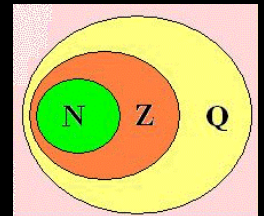
Por qué un electrón **NO** puede ser un **punto ideal**:

1. Tiene masa ($m_e = 9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$) \longrightarrow *resistencia al cambio estado movimiento*
2. Tiene carga ($q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) \longrightarrow *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**



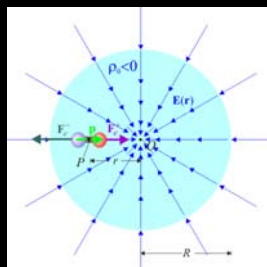
Y como consecuencia, precisa tener:

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



Hay **cuatro razones** por las que un **electrón esférico es insostenible**:

1. Las intensas fuerzas de Coulomb entre las cargas concentradas 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 de un electrón esférico.
3. Para producir el **momento magnético** observado del electrón, una esfera giratoria necesitaría una velocidad periférica **muy superior a la velocidad de la luz**.



4. La equivalencia **masa-energía** de la **carga eléctrica** en una esfera proporciona sólo el **75%** de la masa efectiva del electrón: es decir, $E_0 = (3/4) m_0 c^2$

A MAGNETON THEORY OF THE
STRUCTURE OF THE ATOM

(WITH TWO PLATES)

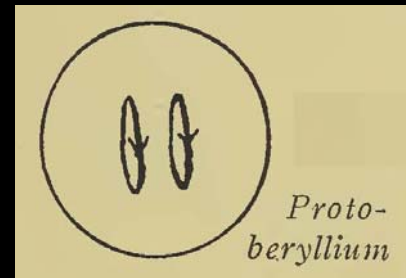
BY
A. L. PARSON



(PUBLICATION 2371)

CITY OF WASHINGTON
PUBLISHED BY THE SMITHSONIAN INSTITUTION
NOVEMBER 29, 1915

6. Otro modelo clásico fue propuesto para el electrón por **Parson**, en **1915**. Su modelo consistía en carga eléctrica 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 . Ello proporciona más oportunidades para que las características del modelo de anillo se ajusten a los **parámetros medidos del electrón**.

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

8. Aunque el electrón anular de **Parson** tenía características interesantes y **explicaba más fenómenos que cualquier otro modelo**, sus defensores se basaban en **estimaciones** e incluso se equivocaban al enumerar algunas de sus propiedades.

9. En una reunión de la Sociedad Física de Londres (25/10/1918) **H.S. Allen**, de la Universidad de Edimburgo presentó "**El caso de un electrón de anillo**".

En esta reunión, "**Allen discutió los argumentos a favor de un electrón en forma de circuito de corriente capaz de producir efectos magnéticos. Entonces el electrón, además de ejercer fuerzas electrostáticas, se comporta como un pequeño imán. La suposición del electrón de anillo elimina muchas dificultades pendientes...**"

DISCUSSION ON

"THE CASE FOR A RING ELECTRON."

A Meeting of the Society was held on Friday, October 25, 1918, at the Imperial College of Science, South Kensington, when a discussion took place on "The Case for a Ring Electron."

The chair was taken by the President, Prof. C. H. LEES, F.R.S., who called upon Dr. H. S. ALLEN to open the discussion.

II. *The Case for a Ring Electron.* By DR. H. S. ALLEN.

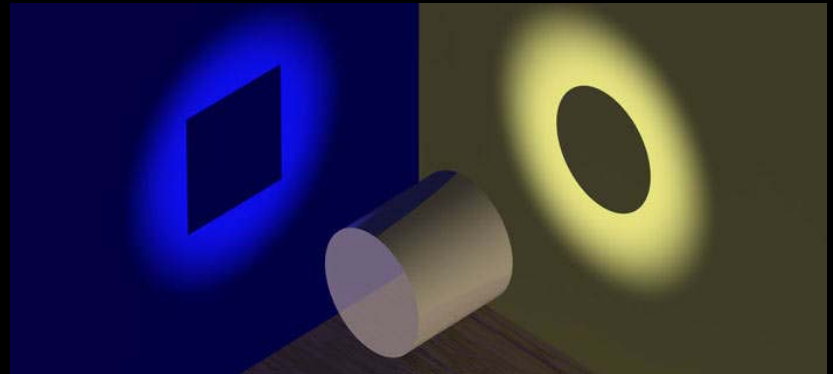
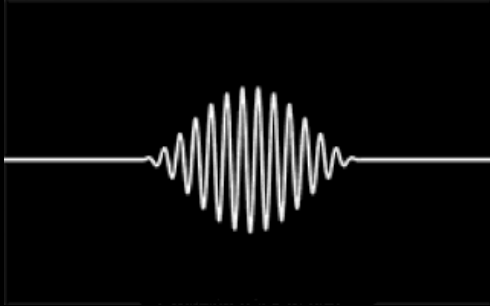
For many purposes it is sufficiently accurate to regard the unit of negative electricity as a point charge, but for a more exact determination of its properties it is necessary to assign some definite shape to the distribution of electricity constituting the electron. Thus, the shape is often assumed to be that of a sphere or spheroid. Although the spheroidal form possesses advantages from the standpoint of mathematical analysis, there are many reasons why it is preferable to assume that the electron is in the form of a current circuit which can produce magnetic effects. Then the electron, in addition to exerting electrostatic forces, behaves like a small magnet. In its simplest form the magnetic electron may be looked upon as a circular anchor ring of negative electricity which rotates about its axis with a velocity which is certainly large, and is perhaps comparable with that of light. Parson* has suggested that the name *magneton* should be applied to this electron; but, as this term has already been employed in a somewhat different sense, I prefer to speak of the ring electron.

With reference to the corpuscular theory of light, Sir Isaac Newton wrote: "I shall not assume this or any other hypothesis, not thinking it necessary . . . yet, while I am describing this to avoid circumlocution and to represent it more conveniently, I shall speak of it as if I assumed it and proposed it to be believed." In collecting the arguments in favour of the ring electron I do not wish it to be understood that I am

* Parson, "Smithsonian Misc. Coll.," Vol. LXV., No. 11, 1915.
VOL. XXXI. E

Sin embargo, lo más notable fue el valor dado al espín, $\frac{h}{2\pi}$, donde h es la constante de Planck, en lugar del valor empíricamente correcto de la mitad de esta cantidad, $\frac{h}{4\pi}$.

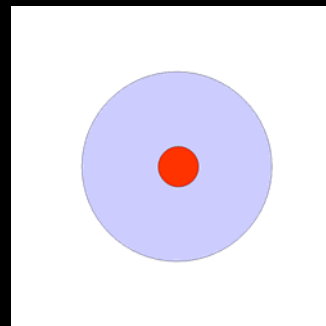
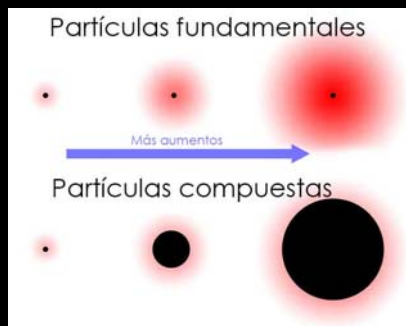
Tal vez por esta razón, hoy, la mayoría de los científicos adoptan el **ME**, que considera al **electrón** como **un objeto cuántico con dualidad de onda-partícula**.



10. Como partícula, el modelo de “**punto ideal**” de la teoría Cuántica (MC) elimina la extensión espacial de los modelos anteriores "*por un proceso de omisión directa o sustracción de términos no deseados*". Como afirmaba **P. A. M. Dirac**, el objetivo era "*no tanto obtener un modelo de electrón, sino más bien un simple esquema de ecuaciones que pueda utilizarse para calcular todos los resultados que pueden obtenerse de un experimento*".

11. El modelo de “**punto ideal**” es en realidad un modelo matemático y “*no se ajusta a las ideas físicas actuales*”.

12. Como los **modelos esféricos**, el **modelo puntual** es **físicamente inestable**. Peor aún, requiere que la densidad de la energía de la masa en reposo de la partícula permanezca invariable. Según las leyes de la electrodinámica, una **partícula puntual** con la carga del electrón tendría que tener **espín** y **momento magnético nulos** y tendería a explotar inmediatamente como consecuencia de la **fuerza repulsiva coulombiana**.



13. En lugar de descartar el **modelo puntual** por sus predicciones erróneas, **sigue admitiéndose** por **aclamación**, dándose así crédito a una **visión cínica**, en la que la ciencia moderna ha logrado más por consenso y por decreto que por lógica. Con ello, bajo la vívida imaginación de los **líderes "científicos" modernos**, el **modelo puntual persiste en la literatura científica actual** y se ha convertido en la **teoría dominante** sobre los electrones

14. El concepto moderno de un **electrón cuántico** que exhibe la dualidad onda-corpúsculo fue expuesto por **Bohr, Dirac, Heisenberg, Schrödinger, DeBroglie, Born, Pauli, Feynman** y otros.



15. Según este modelo, "una partícula libre no relativista, de energía $E = \frac{1}{2}(mv^2)$ y momento angular $l = mvR$, se asocia con una onda de $v = E/h$ y $\lambda = h/p$ ".
16. Esta onda —o un conjunto de ondas que forman un paquete de ondas— se describe matemáticamente por la **función de onda** de Schrödinger expresada como $\psi(x,t)$.

17. Una interpretación física de la función de onda de Schrödinger fue formulada por Max Born y "afirma que la cantidad $\psi^* \psi = |\psi|^2$ debe ser interpretada como una **densidad de probabilidad** para una partícula en el estado ψ ".
18. 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.
19. Muchos científicos han llegado a la conclusión de que **ninguno de los modelos históricos proporciona una explicación satisfactoria** de las características observadas del electrón.
20. 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 tan pequeño tamaño.**"
21. **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..."**

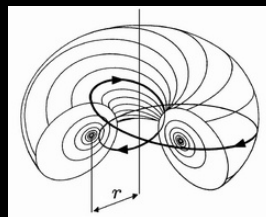
Modelos históricos. Pronto se propusieron varios modelos para el electrón descubierto por J. J. Thomson en **1897**.

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**.

STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES						
QUARKS	UP mass: 2.3 MeV/c ² charge: 2/3 spin: 1/2 	CHARM mass: 1,275 GeV/c ² charge: 2/3 spin: 1/2 	TOP mass: 173,07 GeV/c ² charge: 2/3 spin: 1/2 	GLUON 0 0 1 	HIGGS BOSON 120 GeV/c ² 0 0 0 	
	DOWN mass: 4.8 MeV/c ² charge: -1/3 spin: 1/2 	STRANGE mass: 95 MeV/c ² charge: -1/3 spin: 1/2 	BOTTOM mass: 4,18 GeV/c ² charge: -1/3 spin: 1/2 	PHOTON 0 0 1 	GAUGE BOSONS	
	ELECTRON mass: 0,511 MeV/c ² charge: -1 spin: 1/2 	MUON mass: 105,7 MeV/c ² charge: -1 spin: 1/2 	TAU mass: 1,777 GeV/c ² charge: -1 spin: 1/2 	Z BOSON mass: 91,2 GeV/c ² 0 0 1 		
	ELECTRON NEUTRINO mass: <2,2 eV/c ² charge: 0 spin: 1/2 	MUON NEUTRINO mass: <0,17 MeV/c ² charge: 0 spin: 1/2 	TAU NEUTRINO mass: <15,5 MeV/c ² charge: 0 spin: 1/2 	W BOSON mass: 80,4 GeV/c ² ±1 0 1 		

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 giratoria distribuida sobre la superficie de un anillo**. Mientras que la esfera tiene sólo un grado de libertad, el radio R , el modelo 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.

RESUMEN

El **electrón** suele describirse como una **partícula fundamental** o **elemental**.

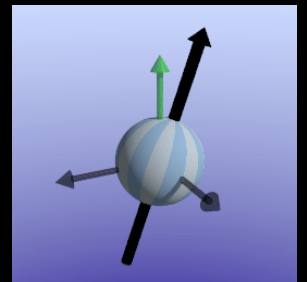
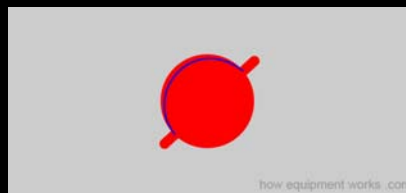
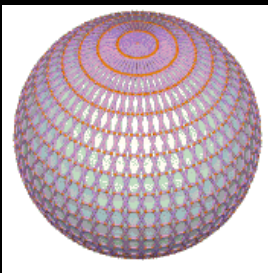
Eso no dice mucho, pero cuando se busca más información, es bastante escasa:

- Tiene
1. una **masa** de $9,10938291(40) \times 10^{-31}$ Kg o $511 \text{ KeV}/c^2$,
 2. una **carga** de $-1,602176565(35) \times 10^{-19}$ Coulombios o $-1e$, siendo e la carga elemental, y
 3. un **espín** (**acción** o **momento angular**) de $\pm 1/2 \hbar$.

Masa : 0.000000000000000000000000000000009109382914 Kg

Carga: -0.000000000000000000160217656535 Culombios

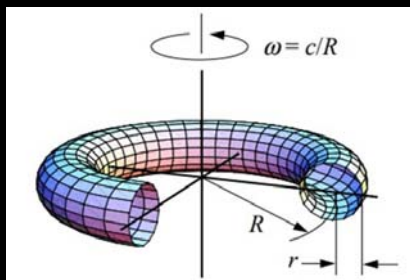
Espín: $\pm 0.00000000000000000000000001055$ erg-seg



Sin embargo, no se aprende mucho más. En lugar de ello, se reciben informaciones ambiguas.

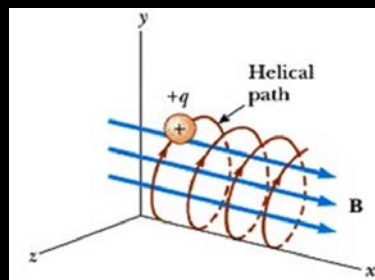
RESUMEN

MEA



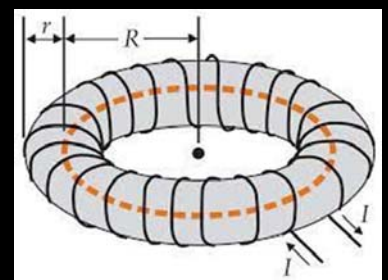
Modelo de Electrón en Anillo
carga eléctrica: velocidad c

MEH

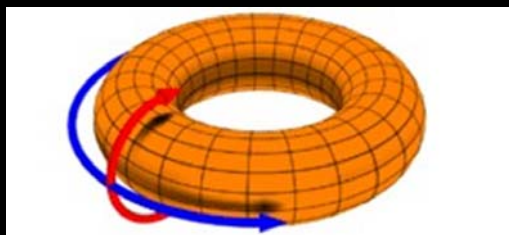


Modelo de Electrón Helicoidal
Centro carga: centro masa (c)

MEST

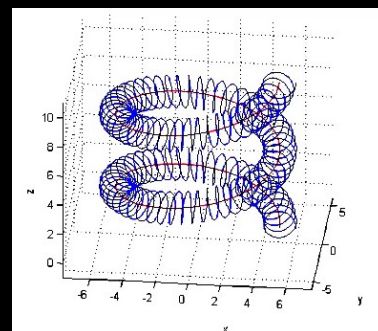


MEST



Modelo de Electrón Solenoide Toroidal
Carga (c) **en camino toroidal**

MSEH



Modelo de Electrón Solenoide Helicoidal
Velocidad tangencial de la carga (c)